

Facultad de tecnología de la industria.

Diseño y construcción de banco de ensayo para una bomba centrífuga.

Trabajo monográfico para optar al título de ingeniero mecánico.

Elaborado por:

Br. Mario Josué
Davila Uriarte

Carnet: 2014-0837U

Br. Miguel Angel
Urroz sevilla

Carnet: 2015-0753U

Br. Erick Abelino
Reyes Díaz

Carnet: 2015-1052U

Tutor:

Ing. Silvio Solórzano
Moody

02 de Agosto de 2022

Managua, Nicaragua



DEDICATORIA.

Primeramente, a Dios por habernos permitido llegar hasta este momento de nuestras vidas y habernos dado salud y fortaleza, por ser ese manantial de vida que nos dio lo necesario para seguir adelante día a día para lograr las metas y objetivos que nos hemos trazado, además de su infinito amor y bondad.

A nuestros padres por el incondicional apoyo, por sus consejos, sus valores que nos han permitido ser unas personas de bien. Por esos ejemplos de perseverancia y constancia que los caracterizan y nos han infundido siempre por ese valor mostrado para salir adelante a pesar de los momentos difíciles.



Agradecimientos.

A Dios todo poderoso, por darnos la bendición cada día, la vida, la salud y las fuerzas para luchar por este proyecto de vida.

Al Ing. Pablo Motta por su apoyo incondicional en la rehabilitación de los depósitos de succión y descarga que son parte fundamental de este proyecto.

Al Ing. Brayan Álvarez por ser más que un amigo, un hermano que al igual que nosotros puso todo su empeño y dedicación en este proyecto monográfico ya que sus consejos y conocimientos imprescindibles para la realización del proyecto.

AL Ing. Milton Alvarado por apoyo en la adquisición de algunos de los instrumentos esenciales para la realización de este proyecto.

A la Ing. Mary Triny, quien fue la persona que nos motivó a tomar este tema monográfico y nos ayudó a seguir adelante hasta alcanzar el objetivo trazado.

Al Ing. Silvio Solórzano por haber sido parte importante en este proyecto y estuvo ahí siempre cuando lo necesitamos.



Resumen.

Las bombas tienen un papel decisivo en el desarrollo de la humanidad, no es posible imaginar los modernos procesos industriales y la vida en las grandes ciudades sin la participación de estos equipos.

Por ende, este proyecto se realizó para obtener un banco de prueba de bomba centrífuga confiable, funcional y manipulable, que permita a los estudiantes desarrollar sus conocimientos y destrezas sobre la elaboración de la curva del sistema de bombeo y curvas características. Con este propósito se realizó la rehabilitación de un antiguo banco de pruebas que estaba en el laboratorio de turbo-maquinas el cual fue donado por la Facultad de Tecnología de la Industria para la realización de este proyecto.

En esta estructura se diseñó e instaló el sistema de tuberías, instrumentos de regulación y medición. Mediante los cuales se logró recopilar datos y analizar el cambio de los parámetros de funcionamiento de la bomba centrífuga con la variación del régimen de trabajo (empleando un variador de frecuencia).

Posteriormente a la toma de datos se analizó los resultados obtenidos del rendimiento de la bomba y se justificó los procedimientos realizados con cálculos, conceptos teóricos y experimentales determinando las curvas altura-caudal, potencia-caudal y rendimiento caudal para luego concluir con el análisis e interpretación de las prácticas realizadas.

Se elaboró una guía de laboratorio para la realización de las prácticas, en las cuales se describen los pasos a seguir, así como el manual de uso y mantenimiento preventivo del banco de ensayo.



Summary.

Pumps have a decisive role in the development of humanity, it is not possible to imagine modern industrial processes and life in big cities without the participation of this equipment.

Therefore, this project was carried out to obtain a reliable, functional and manipulable centrifugal pump test bench, which allows students to develop their knowledge and skills on the elaboration of the pumping system curve and characteristic curves. For this purpose, the rehabilitation of an old test bench that was in the turbo-machinery laboratory was carried out, which was donated by the Faculty of Industry Technology for the realization of this project.

In this structure, the piping system, regulation and measurement instruments were designed and assembled. By means of which it was possible to collect data and analyze the change in the operating parameters of the centrifugal pump with the variation of the working regime (using a frequency variator).

After the data collection, the results obtained from the performance of the pump were analyzed and the procedures carried out with calculations, theoretical and experimental concepts were justified, determining the height-flow curves, power-flow and flow performance, and then concluding with the analysis and interpretation. of the practices carried out.

A laboratory guide was prepared to carry out the practices, in which the steps to follow are described, as well as the manual for the use and preventive maintenance of the test bench.

Índice de contenido

I.	Introducción.....	1
II.	Antecedentes.	2
III.	Justificación.....	3
IV.	Objetivos.	4
4.1.	Objetivo general:	4
4.2.	Objetivos específicos:.....	4
V.	Marco teórico.....	5
5.1.	Generalidades de un sistema de bombeo.	5
5.2.	Elementos principales de un banco de ensayo de una bomba centrífuga. .	5
5.2.1.	Bomba.....	5
5.2.2.	Tuberías.....	5
5.2.3.	Elementos de medición y regulación.....	6
5.3.	Turbomáquinas hidráulicas.	8
5.3.1.	Principios de las bombas.	9
5.3.2.	Clasificación de las bombas.....	9
5.3.3.	Elementos constitutivos de una bomba centrífuga.....	10
5.4.	Análisis de energía en un sistema de bombeo.	11
5.4.1.	Ecuación de Bernoulli.	12

5.4.2. Ecuación general de la energía.....	13
5.4.3. Flujos laminar y turbulento.	14
5.4.4. Número de Reynolds.	15
5.4.5. Pérdida de energía para flujo laminar y turbulento en tuberías.....	17
5.4.6. Diagrama de Moody.....	19
5.5. Instalación de una bomba.	19
5.5.1. Altura útil o efectiva de una bomba.....	20
5.5.2. Pérdidas mayores y menores.	21
5.6. Pérdidas, potencias y rendimientos.....	22
5.6.1. Pérdidas totales.	22
5.6.2. Potencia y rendimiento.	26
5.7. Curva característica.....	31
5.7.1. Curva altura-caudal.....	32
5.7.2. Curva rendimiento-caudal.....	33
5.7.3. Curva potencia-caudal.	33
5.8. Identificación de metales por prueba de chispa.....	36
5.9. Vertedero.....	38
5.10. Sistema de soldadura por arco eléctrico.	38
5.11. Paredes rectangulares expuestas a presión.	42

VI.	Desarrollo.....	44
6.1.	Proceso de restauración de estructura del banco de ensayo.....	44
6.1.1.	Determinación del material de los depósitos de succión y descarga.	44
6.1.2.	Aplicación de soldadura.....	45
6.1.3.	Cálculo de presión y fuerzas ejercidas sobre las láminas de los depósitos del banco.	49
6.1.4.	Esfuerzos admisibles en las soldaduras de cada lámina.....	52
6.2.	Montaje de sistema de bombeo en banco.....	55
6.2.1.	Cálculo de pérdidas mayores y menores.....	56
6.3.	Montaje del sistema eléctrico.....	64
6.3.1.	Selección de cableado y protección para bomba centrífuga.....	65
6.3.2.	Selección del disyuntor de protección del motor.....	67
6.4.	Construcción de las curvas características.....	70
6.4.1.	Curva del sistema bomba centrífuga de 1 hp marca whilo.....	71
6.4.2.	Curva altura-caudal.....	75
6.4.3.	Curva potencia-caudal.....	79
6.4.4.	Curva rendimiento-caudal.....	82
6.5.	Manual de arranque operacional del banco de ensayo.....	86
6.5.1.	Uso y mantenimiento de banco de ensayo.....	86
6.6.	Guía de laboratorio.....	93

VII. Conclusión.....	105
VIII. Recomendaciones.....	106
IX. Anexos.	107
Anexo 1. Diagrama de Moody. (Mott, 2006, pág. 237)	107
Anexo 2. Valores de rugosidad absoluta. (Mott, 2006, pág. 235).....	108
Anexo 3. Factor de fricción para accesorios.(Crane 1957, pág. A-46).	108
Anexo 4. Coeficiente de resistencia en válvulas de pie con filtro. (Crane, 1957, pág. 174)	109
Anexo 5. Coeficiente de resistencia para válvulas de compuerta (Crane, 1957, pág. 173).	109
Anexo 6. Coeficiente de resistencia para válvulas de bola. (Cengel, 2006, pág. 295).....	110
Anexo 7. Coeficiente de resistencias para codos y tee. (Crane, 1957, pág. 176)	110
Anexo 8. Coeficiente de resistencias para medidores de flujo. (serchjimenez, 2017).....	111
Anexo 9. Estructura base proporcionada por la FTI, en la que se construyó el Banco de Ensayo. (Fuente propia)	112
Anexo 10. Comprobación de velocidad de trabajo de la bomba utilizando un tacómetro digital. (Fuente propia).....	112
Anexo 11. Velocidad medida con tacómetro digital para la bomba operando en su capacidad nominal.....	113
Anexo 12. Velocidad medida con tacómetro digital para la bomba operando al	

90% de la capacidad nominal.....	113
Anexo 13. Velocidad medida con tacómetro digital para la bomba operando al 80% de la capacidad nominal.....	114
Anexo 14. Tabla de resultados obtenidos de la realización de pruebas en condiciones nominales de la bomba.....	114
Anexo 15. Tabla de diámetros para tubería PVC. (Sanitaria y aguas lluvias, docplayer.es).....	116
Anexo 16. Tabla de densidad del agua. (Densidad del agua, fullquimica.com)	117
Anexo 17. Tabla de viscosidad dinámica del agua. (Densidad del agua, yumpu.com).....	118
Anexo 18. Coeficiente de resistencias para válvulas de retención. (Cengel, 2006, pág. 341)	119
Anexo 19. Manual del fabricante de la bomba. (Wilo)	120
Anexo 20. Manual del fabricante del contador de volumen. (Fill-ride).....	136
Anexo 21. Manual del fabricante del medidor multifunción digital AC.....	154
Anexo 22. Manual del fabricante del variador de frecuencia.....	157
Anexo 23. Relación entre C_e y α para vertederos triangulares.	174
Anexo 24. Ficha técnica electrodo Lincoln E6013.....	175
Anexo 25. Tabla de selección de medida electrodo y amperaje de trabajo. (Oxgasa, pág. 12).....	176
Anexo 26. Tabla de consumo de metal depositado según el tipo de junta. (Saavedra, 2010).....	177

Anexo 27. Tabla de preparación de junta para soldadura. (Saavedra, 2010) ..	178
Anexo 28. Ficha técnica del disyuntor de protección de la bomba. (Allen-Bradley)	179
Anexo 29. Leyes de semejanza. (Mataix, 1986, págs. 532-534).....	180
X. Apéndice.	181
Apéndice 1. Vista de banco de ensayo.	182
Apéndice 2. Banco de ensayo.....	184
Apéndice 3. Corte A-A.....	185
Apéndice 4. Sistema hidráulico.	186
Apéndice 5. Vista explosionada.	187
Apéndice 6. Vista con medidas en tuberías.....	188
Apéndice 7. Diagrama eléctrico.	189
Apéndice 8. Aplicación de leyes de semejanza bomba Wilo 201-1/E/3-480-60-2.	190
XI. Bibliografía	193

Índice de ilustraciones.

Ilustración V.1 Forma en la que una bomba suministra energía a un fluido.....	9
Ilustración V.2. Elementos constitutivos de una bomba centrífuga.	10
Ilustración V.3. Líneas de corriente.....	12
Ilustración V.4. Fluido cambiando de laminar a turbulento.....	15
Ilustración V.5. Flujo laminar y flujo turbulento.....	15
Ilustración V.6. Esquema básico de un Sistema de Bombeo.	20
Ilustración V.7. Pérdidas volumétricas en una bomba.....	23
Ilustración V.8. Prensaestopas de la casa Danfoss.	24
Ilustración V.9. Esquema del rodete de una bomba.....	25
Ilustración V.10. Esquema de bomba radial con cojinete de bolas para contrarrestar el empuje axial.	26
Ilustración V.11. Esquema de potencia en una bomba (o ventilador).	26
Ilustración V.12. Curva característica de una bomba centrífuga con distintos diámetros de rodete.	32
Ilustración V.13. Curva característica de rendimiento y potencia en función del caudal de una bomba centrífuga.....	33
Ilustración V.14. Curva característica de una bomba radial centrífuga.	35
Ilustración V.15. Representación gráfica de los distintos tipos de chispa en varios materiales de ingeniería.....	37
Ilustración V.16. Vertedero triangular.....	38
Ilustración V.17. Costura a tope por un solo lado.....	40
Ilustración V.18. Dimensiones de "b".	40
Ilustración V.19. Distribución de la presión sobre el muro vertical de contención.	42
Ilustración VI.1. Depósitos de succión y descarga posteriormente a la remoción de la	

pintura.	44
Ilustración VI.2. Método de la chispa para determinación de material.	45
Ilustración VI.3. Depósito de succión. Ilustración VI.4. Depósito de descarga.	48
Ilustración VI.5. Aplicación de pintura base a depósitos de succión y descarga.	48
Ilustración VI.6. Aplicación de pintura final a depósitos de succión y descarga.	48
Ilustración VI.7. Banco de ensayo para determinar curvas características. (Ver apéndice 3).	55
Ilustración VI.8. Velocidad recomendada para tuberías de agua.	57
Ilustración VI.9. Dimensiones de tuberías de sistema de bombeo. (Ver apéndice 6). ..	60
Ilustración VI.10. Ficha característica de la bomba instalada en el banco de ensayo...	64
Ilustración VI.11. Ficha técnica del variador de frecuencia.	64
Ilustración VI.12. Intensidad consumida por la bomba.	65
Ilustración VI.13. Ampacidad de cable TSJ.	66
Ilustración VI.14. Disyuntor modelo 140M-C2E-B25 instalado en banco de ensayo....	67
Ilustración VI.15. Diagrama eléctrico del banco de ensayo. (Ver apéndice 7).	68
Ilustración VI.16. Vistas del banco de ensayo con sus dimensiones escala 1:2. (Ver apéndice 1).	72
Ilustración VI.17. Curvas teóricas de una bomba.	85
Ilustración VI.18. Nivel de agua recomendado en succión y descarga para realizar pruebas.	87
Ilustración VI.19. Borneras del variador de frecuencia.	87
Ilustración VI.20. Medidor digital de voltaje y corriente.	88
Ilustración VI.21. Variador de frecuencia en función "rdy".....	88
Ilustración VI.22. Medidor de volumen.	89

Ilustración VI.23. Válvula de compuerta.....	89
Ilustración VI.24. Válvula de globo en posición 1	90
Ilustración VI.25. Selector de posición para la válvula de globo.....	91
Ilustración VI.26. Selector giratorio del variador de frecuencia.	92

Índice de Tablas.

Tabla VI.1. Presión y fuerza ejercida en las láminas del depósito de succión.	49
Tabla VI.2. Presión y fuerza ejercida en las láminas del depósito de descarga.	50
Tabla VI.3. Leyenda banco de ensayo. (Ver apéndice 3).....	56
Tabla VI.4 Coeficiente de resistencia para cada accesorio en la succión.	61
Tabla VI.5 Coeficientes de resistencia a la fricción para cada accesorio en la descarga.	62
Tabla VI.6. Leyenda de sistema eléctrico. (Ver apéndice 7).	69
Tabla VI.7 Valores promedios obtenidos en las pruebas a la velocidad nominal de la bomba.	71
Tabla VI.8 Cálculos de pérdidas por tuberías y accesorios.....	73
Tabla VI.9 Cálculos necesarios para la elaboración de la curva del sistema.	74
Tabla VI.10 Datos obtenidos al realizar las pruebas a la capacidad nominal de la bomba.	76
Tabla VI.11 Datos obtenidos al realizar las pruebas al 90% de la capacidad de la bomba.	77
Tabla VI.12 Datos obtenidos al realizar las pruebas al 80% de la capacidad de la bomba.	78
Tabla VI.13 Cálculo de potencia de accionamiento.	80
Tabla VI.14 Cálculos de potencia útil en pruebas realizadas a la capacidad nominal de la bomba.	80
Tabla VI.15 Cálculos de potencia útil en pruebas realizadas al 90% de la capacidad de la bomba.	81
Tabla VI.16 Cálculos de potencia útil en pruebas realizadas al 80% de la capacidad de la bomba.	81
Tabla VI.17 Cálculo de rendimiento total en pruebas realizadas a la capacidad nominal	

de la bomba.	83
Tabla VI.18 Cálculo de rendimiento total en pruebas realizadas al 90% de la capacidad de la bomba.	83
Tabla VI.19 Cálculo de rendimiento total en pruebas realizadas al 80% de la capacidad de la bomba.	84
Tabla VI.20. Tabla de valores para n1.	96
Tabla VI.21. Tabla de valores para n2.	97
Tabla VI.22. Tabla de valores para n3.	98
Tabla VI.23. Tabla de potencia de accionamiento.	99
Tabla VI.24. Tabla de potencia útil para n1.	99
Tabla VI.25. Tabla de potencia útil para n2.	100
Tabla VI.26. Tabla de potencia útil para n3.	100
Tabla VI.27. Tabla de rendimiento total para n1.	101
Tabla VI.28. Tabla de rendimiento total para n2.	101
Tabla VI.29. Tabla de rendimiento total para n3.	102
Tabla X.1 Cálculos de pérdidas por tuberías y accesorios.	191
Tabla X.2 Cálculos necesarios para la elaboración de la curva del sistema.	191

Índice de grafico

Gráfico VI.1 Curva del sistema para valores nominales de la bomba.	74
Gráfico VI.2 Curva altura-caudal.	79
Gráfico VI.3 Curva de potencia.	82
Gráfico VI.4 Curva de rendimiento.	84
Gráfico X.1. Curva de operación de la bomba con impulsor de 12 cm de diámetro....	192

Índice de Ecuaciones

Ecuación V.1 Caudal.....	11
Ecuación V.2 Caudal en función de velocidad por el área.	11
Ecuación V.3 Área.....	11
Ecuación V.4 Ecuación de velocidad.	11
Ecuación V.5 Ecuación de Bernoulli.....	13
Ecuación V.6 Ecuación general de la energía.....	13
Ecuación V.7 Número de Reynolds	16
Ecuación V.8 Darcy-Weisbach.....	17
Ecuación V.9 Factor de fricción de Darcy para flujo laminar.	18
Ecuación V.10 Factor de fricción para flujo turbulento.	18
Ecuación V.11 Altura útil.	21
Ecuación V.12 Pérdidas por accesorios (pérdidas menores).....	21
Ecuación V.13 Potencia de accionamiento.	28
Ecuación V.14 Potencia interna.	28
Ecuación V.15 Potencia interna en función de las pérdidas internas.	28
Ecuación V.16 Potencia útil.....	28
Ecuación V.17 Potencia útil en función del caudal útil y la altura útil.	29
Ecuación V.18 Rendimiento hidráulico.....	29
Ecuación V.19 Rendimiento volumétrico.....	29
Ecuación V.20 Rendimiento interno.	30
Ecuación V.21 Rendimiento interno en función de las pérdidas internas, caudal útil y altura útil.....	30
Ecuación V.22 Rendimiento mecánico.....	30

Ecuación V.23 Rendimiento total.	30
Ecuación V.24 Relación entre rendimientos.....	31
Ecuación V.25 Potencia de accionamiento en función del caudal y la altura.	31
Ecuación V.26 Potencia interna en función de los rendimientos hidráulicos y volumétricos.....	31
Ecuación V.27 Potencia absorbida por el eje de la bomba.	34
Ecuación V.28 Potencia absorbida por el eje de la bomba.	34
Ecuación V.29 Potencia absorbida por la bomba en función de la potencia del motor.	35
Ecuación V.30 Potencia del motor.	35
Ecuación V.31. Par torsor.	35
Ecuación V.32. Altura del sistema.....	36
Ecuación V.33. Caudal del vertedero triangular.	38
Ecuación V.34. Cordón de raíz.	39
Ecuación V.35. Cordón de relleno.....	39
Ecuación V.36. Área de la sección transversal de la soldadura sin holgura.	39
Ecuación V.37. Área de la sección transversal de la soldadura con holgura.	39
Ecuación V.38. Número de pasada de soldadura.	40
Ecuación V.39. Cantidad de metal a depositar.	40
<i>Ecuación V.40. Cantidad total de material consumible (electrodo).</i>	<i>41</i>
Ecuación V.41. Esfuerzo admisible a tracción o compresión.	41
Ecuación V.42. Cambio de presión.	42
Ecuación V.43. Fuerza resultante.	43
Ecuación V.44. Presión promedio.	43



I. Introducción.

La presente tesis tiene como tema “Diseño y construcción de un banco de ensayo para una bomba centrífuga”; este proyecto ha sido demandado por la Facultad de tecnología de la industria y por lo cual realizamos la tarea de concretizar dicho proyecto y adecuarlo al objetivo académico.

Con el desarrollo de este proyecto, logramos montar un sistema de tuberías adecuado a las dimensiones de la estructura metálica (depósitos de succión y descarga) del primer Banco de Ensayo que estuvo funcionando en el Laboratorio de Plantas Térmicas, hoy en día la base del banco se ubica en el laboratorio de Turbo-máquinas (Anexo 9.) que está en manos del Departamento de Energética de la Facultad de Tecnología de la Industria (FTI). Se determinó accesorios y los elementos de medición y regulación necesarios para poner en marcha el banco de ensayo, posteriormente se diseñó el sistema eléctrico de control, porque la bomba trabaja con un variador de frecuencia que ayudará a obtener las diferentes curvas, en las que se aprecia el rendimiento, potencia y altura a distintos caudales y/o revoluciones. Para un mejor manejo, se elaboró un manual operacional en el cual se indicará la forma correcta de usar el Banco de Ensayo, de igual manera las recomendaciones de mantenimiento para garantizar el buen estado del Banco.

Esta monografía deja un patrimonio en el Recinto Pedro Araúz Palacios (UNI RUPAP), con el cual los estudiantes de Ingeniería Mecánica podrán realizar prácticas en el laboratorio de turbo-máquinas, por esta razón se elaboraron guías de laboratorios para las prácticas que se llevarán a cabo con el fin de maximizar el aprendizaje y sacar el máximo provecho al banco de ensayo, de modo que los estudiantes podrán trazar las curvas características de la bomba centrífuga en cada práctica de laboratorio.



II. Antecedentes.

El Recinto Universitario Pedro Araúz Palacios (UNI-RUPAP) para la década de los 90 contaba con un banco de ensayos que fue reconstruido en ese entonces por el Bachiller Juan José Ruiz Calderón, para su tesis “Análisis de Bombas Radiales” tesis que no hace mucha referencia al banco de ensayo, ya que se centra en el análisis de las bombas antes mencionadas, la poca información que se puede obtener en la tesis, es que el primer banco de ensayo trabajaba con una bomba-turbina y además contaba con un juego de cinco rodets, tres tipos de difusores y dos tipos de entrada de succión al rodete. Dos años previos a la realización de la tesis se encontraba totalmente inutilizable, se presentaban limitaciones en cuanto a su manejo, ya que no existía la información original referente a los ensayos que en este banco podían realizarse, ni guías de laboratorio, posteriormente fue reactivado para el periodo de realización de la tesis.



III. Justificación.

Actualmente la Facultad de Tecnología de la Industria impulsa la reapertura del Laboratorio de Turbomáquinas, el cual carece de un banco de ensayos para bombas centrífugas y por este motivo lo propone como tema monográfico. Por ende, se planteó la presente propuesta de diseño y construcción que se ha efectuado con el fin de dotar a los estudiantes de la carrera de Ingeniería Mecánica de un equipo, mediante el cual puedan realizar prácticas de laboratorio y obtener las curvas características de una bomba centrífuga, mediante el uso del banco se pudo analizar y mostrar gráficamente el comportamiento de las curvas características de una bomba centrífuga de 1 hp al variar su velocidad de rotación.

El propósito de este proyecto, es que los estudiantes puedan fortalecer aún más las enseñanzas impartidas en las clases de Mecánica de Fluidos I y Turbomáquinas. Cabe destacar que la teoría acompañada de la práctica, es el camino eficaz para plasmar conocimientos que los maestros transmiten.

Además, tendrá utilidad para los futuros estudiantes de Ingeniería Mecánica que retomen dicha temática y tomen como referencia la información obtenida para realizar futuras mejoras en el banco de ensayo.

Este proyecto era viable porque la Facultad de Tecnología de la Industria puso a disposición una bomba centrífuga de 1 hp y una estructura base (depósito de succión y descarga) donde montamos el sistema de bombeo posteriormente.



IV. Objetivos.

4.1. Objetivo general:

- Diseñar y construir un banco de ensayo para una bomba centrífuga y obtención de sus curvas características.

4.2. Objetivos específicos:

- Establecer el sistema de bombeo, determinando así los accesorios, elementos de medición y regulación para la construcción del banco.
- Determinar el sistema eléctrico y protección para el arranque y puesta en marcha del motor.
- Mostrar las curvas altura vs caudal (H-Q), eficiencia vs caudal (η -Q), potencia vs caudal (W-Q), con diferentes velocidades.
- Definir un manual para el arranque operacional del banco de ensayo.
- Organizar guías de laboratorio que permitan a los estudiantes realizar las prácticas en el banco de ensayo.



V. Marco teórico.

5.1. Generalidades de un sistema de bombeo.

El método más común para transportar un fluido de un punto a otro. Está conformado por un sin número de tuberías, accesorios y una máquina que agregue energía al fluido, en este caso una bomba. Dando respuesta así, a la gran variedad de procesos que se dan en la industria moderna y abastecimiento de agua potable a una población.

5.2. Elementos principales de un banco de ensayo de una bomba centrífuga.

5.2.1. Bomba.

Es una máquina que absorbe energía mecánica y restituye al líquido que la atraviesa, energía hidráulica. Las bombas se emplean para transportar toda clase de líquidos (agua, aceite de lubricación, combustible, ácidos, líquidos alimenticios, cerveza, leche, etc., estas últimas constituyen un grupo importante de las bombas sanitarias).

5.2.2. Tuberías.

Es un conducto cerrado que cumple la función de transportar agua u otros fluidos. Se suele elaborar con materiales muy diversos dependiendo de las características del fluido y ambiente, cabe mencionar que dependiendo de las características del conducto varían las pérdidas, estas pérdidas son conocidas como pérdidas primarias o pérdidas mayores. En los siguientes incisos la interpretaremos como pérdidas mayores.

Las pérdidas primarias son las pérdidas de superficie en el contacto del fluido con la pared de la tubería (capa límite), rozamiento de unas capas de fluidos con otras (régimen laminar) o de las partículas de fluido entre sí (régimen turbulento). Tienen lugar en flujo uniforme, por tanto, principalmente en los tramos de tuberías de sección constante.

En los sistemas de bombeos es inevitable que haya cambios de dirección en el espacio, es casi imposible ver un sistema con tuberías rectas sin ningún cambio de dirección, los



codos, te, adaptadores, etc. Estos son indispensables en sistemas de bombeos, los accesorios producen pérdidas, por lo tanto, deben tomarse en cuenta y se conocen como pérdidas secundarias o pérdidas menores. En los siguientes incisos la interpretaremos como pérdidas menores.

Las pérdidas secundarias, son las pérdidas de forma, que tienen lugar en las transiciones (estrechamiento o expansiones de la corriente), codos, válvulas y en todas clases de accesorios de tubería. (Mataix, 1986, pág. 203)

5.2.3. Elementos de medición y regulación.

Un instrumento de medición es una herramienta que se usa para medir las magnitudes físicas de distintos fenómenos, comúnmente podemos encontrar en los sistemas de bombeo instrumentos como: manómetros, caudalímetros, voltímetros, amperímetros, etc. Cabe mencionar que los instrumentos de medición son indispensables en los sistemas de bombeos para poder medir y regular las variables del flujo.

5.2.3.1. Manómetro.

Los medidores de presión o manómetros necesariamente deben ser variadísimos, ya que en los laboratorios y la industria se miden presiones desde un vacío absoluto del 100 por 100 hasta 10000 bar y aún mayores, con grados de precisión muy diversos y en medios (temperaturas elevadas, atmósferas explosivas, etc.) muy diversos.

Los aparatos para medir las presiones se denominan manómetros. Estos pueden clasificarse según los siguientes criterios:

Primera clasificación: según la naturaleza de la presión medida.

1. Instrumentos que miden la presión atmosférica, P_{amt} : barómetros.
2. Instrumentos que miden la presión relativa, P_e o presión con relación a la atmosfera: manómetros, miden las sobrepresiones o presiones relativas positivas; vacuómetro, miden las depresiones o presiones relativas negativas.



3. Instrumentos que miden presión absoluta. P_{abs} : manómetros de presión absoluta. (Este tipo de manómetros suelen emplearse para la medición de presión absoluta pequeña)
4. Instrumentos para medir diferencias de presiones: manómetros diferenciales.
5. Instrumentos para medir presiones muy pequeñas: micromanómetros.

Segunda clasificación. Según el principio de funcionamiento.

Los manómetros se clasifican en mecánicos y eléctricos. El principio de funcionamiento de los primeros consiste en equilibrar la fuerza originada por la presión que se requiere medir con otra fuerza a saber, con el peso de una columna de líquido en los piezómetros de líquido y manómetros de líquido, con un resorte en los manómetros clásicos o con la fuerza ejercida sobre la otra cara de un émbolo en los manómetros de émbolo. Esta última fuerza se mide mecánicamente.

En los manómetros eléctricos la presión origina una deformación elástica, que se mide eléctricamente. (Mataix, 1986, pág. 48)

5.2.3.2. Caudalímetros.

Es un instrumento que mide el flujo de un fluido a través de una sección en un tiempo determinado. Los instrumentos para medir flujos se llaman caudalímetros, siendo la característica esencial de todos ellos, en contraposición a los instrumentos volumétricos, el ser un instrumento que mide el flujo instantáneo o caudal, que puede variar de un momento a otro. Los caudales se pueden medir en flujo cerrado o tubería o en flujo abierto o canaleta. A este último caso se refiere también el caso en el que el caudal que circula en un conducto cerrado sale al exterior para su medición. (Mataix, 1986, pág. 141)

5.2.3.3. Voltímetro.

Se llama voltímetro al dispositivo que permite realizar la medición de la diferencia de potencial o tensión que existe entre dos puntos pertenecientes a un circuito eléctrico. El



voltímetro, por lo tanto, revela el voltaje (la cantidad de voltios). (Pérez Porto & Gardey, 2015)

5.2.3.4. Amperímetro.

Es un dispositivo que permite realizar la medición de los amperios que tiene la corriente eléctrica. Para comprender con precisión el significado del concepto debemos, por lo tanto, saber que son los amperios y que es la corriente eléctrica.

La corriente eléctrica se produce por el movimiento de cargas eléctricas en un material. Se trata de una magnitud que refleja la electricidad que, en una unidad de tiempo, fluye por el material conductor. El amperio, en este marco, es la unidad que permite cuantificar la intensidad de la corriente. (Pérez Porto & Gardey, 2015)

5.2.3.5. Variador de frecuencia.

Un variador de velocidad tiene como función principal cambiar la frecuencia de la tensión en su salida para obtener velocidades variables en motores de inducción. Sin embargo, para poder cambiar la frecuencia, el variador requiere ejecutar múltiples tareas. (Benavides , Galeano, & Cano, 2018)

5.3. Turbomáquinas hidráulicas.

Las máquinas hidráulicas pertenecen a un grupo muy importante de máquinas que se llaman máquinas de fluidos. Aunque rara es la máquina en que no intervienen uno o varios fluidos como refrigerantes, lubricante, etc.; eso solo no es suficiente para incluir dichas máquinas en el grupo de máquinas de fluidos.

Las máquinas de fluidos son aquellas máquinas en que el fluido o bien, proporciona la energía que absorbe la máquina (por ejemplo, el agua que se suministra a una turbina posee una energía preferentemente de presión proveniente de la energía geodésica que poseía en el embalse y que a su vez la turbina transforma en energía mecánica), o bien aquellas que el fluido es el receptor de energía, al que la máquina restituye la energía



mecánica absorbida. (Mataix, 1986, pág. 355)

5.3.1. Principios de las bombas.

Algunos autores llaman a las bombas dispositivos que absorben energía, porque la energía se les debe suministrar, y transfieren la mayor parte de esta energía al fluido, por lo regular, mediante una flecha rotatoria, (ver ilustración V.1). El incremento en la energía hidráulica se experimenta como un aumento en la presión del fluido. (Cengel, 2006, pág. 736)

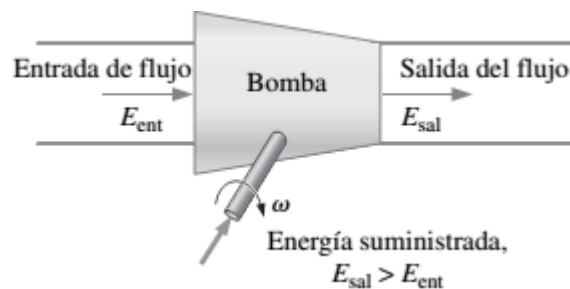


Ilustración V.1 Forma en la que una bomba suministra energía a un fluido.

5.3.2. Clasificación de las bombas.

Bombas de desplazamiento positivo. A este grupo pertenecen no solo las bombas Alternativas, sino las rotativas llamadas Rotoestáticas porque son rotativas, pero en ellas la dinámica de la corriente no juega un papel esencial en la transmisión de energía. Su funcionamiento se basa en el principio del desplazamiento positivo.

Bombas Cinéticas o Rotodinámicas. Estas son siempre rotativas, su funcionamiento se basa en la ecuación de Euler y su órgano transmisor de energía se llama rodete. Se llaman Rotodinámicas porque su movimiento es rotativo y la dinámica de la corriente juega un papel esencial en la transmisión de energía. (Mataix, 1986, pág. 369)



5.3.3. Elementos constitutivos de una bomba centrífuga.

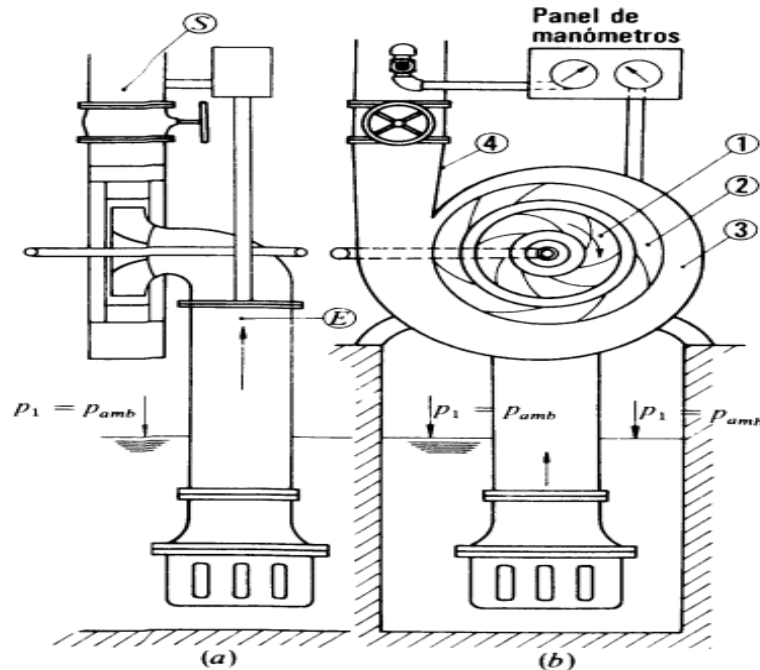


Ilustración V.2. Elementos constitutivos de una bomba centrífuga.

En la ilustración V.2. Se observan los siguientes componentes (Mataix, 1986, pág. 369):

1. Rodete, que gira solidario con el eje de la máquina y consta de cierto número de álabes que imparten energía al fluido en forma de energía cinética y de presión.
2. Corona Directriz, o corona de álabes fijos que recoge el líquido del rodete y transforma la energía cinética comunicada por el rodete en energía de presión, ya que la succión de paso aumenta en esta corona en la dirección del flujo. Esta corona directriz no existe en todas las bombas; porque encarece la construcción; aunque hace a la bomba más eficiente.
3. Caja espiral, que transforma también la energía dinámica en energía de presión, y recorre además con pérdidas mínimas de energía el fluido que sale del rodete, conduciéndolo hasta la tubería de salida o tubería de impulsión.



4. Tuvo difusor troncocónico, que realiza una tercera etapa de difusión o sea transformación de energía dinámica en energía de presión (Mataix, 1986, pág. 370).

5.4. Análisis de energía en un sistema de bombeo.

Caudal. Es el volumen por unidad de tiempo que atraviesa una sección transversal de un conducto.

$$Q = \frac{V}{t}$$

Ecuación V.1 Caudal.

Donde

v: volumen.

t: unidad de tiempo

El caudal también lo podemos calcular mediante la siguiente ecuación:

$$Q = V * A$$

Ecuación V.2 Caudal en función de velocidad por el área.

Donde

V: velocidad del flujo.

A: área de sección transversal circular.

Área

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

Ecuación V.3 Área.

Despejando la Velocidad de la ecuación V.2

$$V = \frac{4 * Q}{\pi(D^2)}$$

Ecuación V.4 Ecuación de velocidad.



D: Diámetro interno de la tubería.

5.4.1. Ecuación de Bernoulli.

La ecuación de Bernoulli es una relación aproximada entre la presión, la velocidad y la elevación, y es válida en regiones de flujo estacionario e incompresible en donde las fuerzas netas de fricción son despreciables.

Pese a su simplicidad la ecuación de Bernoulli demostró que es un instrumento muy potente en Mecánica de Fluidos. En esta sección, se deduce la ecuación de Bernoulli a partir del principio de conservación de momento lineal, se demuestra su utilidad y se analizan sus limitaciones.

La aproximación clave en la deducción de la ecuación de Bernoulli es que los efectos viscosos son despreciablemente pequeños en comparación con los efectos de inercia, gravitacionales y de la presión. Puesto que todos los fluidos tienen viscosidad (no existe un “fluido no viscoso”), esta aproximación no puede ser válida para todo un campo de flujo de interés práctico. En otras palabras, no se puede aplicar la ecuación de Bernoulli en todas partes en un flujo, sin importar qué pequeña sea la viscosidad del fluido. Sin embargo, resulta que la aproximación es razonable en ciertas regiones de muchos flujos prácticos (Cengel, 2006, pág. 185).

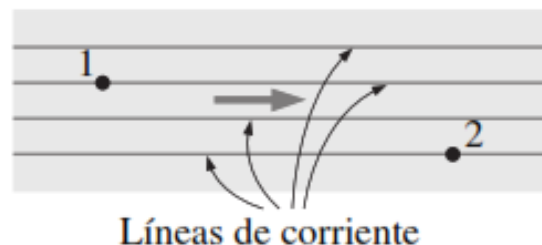


Ilustración V.3. Líneas de corriente.

En la ilustración V.3 observamos que cuando el flujo es irrotacional, la ecuación de



Bernoulli se vuelve aplicable entre dos puntos cualesquiera a lo largo del flujo (no sólo sobre la misma línea de corriente. (Cengel, 2006, pág. 192)

$$\frac{p_a}{\rho} + \frac{V_a^2}{2} + gZ_a = \frac{p_b}{\rho} + \frac{V_b^2}{2} + gZ_b$$

Ecuación V.5 Ecuación de Bernoulli.

p_a, p_b : Presión.

V_a, V_b : Velocidad.

Z_a, Z_b : Altura.

g : Gravedad.

ρ : Densidad.

5.4.2. Ecuación general de la energía.

Una de las leyes más fundamentales de la naturaleza es la primera ley de la termodinámica, también conocida como principio de conservación de la energía, la cual proporciona una base sólida para el estudio de las relaciones entre las diversas formas de la energía y de las interacciones de energía. Esta ley expresa que la energía no se puede crear ni destruir en el transcurso de un proceso; sólo puede cambiar de formas. Por lo tanto, en un proceso debe considerarse toda pequeña parte de energía (Cengel, 2006, pág. 201).

Manejamos la ecuación general de la energía como la extensión de la ecuación de Bernoulli, lo que posibilita resolver problemas en los que hay pérdidas y ganancias de energía. (Mott, 2006, pág. 203).

$$\frac{p_a}{\gamma} + Z_a + \frac{V_a^2}{2g} + H_A - H_R - H_{Ltotal} = \frac{p_b}{\gamma} + Z_b + \frac{V_b^2}{2g}$$

Ecuación V.6 Ecuación general de la energía.



H_A : Energía que se agrega al fluido con un dispositivo mecánico, como una bomba; es frecuente que se le denomine carga total sobre la bomba.

H_R : Energía que se remueve del fluido por medio de un dispositivo mecánico, como un motor de fluido.

H_{Ltotal} : Pérdidas de energía del sistema por la fricción en las tuberías y pérdidas menores por válvulas y otros accesorios, ($H_{Ltotal} = H_{Lmayor} + H_{Lmenor}$).

5.4.3. Flujos laminar y turbulento.

Si alguna vez el lector ha estado rodeado de fumadores, quizá habrá observado que el humo de los cigarrillos se eleva en una pluma suave durante los primeros centímetros y luego comienza a fluctuar aleatoriamente en todas direcciones conforme continúa elevándose. Otras plumas se comportan de manera similar (ver ilustración V.4). De igual modo, una inspección cuidadosa del flujo en una tubería revela que el flujo de fluidos es de líneas de corriente aproximadamente paralelas a bajas velocidades, pero se vuelve caótico conforme la velocidad aumenta sobre un valor crítico, como se muestra en la ilustración V.5. Se dice que el régimen de flujo en el primer caso es laminar, y se caracteriza por líneas de corriente suave y movimiento sumamente ordenado; mientras que en el segundo caso es turbulento, y se caracteriza por fluctuaciones de velocidad y movimiento también desordenado. La transición de flujo laminar a turbulento no ocurre repentinamente; más bien, sucede sobre cierta región en la que el flujo fluctúa entre flujos laminar y turbulento antes de volverse totalmente turbulento. La mayoría de los flujos que se encuentran en la práctica son turbulentos. El flujo laminar se encuentra cuando los fluidos son muy viscosos, como los aceites, fluyen en pequeñas tuberías o pasajes estrechos (Cengel, 2006, pág. 323).

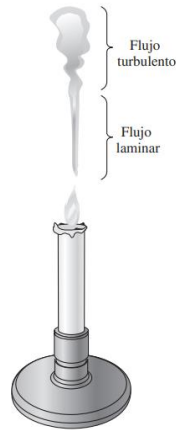


Ilustración V.4. Fluido cambiando de laminar a turbulento.

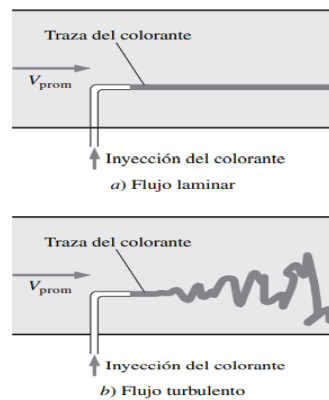


Ilustración V.5. Flujo laminar y flujo turbulento.

5.4.4. Número de Reynolds.

La transición de flujo laminar a turbulento depende de la geometría, la rugosidad de la superficie, la velocidad del flujo, la temperatura de la superficie y el tipo de fluido, entre otros factores. Después de experimentos exhaustivos en los años de 1880, Osborne Reynolds descubrió que el régimen de flujo depende principalmente de la razón de fuerzas inerciales a fuerzas viscosas en el fluido. Esta razón se llama número de Reynolds y se expresa para flujo interno en una tubería circular. (Cengel, 2006, pág. 324).



$$Re = \frac{V \cdot D \cdot \rho}{\nu}$$

Ecuación V.7 Número de Reynolds

Re: Número de Reynolds.

V: Velocidad del fluido.

D: Diámetro interno de la tubería.

ρ : Densidad.

ν : Viscosidad dinámica.

A números grandes de Reynolds, las fuerzas inerciales, que son proporcionales a la densidad del fluido y al cuadrado de la velocidad del fluido, son grandes en relación con las fuerzas viscosas y por lo tanto las fuerzas viscosas no pueden evitar las aleatorias y rápidas fluctuaciones del fluido. Sin embargo, a números de Reynolds pequeños o moderados, las fuerzas viscosas son lo suficientemente grandes como para suprimir dichas fluctuaciones y mantener al fluido “en línea”. Por lo tanto, el flujo es turbulento en el primer caso y laminar en el segundo. El número de Reynolds en donde el flujo se vuelve turbulento se llama número de Reynolds crítico, R_e . El valor del número de Reynolds crítico es diferente para geometrías y condiciones de flujo distintas. Para flujo interno en una tubería circular, el valor generalmente aceptado del número de Reynolds crítico R_e es: 2,300. Es deseable tener valores precisos de números de Reynolds para flujos laminar, transicional y turbulento, pero éste no es el caso en la práctica. Es evidente que la transición de flujo laminar a turbulento también depende del grado de perturbación del flujo por la rugosidad de la superficie, las vibraciones de la tubería y las fluctuaciones en el flujo. En la mayoría de las condiciones prácticas, el flujo en una tubería circular es laminar para Re 2,300, turbulento para Re 4,000, y transicional entre ellos. Es decir, en el flujo transicional, el flujo cambia entre laminar y turbulento de manera aleatoria. Se debe tener en mente que el flujo laminar se puede mantener en números de Reynolds mucho más altos en tuberías muy lisas cuando se evitan las perturbaciones de flujo y las



vibraciones de tubería. En estos experimentos cuidadosamente controlados, el flujo laminar se ha mantenido en números de Reynolds de hasta 100,000. (Cengel, 2006, pág. 324).

$$R_e \leq 2,300 \text{ Flujo Laminar}$$

$$2,300 \leq R_e \leq 4,000 \text{ Flujo Transicional}$$

$$R_e \geq 4,000 \text{ Flujo Turbulento}$$

5.4.5. Pérdida de energía para flujo laminar y turbulento en tuberías.

Al término H_{Ltotal} se le definió como la pérdida de energía en el sistema. Una componente de la pérdida de energía es la pérdida de energía debido a la fricción en el fluido que circula, H_{Lmayor} . Para el caso del fluido en tuberías y tubos, la fricción es proporcional a la carga de velocidad del flujo y a la relación de la longitud del diámetro de la corriente. Esto se expresa en forma matemática como la Ecuación de Darcy-Weisbach. (Mott, 2006, pág. 233).

$$H_{Lmayor} = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g}$$

Ecuación V.8 Darcy-Weisbach.

Donde

H_{Lmayor} : Pérdida de energía debido a la fricción en tuberías, m. (perdidas mayores)

f : Factor de fricción.

L: Longitud de la tubería.

D: Diámetro interno de la tubería.

V: Velocidad promedio de flujo.



Factor de fricción de Darcy para flujo laminar:

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

Ecuación V.9 Factor de fricción de Darcy para flujo laminar.

Esta ecuación muestra que, en el flujo laminar, el factor de fricción sólo es función del número de Reynolds y es independiente de la rugosidad de la superficie de la tubería. (Cengel, 2006, pág. 330).

La mayoría de los flujos que se encuentran en la práctica de ingeniería son turbulentos, por esta razón es importante entender cómo afecta la turbulencia el esfuerzo de corte de pared. Sin embargo, el flujo turbulento es un mecanismo complejo dominado por fluctuaciones, y pese a las innumerables investigaciones realizadas en esta área, la teoría del flujo turbulento aún no se conoce totalmente. En consecuencia, se debe apoyar en experimentos y en correlaciones empíricas o semiempíricas ideadas para diferentes situaciones. (Cengel, 2006, pág. 335).

De igual manera los flujos turbulentos que se encuentran en las tuberías tienden a experimentar pérdidas por caída de presión, estas pérdidas también se pueden calcular con la ecuación de Darcy-Weisbach con la particularidad de que el factor de fricción se calcula de una manera más compleja.

La ecuación siguiente, que permite el cálculo directo del valor del factor de fricción para flujo turbulento, la desarrollaron P. K. Swamee y S. K. Jain. (Mott, 2006, pág. 242).

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\left(\frac{1}{3.7 * \left(\frac{D}{\epsilon} \right)} + \frac{5.74}{(Re^{0.9})} \right) \right) \right]^2}$$

Ecuación V.10 Factor de fricción para flujo turbulento.



5.4.6. Diagrama de Moody.

Uno de los métodos más utilizados para evaluar el factor de fricción emplea el diagrama de Moody que se presenta en el anexo 1. En el diagrama se muestra el factor de fricción f versus el número de Reynolds R_e , con una serie de curvas paramétricas relacionadas con la rugosidad relativa D/ε . Estas curvas las generó L. F. Moody a partir de datos experimentales.

Se grafica en escalas logarítmicas tanto a f como a R_e , debido al rango tan amplio de valores que se obtiene. A la izquierda de la gráfica, para números de Reynolds menores de 2000, la línea recta muestra la relación $f = 64/R_e$ para el flujo laminar. Para $2000 < R_e < 4000$ no hay curvas, debido a que ésta es la zona crítica entre el flujo laminar y el flujo turbulento, y no es posible predecir cuál de ellos ocurrirá. El cambio de flujo laminar a turbulento da como resultado valores para los factores de fricción dentro de la zona sombreada. Más allá de $R_e = 4000$, se grafica la familia de curvas para distintos valores de D/ε . Podemos hacer algunas observaciones importantes acerca de estas curvas:

1. Para un flujo con número de Reynolds dado, conforme aumenta la rugosidad relativa D/ε , el factor de fricción disminuye f .
2. Para una rugosidad relativa D/ε , el factor de fricción f disminuye con el aumento del número de Reynolds, hasta que se alcanza la zona de turbulencia completa.
3. Dentro de la zona de turbulencia completa, el número de Reynolds no tienen ningún efecto sobre el factor de fricción.
4. Conforme se incrementa la rugosidad relativa D/ε , también se eleva el valor del número de Reynolds donde comienza la zona de turbulencia completa. (Mott, 2006, pág. 236).

5.5. Instalación de una bomba.

Para el estudio de la bomba y de la instalación es importante considerar las siguientes secciones, (ver ilustración V.6). (Mataix, 1986, pág. 384)



Diseño y construcción de banco de ensayo para una bomba centrífuga.

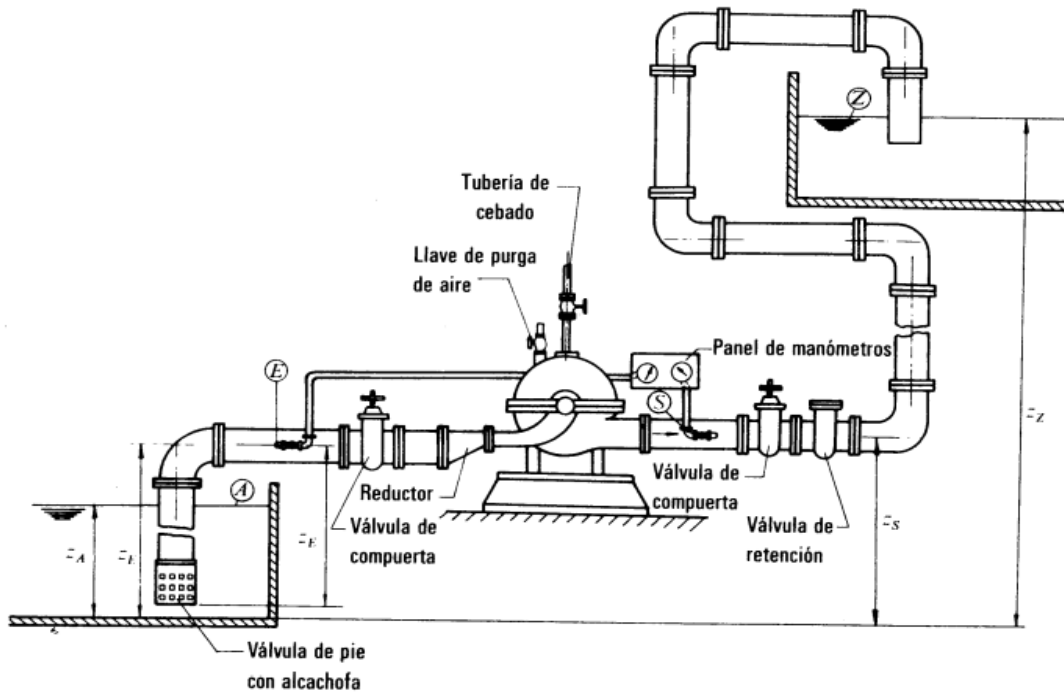


Ilustración V.6. Esquema básico de un Sistema de Bombeo.

Sección A: Nivel superior del agua en el pozo de aspiración.

Sección Z: Nivel superior del agua en el depósito de impulsión.

Sección E: Entrada de la bomba.

Sección S: Salida de la bomba. (Mataix, 1986, pág. 385)

Una instalación consta de una serie de metros de tuberías y accesorios, (codos, contracciones, etc.); en los tramos de tubería hay pérdidas las cuales para nuestro caso de estudio llamaremos pérdidas de carga por fricción en tuberías o pérdidas mayores y en los accesorios, cambios de sección uniones, válvulas tendremos pérdidas las cuales llamaremos pérdidas menores.

5.5.1. Altura útil o efectiva de una bomba.

Altura útil o altura efectiva H que da la bomba es la altura que imparte el rodete o la altura teórica H_u , menos las pérdidas en el interior de la bomba, H_{r-int} :



$$H = H_u - H_{r-int}$$

Ecuación V.11 Altura útil.

5.5.2. Pérdidas mayores y menores.

El fluido en un sistema de tubería típico pasa a través de varias uniones, válvulas, flexiones, codos, ramificaciones en forma de letra T (conexiones en T), entradas, salidas, ensanchamientos y contracciones además de los tubos. Dichos componentes (accesorios) interrumpen el suave flujo del fluido y provocan pérdidas adicionales debido al fenómeno de separación y mezcla del flujo que producen. En un sistema típico, con tubos largos, estas pérdidas son menores en comparación con la pérdida de carga por fricción en los tubos (las pérdidas mayores) y se llaman pérdidas menores. (Cengel, 2006, pág. 347).

Las tuberías de conducción utilizadas en casos reales y prácticos de transporte de fluidos son sinuosas, compuestas de tramos rectos y curvos para ajustarse a los accidentes geográficos del terreno, como también a los cambios que se presentan en la geometría de su sección y de los distintos dispositivos para el control de la descarga. Estos cambios ocasionan pérdidas de energía localizadas en el mismo sitio del cambio de geometría o de alteración del flujo. La magnitud del coeficiente de resistencia depende de la geometría del dispositivo que ocasiona la pérdida y algunas veces depende de la velocidad de flujo. (Mott, 2006, pág. 202).

$$H_{Lmenor} = \sum K * \frac{V^2}{2g}$$

Ecuación V.12 Pérdidas por accesorios (pérdidas menores)

Donde

K: coeficiente de resistencia del accesorio.

V: velocidad de flujo.

g: gravedad.



Instalación de una bomba.

Para el estudio de la bomba y la instalación es importante considerar las siguientes componentes del sistema de bombeo.

5.6. Pérdidas, potencias y rendimientos.

5.6.1. Pérdidas totales.

Todas las pérdidas se pueden clasificar en tres grupos.

- Pérdidas hidráulicas.
- Pérdidas volumétricas.
- Pérdidas mecánicas.

5.6.1.1. Pérdidas hidráulicas.

Disminuyen la energía específica útil que la bomba comunica al fluido y consiguientemente la altura útil. Son de dos clases: pérdidas de superficie y pérdidas de forma, las pérdidas por superficie se producen por rozamiento del fluido con las paredes de la bomba (rodete, corona directriz...) o de las partículas de fluido entre sí; las pérdidas de forma se producen por el desprendimiento de la capa límite, en los cambios de dirección y en toda forma difícil al flujo, en particular a la entrada del rodete si la tangente del alabe no coincide con la dirección de la velocidad relativa a la entrada, o a la salida del rodete si la tangente del alabe de la corona directriz no coincide exactamente con la velocidad absoluta a la salida. Las pérdidas hidráulicas se originan, por lo tanto:

- Entre el punto E y la entrada del rodete (ver ilustración V.6).
- En el rodete.
- En la corona directriz, si existe.
- En la caja espiral.
- Desde la salida de la caja espiral hasta la salida de la bomba, o punto S. (Mataix, 1986, pág. 390).



5.6.1.2. Pérdidas volumétricas.

Estas pérdidas, que se denominan también pérdidas intersticiales, son pérdidas de caudal y se dividen en dos clases: pérdidas exteriores q_e y pérdidas interiores q_i .

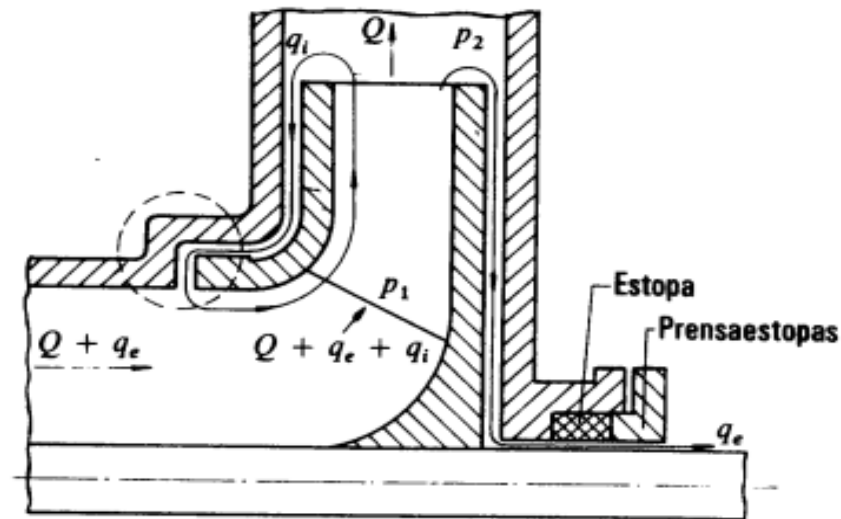


Ilustración V.7. Pérdidas volumétricas en una bomba.

q_e Sale por el prensaestopas al exterior (goteo de la bomba); q_i retrocede por el intersticio; por la tubería de aspiración circula un caudal $Q + q_e$ menor que por el rodete

En la ilustración V.7. Que representa una bomba radial de aspiración única, se han indicado los lugares de la bomba en que tienen lugar las pérdidas q_e y q_i .

Las pérdidas volumétricas exteriores q_e , constituyen una salpicadura de fluido al exterior, que se escapa por el juego entre la carcasa y el eje de la bomba, que la atraviesa. Para reducirlas se utiliza la caja de empaquetadura, que se llena de estopa o material de cierre, provista de su correspondiente tapa o prensaestopas con pernos, que permiten comprimiendo el prensaestopas con el eje de la máquina mejorar el cierre. Esta presión, sin embargo, no puede ser excesiva para no aumentar las pérdidas mecánicas. Como material de cierre se utiliza mucho el amianto grafitado. Si la máquina a de bombear líquidos calientes, o las presiones son grandes, o líquidos corrosivos, radiactivos, etc.;



existen multitud de soluciones a base de anillos de cierre, resortes, etc.; que reducen las pérdidas q_e a un mínimo y hasta a 0, si es necesario. El cierre de la bomba evidentemente se encarece.

En la ilustración V.8 se ven las ocho piezas de un prensaestopas de calidad construido por la casa Danfoss para compresores, bombas de émbolo y bombas centrífugas. En los prensaestopas se originan pérdidas mecánicas que elevan su temperatura, por lo cual en algunas máquinas sobre todo en las de gran potencia se prevé una refrigeración de los mismos.

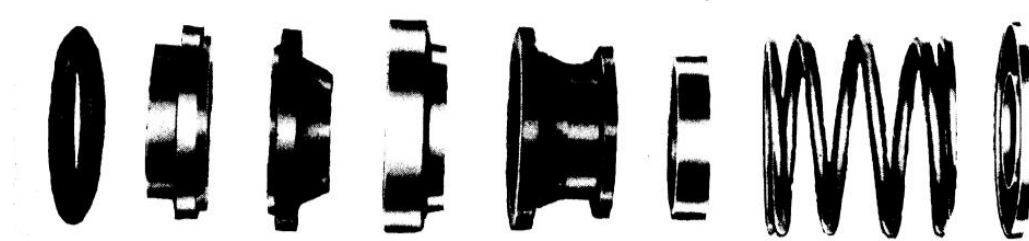


Ilustración V.8. Prensaestopas de la casa Danfoss.

Las pérdidas volumétricas interiores q_i , son las más importantes y reducen mucho el rendimiento volumétrico de algunas bombas; aunque q_e se haya reducido prácticamente a 0 por un prensaestopas de alta calidad. En la bomba de la ilustración V.7. Se ha indicado el lugar donde se produce. La explicación de esta pérdida es la siguiente: a la salida del rodete de una bomba o ventilador hay más presión que a la entrada. Luego parte del fluido en vez de seguir a la caja espiral retrocederá, por el conducto que forma el juego del rodete con la carcasa, a la entrada del rodete, para volver hacer impulsado por la bomba. Este caudal, llamado caudal de cortocircuito, absorbe energía del rodete. (Mataix, 1986, pág. 391).

5.6.1.3. Pérdidas mecánicas.

Las pérdidas mecánicas incluyen las pérdidas por:

- Rozamiento del prensaestopas con eje de la máquina.



Diseño y construcción de banco de ensayo para una bomba centrífuga.

- Rozamiento del eje con los cojinetes.
- Accionamiento de auxiliares (bomba de engranajes para lubricación, cuentarrevoluciones, etc.).

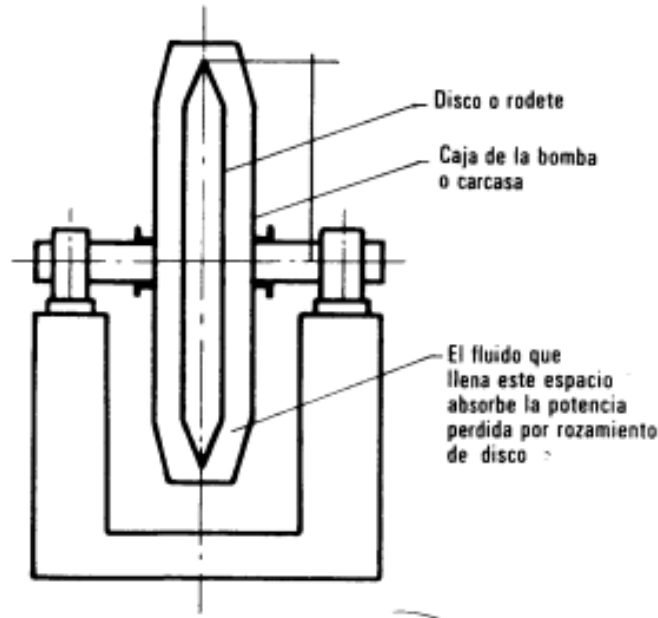


Ilustración V.9. Esquema del rodete de una bomba.

El rodete esquemáticamente es un disco que gira en el interior de una caja en la que no hay vacío. El fluido que llena esta caja absorbe la potencia perdida por rozamiento de disco.

Rozamiento de disco. Se llama así el rozamiento de la pared exterior del rodete con la atmósfera del fluido que la rodea. Es decir, el rodete de una bomba en esquema, como puede verse en la ilustración V.9, es un disco o mejor una caja en cuyo interior circula el fluido; pero en el exterior, o sea en el juego entre el rodete y la carcasa, inevitablemente penetra también el fluido: el disco no gira, pues, en el vacío, si no en una atmósfera viscosa donde se produce un rozamiento que incluimos en las pérdidas mecánicas y se denomina pérdida por rozamiento de disco. (Mataix, 1986, pág. 393).



Diseño y construcción de banco de ensayo para una bomba centrífuga.

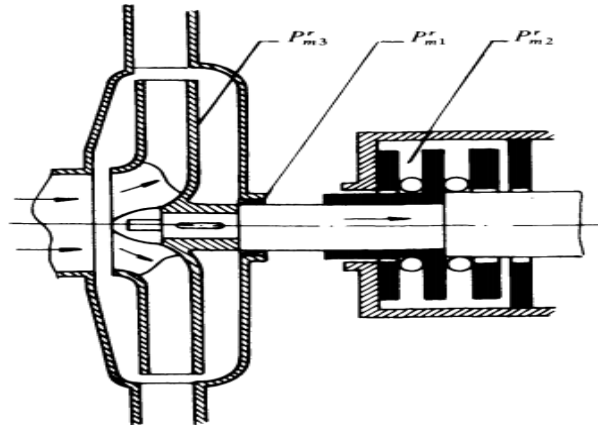


Ilustración V.10. Esquema de bomba radial con cojinete de bolas para contrarrestar el empuje axial.

En la figura se señalan los lugares donde tienen lugar las pérdidas de potencia mecánica P_{m1}^r , P_{m2}^r y P_{m3}^r (prensaestopas, cojinetes y discos, respectivamente). (Mataix, 1986, pág. 393)

5.6.2. Potencia y rendimiento.

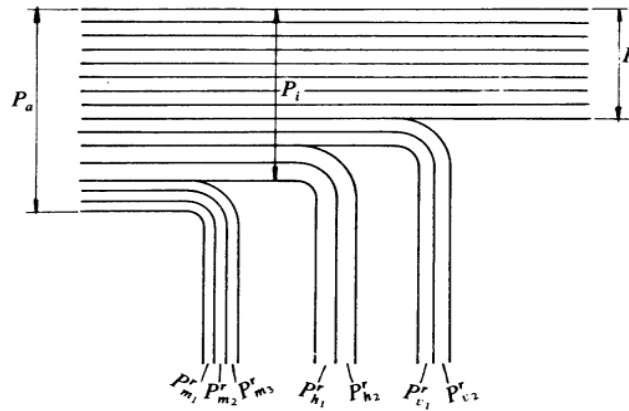


Ilustración V.11. Esquema de potencia en una bomba (o ventilador).

Según la ilustración V.11. La potencia comunicada a la bomba es p_a : por rozamientos mecánicos se pierden las potencias P_{m1}^r , P_{m2}^r y P_{m3}^r (véase en la ilustración V.10); por rozamientos hidráulicos se pierden las potencias P_{h1}^r y P_{h2}^r ; por fugas de caudal se pierden las potencias P_{v1}^r , P_{v2}^r y el incremento de potencia que experimenta el fluido en la máquina es P .



En la figura de potencias de la ilustración V.11, se utiliza la nomenclatura siguiente:

P_a - La potencia de accionamiento = potencia absorbida= potencia al freno = potencia en el eje. Los cuatro nombres se utilizan en la práctica. Así, en un grupo moto-bomba (motor eléctrico- bomba) P_a no es la potencia absorbida de la red, si no la potencia libre en el eje (potencia adsorbida de la red multiplicada por el rendimiento del motor eléctrico).

P_i - potencia interna. Potencia suministrada al rodete, igual a la potencia de accionamiento menos las pérdidas mecánicas.

P - potencia útil. Incremento de potencia que experimenta el fluido en la bomba.

En el mismo gráfico se representan además los equivalentes en potencia de las pérdidas siguientes:

Pérdidas hidráulicas (P_h^r): P_{h1}^r - pérdidas por rozamiento en superficie, P_{h2}^r - pérdidas por rozamiento de forma.

Pérdidas volumétricas (P_v^r): P_{v1}^r - pérdidas por caudal al exterior, P_{v2}^r - pérdidas por corto circuito.

Pérdidas mecánicas (P_m^r): P_{m1}^r - pérdidas por rozamiento en los prensaestopas, P_{m2}^r - pérdidas por rozamiento en los cojinetes y accionamiento de auxiliares, P_{m3}^r - pérdidas por rozamiento en el disco.

Potencia de accionamiento (P_a). Es la potencia en el eje de la bomba o potencia mecánica que la bomba absorbe. Esta potencia según la mecánica tiene la siguiente expresión:

$$P_a = M * \omega = \frac{2\pi}{60} n * M$$

Donde:

n= rpm.

M: momento torsor (m * N)

O también



Diseño y construcción de banco de ensayo para una bomba centrífuga.

$$P_a = 0.1047 n * M \quad W, SI$$

Ecuación V.13 Potencia de accionamiento.

Expresión muy útil en los ensayos de bombas realizados en bancos de prueba, donde se miden con un cuentarrevoluciones y M con un torsiómetro o midiendo el par de reacción con un motor de accionamiento basculante. (Mataix, 1986, pág. 394).

Potencia interna (P_i). Es la potencia total transmitida al fluido, o sea la potencia de accionamiento, descontando las pérdidas mecánicas:

$$P_i = P_a - P_m^r$$

Ecuación V.14 Potencia interna.

Es fácil hallar una expresión hidráulica de P_i en función de las llamadas pérdidas internas, que son las pérdidas hidráulicas y las pérdidas volumétricas. En efecto, el rodete entrega al fluido una energía específica equivalente a una altura $H_u = H - H_{rinterior}$, y esta altura la entrega al caudal bombeado por el rodete, que es $Q + q_e + q_i$. Luego. (Mataix, 1986, pág. 395).

$$P_i = (Q + q_e + q_i)\rho g(H - H_{r-int}) = (Q + q_e + q_i)\rho gH_u$$

Ecuación V.15 Potencia interna en función de las pérdidas internas.

Potencia útil (P). Es la potencia de accionamiento descontando todas las pérdidas de la bomba o equivalentemente la potencia interna descontando todas y sólo las pérdidas internas (hidráulicas y volumétricas).

$$P = P_a - P_m^r - P_v^r - P_h^r = P_i - P_v^r - P_h^r$$

Ecuación V.16 Potencia útil.

La potencia útil por otra parte será la invertida en impulsar el caudal útil Q a la altura útil



H. (Mataix, 1986, pág. 395).

Luego

$$P = Q\rho gH$$

Ecuación V.17 Potencia útil en función del caudal útil y la altura útil.

Rendimiento hidráulico (η_h). Tiene en cuenta todas y sólo las pérdidas de altura total en la bomba. Como, según la Ecuación. $H = H_U - H_{Rinterior}$, el valor de η_h es:

$$\eta_h = H/H_u$$

Ecuación V.18 Rendimiento hidráulico.

Nótese que $H_{Rinterior}$ son las pérdidas de altura total hidráulica expresada en m. SI, mientras que P_h^r son las mismas pérdidas hidráulicas expresadas en W, SI, de manera que

$$P_h^r = Q\rho gH_{Rinterior}$$

Y análogamente $q_e + q_i$ son las pérdidas volumétricas en m^3/s , SI; mientras que P_v^r son las mismas pérdidas expresadas en W, SI. (Mataix, 1986, pág. 395).

Rendimiento volumétrico (η_v). Tiene en cuenta todas y sólo las pérdidas volumétricas, y su valor es:

$$\eta_v = \frac{Q}{Q + q_e + q_i}$$

Ecuación V.19 Rendimiento volumétrico.

Donde

Q: caudal útil o caudal efectivo impulsado por la bomba.



$Q + q_e + q_i$: Caudal teórico o caudal bombeado por el rodete (véase ilustración V.7).

Rendimiento interno (η_i). Tiene en cuenta todas y sólo las pérdidas internas, o sea las hidráulicas y volumétricas y engloba ambos rendimientos hidráulico y volumétrico. (Mataix, 1986, pág. 396).

$$\eta_i = \frac{P}{P_i}$$

Ecuación V.20 Rendimiento interno.

Ahora bien, según la ecuación (V.15)

$$P_i = (Q + q_e + q_i)\rho g H_u = \frac{Q\rho g H}{\eta_v \eta_h}$$

Y teniendo en cuenta la ecuación (V.16) se tendrá:

$$\eta_i = \frac{P}{P_i} = \frac{Q \rho g H \eta_h \eta_v}{Q \rho g H}$$

Y finalmente

$$\eta_i = \eta_v \eta_h$$

Ecuación V.21 Rendimiento interno en función de las pérdidas internas, caudal útil y altura útil.

Rendimiento mecánico (η_m). Tiene en cuenta todas y sólo las pérdidas mecánicas, y su valor (véase Figura V.11) es:

$$\eta_m = \frac{P_i}{P_a}$$

Ecuación V.22 Rendimiento mecánico.

Rendimiento total (η_{tot}). Tiene en cuenta todas las pérdidas en la bomba, y su valor (véase la Figura V.11) es:

$$\eta_{tot} = \frac{P}{P_a}$$

Ecuación V.23 Rendimiento total.



Relación entre los rendimientos.

Teniendo en cuenta las ecuaciones (V.20), (V.21), (V.22), (V.23) se tendrá:

$$\eta_{tot} = \frac{P}{P_a} = \frac{P}{P_i} \frac{P_i}{P_a} = \eta_i \eta_m = \eta_v \eta_h \eta_m$$

Ecuación V.24 Relación entre rendimientos.

O bien.

$$\eta_{tot} = \eta_i \eta_m = \eta_v \eta_h \eta_m$$

El rendimiento total de una bomba es el producto del rendimiento interno por el rendimiento mecánico, o también el producto de los tres rendimientos: hidráulico, volumétrico y mecánico. (Mataix, 1986, pág. 397).

Es útil ahora expresar la potencia de accionamiento en función de Q y de H (expresión hidráulica de la potencia de accionamiento, en contraposición a la expresión mecánica).

$$P_a = \frac{Q \rho g H}{\eta_i \eta_m} = \frac{Q \rho g H}{\eta_v \eta_h \eta_m} = \frac{Q \rho g H}{\eta_{tot}}$$

Ecuación V.25 Potencia de accionamiento en función del caudal y la altura.

Así mismo la potencia interna en función de los rendimientos hidráulicos y volumétricos se expresa, como ya hemos visto, así:

$$P_i = \frac{Q \rho g H}{\eta_v \eta_h}$$

Ecuación V.26 Potencia interna en función de los rendimientos hidráulicos y volumétricos.

5.7. Curva característica.

La curva característica de una bomba centrífuga, es un gráfico que representa la relación única de altura-caudal que garantiza la bomba a determinada velocidad de rotación de su impulsor.



De esta forma, los fabricantes de las bombas para agua y otros productos, suelen generar para cada uno de sus modelos, catálogos desde los cuales el diseñador de las estaciones de bombeo, pueda seleccionar la curva característica de una bomba centrífuga en función del punto de operación de la instalación en la que ésta se dispondrá. (Salas, 2008).

5.7.1. Curva altura-caudal.

Para determinar experimentalmente la relación $H(Q)$ correspondiente a unas revoluciones (n) dadas, se ha de colocar un vacuómetro en la aspiración y un manómetro en la impulsión, o bien un manómetro diferencial acoplado a dichos puntos. En la tubería de impulsión, aguas abajo del manómetro, se instala una llave de paso que regula el caudal, que ha de ser aforado. La velocidad de rotación se puede medir con un tacómetro o con un estroboscopio. Con un accionamiento por motor de corriente alterna, dicha velocidad varía muy poco con la carga.

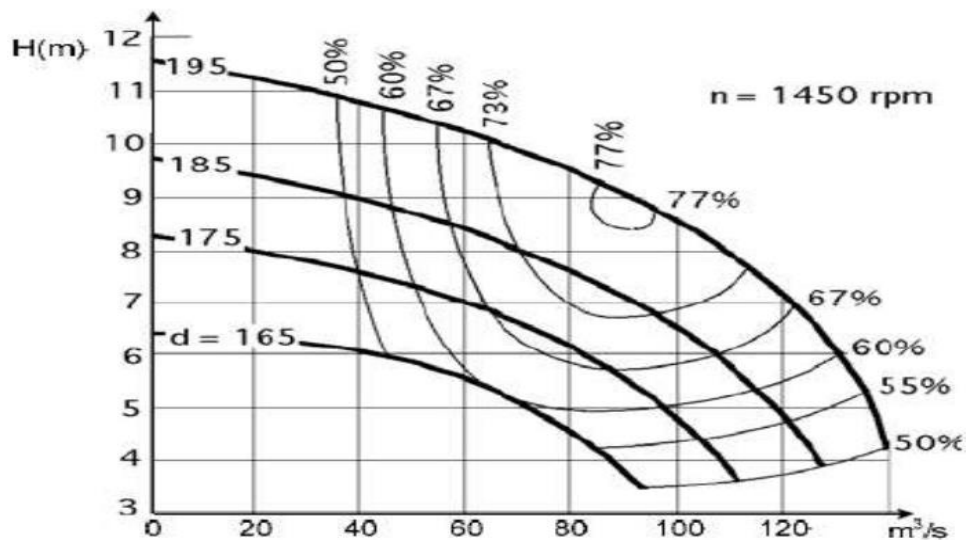


Ilustración V.12. Curva característica de una bomba centrífuga con distintos diámetros de rodete.

La curva que se obtiene corta el eje ($Q = 0$) en un punto en el que la bomba funciona



como agitador, elevando un caudal nulo. Esta situación se consigue cerrando totalmente la llave de paso en el origen de la tubería de impulsión. El llamado caudal a boca llena es el que corresponde a ($H = 0$), dando un caudal máximo. (Salas, 2008).

5.7.2. Curva rendimiento-caudal.

El rendimiento de la bomba o rendimiento global es la relación entre la potencia útil o hidráulica y la potencia al freno. Este es, en general, suministrado por los constructores de la bomba, y considera las pérdidas por fugas (rendimiento volumétrico) y por rozamientos en ejes y caras del impulsor (rendimiento mecánico).

En la ilustración V.13. El rendimiento es nulo para un caudal cero. Entre ambos el rendimiento varía, alcanzando el máximo en un punto correspondiente a un cierto caudal, llamado caudal nominal de la bomba, que es aquel para el cual ha sido diseñada la bomba.

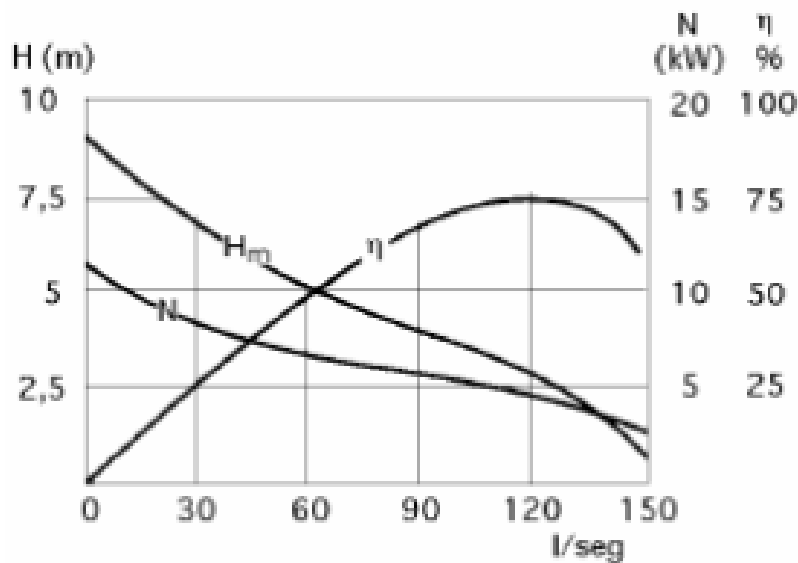


Ilustración V.13. Curva característica de rendimiento y potencia en función del caudal de una bomba centrífuga.

5.7.3. Curva potencia-caudal.

Según (Salas, 2008), en la teoría, la potencia suministrada (potencia hidráulica) por el eje del impulsor es la ecuación V.17.



$$P = \gamma QH.$$

En la práctica, las pérdidas por rozamiento hidráulico, mecánico y las posibles fugas dan lugar a que la potencia al freno (potencia de accionamiento o absorbida al motor por el eje de la bomba) P_a difiera de P (potencia útil). Su valor se obtiene en laboratorio mediante un dinamómetro o freno, aplicando la relación:

$$P_a = T * n$$

Ecuación V.27 Potencia absorbida por el eje de la bomba.

Siendo “T” el par resistente de la bomba, el cual es el producto de “F x r” donde “r” es el brazo donde se aplica la fuerza tangencial “F”, “n” es el número de revoluciones o vueltas en la unidad de tiempo, o velocidad angular.

La relación entre la potencia útil (hidráulica) y la potencia al freno (potencia de accionamiento), mide el rendimiento global. Se determina a partir de la ecuación V.23.

$$\eta_{tot} = \frac{P}{P_a}.$$

La potencia absorbida por el eje de la bomba o potencia al freno es la potencia que necesita la bomba para realizar una determinada cantidad de trabajo. Es igual a la potencia hidráulica o potencia que necesita la bomba para elevar el agua, más la potencia consumida en rozamientos, y viene determinada por la ecuación V.28.

$$P_a = \frac{Q\rho gH}{\eta_i\eta_m} = \frac{Q\rho gH}{\eta_v\eta_h\eta_m} = \frac{Q\rho gH}{\eta_{tot}}.$$

También se puede utilizar la siguiente expresión para potencias expresadas en C.V.

$$P_a = \frac{QH}{75\eta_{tot}}$$

Ecuación V.28 Potencia absorbida por el eje de la bomba.

Donde

P_a : Potencia de la bomba (C.V.).



Q : Caudal (l/s).

H : Altura manométrica total (m).

η_{tot} : Rendimiento de la bomba (%).

Para cada posición de la llave de regulación del caudal, se determinará la potencia P_a , con lo que la curva característica $P_a(Q)$ queda determinada con la Ilustración V.14.

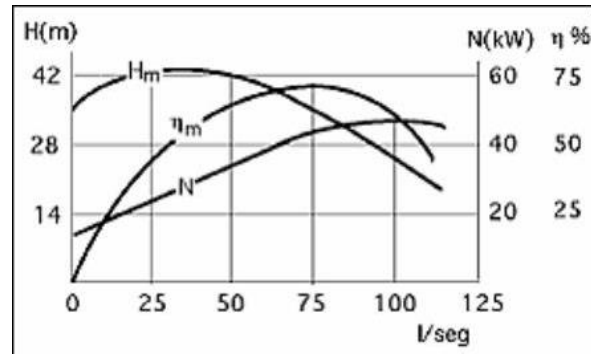


Ilustración V.14. Curva característica de una bomba radial centrífuga.

La potencia absorbida por la bomba es la que tiene que suministrar el motor (eléctrico o combustión o hidráulico) por el rendimiento de dicho motor (η_{motor}) (Salas, 2008)

$$P_{bomba} = P_{motor} * \eta_{motor}$$

Ecuación V.29 Potencia absorbida por la bomba en función de la potencia del motor.

El cálculo de la potencia de un motor trifásico está dado por la ecuación V.30. (GeneratePress, 2021)

$$P_{motor} = \sqrt{3} * I * V * Fp * \eta$$

Ecuación V.30 Potencia del motor.

$$M = \frac{HP * 5252}{rpm}$$

Ecuación V.31. Par torsor.

Para la obtención de la curva del sistema se parte de la conservación de la energía teniendo en cuenta la siguiente ecuación V.32.



$$H_B = \Delta Z + H_L \left(\frac{Q^2}{2gA^2} \right)$$

Ecuación V.32. Altura del sistema.

5.8. Identificación de metales por prueba de chispa

La prueba de chispa del acero es un método útil para identificar el tipo de acero. Tiene capacidades para determinar el contenido relativo de carbono de los aceros. La prueba de chispas es una prueba de identificación simple que se utiliza para observar el color, el espaciado, la cantidad y la calidad de las chispas producidas por la molienda de una muestra de acero. Cuando se sostienen suavemente contra una muela abrasiva, los diferentes tipos de hierro y acero producen chispas que varían en longitud, forma y color. Estas chispas se pueden comparar con un gráfico o con chispas de una muestra de prueba conocida para determinar la clasificación. La prueba de chispa se usa normalmente para clasificar materiales ferrosos, estableciendo la diferencia entre sí observando si la chispa es la misma o diferente. El hierro fundido también proporciona un tipo característico de chispa. Sin embargo,

La diferencia en las chispas producidas al aplicar aceros de diferentes composiciones contra una rueda abrasiva giratoria se describió por primera vez en 1804. Se encuentran características definidas de chorro de chispa en los aceros para cada uno de los componentes de la aleación, cromo, manganeso, molibdeno, níquel, tungsteno y vanadio. Se puede confiar en la prueba de chispa como un medio para clasificar los aceros en grupos de composición similar, pero no se puede usar con éxito como un medio para identificar aceros desconocidos. (IspatGuru, 2020)

El desprendimiento de virutas se efectúa por el roce de la piedra esmeril o disco de pulir con el acero o muestra a analizar, y da como resultado un calentamiento de las partículas, que son arrojadas a gran velocidad por el aire, con lo cual se produce una combustión de los elementos constituyentes del acero con el oxígeno del entorno, ofreciendo características y detalles de la composición química del mismo.

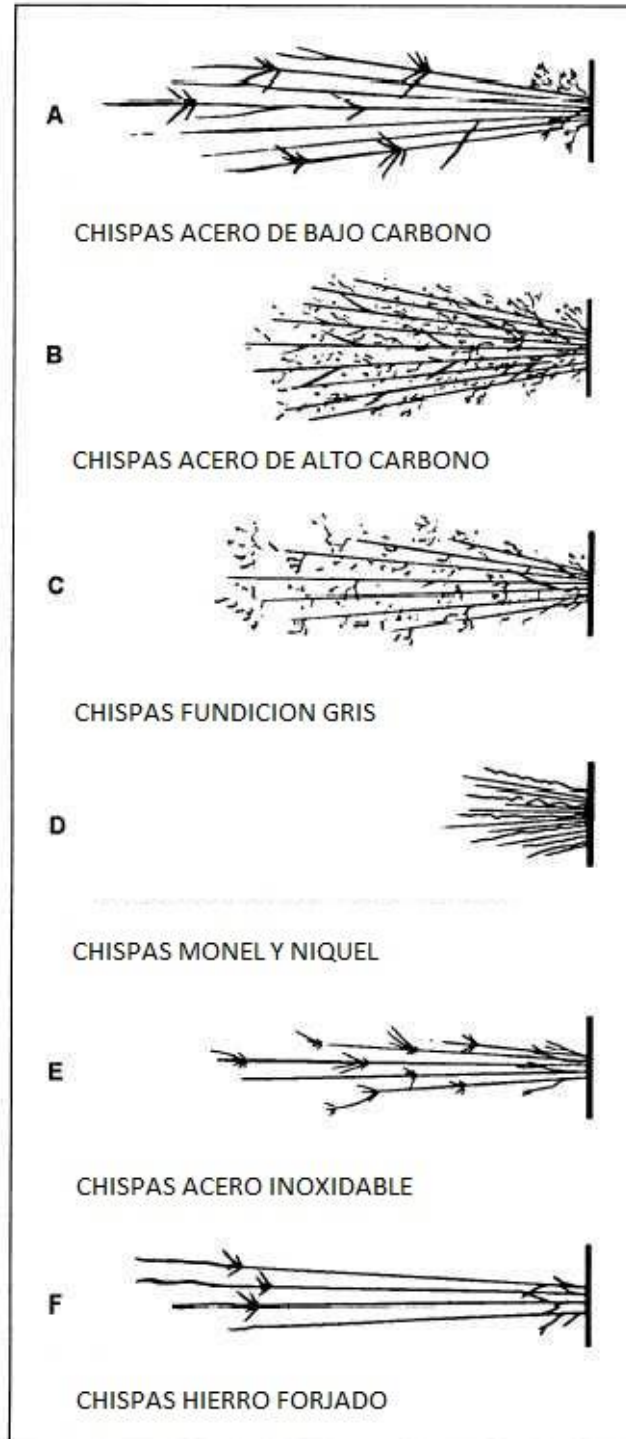


Ilustración V.15. Representación gráfica de los distintos tipos de chispa en varios materiales de ingeniería.



En la ilustración V.15 se muestran algunos de tipos de chispa de los metales más comúnmente usado en metalurgia e ingeniería. (Saavedra, 2010)

5.9. Vertedero.

Un vertedero triangular de pared delgada es una instalación de control que consiste en un canal de aproximación de sección rectangular en cuyo extremo se coloca una placa vertical delgada con una incisión en forma de “V” sobre el cual circula el flujo. Esta se ubicará de forma que bisectriz este vertical y equidistante a las paredes del canal.

Una instalación típica de medición con un vertedero triangular es la siguiente:

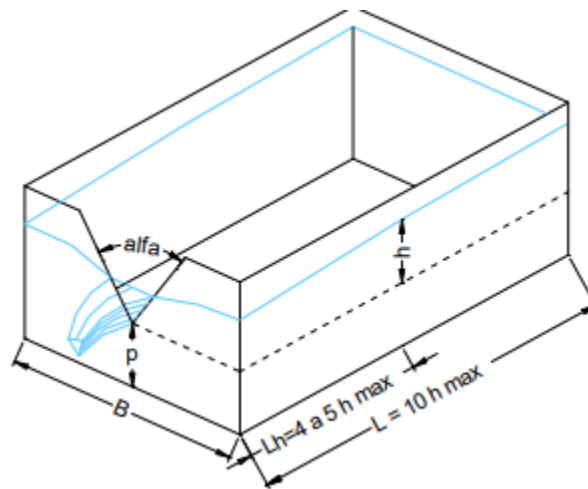


Ilustración V.16. Vertedero triangular.

Para el cálculo del caudal mediante el vertedero triangular está dado por la ecuación V33. (Dinama, 2004)

$$Q = C_e * \frac{8}{15} * \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) * \sqrt{2 * 9.81 \frac{m}{s^2} * H^2}^{\frac{5}{2}}$$

Ecuación V.33. Caudal del vertedero triangular.

5.10. Sistema de soldadura por arco eléctrico.

Es un proceso de arco eléctrico que produce la coalescencia de los metales por



calentamiento de ellos con un arco, entre un electrodo de metal revestido y las piezas de trabajo. Es el más simple y popular de los procesos de soldadura se usa para soldar materiales ferrosos y no ferrosos en espesores por lo general mayores de 1 mm. En toda posición.

Casi todos los metales conocidos pueden soldarse por varios métodos. Sin embargo, la soldadura de arco eléctrico utilizando electrodos recubiertos es principalmente aplicable a los aceros. Los aceros tienen muchas propiedades diferentes dependiendo de la cantidad de aleación que contengan. Los electrodos para soldadura deben seleccionarse de acuerdo con la composición del metal que se desea soldar. (Oxgasa)

Para la determinación del número de pasada se tienen relaciones optimas entre diámetro del electrodo y el área de la sección transversal del cordón de soldadura.

$$A_r = (6 - 8)d$$

Ecuación V.34. Cordón de raíz.

$$A_n = (8 - 12)d$$

Ecuación V.35. Cordón de relleno.

Para determinar el número de pasadas es necesario conocer el área de la sección transversal de la costura

$$A_T = 0.75 b * c$$

Ecuación V.36. Área de la sección transversal de la soldadura sin holgura.

$$A_T = a * s + 0.75 b * c$$

Ecuación V.37. Área de la sección transversal de la soldadura con holgura.



Diseño y construcción de banco de ensayo para una bomba centrífuga.

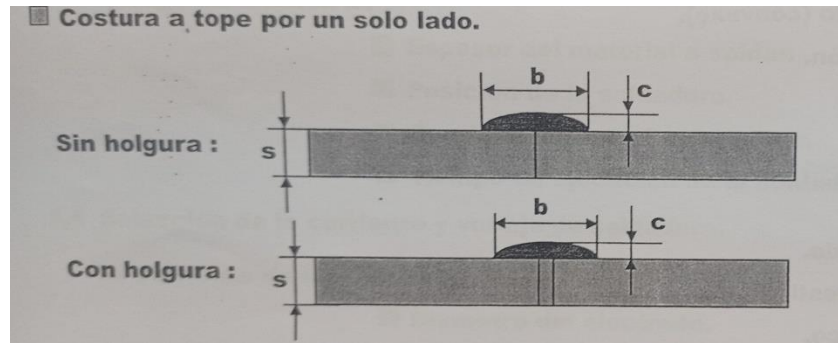


Ilustración V.17. Costura a tope por un solo lado.

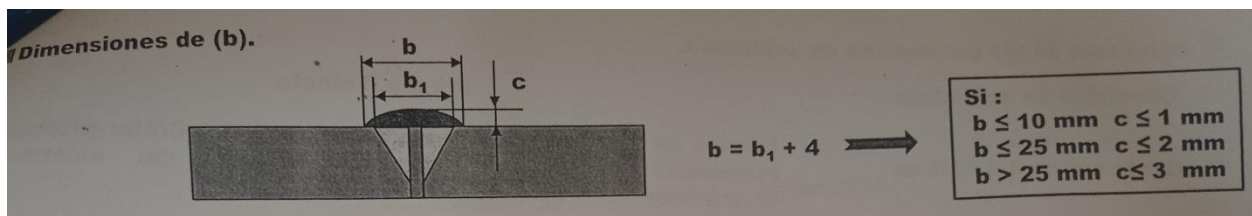


Ilustración V.18. Dimensiones de "b".

Cuando se conocen las áreas de las costuras, cordón de raíz y de los cordones de relleno, se puede determinar el número de pasadas.

$$A_T = n * A_n + A_r$$

Despejando:

$$n = \frac{A_T - A_r}{A_n}$$

Ecuación V.38. Número de pasada de soldadura.

$$Cmd = Md * L$$

Ecuación V.39. Cantidad de metal a depositar.

Para determinar la cantidad de metal a depositar se tiene la siguiente ecuación:

Donde:



Diseño y construcción de banco de ensayo para una bomba centrífuga.

Cmd: cantidad de metal a depositar (lb).

Md: consumo de material depositado (lb/ft).

L: longitud de la junta (ft).

Como se sabe durante la soldadura hay pérdidas de metal por salpicadura, sobrantes de electrodos, escoria, por lo que la cantidad de material consumible debe ser mayor. Para determinar la cantidad total de material consumible (electrodo) se debe tener en cuenta el rendimiento en (%) del proceso que se utilice en el caso de soldadura con electrodos revestidos el rendimiento (Re) es de (55-65%). (Ojeda.)

$$Ct = \frac{Ce (lb)}{Re(\%)}$$

Ecuación V.40. Cantidad total de material consumible (electrodo).

Resistencia de la soldadura a tracción o compresión. (Ringegni, 2013)

$$\sigma_{adm} = \frac{p}{h * l}$$

Ecuación V.41. Esfuerzo admisible a tracción o compresión.

Donde.

p: Fuerza N.

h: Altura de la garganta m.

l: Longitud de cordón m.

La tensión de trabajo (σ) deberá ser menor que la tensión del material (σ_{mat}) de la soldadura más solicitada, multiplicada por 0.6.

$$\sigma_{adm} = \frac{P}{h * l} \leq 0.6 * \sigma_{material}.$$



5.11. Paredes rectangulares expuestas a presión.

En un líquido homogéneo en reposo el cambio de presión, debido un cambio en la elevación, se calcula por medio de:

$$\Delta p = \gamma * h$$

Ecuación V.42. Cambio de presión.

Donde:

γ : peso específico.

h: cambio en la elevación.

La fuerza real se distribuye sobre toda la pared, pero propósito de análisis es deseable determinar la fuerza resultante y el lugar en que actúa, el cual se denomina centro de presión. Es decir, si toda la fuerza se concentrara en un solo punto ¿Dónde estaría éste y cuál sería la magnitud de la fuerza?

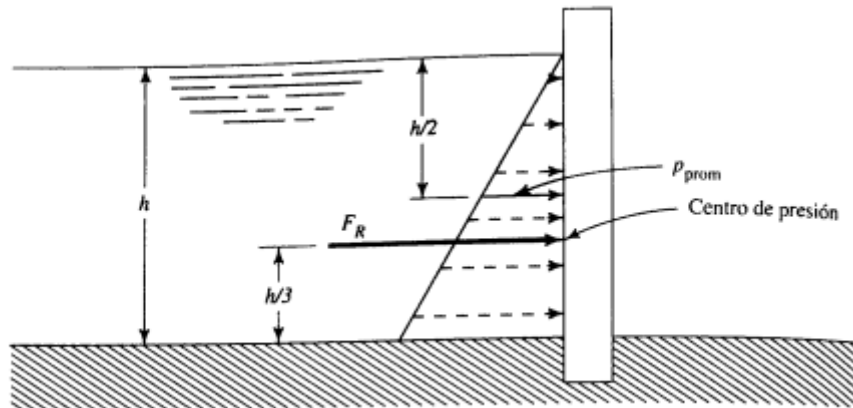


Ilustración V.19. Distribución de la presión sobre el muro vertical de contención.

Como lo indica la ecuación V.42. La presión varía en forma lineal (a la manera de una línea recta) con la profundidad del fluido. Las longitudes de las flechas punteadas representan la magnitud de la presión del fluido en puntos diferentes sobre el muro. Debido a que la presión varía en forma lineal, la fuerza resultante total se calcula por medio de la ecuación V.43.



$$F_R = P_{prom} * A$$

Ecuación V.43. Fuerza resultante.

Donde:

P_{prom} : presión promedio. (KN)

A: área total del muro. (m²)

Pero la presión promedio es la que se ejerce en la mitad del muro, por lo que se calcula por medio de la ecuación V.44.

$$P_{prom} = \gamma * \frac{h}{2}$$

Ecuación V.44. Presión promedio.

Donde:

h: es la profundidad total del fluido.

La distribución de la presión mostrada en la Ilustración V.19, indica que sobre la parte inferior de la pared actúa una porción mayor de fuerza que sobre la parte superior. El centro de presión está donde en el centroide del triángulo de distribución de la presión a un tercio de la distancia desde el fondo de la pared. En este punto, la fuerza resultante FR actúa en forma perpendicular a la pared. (Mott, 2006, pág. 88)



VI. Desarrollo.

6.1. Proceso de restauración de estructura del banco de ensayo

La base pasó por un proceso de restauración ya que tenía vicios ocultos. La pintura no permitía ver a simple vista la oxidación avanzada que tenía en la parte inferior del tanque de succión. Para lograr restaurar la base fue necesario remover toda la pintura como se muestra en ilustración VI.1.



Ilustración VI.1. Depósitos de succión y descarga posteriormente a la remoción de la pintura.

Una vez removida la pintura se procedió a evaluar el estado del depósito de succión, en las partes donde se encontró un daño irreparable se optó por reemplazar la sección dañada de la lámina.

6.1.1. Determinación del material de los depósitos de succión y descarga.

Para determinar el material en el que estaban construida la estructura se empleó el método de la chispa. Como se explica en el apartado 5.8, el método consiste en hacer



cortes en el material a analizar, para ver el tipo y la forma de la chispa que este desprende al estar en contacto con el esmeril. (Ver ilustración V.15), para nuestro caso de estudio el material fue la lámina, de la parte trasera del depósito de succión y se obtuvo como resultado que la chispa era la típica de un acero con bajo contenido de carbono. (Ver ilustración VI.2)



Ilustración VI.2. Método de la chispa para determinación de material.

6.1.2. Aplicación de soldadura.

Se tomaron las siguientes consideraciones:

Espesor de la lámina lateral: calibre 1/8



Las dimensiones de la sección de material que se remplazo fue de $4 \frac{1}{2} \times 4 \frac{1}{2}$ in.

Material acero de bajo contenido en carbono

Tomando como referencia los materiales y espesores en que están construidos los depósitos de succión y descarga seleccionamos el electrodo Lincoln 6013 el cual posee características (Ver anexo 24) que lo hacen idóneo para el proceso antes mencionado, electrodo es recomendado por la norma ASTM A36 para este tipo de materiales.

El Acero A36 es conocido como un acero de fácil soldabilidad, por lo que se recomienda utilizar las siguientes tipos de soldaduras Lincoln Electric: 6010, 6011, 6013, 7018, 7024, 308, 309, 312, 316. (Baldeon, s.f.)

Una vez removida la sección dañada del depósito de succión se determinó un diámetro de $\frac{1}{8}$ " por recomendación de catálogo (Ver anexo 25) en base a la condicionante del espesor de la lámina.

6.1.2.1. Cálculo de las áreas del cordón de soldadura.

Según tabla de separación de juntas para soldadura (Ver anexo 27), para una lámina de $\frac{1}{8}$ in = 3.17mm de espesor.

Mediante la ecuación V.37 se determina el área del cordón de soldadura. Sabiendo que $b = 4$ mm y $c = 1$ mm. (Ver ilustración V.18)

$$A_r = a * s + 0.75 b * c = 1.5 \text{ mm} * 3.17 \text{ mm} + 0.75 * 4 \text{ mm} * 1 \text{ mm} = 7.75 \text{ mm}^2$$

6.1.2.2. Cálculo de número de pasada.

Para determinar el número de pasadas un primer factor es el cálculo de cordón raíz (ecuación V.34).

$$A_r = (8)d = 8 * 3.17 \text{ mm} = 25.4 \text{ mm}^2$$

Para el área de la segunda pasada y demás se tiene la ecuación V.35.



Diseño y construcción de banco de ensayo para una bomba centrífuga.

$$A_n = (12)d = 12 * 3.17 \text{ mm} = 38.1 \text{ mm}^2$$

Cuando se conocen las áreas de costura se puede determinar el número de pasadas (ecuación V.38).

$$n = \frac{A_T - A_r}{A_n} = \frac{7.75 \text{ mm}^2 - 25.4 \text{ mm}^2}{38.1 \text{ mm}^2} = -0.46$$

El número de pasada es 1, porque $n < 0$, Indica directamente que solo se necesita una pasada.

Para determinar la cantidad de metal a depositar se procedió a buscar en la tabla de consumo del metal depositado según tipo de junta (Ver anexo 26). Y se obtiene el peso de metal que es necesario depositar en la junta, luego se aplica la ecuación V.39

$$C_e = Md * L = 0.065 \frac{\text{lb}}{\text{ft}} * 1.5 \text{ ft} = 0.1 \text{ lb}$$

Para determinar la cantidad real de electrodos se emplea la ecuación V.40, teniendo en cuenta un rendimiento de electro del 60%.

$$C_t = \frac{C_e (\text{lb})}{Re(\%)} = \left(\frac{0.1}{0.60} \right) = 0.166 = 0.2 \text{ lb}$$

Sabiendo que 2.2046 lb equivalen a 32 varillas de electrodo Lincoln 6013 de 1/8 in se necesitan 3 varillas para reemplazar la sección de lámina dañada por oxidación en el depósito de succión del banco.

Para el resto del depósito se removió todo el óxido, se pulió la superficie y se aplicó un recubrimiento en fibra de vidrio esto con el fin proteger de una futura oxidación la estructura de los depósitos.

Posterior a esto se aplicó impermeabilizante a las partes interiores de los tanques de succión y descarga.



Diseño y construcción de banco de ensayo para una bomba centrífuga.



Ilustración VI.3. Depósito de succión.

Ilustración VI.4. Depósito de descarga.

Luego de aplicar impermeabilizante se aplicó pintura a los depósitos de succión y descarga.



Ilustración VI.5. Aplicación de pintura base a depósitos de succión y descarga.



Ilustración VI.6. Aplicación de pintura final a depósitos de succión y descarga.



6.1.3. Cálculo de presión y fuerzas ejercidas sobre las láminas de los depósitos del banco.

El cambio de presión se calcula multiplicando el peso específico del líquido por la altura del líquido (ecuación V.42), para observar la presión ejercida a lo largo de las paredes de los depósitos, en función del cambio de elevación del nivel del líquido ver las tabla VI.1, VI.2.

Para la determinación de la fuerza ejercida sobre los depósitos debemos considerar los siguientes parámetros:

Área del depósito de succión (pared frontal y trasera 0.486 m²).

Área del depósito succión (pared lateral izquierda y derecha 0.462 m²).

Área del depósito de descarga (pared frontal y trasera 0.885 m²).

Área del depósito de descarga (pared lateral izquierda y derecha 0.578 m²).

La densidad del agua es 996.02 kg/m³. (Ver anexo 16).

Cambio de elevación.	Presión en las láminas del depósito de succión.	Fuerza en láminas laterales del depósito de succión	Fuerza en láminas frontal y trasera del depósito de succión.
Altura	Presión	Fuerza	Fuerza
h (m)	P (kpa)	F(KN)	F(KN)
0	0	0.00	0.00
0.05	0.49	0.23	0.24
0.1	0.98	0.45	0.47
0.2	1.95	0.90	0.95
0.3	2.93	1.35	1.42
0.4	3.91	1.81	1.90
0.5	4.89	2.26	2.37
0.6	5.86	2.71	2.85

Tabla VI.1. Presión y fuerza ejercida en las láminas del depósito de succión.



Diseño y construcción de banco de ensayo para una bomba centrífuga.

Cambio de elevación.	Presión en las láminas del depósito de descarga.	Fuerza en láminas laterales del depósito de descarga.	Fuerza en láminas frontal y trasera del depósito de descarga.
Altura	Presión	Fuerza	Fuerza
h (m)	P (kpa)	F(KN)	F(KN)
0.05	0.49	0.28	0.43
0.15	1.47	0.85	1.30
0.25	2.44	1.41	2.16
0.35	3.42	1.97	3.03
0.45	4.40	2.54	3.89
0.55	5.37	3.10	4.76
0.65	6.35	3.67	5.62
0.75	7.33	4.23	6.49

Tabla VI.2. Presión y fuerza ejercida en las láminas del depósito de descarga.

En las tablas VI.1 y VI.2, se aprecia la fuerza ejercida sobre las paredes de los depósitos tanto de succión como descarga respectivamente, sabiendo que esta fuerza no es más que el producto de la presión por área de cada uno de los lados de los depósitos.

De las tablas VI.1 y VI.2, también podemos observar que la presión varía desde cero en la superficie del fluido, a un máximo en el fondo de la pared. Esta es la presión que está siendo ejercida por el agua sobre los cuatro lados de cada depósito respectivamente. A continuación se detalla el cálculo la presión máxima ejercida sobre las paredes de cada de depósito.

Succión.

$$\Delta p = \gamma * h = 9.7709 \text{ KN/m}^3 * 0.60\text{m} = 5.86 \text{ kpa}$$

Descarga.

$$\Delta p = \gamma * h = 9.7709 \text{ KN/m}^3 * 0.75\text{m} = 7.33 \text{ kpa}$$



Para determinar la fuerza promedio se utiliza la ecuación V.44

Succión.

$$P_{prom} = \gamma * \frac{h}{2} = 9.7709 \frac{KN^3}{m} * 0.3 m = 2.93 Kpa$$

Descarga.

$$P_{prom} = \gamma * \frac{h}{2} = 9.7709 \frac{KN^3}{m} * 0.375 m = 3.66 Kpa$$

Para determinar la fuerza resultante se utiliza la ecuación V.43 sabiendo que la fuerza resultante dependerá del área de cada pared de los depósitos se tiene lo siguiente:

Succión.

Pared frontal y trasera.

$$F_R = P_{prom} * A = 2.93 Kpa * 0.486 m^2 = 1.42 KN$$

Pared lateral izquierda y derecha.

$$F_R = P_{prom} * A = 2.93 Kpa * 0.462 m^2 = 1.35 KN$$

Descarga.

Pared frontal y trasera.

$$F_R = P_{prom} * A = 3.66 Kpa * 0.885 m^2 = 3.23 KN$$

Pared lateral izquierda y derecha.

$$F_R = P_{prom} * A = 3.66 Kpa * 0.578 m^2 = 2.11 KN$$



El centro de presión está a distancia de $h/3$ a partir del fondo de cada pared.

Succión.

$$\frac{h}{3} = \frac{0.60}{3} = 0.2 \text{ m}$$

Descarga.

$$\frac{h}{3} = \frac{0.75}{3} = 0.25 \text{ m}$$

La fuerza a la que estará sometida la lámina inferior del banco de ensayo será la correspondiente al peso del agua.

Volumen de succión. 0.37422 m^3 .

Volumen de descarga. 0.68145 m^3 .

$$W = (V_{suc} + V_{desc})\rho g = (0.374\text{m}^3 + 0.681 \text{ m}^3) * 996.02 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 10.31 \text{ KN}$$

6.1.4. Esfuerzos admisibles en las soldaduras de cada lámina.

Tomando como referencia que el banco está construido en acero A36 por catálogo se conoce que su límite de fluencia es de 2549 kg/cm^2 .

De las tablas VI.1 y VI.2, se toma el valor de la fuerza máxima que reciben las paredes de cada depósito y mediante la ecuación V.41 se determina el esfuerzo a la tensión en las soldaduras.

Succión.

Para la soldadura en lámina frontal y trasera se tiene que la fuerza máxima ejercida sobre esas paredes será de $2,850 \text{ N}$; el cordón de soldadura tiene una longitud de 3.41 m y la altura de la garganta de soldadura es de 0.001 metros .



Diseño y construcción de banco de ensayo para una bomba centrífuga.

$$\sigma_{adm} = \frac{p}{h * l} = \frac{2850 N}{0.001m * 3.41m} = 835.777 kpa = 8.523 kg/cm^2$$

$$\sigma_{adm} = 8.523/cm^2 \leq 1,529.4kg/cm^2$$

Para la soldadura en lámina lateral izquierda y derecha se tiene que la fuerza máxima ejercida sobre esas paredes será de 2,710 N; el cordón de soldadura tiene una longitud de 2.87 m y la altura de la garganta de soldadura es de 0.001 metros

$$\sigma_{adm} = \frac{p}{h * l} = \frac{2710 N}{0.001m * 2.87m} = 944.250 kpa = 9.629 kg/cm^2$$

$$\sigma_{adm} = 9.629kg/cm^2 \leq 1,529.4kg/cm^2$$

Descarga.

Para la soldadura en lámina frontal y trasera se tiene que la fuerza máxima ejercida sobre esas paredes será de 6,490 N; el cordón de soldadura tiene una longitud de 4.26 m y la altura de la garganta de soldadura es de 0.001 metros.

$$\sigma_{adm} = \frac{p}{h * l} = \frac{6,490 N}{0.001m * 4.26m} = 1,523.474kpa = 15.53 kg/cm^2$$

$$\sigma_{adm} = 15.53kg/cm^2 \leq 1,529.4kg/cm^2$$

Para la soldadura en lámina lateral izquierda y derecha se tiene que la fuerza máxima ejercida sobre esas paredes será de 4,230 N; el cordón de soldadura tiene una longitud de 3.39 m y la altura de la garganta de soldadura es de 0.001 metros



Diseño y construcción de banco de ensayo para una bomba centrífuga.

$$\sigma_{adm} = \frac{p}{h * l} = \frac{4230 N}{0.001m * 3.39m} = 1,247.787kpa = 12.73 kg/cm^2$$

$$\sigma_{adm} = 12.73kg/cm^2 \leq 1,529.4kg/cm^2$$

Para la soldadura de la lámina de fondo se tiene que la fuerza máxima ejercida sobre esas paredes será de 10,310 N; el cordón de soldadura tiene una longitud de 5.57 m y la altura de la garganta de soldadura es de 0.001 metros

$$\sigma_{adm} = \frac{10,310 N}{0.001m * 5.57m} = 1,850.987kpa = 18.87 kg/cm^2$$

$$\sigma_{adm} = 18.87kg/cm^2 \leq 1,529.4kg/cm^2$$

Una vez calculado los esfuerzos en los cordones de soldadura de cada lámina se logró comprobar que el banco está diseñado para soportar la carga y peso aplicado ya que cumple con la siguiente condición:

$$\sigma_{adm} = \frac{p}{h * l} \leq 0.6 \sigma_{material}.$$

Para la soldadura en lámina (parche), que se utilizó para reparar el depósito de succión se tiene que la fuerza máxima ejercida sobre esas paredes será de 2,850 N; el cordón de soldadura tiene una longitud de 0.45 m y la altura de la garganta de soldadura es de 0.001 metros

$$\Delta p = 9.7709 KN/m^3 * 0.57m = 5.569 kpa$$

$$\sigma_{adm} = \frac{2,850 N}{0.001m * 0.45m} = 6,333.33 kpa = 64.58 kg/cm^2$$

$$\sigma_{adm} = 64.58 kg/cm^2 \leq 1,529.4kg/cm^2$$



El esfuerzo sometido en la lámina (parche), no sobre pasa el esfuerzo permisible por lo cual el parche soporta la carga aplicada.

6.2. Montaje de sistema de bombeo en banco.

Como se mencionaba en el apartado 5.1 un sistema de bombeo es el método más común para transportar un fluido y este se conforma por un sin número de tuberías, accesorios y una máquina que agregue energía al fluido, en este caso una bomba, esto ya sea para abastecer una población con agua o bien para el proceso de una fábrica, etc. El sistema de bombeo instalado en el banco de ensayo tiene la facilidad de regular velocidad angular (rpm), medir el caudal, voltaje, amperaje y tomar lecturas de las presiones en la succión y descarga de la tubería, una vez obtenidos estos parámetros podremos analizar la bomba. Ver Ilustración VI.7.

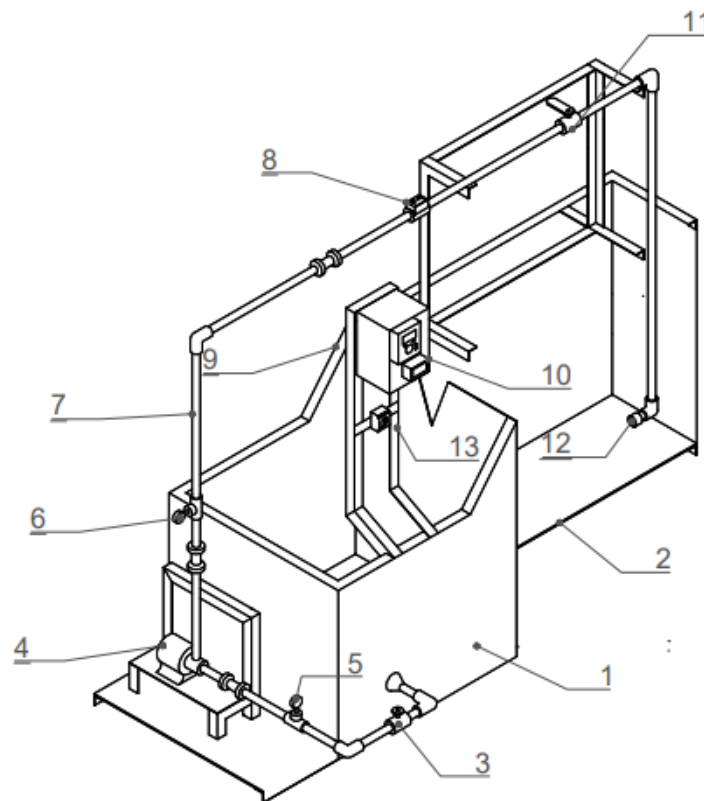


Ilustración VI.7. Banco de ensayo para determinar curvas características. (Ver apéndice 3).



Descripción.		
1	Depósito de succión	-
2	Depósito de descarga	-
3	Válvula de compuerta	1"
4	Bomba Wilo 1 hp	Wilo - 240 V -3F
5	Vacuómetro	-
6	Manómetro	-
7	Tubería	PVC 1"
8	Contador de volumen	Filtl-Rite 50 psi
9	Variador de frecuencia	ATV 12HU15M2 1.5KW-2HP/240
10	Multímetro digital	AC 220 V
11	Válvula de bola	1"
12	Válvula de retención	1"

Tabla VI.3. Leyenda banco de ensayo. (Ver apéndice 3)

Como se mencionó en la introducción, se diseñó el sistema de tuberías acorde a la forma y dimensiones de la base de un antiguo banco el cual fue facilitado por la Facultad de Tecnología de la Industria (FTI). (Ver anexo 9.)

6.2.1. Cálculo de pérdidas mayores y menores.

Para determinar la velocidad del flujo se tomó en cuenta el caudal que pasa a 3600 rpm, velocidad promedio de giro de la bomba, este valor se tomó con la válvula de bola ubicada en la descarga completamente abierta.

$$Q = 4.66 \text{ m}^3/\text{h} = 0.0013 \text{ m}^3/\text{s}$$

Para comprobar el caudal que se encontró con el contador de volumen, se utilizó el vertedero triangular que se encuentra en el banco. Utilizando la ecuación V.33 y teniendo



Diseño y construcción de banco de ensayo para una bomba centrífuga.

los siguientes datos: ángulo del vertedero de 51° , altura de 0.083m y un coeficiente de descarga de 0.58 (Ver anexo 23).

Procedemos hacer el cálculo.

$$Q = 0.58 * \frac{8}{15} * \tan^3\left(\frac{51}{2}\right) * \sqrt{2 * 9.81 \frac{m}{s^2}} * 0.083m^{\frac{5}{2}} = 0.0013 m^3 / s$$

La tubería que se usa en el banco de ensayo es de 1" (PVC), esto se debe a que la bomba opera con ese diámetro de diseño y según las recomendaciones para su aplicación. Se debe trabajar con el diámetro de diseño o uno más grande.

El diámetro interno de la tubería es de 28.45 mm o bien 0.02845 m con una presión de trabajo de 315 Psi (Ver anexo 15).

Área de la tubería es igual a: 0.0006357 m².

Despejando la ecuación V.2 obtendremos la velocidad del flujo.

$$Q = V * A; V = \frac{Q}{A} = \frac{0.0013 \frac{m^3}{s}}{0.0006357 m^2} = 2.04 m/s$$

Esta velocidad obtenida está dentro del rango de velocidades en la descarga, que también aplica para la succión ya que tiene el mismo diámetro de tubería. (Ayllón., 2008, pág. 103)

Material	Velocidad (m/s)
Tubería revestida de hormigón simple	3,00
Tubería de hormigón centrifugado	3,50
Tubería de asbesto cemento	5,00
Tubería de PVC	5,00
Tubería de hierro fundido	5,00
Tubería acero galvanizado	5,00
Tubería de acero	5,00

Ilustración VI.8. Velocidad recomendada para tuberías de agua.

Se calculó el número de Reynolds mediante la ecuación V.7. Este valor aplica para



succión y descarga ya que las tuberías tienen el mismo diámetro.

Donde:

$\rho = 996.02 \text{ kg/m}^3$ a 29 °C (Ver anexo 16).

$\nu = 0.000815 \text{ kg/m} * \text{s}$ a 29 °C (Ver anexo 17).

$$Re = \frac{V.D.\rho}{\nu} = \frac{2.04 \frac{m}{s} * 0.02845m * 996.02 \text{kg/m}^3}{0.000815 \text{kg/m} * \text{s}} = 70,928.84$$

$70,928.84 \geq 4,000$ Flujo turbulento

6.2.1.1. Pérdidas mayores.

Determinamos las pérdidas mayores según la ecuación V.8 de Darcy-Weisbach.

$$H_{Lmayor} = f * \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2g}$$

Donde el factor de fricción lo determinamos mediante la ecuación V.10.

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\left(\frac{1}{3.7 * \left(\frac{D}{\epsilon} \right)} + \frac{5.74}{(Re)^{0.9}} \right) \right) \right]^2}$$

El factor de fricción de flujo en tubería turbulento totalmente desarrollado depende del número de Reynolds y la rugosidad relativa $\left(\frac{D}{\epsilon}\right)$.

Según el anexo 2. El valor de la rugosidad absoluta en tubería PVC es igual a:

$$\epsilon = 3 * 10^{-7} m$$

Ahora bien, el factor de fricción para la tubería es igual a:



$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\left(\frac{1}{3.7 * \left(\frac{0.02845m}{3 * 10^{-7}m} \right)} + \frac{5.74}{(70,928.8^{0.9})} \right) \right) \right]^2} = 0.019$$

Succión.

L	D	V	g	f
1.29m	0.0254m	$2.04 \frac{m}{s}$	$9.81 \frac{m}{s^2}$	0.019

$$H_{LmayorSucc} = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g} = 0.019 * \frac{1.29m}{0.02845m} * \frac{\left(2.04 \frac{m}{s}\right)^2}{2 * 9.81 \frac{m}{s^2}} = 0.183 m$$

Descarga.

L	D	V	g	f
4.73m	0.02845m	$2.04 \frac{m}{s}$	$9.81 \frac{m}{s^2}$	0.019

$$H_{LmayorDES} = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g} = 0.019 * \frac{4.73m}{0.02845m} * \frac{\left(2.04 \frac{m}{s}\right)^2}{2 * 9.81 \frac{m}{s^2}} = 0.67 m$$

Las pérdidas mayores entre succión y descarga son:

$$H_{Lmayor} = 0.183 m + 0.67 m = 0.853 m$$



6.2.1.2. Pérdidas menores.

Si bien las pérdidas menores son calculadas por el coeficiente de resistencia en accesorios según la ecuación V.11

$$H_{Lmenor} = \sum K * \frac{V^2}{2g}$$

Para calcular este valor de los accesorios PVC y metal se utilizaron como referencia los anexos 4, 5, 6, 7, 8, 18.

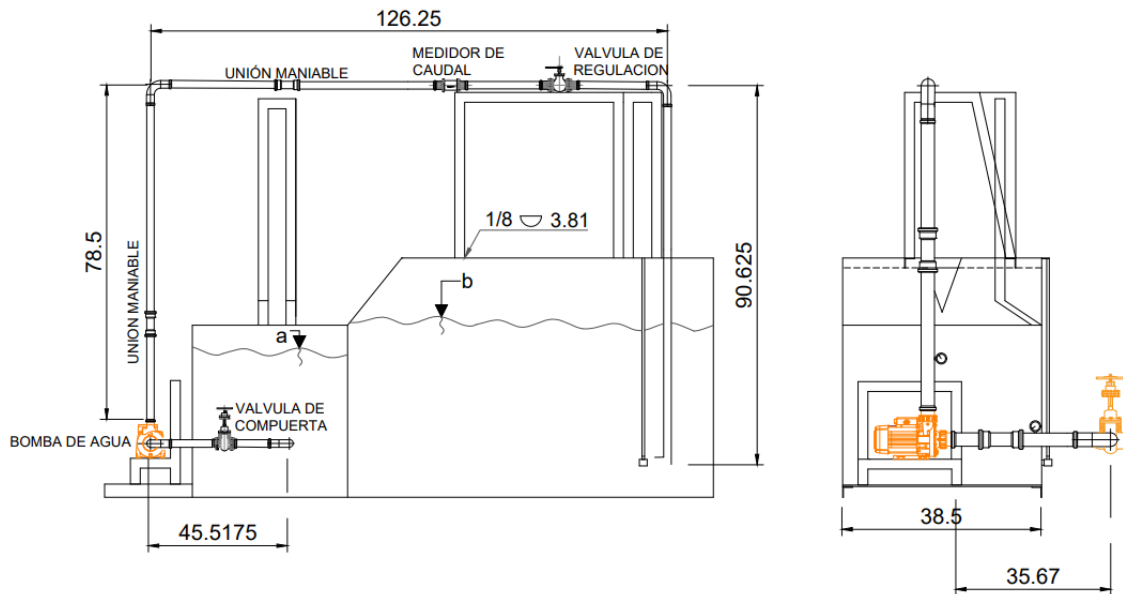


Ilustración VI.9. Dimensiones de tuberías de sistema de bombeo. (Ver apéndice 6).

Con base a las dimensiones de la estructura de los depósitos de succión y descarga se adecuaron los siguientes accesorios que se muestran en la ilustración VI.9, mismos que se detallan a continuación en la tabla VI.4 y VI.5.



Succión.

Coeficiente de resistencia, k				
Cantidad	Accesorio	K	ft	Referencia
1	Unión maleable 1"	20 ft	0.023	Anexo 7
4	Conectores macho 1"	20 ft	0.023	Anexo 7
1	Tee (vacuómetro) 1"	20 ft	0.023	Anexo 7
2	Codos 1"	30 ft	0.023	Anexo 7
1	Válvula de compuerta 1"	8 ft	0.023	Anexo 3 y 5
1	Reductor 2 1/2 " a 1"	0.25		Anexo 8
1	Válvula de pie con filtro 2 1/2 "	420 ft	0.018	Anexo 4

Tabla VI.4 Coeficiente de resistencia para cada accesorio en la succión.

El valor K para la unión maleable, tee y conector macho serán determinados de la siguiente manera.

$$K = 20 * (0.023) * 6 = 2.76$$

El valor K para el codo.

$$K = 30 * (0.023) * 2 = 1.38$$

El valor K para la válvula de compuerta.

$$K = 8 * (0.023) = 0.184$$

El valor K para la válvula de pie con filtro.

$$K = 420 * (0.018) = 7.56$$

El valor K para el reductor de 2 1/2 a 1".

$$K = 0.25$$

$$K_{\text{subtotal succión}} = 2.76 + 1.38 + 0.184 + 7.56 + 0.25 = 12.134$$



$$H_{Lsucción} = \sum K * \frac{V^2}{2g} = 12.134 * \frac{\left(2.04 \frac{m}{s}\right)^2}{2 * 9.81 \frac{m}{s^2}} = 2.57 \text{ m}$$

Descarga.

Coeficiente de resistencia, K				
Cantidad	Accesorio	K	ft	Referencia
3	Unión maleable 1"	20 ft	0.023	Anexo 7
5	Conectores macho 1"	20 ft	0.023	Anexo 7
1	Tee (manómetro) 1"	20 ft	0.023	Anexo 7
3	Codos 1"	30 ft	0.023	Anexo 7
2	Uniones lisas 1"	20 ft	0.023	Anexo 7
1	Válvula de bola 1"	150 ft	0.023	Anexo 6 y 3
1	Contador de volumen 1"	2.5		Anexo 8
1	válvula de retención 1"	50 ft	0.023	Anexo 18 y 3

Tabla VI.5 Coeficientes de resistencia a la fricción para cada accesorio en la descarga.

El valor K para la unión maleable, tee, unión lisa y conector macho tendrán el mismo valor K calculado en la succión.

$$K = 20 * (0.023) * 11 = 5.06$$

El valor K para la válvula de bola.

$$K = 150 * (0.023) = 3.45$$

El valor K para el codo.

$$K = 30 * (0.023) * 3 = 2.07$$

Se tomó el valor K de un controlador de volumen.

$$K = 2.50$$



El valor K para la válvula de retención.

$$K = 50 * (0.023) = 1.15$$

$$K_{subtotal\ descarga} = 5.06 + 2.07 + 3.45 + 2.50 + 1.15 = 14.23$$

$$H_{Ldescarga} = \sum K * \frac{V^2}{2g} = 14.23 * \frac{\left(2.04 \frac{m}{s}\right)^2}{2 * 9.81 \frac{m}{s^2}} = 3.02 \text{ m}$$

$$H_{Lmenor} = 2.57 \text{ m} + 3.02 \text{ m} = 5.59 \text{ m}$$

Las pérdidas de energía en el sistema son determinadas con la suma de las pérdidas mayores y menores.

$$H_L = H_{Lmayor} + H_{Lmenor} = 0.853 \text{ m} + 5.59 \text{ m} = 6.443 \text{ m}$$



6.3. Montaje del sistema eléctrico.

En el montaje del sistema eléctrico se tomó en cuenta el consumo de la bomba para poder seleccionar de manera correcta el variador de frecuencia, medidor de voltaje y corriente digital, protección, conductor eléctrico, etc.



Ilustración VI.10. Ficha característica de la bomba instalada en el banco de ensayo.

La bomba instalada es de aproximadamente 1 Hp, trabaja con un voltaje de 240 V o 460 V y consume un amperaje aproximadamente 2 amperios, (Ver ilustración VI.10), una vez obtenidos los datos seleccionamos el variador con las características nominales de la bomba.

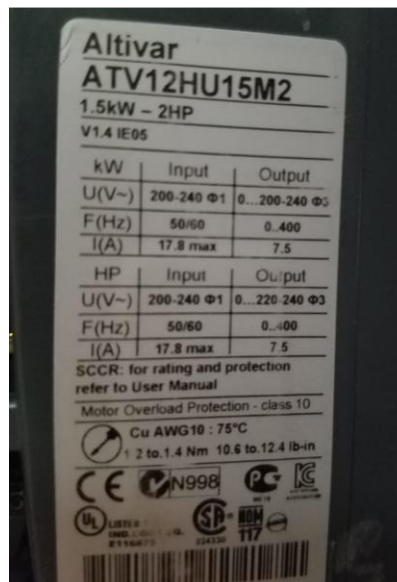


Ilustración VI.11. Ficha técnica del variador de frecuencia.



Diseño y construcción de banco de ensayo para una bomba centrífuga.

Se seleccionó el variador ATV12 mostrado en la ilustración VI.11; ya que este tiene las siguientes características: entrada monofásica 200-240 V, salida trifásica 200-240 V, potencia 2 HP. Características que cumplen con la potencia requerida por la bomba.

6.3.1. Selección de cableado y protección para bomba centrífuga.

Consumo:

Usando como referencia la ficha técnica de la bomba (ver ilustración VI.10) se realizó la comparación entre los datos nominales y el consumo real de la bomba para poder seleccionar correctamente el calibre del cable y protección.



Ilustración VI.12. Intensidad consumida por la bomba.

Cabe mencionar que la potencia reflejada en el medidor digital (Ver ilustración VI.12), No es un indicador real de la potencia de la bomba ya que este medidor solo considera la lectura de una de las líneas. Por ende del medidor digital solo se toma la lectura de voltaje e intensidad, estos datos son válidos ya que la intensidad medida por la dona del medidor digital que está anclada en la L2 son válidos también para L1 Y L3 por que en teoría las líneas están balanceadas, mientras que la diferencia de potencial es medida en las líneas de fuerzas conectadas al medidor digital.

Para determinar la potencia real de la bomba se emplea la ecuación V.30



Diseño y construcción de banco de ensayo para una bomba centrífuga.

$$P = \sqrt{3} * I * V * FP * \eta = \sqrt{3} * 1.59 * 221 * 0.86 * 0.87 = 455 W$$

Tomando en cuenta que las líneas de conexión no estarán canalizadas, es decir el cable está expuesto al ambiente. Se utilizó cable TSJ ya que este es un multiconductor eléctrico flexible, formado por cordones de hilos de cobre suave trenzados en haz, aislado con polivinilo (PVC) termoplástico y con una cubierta de nylon; reunidos helicoidalmente y con una cubierta externa de cloruro de polivinilo (PVC) termoplástica color negro resistente a la intemperie.

Un criterio importante para determinar el calibre del cableado es la Ampacidad que se define como la corriente máxima medida en amperios, que un conductor puede transportar continuamente bajo las condiciones de uso normal sin exceder su clasificación de temperatura. (Risoul, 2019)

Tipo de cable	Cables TSJ		OLFLEX® 110 & OLFLEX® 100	
	Cond. X AWG	Capacidad de corriente Max. 30°C.	Filamentos por conductor Clase "M"	Capacidad de corriente Max. 30°C.
2x20	7	7	9	16
2x18	10	10	15	32
2x16	13	16	18	30
2x14	18	26	26	50
2x12	25	41	34	56
3x18	10	7	9	16
3x16	13	16	18	32
3x14	18	26	26	50
3x12	25	41	34	56
3x10	30	65	44	84
4x18	7	10	15	32
4x16	10	16	18	30
4x14	15	26	26	50
4x12	20	41	34	56
4x10	25	65	44	84

Ilustración VI.13. Ampacidad de cable TSJ.

La bomba consume aproximadamente 2 amperios, pero por seguridad el cable a utilizar debe poder tolerar un amperaje mayor, teniendo en cuenta que los motores eléctricos en el momento de arranque la intensidad absorbida puede tomar valores de 5 a 7 veces la



nominal. Por esto que se seleccionó el cable 3X14 AWG; que soporta una intensidad de 18 amperios aproximadamente.

6.3.2. Selección del disyuntor de protección del motor.

Una vez determinado el tipo y calibre de cable se procedio a seleccionar el disyuntor de proteccion adecuado para del motor, teniendo en cuenta la intensidad real de 2 amperios aproximadamente se requiere un disyuntor que tenga una ampacidad mayor para evitar que se active por variacion de energia (Ver anexo 28). Tomando como referencia esto el disyuntor seleccionado es el modelo 140M-C2E-B25 fabricado por Allen-Bradley.

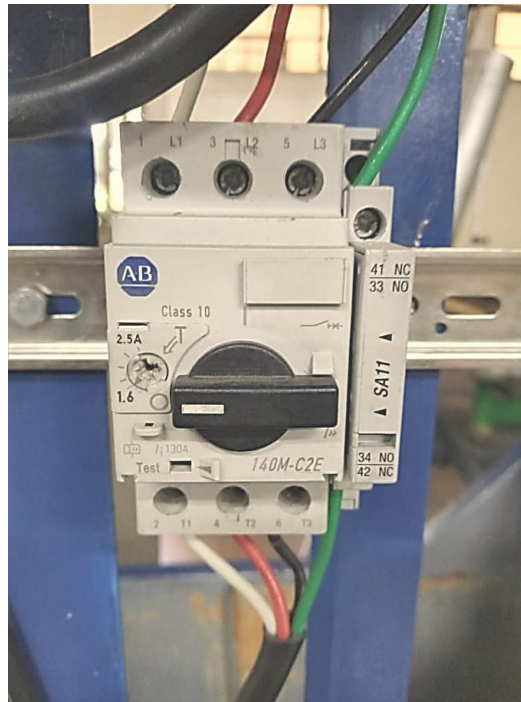


Ilustración VI.14. Disyuntor modelo 140M-C2E-B25 instalado en banco de ensayo.

A continuación se muestra el diagrama de mando y fuerza del sistema eléctrico (Ver ilustración VI. 12)



Diseño y construcción de banco de ensayo para una bomba centrífuga.

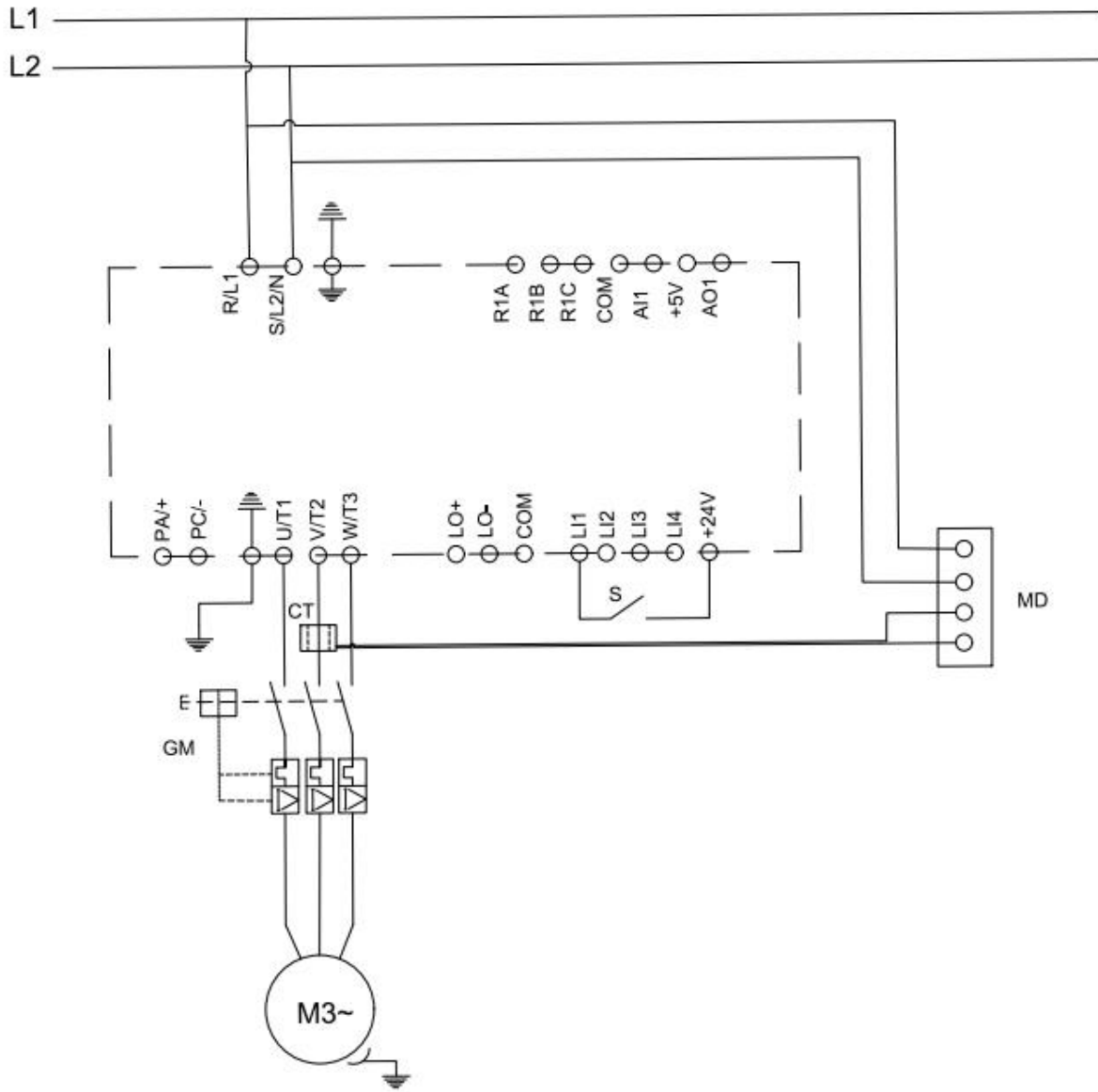


Ilustración VI.15. Diagrama eléctrico del banco de ensayo. (Ver apéndice 7).



Diseño y construcción de banco de ensayo para una bomba centrífuga.

BORNES DE POTENCIA		
TERMINAL	Función	Para Atv12
?	Borne para tierra	Todos los calibres
R/L-S/L2/N	Alimentación eléctrica	Monofásico 200..240
PA+	Salida + (CC) hacia el bus del módulo de frenado	Todos los calibres
PC/-	Salida - (CC) hacia el bus del módulo de frenado	Todos los calibres
PO	No utilizado	
U/T1-V/T2-W/T3	Salida hacia el motor	Todos los calibres
BORNES DE CONTROL		
R1A	Contacto NA del RE	Poder de comunicación Mínima 5 mA para 24 V
R1B	Contacto NC del RE	Poder de comunicación Máxima 2 A para 250 V
R1C	Común del relé	($\cos\phi = 0.4$ y $I/R=7ms$) 3 A para 250 V
COM	Común de las E/S analógicas y lógicas	
AL1	Entrada analógica en corriente y tensión	Entrada analógica de tensión 0 a 5V o 0 a 10 V
5V	Alimentación eléctrica de consigna para potenciómetro de referencia	Precisión $\pm 5\%$ Intensidad máxima 5 %
AO1	Salida analógica de corriente o tensión	Precisión $\pm 1\%$ a 25°C salida Analógica de tensión 0 a +10 V
LO+	Salida lógica	Tensión 24 V (máximo 30) Linealidad $\pm 1\%$
LO-	Común de la salida lógica	
L1	Entradas lógicas	Entradas lógicas programables
L2		Alimentación eléctrica + 24 V DC
L3		Impedancia 3.5 k Ω
L4		Tiempo de muestreo <20 ms \pm 1 ms
24 V	Alimentación de + 24 V DC proporcionada por el variador	24 V DC protegido contra corto-circuito y sobrecarga.
SÍMBOLO	Descripción	Función
S	Smith	Accionamiento de motor
GM	Guarda motor	Protección eléctrica
MD	Medidor digital	Medidor de voltaje y Amp.
CT	Dona de medición	Registra el flujo de Amp.

Tabla VI.6. Leyenda de sistema eléctrico. (Ver apéndice 7).



6.4. Construcción de las curvas características.

Las curvas características son relaciones gráficas entre la altura, el caudal, potencia y rendimiento, es indispensable conocer estas curvas ya que mediante ellas se conoce como funciona la bomba y que rendimiento real tiene en distintos puntos de operación.

Por ende se consideró que para analizar el comportamiento de la bomba era necesario realizar variaciones de caudal a través de la válvula de bola a esta se le asignaron 9 distintas posiciones de apertura en las cuales se tomaría registro de presión, caudal, voltaje y amperaje parámetros fundamentales para el análisis del funcionamiento de la bomba.

Para la determinación de estas posiciones se instaló un selector en la válvula de bola donde están marcada cada una de las 9 posiciones, la primera posición es cuando la válvula está completamente cerrada siendo este el punto en el que la presión es máxima (23 Psi) posteriormente se abrió gradualmente la válvula hasta el punto en el que el manómetro marco la segunda posición (20 Psi) así sucesivamente se repitió este proceso de manipulación de la válvula procurando asignar cada posición a un valor fácil de leer en el manómetro y así hasta llegar a la novena posición (válvula totalmente abierta). cabe destacar que estas 9 posiciones se aplican para todas las pruebas realizadas.

Velocidad nominal.

La tabla que se muestra a continuación contiene los datos promedios de las pruebas realizadas (Ver anexo 14) con la bomba trabajando en sus condiciones nominales (100%).

Para la determinación del caudal se requirió de un contador de volumen, el cuál está calibrado para brindar una lectura en galones, para obtener el caudal se divide la cantidad de galones que pasaron a través del contador de volumen entre el tiempo (30 segundos) esto basado en la ecuación V.1 posteriormente se realizó la conversión de g/s a m³/h.

Luego se anotaron las lecturas de presión en manómetro y vacuómetro, a estas lecturas



Diseño y construcción de banco de ensayo para una bomba centrífuga.

se le aplica factor de conversión a pascales debido a que el manómetro brinda los parámetros en psi y el vacuómetro en cm de Hg respectivamente, del medidor digital se obtuvo el valor del voltaje y amperaje.

Aplicando la ecuación V.6 se determinó la altura, posteriormente a esto se procede a calcular la potencia con la ecuación V.30. De igual manera se realiza los cálculos para cada una de la posición de la válvula de bola hasta rellenar la tabla VI.7.

TABLA DE VALORES PROMEDIADOS							n(rpm)	3600
Posición válvula de bola	Presión en manómetro (psi)	Presión en vacuómetro (cm Hg vacío)	Galones (g)	Caudal (m ³ /h)	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Potencia (W)	Altura (m)
1	22.9	0	0	0	220	1.23	351.2	16.05
2	20	0	3.93	1.79	220	1.42	304.1	13.95
3	18.8	2	5.29	2.40	220	1.46	415.1	13.28
4	16.6	3.8	6.64	3.02	220	1.49	424.2	12
5	14.2	5	7.76	3.53	220	1.52	433.9	10.56
6	12.9	6	8.50	3.86	220	1.55	442.1	9.81
7	12	8	9.24	4.20	220	1.54	439.2	9.39
8	10	9.4	9.70	4.41	220	1.54	440.2	8.14
9	9	10.4	10.24	4.66	220	1.57	446.5	7.59
*factor de conversión de Psi a Pascal (N/m ²) = valor psi X 6894.76 Pascal/Psi								
* factor de conversión de galones a m ³ = valor de galón X 0.00379 m ³ /G								
* factor de conversión de cm Hg a Pascales = valor de cm Hg X 1333.22 Pa								
* $\gamma = 9770.9562 \text{ N/m}^3$								

Tabla VI.7 Valores promedios obtenidos en las pruebas a la velocidad nominal de la bomba.

6.4.1. Curva del sistema bomba centrífuga de 1 hp marca whoilo.

Aplicación de la ecuación de Bernoulli para formar la curva del sistema.

Punto a: nivel de líquido depósito de succión (60 cm).

Punto b: nivel de líquido depósito de descarga (75 cm).



Diseño y construcción de banco de ensayo para una bomba centrífuga.

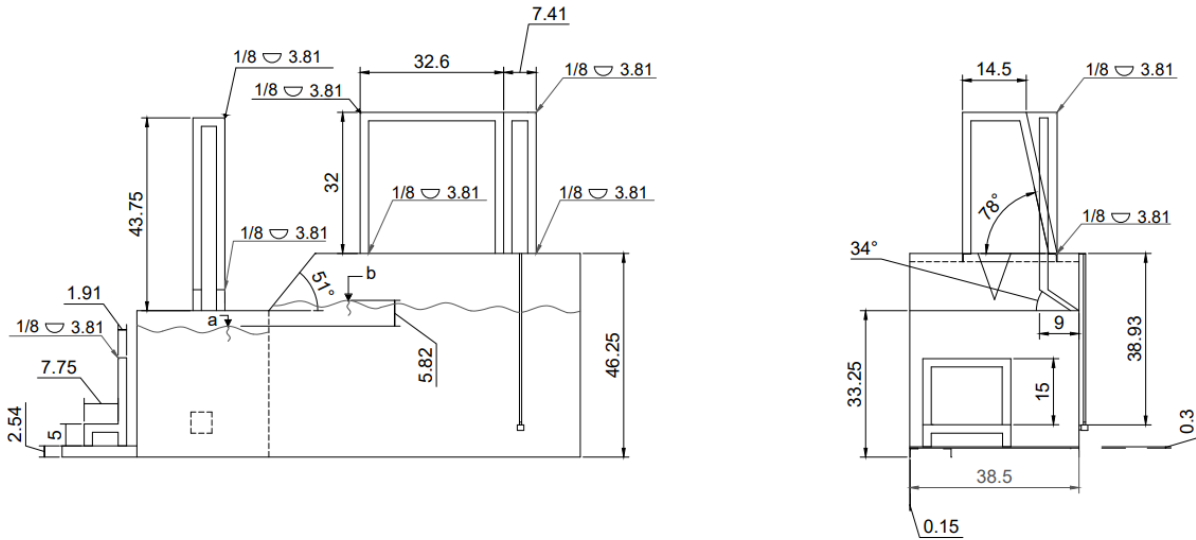


Ilustración VI.16. Vistas del banco de ensayo con sus dimensiones escala 1:2. (Ver apéndice 1).

$$\frac{p_a}{\gamma} + Z_a + \frac{V_a^2}{2g} + H_B - H_{Ltotal} = \frac{p_b}{\gamma} + Z_b + \frac{V_b^2}{2g}$$

$$H_B = \frac{P_b - P_a}{\gamma} + Z_b - Z_a + \frac{V_b^2 - V_a^2}{\gamma} + H_{LTOTAL}$$

$$\frac{P_b - P_a}{\gamma} = 0$$

$$\frac{V_b^2 - V_a^2}{\gamma} = 0$$

$$Z_b - Z_a = 0.15 \text{ m}$$

$$H_{LTOTAL} = 6.443 \text{ m}$$

$$H_B = H_{LTOTAL} + Z_b - Z_a = (6.443 + 0.15) \text{ m} = 6.593 \text{ m}$$

$$H_B = 6.593 \text{ m}$$

La cabeza de bombeo es de aproximadamente 6.593 m de columna de agua, en este caso se necesitaría una potencia hidráulica igual a:



Diseño y construcción de banco de ensayo para una bomba centrífuga.

$$p = \gamma \dot{Q} H_B = 9770.956 \frac{\text{N}}{\text{m}^3} * 0.0013056 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 6.593 \text{ m} = 84.106 \text{ W}$$

Las pérdidas de energía debido a la superficie de la tubería y accesorios como codos, te, etc. Están representadas en la siguiente tabla, estas pérdidas están calculadas según cada posición de la válvula de bola que está ubicada a la descarga de la bomba, esto debido a que cada vez que se estrangula la válvula, varía la velocidad del fluido. La posición 1 es cuando la válvula está completamente cerrada desplazándose hasta la posición 9 cuando está completamente abierta.

Posición válvula de bola	Pérdidas mayores		Pérdidas menores		Velocidad del fluido m/s	HL(m)
	Succión (m)	Descarga (m)	Succión (m)	Descarga (m)		
1	0	0	0	0	0	0
2	0.03	0.09	0.36	0.42	0.76	0.89
3	0.04	0.16	0.63	0.74	1.01	1.57
4	0.07	0.26	1.01	1.18	1.27	2.52
5	0.10	0.37	1.42	1.67	1.52	3.56
6	0.12	0.44	1.69	1.98	1.65	4.23
7	0.15	0.53	2.04	2.40	1.82	5.12
8	0.17	0.61	2.33	2.73	1.94	5.83
9	0.19	0.68	2.61	3.07	2.06	6.55
Datos a considerer.						
D (m)	Lsuc (m)	Ldes (m)	ΣK_{suc}	ΣK_{des}	g (m/s ²)	f
0.02845	1.29	4.73	12.134	14.23	9.81	0.019

Tabla VI.8 Cálculos de pérdidas por tuberías y accesorios.

Para determinar el punto de funcionamiento de la bomba, se requiere formar la curva del sistema, utilizando la ecuación V.32.



Diseño y construcción de banco de ensayo para una bomba centrífuga.

$H_B = \Delta Z + H_L \left(\frac{Q^2}{2gA^2} \right)$				
Área		g		ΔZ
0.0006357 m ²		9.81 m/s ²		0.15 m
Posición	Q (m ³ /s)	HL (m)	HB (m)	
1	0	0	0.15	
2	0.000481	0.89	0.16	
3	0.000641	1.57	0.17	
4	0.000810	2.52	0.20	
5	0.000963	3.56	0.24	
6	0.001050	4.23	0.28	
7	0.001155	5.12	0.34	
8	0.001232	5.83	0.39	
9	0.001306	6.55	0.46	

Tabla VI.9 Cálculos necesarios para la elaboración de la curva del sistema.

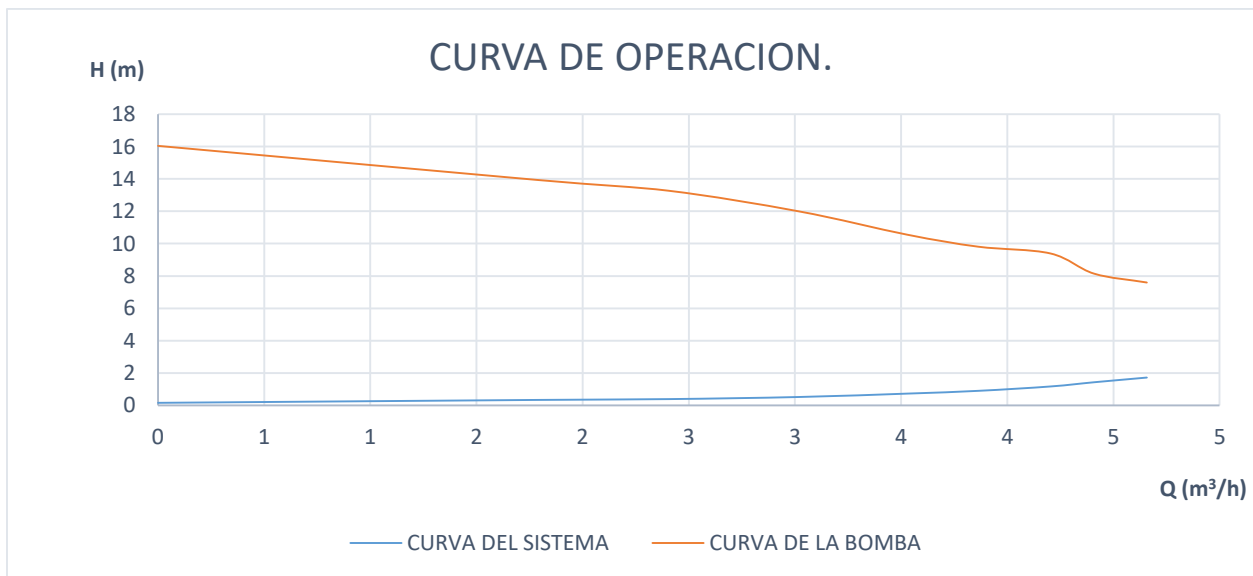


Gráfico VI.1 Curva del sistema para valores nominales de la bomba.



Si bien la curva del sistema es una manera gráfica para obtener el punto de operación de la bomba en un determinado sistema de bombeo, este punto de operación es la intersección entre la curva cóncava hacia arriba (curva del sistema) y la cóncava hacia abajo (curva de la bomba).

Se logra observar que no hay intersección entre las curvas esto quiere decir que la bomba está sobredimensionada y que este sistema puede trabajar con una bomba más pequeña que la instalada, esto no quiere decir que la bomba no funcione, aunque no es recomendable trabajar con bombas sobredimensionadas debido al bajo rendimiento en el cual trabaja la bomba y el consumo energético, ya que una bomba de menor capacidad tendría un menor consumo energético y un mejor aprovechamiento.

6.4.2. Curva altura-caudal.

Para la construcción de las curvas características se realizaron las pruebas a tres velocidades distintas las cuales fueron:

- Capacidad nominal de la bomba (3600 rpm)
- 90 % de la capacidad nominal de la bomba (3240 rpm)
- 80 % de la capacidad nominal de la bomba (2880 rpm)

Velocidades que están dentro del rango de lo recomendado por el fabricante de la bomba. Otro aspecto que cabe destacar es que la bomba con la cual se realizaron las pruebas, fue donada para la realización de este proyecto dicha bomba estaba sometida a un régimen de trabajo de 8 horas, los 7 días de la semana; una vez dicho esto se entiende que los valores obtenidos mediante las pruebas serán menores que los que propone el fabricante en la ficha técnica por el desgaste que ha tenido la bomba a lo largo de su vida útil.

Los datos mostrados en la tabla VI.10, son los obtenidos al realizar las pruebas a la capacidad nominal de la bomba. (3600 rpm).



Diseño y construcción de banco de ensayo para una bomba centrífuga.

TABLA DE VALORES PROMEDIADOS							n(rpm)	3600
Posición válvula de bola	Presión en manómetro (psi)	Presión en vacuómetro (cm Hg vacío)	Galones (g)	Caudal (m ³ /h)	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Potencia (W)	Altura (m)
1	22.9	0	0	0	220	1.23	351.2	16.05
2	20	0	3.93	1.79	220	1.42	304.1	13.95
3	18.8	2	5.29	2.40	220	1.46	415.1	13.28
4	16.6	3.8	6.64	3.02	220	1.49	424.2	12
5	14.2	5	7.76	3.53	220	1.52	433.9	10.56
6	12.9	6	8.50	3.86	220	1.55	442.1	9.81
7	12	8	9.24	4.20	220	1.54	439.2	9.39
8	10	9.4	9.70	4.41	220	1.54	440.2	8.14
9	9	10.4	10.24	4.66	220	1.57	446.5	7.59
*factor de conversión de Psi a Pascal (N/m ²) = valor psi X 6894.76 Pascal/Psi								
* factor de conversión de galones a m ³ = valor de galón X 0.00379 m ³ /G								
* factor de conversión de cm Hg a Pascales = valor de cm Hg X 1333.22 Pa								
* $\gamma = 9770.9562 \text{ N/m}^3$								

Tabla VI.10 Datos obtenidos al realizar las pruebas a la capacidad nominal de la bomba.



Diseño y construcción de banco de ensayo para una bomba centrífuga.

Los datos mostrados en la tabla VI.11, son los obtenidos de las pruebas al 90% de la capacidad de la bomba. (3240 rpm)

TABLA DE VALORES PROMEDIADOS							n(rpm)	3240
Posición válvula de bola	Presión en manómetro (psi)	Presión en vacuómetro (cm Hg vacío)	Galones (g)	Caudal (m ³ /h)	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Potencia (W)	Altura (m)
1	19	0	0	0	222	1.39	400	13.4
2	17.5	0	2.86	1.3	222	1.46	420	12.34
3	16	1	4.45	2	221	1.49	426.7	11.42
4	14	2	5.74	2.6	222	1.51	434.4	10.15
5	12	4	6.8	3.1	223	1.53	442.2	9.01
6	11	5	7.52	3.4	223	1.54	445	8.44
7	10	6	8.11	3.7	220	1.52	433.4	7.87
8	9	8	8.63	3.9	220	1.52	433.4	7.44
9	6.6	9	9.24	4.2	220	1.53	436.2	5.92
*factor de conversión de Psi a Pascal (N/m ²) = valor psi X 6894.76 Pascal/Psi								
* factor de conversión de galones a m ³ = valor de galón X 0.00379 m ³ /G								
* factor de conversión de cm Hg a Pascales = valor de cm Hg X 1333.22 Pa								
* $\gamma = 9770.9562 \text{ N/m}^3$								

Tabla VI.11 Datos obtenidos al realizar las pruebas al 90% de la capacidad de la bomba.



Diseño y construcción de banco de ensayo para una bomba centrífuga.

Los datos mostrados en la tabla VI.12, son los obtenidos de las pruebas al 80% de la capacidad de la bomba. (2880 rpm)

TABLA DE VALORES PROMEDIADOS							n(rpm)	2880
Posición válvula de bola	Presión en manómetro (psi)	Presión en vacuómetro (cm Hg vacío)	Galones (g)	Caudal (m ³ /h)	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Potencia (W)	Altura (m)
1	15	0	0	0	220	1.38	393.4	10.58
2	14	0	2.74	1.2	221	1.43	409.5	9.88
3	12.8	0	3.77	1.7	220	1.44	410.5	9.03
4	11	2	5.03	2.2	220	1.46	416.2	8.03
5	10	2.2	5.88	2.6	220	1.47	419.1	7.36
6	9	4	6.6	3	220	1.48	422	6.9
7	6.5	4.2	7.18	3.2	220	1.49	424.8	5.16
8	5	6	7.69	3.5	221	1.49	426.7	4.35
9	3.3	6.2	8.44	3.8	221	1.49	426.7	3.17
*factor de conversión de Psi a pascal (N/m ²) = valor Psi x 6894.76 Pascal/psi								
* factor de conversión de galones a m ³ = valor de galón x 0.00379 m ³ /G								
* factor de conversión de cm Hg a Pascales = valor de cm Hg x 1333.22 Pa								
* $\gamma = 9770.9562 \text{ N/m}^3$								

Tabla VI.12 Datos obtenidos al realizar las pruebas al 80% de la capacidad de la bomba.

Una vez obtenidos los datos procedemos a forma las curvas características de la bomba.

Para elaborar las curvas características altura-caudal (H-Q) se toman los valores de altura (H) como nuestro eje "Y", y los valores de caudal (Q) como eje "X", trazando cada punto e interceptando para formar las curvas, esto para cada velocidad tomando dichos valores de las tablas VI.10, VI.11 y VI.12.

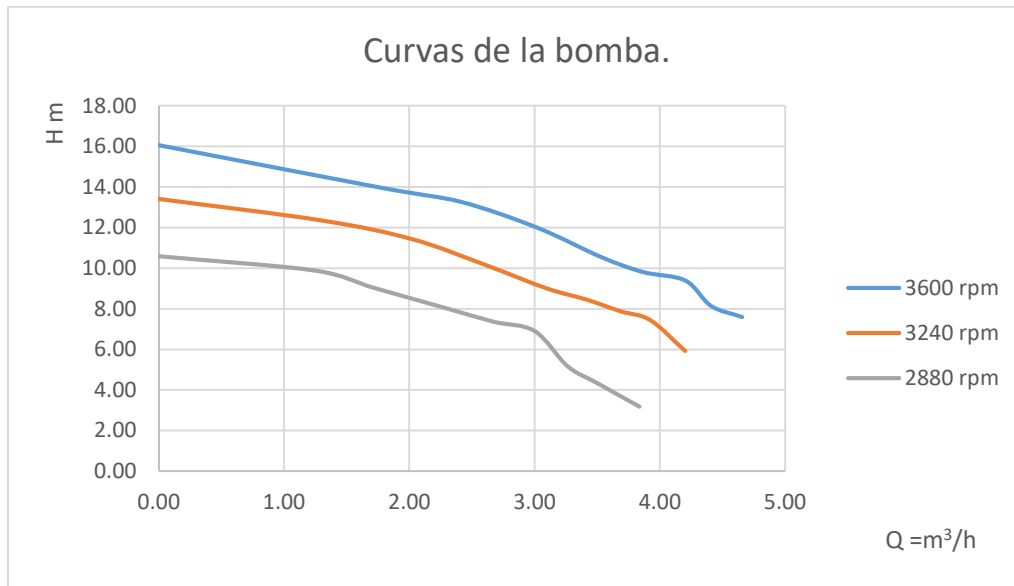


Gráfico VI.2 Curva altura-caudal.

Como se aprecia en el gráfico VI.2 el valor de H que resulta para $Q=0$ es la presión que desarrolla la bomba cuando la válvula de bola está totalmente cerrada y conforme se abre la válvula la altura disminuye y el caudal aumenta.

6.4.3. Curva potencia-caudal.

La potencia de accionamiento se determina según la ecuación V.13, pero para aplicar esta ecuación es necesario conocer el par torsor ejercido por el motor de la bomba dicho par torsor es calculado mediante la ecuación V.31 una vez conociendo el par torsor y el número de revoluciones se efectúa el cálculo de la potencia de accionamiento dando como resultados los datos mostrados en la tabla VI.13.



POTENCIA DE ACCIONAMIENTO				
$P_a = 0.1047 n * M \text{ W, SI}$				
n (rpm)	hp	T (lb-ft)	T(N-m)	Pa (w)
3600	1	1.46	2.0	745.5
3240	1	1.62	2.2	745.5
2880	1	1.82	2.5	745.5
$M = \frac{HP * 5252}{rpm}$				
*factor de conversión de lb*ft a N*m = T x 1.3558 N-m/lb-ft				

Tabla VI.13 Cálculo de potencia de accionamiento.

La potencia útil se determina según la ecuación V.17 A continuación, en las tablas VI.14, VI.15 y VI.16 se muestran los resultados de la potencia útil para cada una de las posiciones de la válvula de bola a las distintas velocidades.

POTENCIA ÚTIL				n(rpm)	3600
Posición válvula de bola	Caudal (m ³ /s)	Densidad (kg/m ³)	Gravedad (m/s ²)	Altura (m)	P(W)
1	0	996.02	9.81	16.05	0
2	0.000496	996.02	9.81	13.9	67.58
3	0.000668	996.02	9.81	13.3	86.64
4	0.000839	996.02	9.81	12	98.32
5	0.000980	996.02	9.81	10.6	101.1
6	0.001073	996.02	9.81	9.8	102.9
7	0.001168	996.02	9.81	9.4	107.16
8	0.001225	996.02	9.81	8.1	97.44
9	0.001294	996.02	9.81	7.6	96

Tabla VI.14 Cálculos de potencia útil en pruebas realizadas a la capacidad nominal de la bomba.



Diseño y construcción de banco de ensayo para una bomba centrífuga.

POTENCIA ÚTIL				n(rpm)	3240
Posición válvula de bola	Caudal (m ³ /s)	Densidad (kg/m ³)	Gravedad (m/s ²)	Altura (m)	P(W)
1	0	996.02	9.81	13.4	0
2	0.000361	996.02	9.81	12.34	43.60
3	0.000562	996.02	9.81	11.42	62.77
4	0.000725	996.02	9.81	10.15	71.93
5	0.000859	996.02	9.81	9.01	75.66
6	0.000950	996.02	9.81	8.44	78.39
7	0.001025	996.02	9.81	7.87	78.84
8	0.001090	996.02	9.81	7.44	79.28
9	0.001167	996.02	9.81	5.92	67.61

Tabla VI.15 Cálculos de potencia útil en pruebas realizadas al 90% de la capacidad de la bomba.

POTENCIA ÚTIL				n(rpm)	2880
Posición válvula de bola	Caudal (m ³ /s)	Densidad (kg/m ³)	Gravedad (m/s ²)	Altura (m)	P(W)
1	0	996.02	9.81	10.58	0
2	0.000346	996.02	9.81	9.88	33.41
3	0.000476	996.02	9.81	9.03	42.03
4	0.000635	996.02	9.81	8.03	49.89
5	0.000743	996.02	9.81	7.36	53.4
6	0.000834	996.02	9.81	6.9	56.19
7	0.000907	996.02	9.81	5.16	45.73
8	0.000972	996.02	9.81	4.35	41.26
9	0.001066	996.02	9.81	3.17	33.07

Tabla VI.16 Cálculos de potencia útil en pruebas realizadas al 80% de la capacidad de la bomba.



Diseño y construcción de banco de ensayo para una bomba centrífuga.

Para trazar la gráfica de potencia-caudal (W-Q) se seguirá tomando el caudal (Q) como el eje "X" y la potencia (W) como el eje "Y" trazando cada punto e interceptando para formar las curvas, estos valores los encontramos en las tablas VI.14, VI.15 y VI.16.

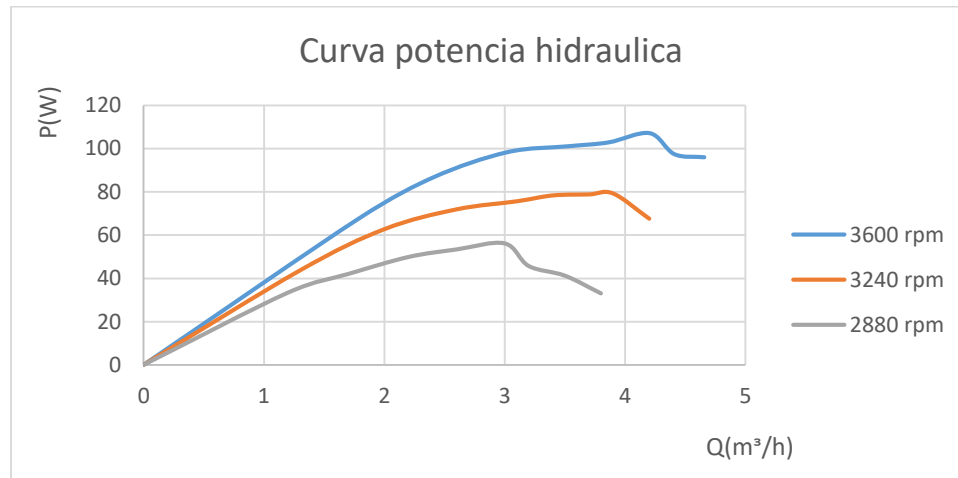


Gráfico VI.3 Curva de potencia.

Comúnmente se cree que una bomba centrífuga acoplada a un motor eléctrico, requiere una mayor potencia de este a medida que se estrangula la descarga de la bomba. Como se aprecia en el gráfico VI.4 Esto no es cierto ya que vemos que la mayor potencia no se presenta en el punto de mayor estrangulación ($Q=0$). Lo que sí es cierto, es que un incremento de la potencia requerida deriva en un incremento de la corriente en el motor eléctrico al cual se está acoplado.

Resumiendo, es importante entender que una bomba centrífuga consumirá más potencia y más corriente eléctrica a medida que una mayor masa de fluido por unidad de tiempo (caudal Q) sea impulsada.

6.4.4. Curva rendimiento-caudal.

El rendimiento total se determina a partir de la ecuación V.23 que es nada más que el cociente entre la potencia útil y la potencia de accionamiento. Dichos valores se aprecian en las tablas VI.17, VI.18 y VI.19 respectivamente.



RENDIMIENTO TOTAL			n(rpm)	3600	
Posición válvula de bola	Caudal (m ³ /h)	Pa (W)	P (W)	η	(%)
1	0	745.53	0	0	0
2	1.7	745.53	67.58	0.09	9
3	2.3	745.53	86.64	0.12	12
4	2.9	745.53	98.32	0.13	13
5	3.5	745.53	101.1	0.14	14
6	3.8	745.53	102.9	0.14	14
7	4.2	745.53	107.16	0.14	14
8	4.4	745.53	97.44	0.13	13
9	4.7	745.53	96	0.13	13

Tabla VI.17 Cálculo de rendimiento total en pruebas realizadas a la capacidad nominal de la bomba.

RENDIMIENTO TOTAL			n(rpm)	3240	
Posición válvula de bola	Caudal (m ³ /h)	Pa (W)	P (W)	η	(%)
1	0	745.53	0	0	0
2	1.3	745.53	43.60	0.06	6
3	1.9	745.53	62.77	0.08	8
4	2.5	745.53	71.93	0.10	10
5	3.0	745.53	75.66	0.10	10
6	3.3	745.53	78.39	0.11	11
7	3.6	745.53	78.84	0.11	11
8	3.9	745.53	79.28	0.11	11
9	4.3	745.53	67.61	0.09	9

Tabla VI.18 Cálculo de rendimiento total en pruebas realizadas al 90% de la capacidad de la bomba.



RENDIMIENTO TOTAL			n(rpm)	2880	
Posición válvula de bola	Caudal (m ³ /h)	Pa (W)	P (W)	η	(%)
1	0	745.53	0	0	0
2	1.1	745.53	33.41	0.04	4
3	1.6	745.53	42.03	0.06	6
4	2.1	745.53	49.89	0.07	7
5	2.6	745.53	53.4	0.07	7
6	3.0	745.53	56.19	0.08	8
7	3.3	745.53	45.73	0.06	6
8	3.5	745.53	41.26	0.06	6
9	3.8	745.53	33.07	0.04	4

Tabla VI.19 Cálculo de rendimiento total en pruebas realizadas al 80% de la capacidad de la bomba.

De igual manera para construir las curvas de rendimiento-caudal (η -Q) se toman los valores de rendimiento (η) como el eje “Y” y el caudal (Q) como el eje “X”, trazando cada punto e interceptando para formar las curvas, valores que podemos encontrar en las tablas VI.13, VI.14 y VI.15.

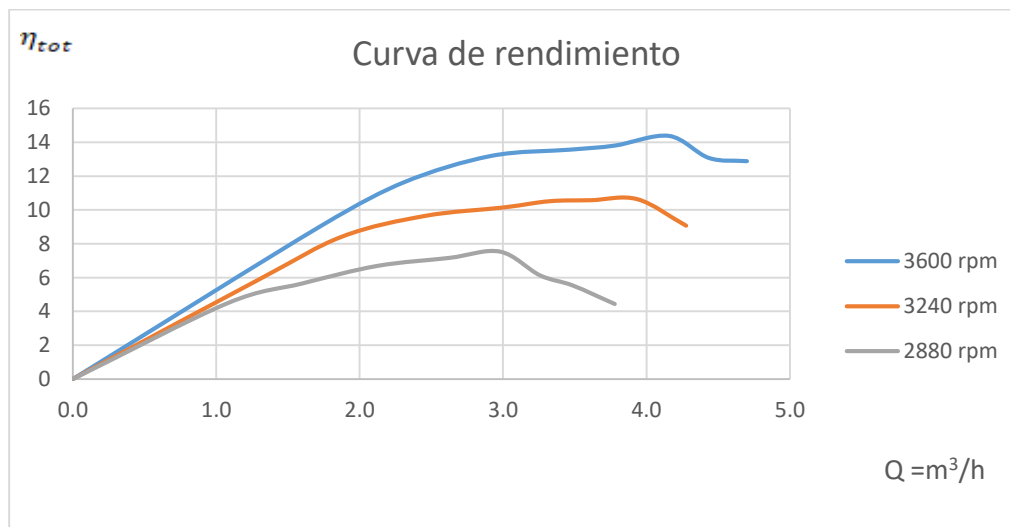


Gráfico VI.4 Curva de rendimiento.



Diseño y construcción de banco de ensayo para una bomba centrífuga.

En el gráfico VI.4 Podemos notar que el rendimiento es bajo debido a que la bomba tiene un sobredimensionamiento con respecto al banco de ensayo lo que conlleva a este comportamiento de la curva sabido que el rendimiento total es el aprovechamiento de la potencia eléctrica que se convierte en potencia hidráulica. Por lo que se puede denotar que la mayor parte de la potencia eléctrica no se está aprovechando.

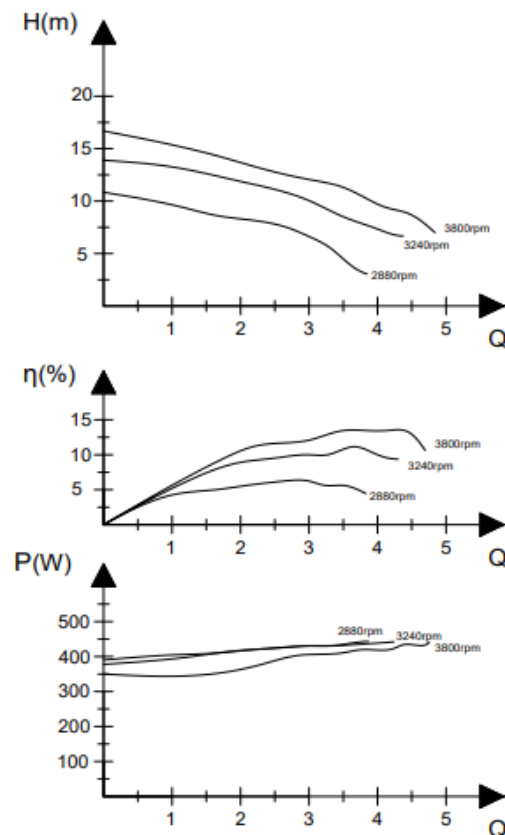


Ilustración VI.17. Curvas teóricas de una bomba.

En la ilustración VI. 17 se muestran las curvas características teóricas (Salas, 2008) que se pueden obtener de una bomba y cabe recalcar la similitud en el comportamiento con las obtenidas en la práctica, ver gráficos VI.3, VI.4, VI.5.



6.5. Manual de arranque operacional del banco de ensayo.

El siguiente manual está compuesto por los manuales de operación de: contador de volumen, variador de frecuencia, bomba centrífuga y medidor de voltaje y amperaje, además de esto el uso correcto del banco de ensayo.

Mediante este manual se describe el uso correcto de cada uno de los instrumentos antes mencionado, como configurar, calibrar y programar.

NOTA:

Los instrumentos ya están calibrados y configurados para trabajar acorde al tipo de trabajo que necesitamos. **NO SE NECESITA VOLVER A CALIBRAR O CONFIGURAR.** De hacerlo se recomienda seguir los pasos del manual ya que una mala configuración puede dañar el equipo o entregar un dato erróneo.

La velocidad con la que se configuró el variador de frecuencia fue medida con un tacómetro digital, las cuales se pueden apreciar en los anexos (10, 11,12 y 13).

El manual tendrá un paso a paso de la forma de uso para obtener los datos requeridos para la construcción de las curvas características.

6.5.1. Uso y mantenimiento de banco de ensayo.

A continuación, en el siguiente documento estará plasmado paso a paso la forma de uso y mantenimiento requerido para el buen manejo y conservación del banco de ensayo, el cual está diseñado para realizar pruebas hidráulicas en bombas centrífugas siempre y cuando cumplan con las condiciones del banco.

6.5.1.1. Descripción progresiva de la realización de las pruebas.

Paso 1. El tanque de succión debe de tener como mínimo un volumen de 74.25 galones y la descarga deberá estar al ras del vertedero para que cuando arranque la bomba pueda circular el agua de la descarga a la succión. (Ver ilustración VI.18)



Diseño y construcción de banco de ensayo para una bomba centrífuga.

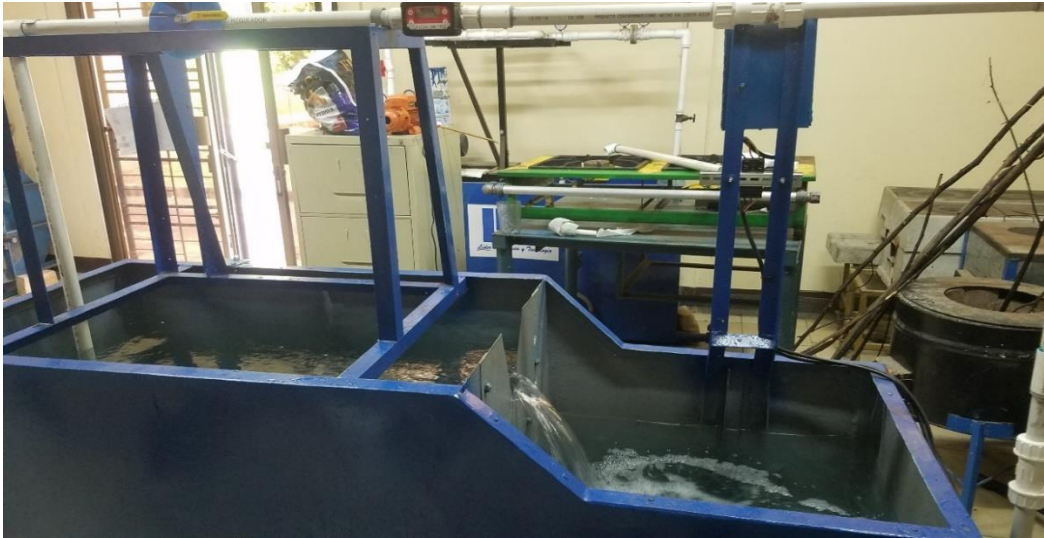


Ilustración VI.18. Nivel de agua recomendado en succión y descarga para realizar pruebas.

Paso 2. Verificar que todas las borneras en el variador estén bien ajustadas (Ver ilustración VI.19), esto con la supervisión del instructor de laboratorio, cualquier conductor con flojedad deberá ser ajustado antes de ser energizado.



Ilustración VI.19. Borneras del variador de frecuencia.

Paso 3. Verificar voltaje de alimentación. (Ver ilustración VI.20) El variador tiene un voltaje de alimentación de 200 V a 240 V (Cualquier duda sobre el voltaje de alimentación consultar manual del variador de frecuencia Ver anexo 22) si el voltaje está por debajo o encima del rango NO ENERGIZARLO.



Diseño y construcción de banco de ensayo para una bomba centrífuga.

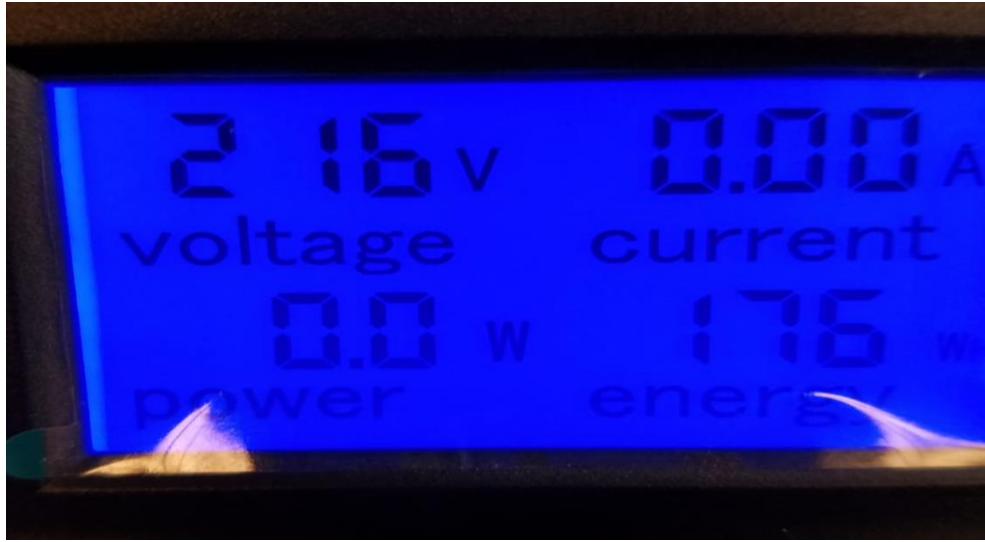


Ilustración VI.20. Medidor digital de voltaje y corriente.

Paso 4. Energizar el banco con el Voltaje adecuado, verificar que el variador esté en la función **rdy**, (Ver ilustración VI.21), comprobar voltaje con medidor digital.



Ilustración VI.21. Variador de frecuencia en función "rdy".



Diseño y construcción de banco de ensayo para una bomba centrífuga.

Paso 5. Encender contador de volumen presionando el botón ON, si el contador de volumen tiene algún valor regresarlo a 0 manteniendo presionado el botón reset. (Ver ilustración VI.22)



Ilustración VI.22. Medidor de volumen.

Paso 6. Verificar que la válvula de compuerta en la succión esté completamente abierta (Ver ilustración VI.23), posteriormente verificar que la válvula de bola en la descarga esté en la posición 1. (Ver ilustración VI.24),



Ilustración VI.23. Válvula de compuerta.

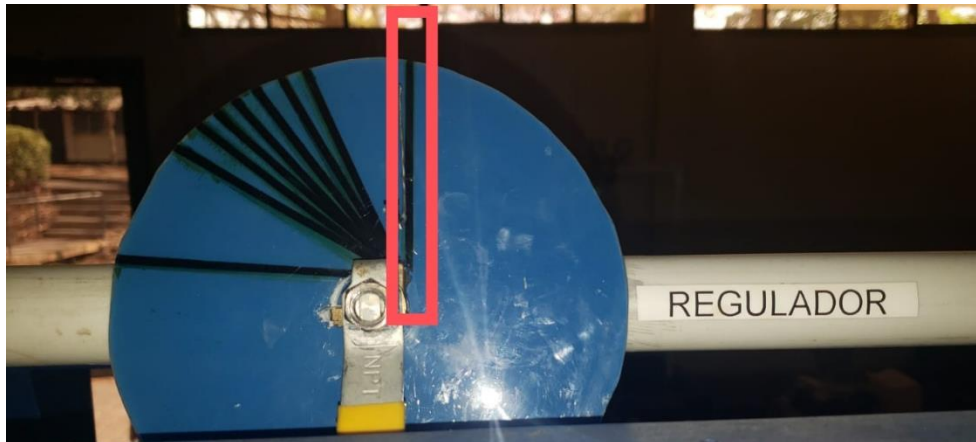


Ilustración VI.24. Válvula de globo en posición 1

Paso 7. Energizar bomba centrífuga presionando el botón de encendido, verificar que el variador este trabajando al 100%, esto equivale a 3600 rpm con las que trabaja la bomba por defecto de fábrica.

Paso 8. En un tiempo de 30 segundos tomar los siguientes datos:

- Presión de succión.
- Presión de descarga.
- Voltaje.
- Amperaje.
- Cantidad de galones que pasaron en 30 segundos.

Paso 9. (Opcional): Dentro de los 30 segundos también se deberá tomar la distancia que recorre el nivel de agua en la manguera que está en unos de los lados del depósito de descarga, ese valor recorrido deberá multiplicarse por el área del depósito de descarga para obtener el volumen del mismo y al dividirse entre el tiempo (30 segundos) para obtener el caudal según ecuación V.1, esta es una manera de comprobar la exactitud del contador de volumen.

Paso 10. (Comprobación): En el banco se encuentra un vertedero triangular, mediante el cual es posible comprobar la lectura del caudal que brinda el contador de volumen



Diseño y construcción de banco de ensayo para una bomba centrífuga.

mediante la ecuación V.33, dicho valor obtenido es igual al del contador de volumen.

Paso 11. Estos valores deberán ser integrados en las tablas (VI.20, VI.21 y VI.22). El paso 8 y 9 deberán repetirse en cada una de las posiciones de la válvula de bola cabe destacar que la posiciones inician de derecha a izquierda (sentido antihorario). Ver ilustración VI.22.

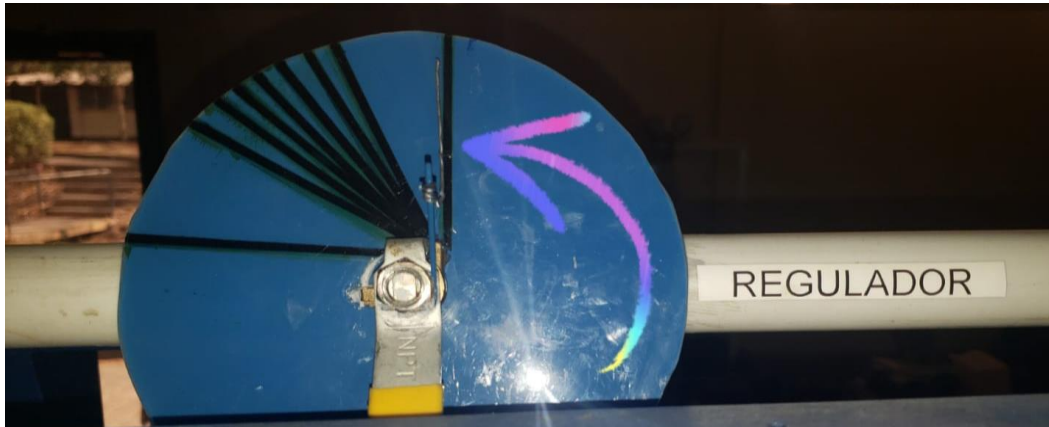


Ilustración VI.25. Selector de posición para la válvula de globo.

Paso 12. Al terminar de recopilar los datos se deberá apagar la bomba.

Paso 13. Ajustar el selector giratorio del variador al 90% y 80 % por ciento de la velocidad angular de la bomba (Ver ilustración VI.26) y deberán repetirse los pasos 8, 9, 10, 11 y 12.

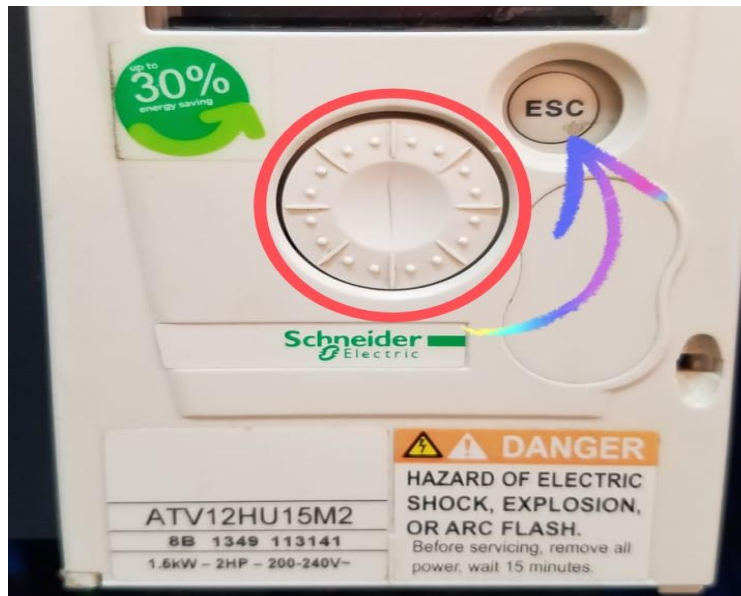


Ilustración VI.26. Selector giratorio del variador de frecuencia.

Paso 14. Llenar completamente todas las tablas de la guía de laboratorio.

Pasó 15. Trazar las curvas en los ejes “X” y “Y” que están en la guía de laboratorio.

6.5.1.2. Propuesta de mantenimiento preventivo al banco de ensayo.

- 1) Mantener los tanques de succión y descargas vacías en los semestres que no se imparten las prácticas con el banco de ensayo, y en los semestres donde se impartirán las prácticas de laboratorios se deberá cambiar el agua por semana.
- 2) En cada inicio y final de prácticas de laboratorios anual o semestral se deberán ajustar todas las borneras del sistema eléctrico y aplicar líquido limpia contacto.
- 3) Se recomienda limpiar internamente el contador de volumen, esto deberá realizarse cada 6 meses o año por lo menos.
- 4) Engrasar ruedas de la base del banco de ensayo cuando sea necesario.
- 5) Limpiar internamente la bomba centrífuga, verificar el buen estado de sellos y empaques y ajustar bien los pernos para evitar fuga.

En caso de que el banco presente algún problema en cada uno de los instrumentos leer



los manuales de cada uno de los instrumentos (Ver anexos 19, 20, 21,22).

6.6. Guía de laboratorio.

La siguiente guía fue elaborada para las prácticas de laboratorio en el banco de ensayo.

La guía de laboratorio es práctica y sencilla, la cual está conformada por una introducción, generalidades, objetivos, procedimientos, medidas de seguridad y un número de tablas las cuales deben ser llenadas en la clase práctica, también consta con ejes de simetría en los cuales podremos graficar la curva.

La guía también contiene unas preguntas que los estudiantes deberán responder y entregar en un informe donde estará plasmado el resultado de la práctica.

Al final de la guía se explica la forma y metodología que debe llevar el informe.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA INDUSTRIA
PRACTICAS LABORATORIO DE TURBOMAQUINA

LABORATORIO DE TURBOMAQUINAS.

TEMA: CURVAS CARACTERÍSTICAS DE LAS BOMBAS CENTRIFUGAS.

INTRODUCCIÓN.

Ensayo elemental de una bomba es aquel en que, manteniéndose constante el número de revoluciones (n), se varía el caudal (Q), y se obtienen experimentalmente las curvas altura en función del caudal; $H = f_1(Q)$; potencia en función del caudal; $P_o = f_2(Q)$, y rendimiento total en función del caudal; $\eta_{total} = f_3(Q)$. Estas curvas, y en particular la curva $H = f_1(Q)$, se llaman curvas características.

Ensayo completo de una bomba.

Ensayo completo de una bomba es un conjunto de ensayos elementales, caracterizado cada uno por un número de revoluciones distinto: consta de varias curvas ($H-Q$) y de varias curvas de ($\eta_{total}-Q$). Al conjunto de todas las curvas se denomina curvas en concha.

GENERALIDADES.

Trazar de forma experimental las curvas características de una bomba centrífuga de 1 HP con diferentes revoluciones.

En las instalaciones más corrientes la bomba acoplada a un motor eléctrico de inducción está destinada a girar a velocidad constante. Sin embargo, es frecuente que, aunque la bomba gire a n constante, el utilizador necesite más o menos caudal, lo que sólo puede conseguirse en este caso abriendo o cerrando la válvula de impulsión.

Suponemos que tanto la selección como la instalación de la bomba están bien hecha. Esta selección se ha de hacer mediante un estudio previo de la (H) necesaria.

Ejemplo: se han hecho estudios de rendimientos logrados en las bombas destinadas a la agricultura en alguna región. Que han dado una medida de rendimiento del 25%; siendo así que en dichas bombas podría esperarse un rendimiento del 75%. Esto significa que se pagaba allí en recibos eléctricos tres veces más de lo que se hubiera pagado si las bombas hubieran estado bien seleccionadas e instaladas.

Si la bomba está bien escogida estará funcionando normalmente en las condiciones llamadas nominales, al saber Q , H , n (este último deberá ser el rpm del motor eléctrico), es decir, marchará la bomba en el punto de funcionamiento para el cual el rendimiento total (η_{total}) es máximo.



Diseño y construcción de banco de ensayo para una bomba centrífuga.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA INDUSTRIA
PRACTICAS LABORATORIO DE TURBOMAQUINA

Ahora bien, ¿cuáles serán las características de la bomba. Altura (H). Potencia de accionamiento (P_{acc}) y rendimiento total (η_{total}), cuando el caudal (Q). Varía, o sea cuando se estrangula la válvula de impulsión? las fórmulas de semejanza no resuelven este problema. Porque dichas fórmulas se basan en la hipótesis de que el rendimiento se mantiene constante. Luego sus resultados serán tanto menos aproximados cuanto más diferentes sean las condiciones de funcionamiento.

Las curvas características, que son la respuesta a la pregunta anterior, son experimentales y se obtienen fácilmente en un banco de pruebas. Así, por ejemplo, se han obtenido manteniendo constante el número de revoluciones (1,000 rpm, por ejemplo). Se han hecho de cinco a ocho ensayos a diferentes aperturas de la válvula de impulsión desde la apertura completa hasta el cierre completo.

Objetivos.

Generales.

- Trazar las curvas características de la bomba centrífuga aplicando los conocimientos teóricos adquiridos en las clases de Turbomáquinas.

Específicos.

- Definir las curvas (altura-caudal), (rendimiento-caudal) y (potencia-caudal).
- Analizar y responder las preguntas de la guía de laboratorio según la clase práctica recibida.
- Detallar un informe sobre la clase práctica en tiempo y forma.

Herramientas e Instrumentos.

Alimentación 220 V, banco de ensayo, cronometro, tabla de valores.

Medidas de seguridad.

- No tocar bornera del motor eléctrico.
- No tocar bornera del variador de frecuencia.
- No manipular el contador de litro sin la supervisión y aprobación del instructor.
- No manipular el variador de frecuencia sin la supervisión y aprobación del instructor.
- No manipular el medidor digital.



Diseño y construcción de banco de ensayo para una bomba centrífuga.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
 FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA INDUSTRIA
 PRACTICAS LABORATORIO DE TURBOMAQUINA

Metodología.

- Energizar banco de ensayo.
- Tomar datos de caudal, presión, voltaje y corriente en 9 diferentes posiciones de válvula y repetir el mismo pasó en 3 velocidades de rotación diferentes.
- Comprobar el valor de los caudales tomando el tiempo a la cantidad de litros que pasan por el contador de volumen en un lapso de (30 segundos).
- Opcional: para comprobar las lecturas del contador de volumen usar el visor cilíndrico graduado ubicada al costado del depósito de descarga tomando en cuenta las dimensiones de ancho por largo del depósito (húmedo), medir la altura que se desplazó el nivel del agua para calcular volumen, calcular el caudal dividiendo el volumen calculado entre (30 segundos).
- Todos los datos serán anotados en las tablas V1.20, VI.21, VI.22.
- Construir las curvas características de la bomba que está instalada en el banco de ensayo.

TABLA DE VALORES PROMEDIADOS							n_1 (rpm)	
Posición válvula de bola	Presión en manómetro (psi)	Presión en vacuómetro (cm Hg vacío)	Galones (g)	Caudal (m ³ /h)	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Potencia (W)	Altura (m)
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
*factor de conversión de Psi a Pascal (N/m ²) = valor Psi X 6894.76 Pascal/psi								
* factor de conversión de galones a m ³ = valor de galón X 0.00379 m ³ /G								
* factor de conversión de cm Hg a Pascales = valor de cm Hg X 1333.22 Pa								
* $\gamma = 9770.9562 \text{ N/m}^3$								

Tabla VI.20. Tabla de valores para n_1 .



Diseño y construcción de banco de ensayo para una bomba centrífuga.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
 FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA INDUSTRIA
 PRACTICAS LABORATORIO DE TURBOMAQUINA

TABLA DE VALORES PROMEDIADOS							n ₂ (rpm)	
Posición válvula de bola	Presión en manómetro (psi)	Presión en vacuómetro (cm Hg vacío)	Galones (g)	Caudal (m ³ /h)	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Potencia (W)	Altura (m)
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
*factor de conversión de Psi a Pascal (N/m ²) = valor Psi X 6894.76 Pascal/Psi								
* factor de conversión de galones a m ³ = valor de galón X 0.00379 m ³ /G								
* factor de conversión de cm Hg a Pascales = valor de cm Hg X 1333.22 Pa								
* $\gamma = 9770.9562 \text{ N/m}^3$								

Tabla VI.21. Tabla de valores para n₂.



Diseño y construcción de banco de ensayo para una bomba centrífuga.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
 FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA INDUSTRIA
 PRACTICAS LABORATORIO DE TURBOMAQUINA

TABLA DE VALORES PROMEDIADOS							n ₃ (rpm)	
Posición válvula de bola	Presión en manómetro (psi)	Presión en vacuómetro (cm Hg vacío)	Galones (g)	Caudal (m ³ /h)	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Potencia (W)	Altura (m)
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
*factor de conversión de Psi a Pascal (N/m ²) = valor Psi X 6894.76 Pascal/Psi								
* factor de conversión de galones a m ³ = valor de galón X 0.00379 m ³ /G								
* factor de conversión de cm Hg a Pascales = valor de cm Hg X 1333.22 Pa								
* $\gamma = 9770.9562 \text{ N/m}^3$								

Tabla VI.22. Tabla de valores para n₃.

$$\text{Altura (H)} = H = \frac{p_2 - p_1}{\gamma} + H_{Ltotal}$$



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
 FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA INDUSTRIA
 PRACTICAS LABORATORIO DE TURBOMAQUINA

POTENCIA DE ACCIONAMIENTO				
$P_a = 0.1047 n * M \quad W, SI$				
n (rpm)	hp	T (lb-ft)	T(N-m)	Pa (w)
3600	1	1.46	2.0	
3240	1	1.62	2.2	
2880	1	1.82	2.5	
$M = \frac{HP \times 5252}{rpm}$				
*factor de conversión de lb*ft a N*m = T x 1.3558 N-m/lb-ft				

Tabla VI.23. Tabla de potencia de accionamiento.

POTENCIA ÚTIL				n ₁ (rpm)	
Posición válvula de bola	Caudal (m ³ /s)	Densidad (kg/m ³)	Gravedad (m/s ²)	Altura (m)	P(W)
1		996.02	9.81		
2		996.02	9.81		
3		996.02	9.81		
4		996.02	9.81		
5		996.02	9.81		
6		996.02	9.81		
7		996.02	9.81		
8		996.02	9.81		
9		996.02	9.81		

Tabla VI.24. Tabla de potencia útil para n₁.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA INDUSTRIA
PRACTICAS LABORATORIO DE TURBOMAQUINA

POTENCIA ÚTIL				n ₂ (rpm)	
Posición válvula de bola	Caudal (m ³ /s)	Densidad (kg/m ³)	Gravedad (m/s ²)	Altura (m)	P(W)
1		996.02	9.81		
2		996.02	9.81		
3		996.02	9.81		
4		996.02	9.81		
5		996.02	9.81		
6		996.02	9.81		
7		996.02	9.81		
8		996.02	9.81		
9		996.02	9.81		

Tabla VI.25. Tabla de potencia útil para n₂.

POTENCIA ÚTIL				n ₃ (rpm)	
Posición válvula de bola	Caudal (m ³ /s)	Densidad (kg/m ³)	Gravedad (m/s ²)	Altura (m)	P(W)
1		996.02	9.81		
2		996.02	9.81		
3		996.02	9.81		
4		996.02	9.81		
5		996.02	9.81		
6		996.02	9.81		
7		996.02	9.81		
8		996.02	9.81		
9		996.02	9.81		

Tabla VI.26. Tabla de potencia útil para n₃.

$$P = Q\rho gH$$



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA INDUSTRIA
PRACTICAS LABORATORIO DE TURBOMAQUINA

RENDIMIENTO TOTAL			n ₁ (rpm)	
Posición válvula de bola	Caudal (m ³ /h)	Pa (W)	P (W)	(%)
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				

Tabla VI.27. Tabla de rendimiento total para n₁.

RENDIMIENTO TOTAL			n ₂ (rpm)	
Posición válvula de bola	Caudal (m ³ /h)	Pa (W)	P (W)	(%)
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				

Tabla VI.28. Tabla de rendimiento total para n₂.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA INDUSTRIA
PRACTICAS LABORATORIO DE TURBOMAQUINA

RENDIMIENTO TOTAL			n ₃ (rpm)	
Posición válvula de bola	Caudal (m ³ /h)	Pa (W)	P (W)	(%)
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				

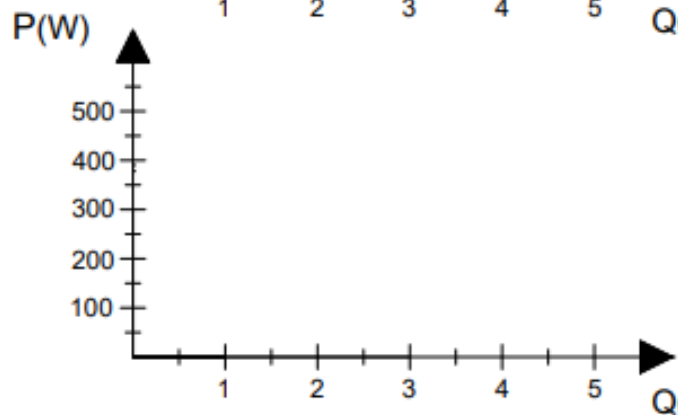
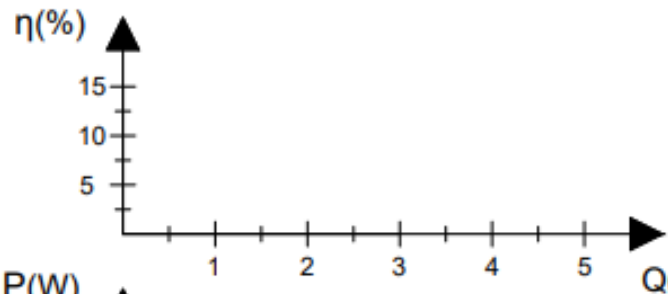
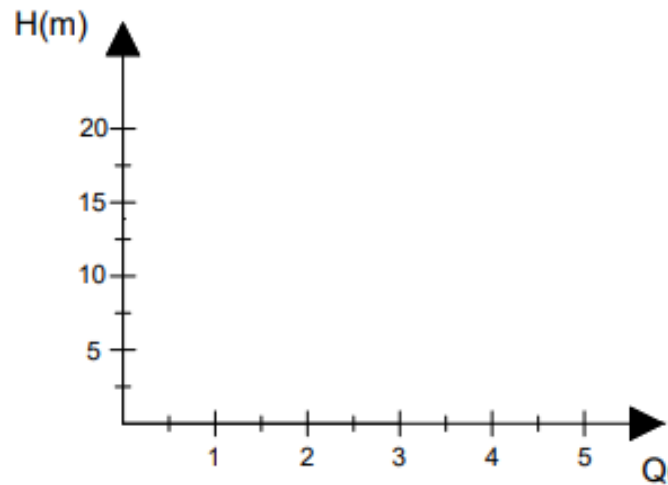
Tabla VI.29. Tabla de rendimiento total para n3.

$$\eta_{tot} = \frac{P}{P_a}$$



Diseño y construcción de banco de ensayo para una bomba centrífuga.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA INDUSTRIA
PRACTICAS LABORATORIO DE TURBOMAQUINA





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA INDUSTRIA
PRACTICAS LABORATORIO DE TURBOMAQUINA

Preguntas.

- ¿Cuándo se tiene la altura máxima en el sistema?
- ¿Por qué la curva de rendimiento es la única que parte de cero?
- ¿Aparte de la velocidad (rpm), que otro factor hace cambiar las curvas características?
- ¿Por qué la curva con la menor velocidad tiene la mayor potencia?
- ¿Por qué no se cebó la bomba?
- ¿En que influye la velocidad de rotación con las curvas características?

INDICACIONES PARA LA REALIZACIÓN DEL INFORME.

El informe tendrá la siguiente estructura:

- 1.- Introducción (Su contenido debe ser los aspectos teóricos que han sido abordados en la clase teórica y reforzados con el texto. Antecedente; Justificación: para quién le resultará útil los resultados del ensayo del laboratorio).
- 2.- Objetivos (generales y específicos), los establecidos para la práctica.
- 3.- Marco teórico: Criterios teóricos y conceptuales para el ensayo del laboratorio correspondiente.
- 4.-Materiales, métodos y equipos a utilizar en el ensayo del laboratorio.
- 5.-Memoria de Cálculo y Gráficos.
- 6.-Resultados: Deben ser redactados en el orden de los objetivos específicos (estos deben ser respuestas a los objetivos específicos).
7. Conclusiones: Deben de expresarse las interpretaciones teóricas basadas en el marco teórico que se realizan de los diferentes resultados con el objetivo de obtener las conclusiones que dan respuestas al objetivo general.
- 8.-Recomendaciones: Deben estar orientadas a dar respuestas a lo expresado en la justificación (introducción) del ensayo o trabajo de laboratorio.
- 9.-Anexos.

BIBLIOGRAFÍA.

- Mecánica de fluido y máquinas hidráulicas Claudio Mataix, segunda edición. Ediciones del Castillo, S.A. apartado de correo 9088. Madrid.
- Mecánica de fluidos, Robert L. Mott, sexta edición. Pearson Hall, México 2006.
- Mecánica de fluidos fundamentos y aplicaciones, Yunes A. Cengel, primera edición México 2006 Mc GRAW-Hill interamericana.



VII. Conclusión.

Las conclusiones que a continuación se mostrarán son aquellas que se determinaron a partir de observaciones, experimentación y análisis de datos presentados en los capítulos precedentes:

Logramos diseñar y montar satisfactoriamente el sistema de tuberías y seleccionar los accesorios de regulación y medición que consideramos necesarios para el óptimo desempeño del banco y realización de las pruebas en el mismo.

Se estableció la protección eléctrica pertinente para garantizar la integridad de cada componente que conforma el sistema eléctrico con el fin que el banco de prueba sea seguro para los estudiantes.

A partir de la investigación realizada se describe el proceso de elaboración de las curvas características que se pueden obtener con el uso del banco, esto con el fin de contrastar las curvas proporcionadas por el fabricante de la bomba con las obtenidas experimentalmente en el banco de ensayo.

Se procuró la elaboración del manual de uso y mantenimiento del banco lo más detallado posible para que por medio de este tratar de garantizar la máxima vida útil posible para cada uno de los componentes del banco de prueba.

Se formuló a detalle la guía de laboratorio que permita la correcta realización de las pruebas en el banco, esto con el fin de que se le pueda sacar el máximo provecho al mismo y que los estudiantes puedan asimilar satisfactoriamente todos los conocimientos teóricos de la materia de Turbomáquinas mediante la realización de la práctica.



VIII. Recomendaciones.

Para utilizar el banco de ensayo de bomba centrífuga se deberá contar con la presencia del docente o encargado de impartir el laboratorio ya que este mismo proporcionara la documentación y datos necesarios para realizar el ensayo.

Realizar las pruebas verificando que todos los componentes del banco estén en buen estado y las tuberías no presenten fugas, además observar que el agua de los depósitos no contenga objetos que puedan provocar un atasco en la bomba o en la propela del contador de volumen.

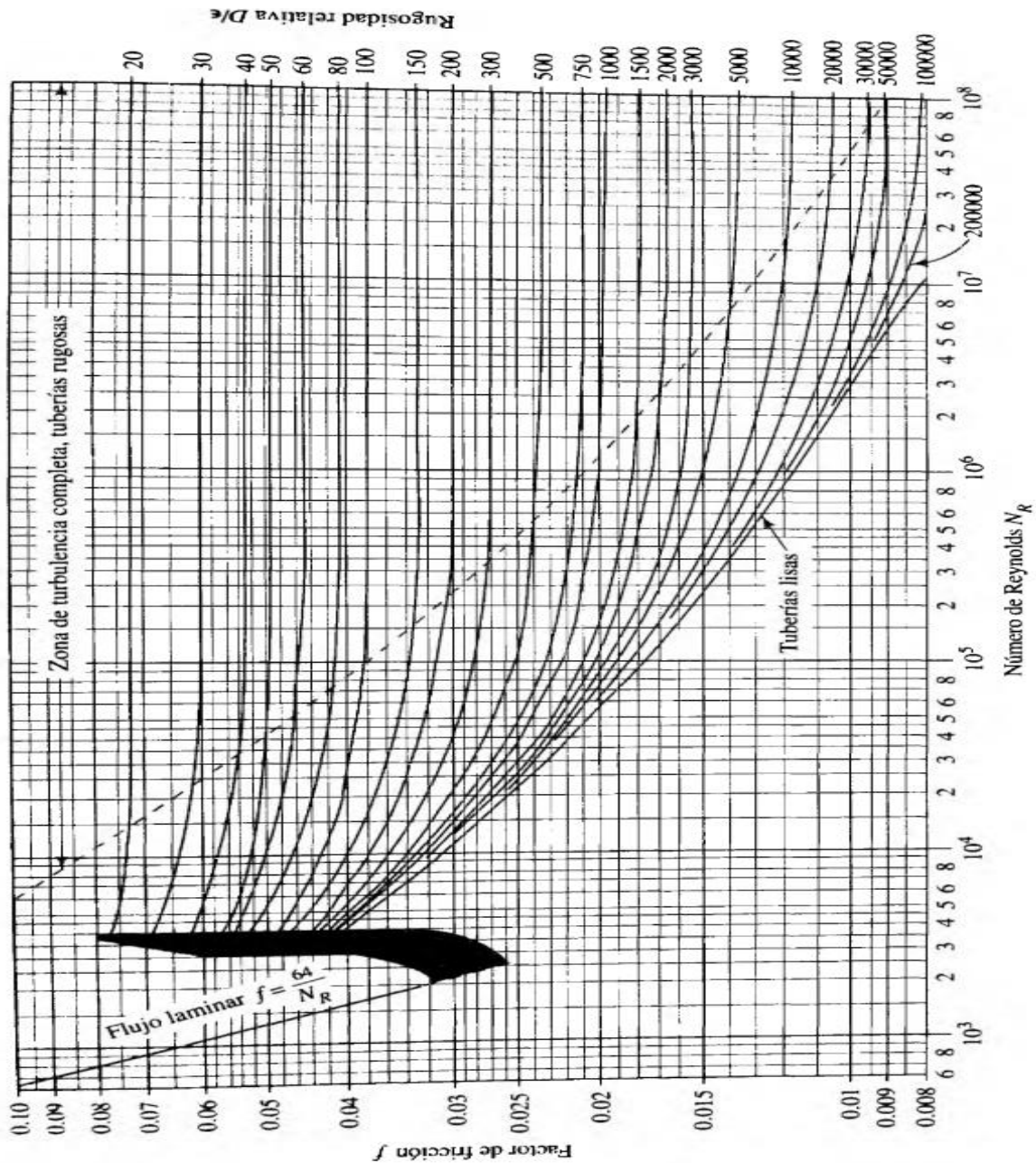
Apegarse a la propuesta de mantenimiento preventivo descrita en los capítulos anteriores esto con el fin de extender la vida útil del mismo.

Terminada la practica garantizar la evacuación del agua de los depósitos para evitar la acumulación de sedimentos y oxidación en la estructura que conforma los depósitos.



IX. Anexos.

Anexo 1. Diagrama de Moody. (Mott, 2006, pág. 237)





Anexo 2. Valores de rugosidad absoluta. (Mott, 2006, pág. 235).

Material	Rugosidad ϵ (m)	Rugosidad ϵ (pie)
	Liso	Liso
Vidrio	3.0×10^{-7}	1.0×10^{-6}
Plástico	1.5×10^{-6}	5.0×10^{-6}
Tubo extruido; cobre, latón y acero	4.6×10^{-5}	1.5×10^{-4}
Acero, comercial o soldado	1.5×10^{-4}	5.0×10^{-4}
Hierro galvanizado	1.2×10^{-4}	4.0×10^{-4}
Hierro dúctil, recubierto	2.4×10^{-4}	8.0×10^{-4}
Hierro dúctil, no recubierto	1.2×10^{-4}	4.0×10^{-4}
Concreto, bien fabricado	1.8×10^{-3}	6.0×10^{-3}
Acero remachado		

Anexo 3. Factor de fricción para accesorios.(Crane 1957, pág. A-46).



FACTORES DE FRICCIÓN PARA TUBERÍAS COMERCIALES, NUEVAS,
DE ACERO, CON FLUJO EN LA ZONA DE TOTAL TURBULENCIA

Diámetro mm	15	20	25	32	40	50	65, 80	100	125	150	200,250	300400	450-600
Nominal pulg	½	¾	1	1¼	1½	2	2½, 3	4	5	6	8: 10	12-16	18-24
Factor de fricción (f_r)	.027	.025	.023	.022	.021	.019	.018	.017	.016	.015	.014	.013	.012



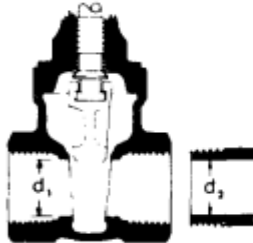
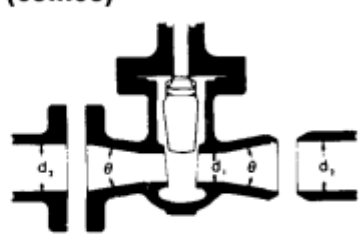
Anexo 4. Coeficiente de resistencia en válvulas de pie con filtro. (Crane, 1957, pág. 174)

VÁLVULAS DE PIE CON FILTRO

<p>Obturador ascendente</p>  <div style="border: 2px solid red; padding: 2px; display: inline-block; margin: 10px 0;">$K = 420f_T$</div> <p>Velocidad mínima en la tubería para levantar totalmente el obturador</p> <p>m/seg = $20 \sqrt{V}$</p> <p>pie/seg = $15 \sqrt{V}$</p>	<p>Obturador oscilante</p>  <p>$K = 75f_T$</p> <p>Velocidad mínima en la tubería para levantar totalmente el obturador</p> <p>= $45 \sqrt{V}$</p> <p>= $35 \sqrt{V}$</p>
---	--

Anexo 5. Coeficiente de resistencia para válvulas de compuerta (Crane, 1957, pág. 173).

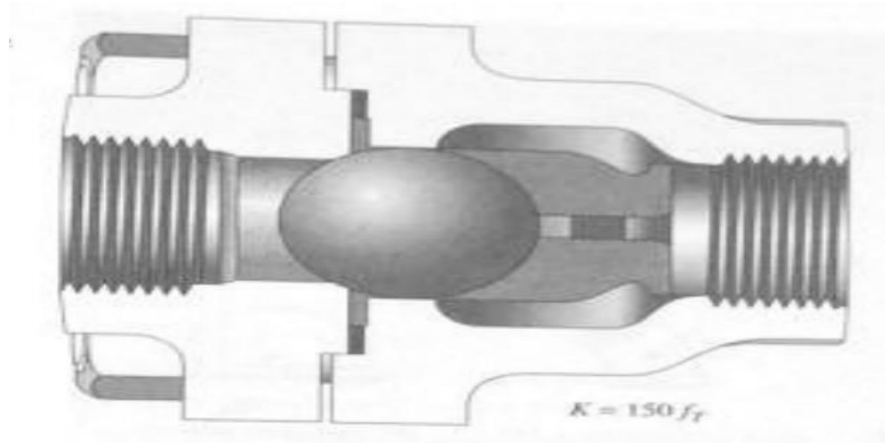
VÁLVULAS DE COMPUERTA
De cuña, de doble obturador o tipo macho (cónico)

Si: $\beta = 1, \theta = 0 \dots \dots \dots K_2 = 8 f_T$
 $\beta < 1$ y $\theta < 45^\circ \dots \dots \dots K_2 = \text{Fórmula 5}$
 $\beta < 1$ y $45^\circ < \theta < 180^\circ \dots \dots K_2 = \text{Fórmula 6}$

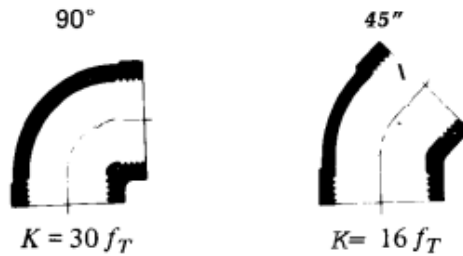


Anexo 6. Coeficiente de resistencia para válvulas de bola. (Cengel, 2006, pág. 295)

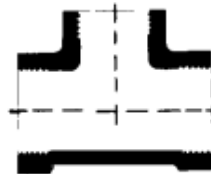


Anexo 7. Coeficiente de resistencias para codos y tee. (Crane, 1957, pág. 176)

CODOS ESTÁNDAR



CONEXIONES ESTÁNDAR EN "T"



Flujo directo $K = 20 f_T$
Flujo desviado a 90° . . $K = 60 f_T$



Anexo 8. Coeficiente de resistencias para medidores de flujo. (serchjimenez, 2017)

Pieza, conexión o dispositivo	K_f
Rejilla de entrada	0.80
Válvula de pie	3.00
Entrada cuadrada	0.50
Entrada abocinada	0.10
Entrada de borda o reentrada	1.00
Ampliación gradual	0.30
Ampliación brusca	0.20
Reducción gradual	0.25
Reducción brusca	0.35
Codo corto de 90°	0.90
Codo corto de 45°	0.40
Codo largo de 90°	0.40
Codo largo de 45°	0.20
Codo largo de 22° 30'	0.10
Tee con flujo en línea recta	0.10
Tee con flujo en ángulo	1.50
Tee con salida bilateral	1.80
Válvula de compuerta abierta	5.00
Válvula de ángulo abierta	5.00
Válvula de globo abierta	10.0
Válvula alfalfera	2.00
Válvula de retención	2.50
Boquillas	2.75
Controlador de gasto	2.50
Medidor Venturi	2.50
Confluencia	0.40
Bifurcación	0.10
Pequeña derivación	0.03
Válvula de mariposa abierta	0.24



Diseño y construcción de banco de ensayo para una bomba centrífuga.

Anexo 9. Estructura base proporcionada por la FTI, en la que se construyó el Banco de Ensayo. (Fuente propia)



Anexo 10. Comprobación de velocidad de trabajo de la bomba utilizando un tacómetro digital. (Fuente propia)





Anexo 11. Velocidad medida con tacómetro digital para la bomba operando en su capacidad nominal.



Anexo 12. Velocidad medida con tacómetro digital para la bomba operando al 90% de la capacidad nominal.





Anexo 13. Velocidad medida con tacómetro digital para la bomba operando al 80% de la capacidad nominal.



Anexo 14. Tabla de resultados obtenidos de la realización de pruebas en condiciones nominales de la bomba.

TABLA DE VALORES.							n(rpm)	3600
Posición válvula de bola.	Presión en manómetro (psi)	Presión en vacuómetro (cm Hg vacío)	Galones (g)	Caudal (m ³ /h)	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Potencia (W)	Altura (m)
PRUEBA N° 1								
1	23	0	0	0	220	1.22	347.8	16.23
2	20	0	3.85	1.7	220	1.43	407.7	14.11
3	18	2	5.05	2.3	220	1.47	419.1	12.97
4	16	4	6.56	3	220	1.48	422	11.84
5	14	5	7.66	3.5	220	1.54	439.1	10.56
6	12.5	6	8.41	3.8	220	1.57	447.6	9.64
7	11.8	8	9.30	4.2	220	1.58	450.5	9.42



Diseño y construcción de banco de ensayo para una bomba centrífuga.

8	10.2	9	9.72	4.4	220	1.56	444.8	8.43
9	9	10	10.29	4.7	220	1.50	427.7	7.72
PRUEBA Nº 2								
1	22.5	0	0	0	220	1.21	345	15.88
2	20	0	3.61	1.6	221	1.41	403.8	14.11
3	19	2	5.07	2.3	220	1.48	422	13.68
4	16	4	6.52	3	220	1.53	436.2	11.84
5	14	5	7.55	3.4	220	1.47	419.1	10.56
6	13	6	8.38	3.8	220	1.57	447.6	9.99
7	12	8	9.02	4.1	220	1.48	422	9.56
8	10	10	9.68	4.4	220	1.53	440.2	8.42
9	9	11	10.39	4.7	220	1.59	453.3	7.85
PRUEBA Nº 3								
1	23	0	0	0	220	1.27	362.1	16.23
2	20	0	3.57	1.6	220	1.4	308	14.11
3	19	2	4.95	2.3	220	1.41	310.2	13.68
4	16	4	6.6	3	220	1.51	432.2	11.84
5	14	5	7.49	3.4	220	1.55	441	10.56
6	13	6	8.34	3.8	220	1.57	445.4	9.99
7	12	8	9.09	4.1	220	1.58	447.6	8.56
8	10	10	9.55	4.3	220	1.59	449.8	8.42
9	9	11	10.22	4.6	220	1.6	452	7.85
PRUEBA Nº 4								
1	23	0	0	0	220	1.24	353.5	16.23
2	20	0	3.44	1.6	220	1.42	404.8	14.11
3	19	2	4.86	2.2	220	1.47	419.1	13.68
4	17	3	6.22	2.8	220	1.47	419.1	12.41
5	14	5	7.5	3.4	220	1.55	441.9	10.56
6	13	6	8.12	3.7	220	1.54	339.1	9.99
7	12	8	9.01	4.1	220	1.56	344.8	9.56
8	10	9	9.53	4.3	220	1.5	427.7	8.28
9	9	10	10.14	4.6	220	1.59	453.3	7.72



Diseño y construcción de banco de ensayo para una bomba centrífuga.

PRUEBA Nº 5								
1	23	0	0	0	220	1.25	356.4	16.2
2	20	0	3.49	1.6	220	1.36	387.7	14.1
3	19	2	5.08	2.3	220	1.41	402	13.7
4	18	4	6.5	3	220	1.45	413.4	13.2
5	15	5	7.45	3.4	200	1.5	427.7	11.3
6	13	6	8.33	3.8	220	1.55	441.9	10
7	12	8	9.02	4.1	220	1.5	427.7	9.6
8	10	9	9.56	4.3	220	1.57	447.6	8.3
9	9	10	10.41	4.7	220	1.59	453.3	7.7
*factor de conversión de Psi a Pascal (N/m ²) = valor Psi X 6894.76 Pascal/Psi								
* factor de conversión de galones a m ³ = valor de galón X 0.00379 m ³ /G								
* factor de conversión de cm Hg a Pascales = valor de cm Hg X 1333.22 Pa								
* $\gamma = 9770.9562 \text{ N/m}^3$								

Anexo 15. Tabla de diámetros para tubería PVC. (Sanitaria y aguas lluvias, docplayer.es).

RDE	DIÁMETROS					PRESIÓN TRABAJO
	Nominal		Interno mm	Externo mm	Longitud mt	
	Pulgadas	mm				PSI
9	½"	21	16,62	21,34	6	500
13,5	½"	21	18,20	21,34	6	315
21	½"	21	19,28	21,34	6	200
11	¾"	26	21,82	26,67	6	400
21	¾"	26	23,63	26,67	6	200
13,5	1"	33	28,45	33,40	6	315
21	1"	33	30,20	33,40	6	200
21	1 ¼"	42	38,14	42,16	6	200
21	1 ½"	48	43,66	48,26	6	200
21	2"	60	54,68	60,32	6	200



Anexo 16. Tabla de densidad del agua. (Densidad del agua, fullquimica.com)

Temperatura °C	Densidad kg / m ³	Temperatura °C	Densidad kg / m ³	Temperatura °C	Densidad kg / m ³
0 (hielo)	917,00	33	994,76	67	979,34
0	999,82	34	994,43	68	978,78
1	999,89	35	994,08	69	978,21
2	999,94	36	993,73	70	977,63
3	999,98	37	993,37	71	977,05
4	1000,00	38	993,00	72	976,47
5	1000,00	39	992,63	73	975,88
6	999,99	40	992,25	74	975,28
7	999,96	41	991,86	75	974,68
8	999,91	42	991,46	76	974,08
9	999,85	43	991,05	77	973,46
10	999,77	44	990,64	78	972,85
11	999,68	45	990,22	79	972,23
12	999,58	46	989,80	80	971,60
13	999,46	47	989,36	81	970,97
14	999,33	48	988,92	82	970,33
15	999,19	49	988,47	83	969,69
16	999,03	50	988,02	84	969,04
17	998,86	51	987,56	85	968,39
18	998,68	52	987,09	86	967,73
19	998,49	53	986,62	87	967,07
20	998,29	54	986,14	88	966,41
21	998,08	55	985,65	89	965,74
22	997,86	56	985,16	90	965,06
23	997,62	57	984,66	91	964,38
24	997,38	58	984,16	92	963,70
25	997,13	59	983,64	93	963,01
26	996,86	60	983,13	94	962,31
27	996,59	61	982,60	95	961,62
28	996,31	62	982,07	96	960,91
29	996,02	63	981,54	97	960,20
30	995,71	64	981,00	98	959,49
31	995,41	65	980,45	99	958,78
32	995,09	66	979,90	100	958,05



Anexo 17. Tabla de viscosidad dinámica del agua. (Densidad del agua, yumpu.com)

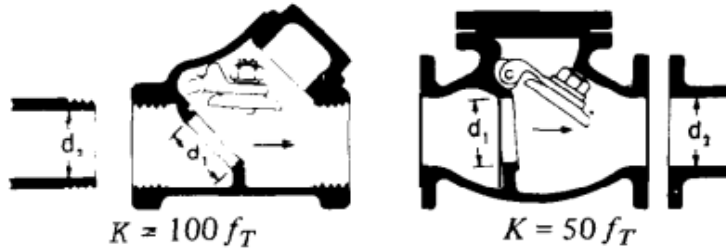
Viscosidad dinámica del agua líquida a varias temperaturas

Temperatura °C	Viscosidad dinámica kg / (m-s)	Temperatura °C	Viscosidad dinámica kg / (m-s)	Temperatura °C	Viscosidad dinámica kg / (m-s)
0	0,001792	34	0,000734	68	0,000416
1	0,001731	35	0,000720	69	0,000410
2	0,001674	36	0,000705	70	0,000404
3	0,001620	37	0,000692	71	0,000399
4	0,001569	38	0,000678	72	0,000394
5	0,001520	39	0,000666	73	0,000388
6	0,001473	40	0,000653	74	0,000383
7	0,001429	41	0,000641	75	0,000378
8	0,001386	42	0,000629	76	0,000373
9	0,001346	43	0,000618	77	0,000369
10	0,001308	44	0,000607	78	0,000364
11	0,001271	45	0,000596	79	0,000359
12	0,001236	46	0,000586	80	0,000355
13	0,001202	47	0,000576	81	0,000351
14	0,001170	48	0,000566	82	0,000346
15	0,001139	49	0,000556	83	0,000342
16	0,001109	50	0,000547	84	0,000338
17	0,001081	51	0,000538	85	0,000334
18	0,001054	52	0,000529	86	0,000330
19	0,001028	53	0,000521	87	0,000326
20	0,001003	54	0,000512	88	0,000322
21	0,000979	55	0,000504	89	0,000319
22	0,000955	56	0,000496	90	0,000315
23	0,000933	57	0,000489	91	0,000311
24	0,000911	58	0,000481	92	0,000308
25	0,000891	59	0,000474	93	0,000304
26	0,000871	60	0,000467	94	0,000301
27	0,000852	61	0,000460	95	0,000298
28	0,000833	62	0,000453	96	0,000295
29	0,000815	63	0,000447	97	0,000291
30	0,000798	64	0,000440	98	0,000288
31	0,000781	65	0,000434	99	0,000285
32	0,000765	66	0,000428	100	0,000282
33	0,000749	67	0,000422		



Anexo 18. Coeficiente de resistencias para válvulas de retención. (Cengel, 2006, pág. 341)

VÁLVULAS DE RETENCIÓN DE DISCO OSCILANTE



Velocidad mínima en la tubería para levantar totalmente el obturador

$$(\text{m/seg}) = 45 \sqrt{V}$$

$$(\text{pie/seg}) = 35 \sqrt{V}$$

$$\text{U/L Registradas} = 120 \sqrt{V}$$

$$= 75 \sqrt{V}$$

$$= 60 \sqrt{V}$$

$$= 100 \sqrt{V}$$

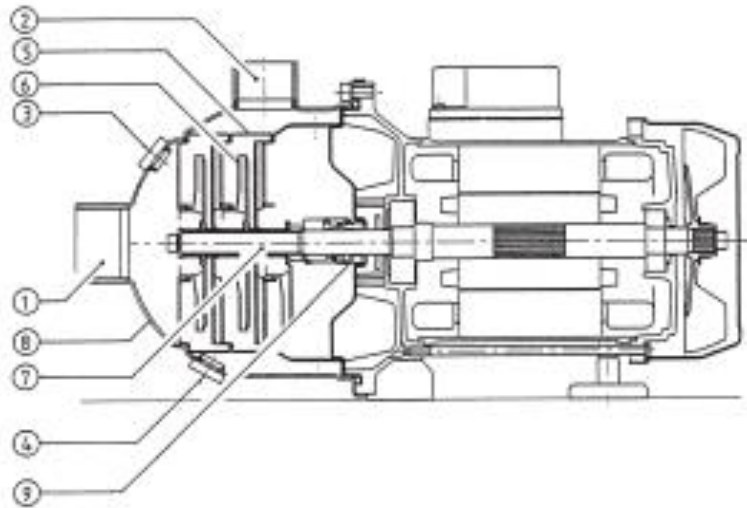


Anexo 19. Manual del fabricante de la bomba. (Wilo) Bomba Centrífuga

Wilo-Economy-MHI

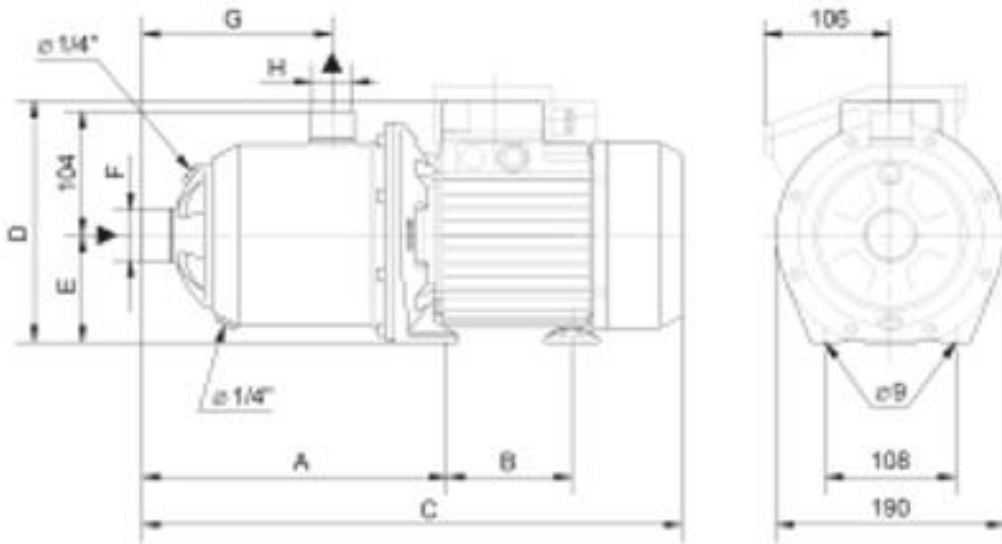
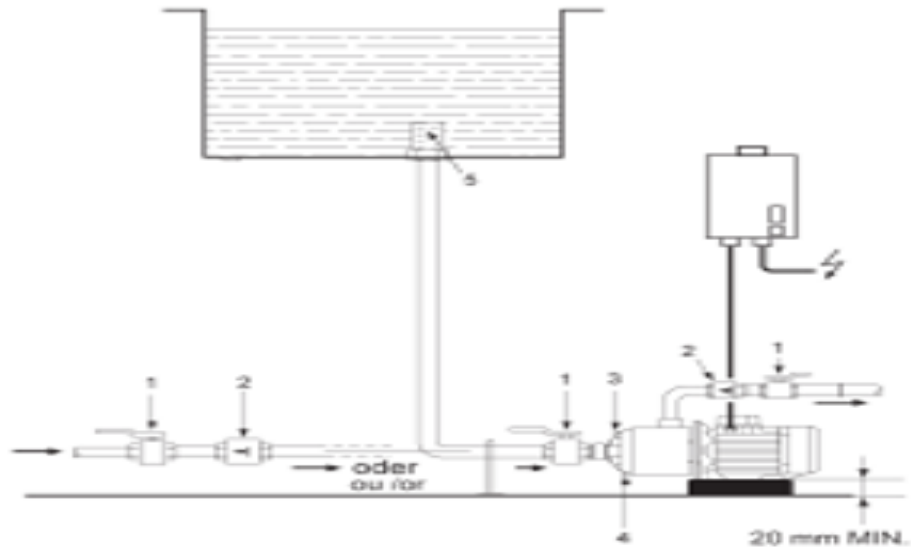


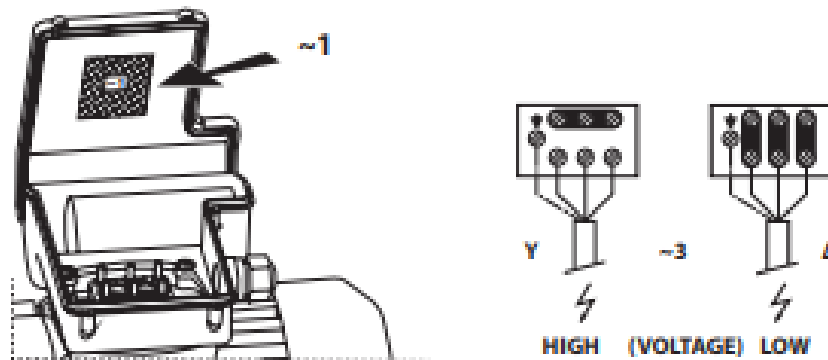
MHI 2.. /4.. /8.. /16..





Diseño y construcción de banco de ensayo para una bomba centrífuga.





Generalidades.

Acerca de este documento

El idioma de las instrucciones de funcionamiento originales está en francés. Las instrucciones en los restantes idiomas son una traducción de las instrucciones de funcionamiento originales. Las instrucciones de instalación y funcionamiento forman parte del producto y, por lo tanto, deben estar disponibles cerca del mismo en todo momento. Es condición indispensable respetar estas instrucciones para poder hacer un correcto uso del producto de acuerdo con las normativas vigentes. Las instrucciones de instalación y funcionamiento se aplican al modelo actual del producto y a las versiones de las normativas técnicas de seguridad aplicables en el momento de su publicación.

Usos previstos

La bomba se emplea para bombear agua potable, agua de sistemas de calefacción y agua para la industria, productos de condensación, mezclas de agua / glicol que contengan hasta un 40% de este último, así como otros medios libres de aceites minerales y que no contengan sustancias abrasivas ni de fibra larga. Los principales campos de aplicación incluyen las plantas de suministro de agua y los grupos de presión, así como de alimentación de calderas y los sistemas industriales de circulación, de procesamiento de agua, circuitos de agua de refrigeración, sistemas de contra incendio



Diseño y construcción de banco de ensayo para una bomba centrífuga.

e instalaciones de lavado y regadío. En caso de que deban bombearse líquidos químicos corrosivos deberá obtenerse previamente el visto bueno del fabricante.

Datos técnicos.

Datos de conexión y prestaciones.

Corriente alterna: 1 ~ 230 V ($\pm 10\%$)/50Hz ó 220 V (-10%)/60Hz - 240 V (+6%)/60Hz.

Corriente trifásica: 3 ~ 230/400 V ($\pm 10\%$)/50 Hz ó 220/380 V (-10%)/60 Hz - 265/460 V (+10%)/60 Hz.

Prestaciones del motor: véase placa de características,

Consumo máximo: véase placa de características, temperatura de los medios de impulsión: desde $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ con juntas – EPDM (KTR/WRAS) desde $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ con juntas – VITON.

Presión máxima de trabajo permitida: 10 bar.

Presión máxima de entrada permitida: 6 bar.

Temperatura ambiental máximo: $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ Grado de protección: IP 54.

Nivel de presión sonora 0/+3 dB(A):

Potencia (kW)				
0.55	0.75	1.1	1.5	2.2
≤ 62	≤ 62	≤ 68	≤ 68	≤ 66

Otros voltajes y frecuencias y otras calidades de materiales son opcionales, es decir que pueden conseguirse a petición. En caso de utilizarse medios viscosos como, por ejemplo, las mezclas de agua y glicol habrán de ajustarse los datos de trabajo de la bomba conforme a dicha viscosidad mayor. Al añadirse mezclas de glicol, han de utilizarse



Diseño y construcción de banco de ensayo para una bomba centrífuga.

únicamente productos de marca que contengan anticorrosivos y han de seguirse las indicaciones del fabricante.

Dimensiones: véase tabla y diagrama de medidas 3.

Bomba	Unidad de bomba											
Modelo	Dimensiones											
	A	B		C		D		E		F	G	H
		1 ~	3 ~	1 ~	3 ~	1 ~	3 ~	1 ~	3 ~			
MHI		Mm										
202	205	88	88	375	375	216	192	90	90	Rp1	110	Rp1
203	205	88	88	375	375	216	192	90	90	Rp1	110	Rp1
204	253	88	88	423	423	216	192	90	90	Rp1	158	Rp1
205	253	88	88	423	423	216	192	90	90	Rp1	158	Rp1
206	277	104	104	472	472	224	206	90	90	Rp1	182	Rp1
402	205	88	88	375	375	216	192	90	90	Rp1¼	110	Rp1
403	205	88	88	375	375	216	192	90	90	Rp1¼	110	Rp1
404	253	88	88	423	423	216	192	90	90	Rp1¼	158	Rp1
405	253	104	104	448	448	224	206	90	90	Rp1¼	158	Rp1
406	277	137	104	511	472	239	206	100	90	Rp1¼	182	Rp1
802	217	88	88	387	387	216	192	90	90	Rp1½	122	Rp1¼

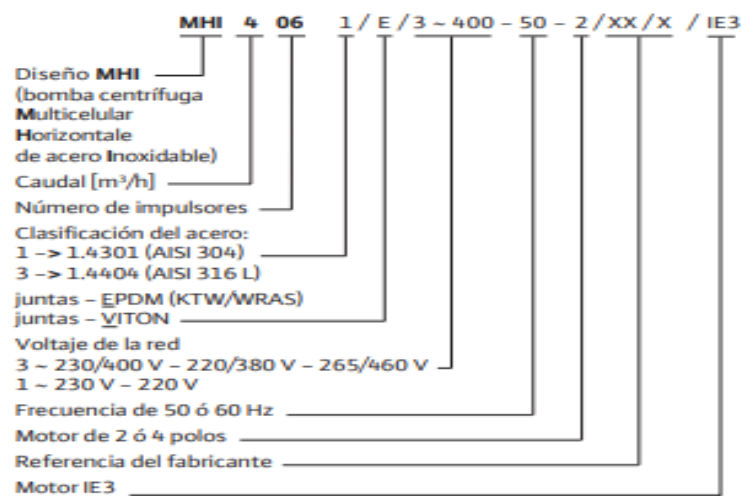


Diseño y construcción de banco de ensayo para una bomba centrífuga.

803	217	104	88	412	387	224	192	90	90	Rp1½	122	Rp1¼
804	277	104	104	472	472	224	206	90	90	Rp1½	182	Rp1¼
805	277	-	104	-	472	-	206	-	90	Rp1½	182	Rp1¼
1602	237	-	103,5	-	432	-	206	-	90	Rp2	138	Rp1½
1603	237	-	103,5	-	432	-	206	-	90	Rp2	138	Rp1½
1604	282	-	136,5	-	515	-	221	-	100	Rp2	183	Rp1½

Al solicitar repuestos deben proporcionarse los datos completos de la placa de características.

Clave de tipo.





Instrucciones de seguridad.

Estas instrucciones contienen información importante que ha de respetarse al instalar y hacer funcionar la bomba, de modo que tanto quien la instala como el operador responsable deben leerlas antes de instalarla o hacerla funcionar. Usted deberá seguir no sólo las instrucciones que aparecen en este apartado, sino las que figuran en todos los demás apartados que se hayan puesto de relieve mediante símbolos de seguridad.

Símbolos de seguridad.

Las instrucciones de seguridad contenidas en estas instrucciones de manejo que, en caso de no seguirse, puedan causar lesiones personales, están señaladas mediante el símbolo:



Las instrucciones de seguridad que advierten de un peligro procedente de la corriente eléctrica están señaladas mediante el símbolo:



Las instrucciones de seguridad contenidas en estas instrucciones de funcionamiento que, en caso de no seguirse, puedan causar daños a la bomba o la instalación y provocar su avería, están señaladas mediante el símbolo:

¡CUIDADO!

Personal cualificado.

El personal que va a instalar la bomba ha de contar con las cualificaciones apropiadas para llevar a cabo la tarea.

Riesgos que se corren al ignorar las instrucciones de seguridad.

El no seguir las instrucciones de seguridad puede acarrear daños para la bomba o la



instalación y causar lesiones personales. De no respetarse dichas instrucciones, podría quedar invalidado todo derecho a reclamaciones por daños sufridos. En particular, de no observarse dichas instrucciones de seguridad, usted correría, por ejemplo, los siguientes riesgos:

- El fallo de funciones y piezas importantes de la bomba o instalación.
- Lesiones personales causadas por fallos eléctricos o mecánicos.

Instrucciones de seguridad para el operador.

Ha de respetarse la reglamentación local referente a la prevención de accidentes. Para evitar el riesgo de electrochoques o electrocución han de respetarse las normas de UNE y de la empresa local de suministro de energía.

Instrucciones de seguridad para el montaje y la inspección.

El operador deberá asegurarse de que quienes lleven a cabo el montaje y las labores de inspección sean especialistas que hayan estudiado atentamente estas instrucciones. Por ningún motivo debe trabajarse en una bomba o instalación que esté funcionando.

Modificaciones y fabricación de repuestos por iniciativa propia.

Las modificaciones de la bomba o la instalación de la misma sólo deben realizarse si se ha obtenido el consentimiento del fabricante. La utilización de repuestos y accesorios genuinos autorizados por el fabricante contribuirá a garantizar el funcionamiento seguro. Las consecuencias de la utilización de otros repuestos serán su propia responsabilidad.

Utilización inadecuada.

El funcionamiento seguro de la bomba o la instalación suministradas sólo puede garantizarse si se utilizan conforme a lo indicado en el párrafo 1 de las instrucciones de funcionamiento. En ningún caso deberán utilizarse valores inferiores ni superiores a los valores límites especificados en el catálogo o en la ficha técnica.

Transporte y almacenamiento.



¡CUIDADO! Durante el transporte y el almacenamiento, la bomba deberá estar protegida de la humedad, las heladas y los daños mecánicos.

Descripción del producto y los accesorios.

Descripción de la bomba (Fig. 1M) Se trata de una bomba centrífuga horizontal multicelular (2-6 células) de aspiración normal y alta presión de construcción en bloque de conexión horizontal (pos.1) para la aspiración y conexión vertical (pos.2) de la impulsión. La sección hidráulica cuenta con el número dado de difusores (pos.5) e impulsores (pos.6) en una construcción modular. Éstos van montados en un solo eje (pos.7) entre el motor y la bomba. La camisa exterior (8) que rodea la sección hidráulica proporciona un funcionamiento estanco seguro. Todas las piezas que están en contacto con el medio, como los difusores, los impulsores y el cuerpo hidráulico, están hechas de acero al cromo níquel. El punto en que el eje atraviesa la caja de la bomba está sellado con un cierre mecánico (pos.9). Todas las piezas que entran en contacto con el medio han sido aprobadas por KTW y/o WRAS y, por lo tanto, son aptas para utilizarse con agua potable. Los motores de corriente alterna están equipados con un disyuntor térmico que para el motor cuando se excede la temperatura permitida de la bobina del motor, y vuelve a arrancarlo automáticamente cuando se ha enfriado. Protección contra el nivel mínimo del agua. No puede permitirse que la bomba ni el cierre mecánico funcionen en seco. Es posible incorporar y/o suministrar a la bomba una protección contra el nivel mínimo del agua, utilizando piezas compatibles de la gama de accesorios Wilo. La velocidad de la bomba puede controlarse cuando ésta se encuentra conectada a un convertidor de frecuencia con filtro de motor (véase párrafo 5.3).

Componentes suministrados.

- Bomba de modelo EM (monofásico) o DM (trifásico).
- Instrucciones de instalación y funcionamiento.

Accesorios.

Los accesorios deben pedirse expresamente.



Diseño y construcción de banco de ensayo para una bomba centrífuga.

- Unidad de conmutación WV/COL con accesorios adecuados para automatización.
- Unidad de conmutación CO-ER con accesorios adecuados para automatización.
- Protección contra nivel mínimo de agua: – kit WMS para conexión directa con el tubo de abastecimiento, – interruptor de flotador WAEK 65 con pequeña unidad de conmutación (sólo en el modelo EM), – flotador WA 65, – SK 277 con 3 electrodos sumergidos.
- WILO Fluid control.
- Conmutación de la instalación: – interruptor de flotador WA 065 – interruptor de flotador WAEK 65 con pequeña unidad de conmutación (sólo en el modelo EM).

Colocación/Instalación.

Montaje.

En la Fig.2M aparece representada una instalación típica de la bomba. Las instrucciones de colocación e instalación que han de observarse en esta clase de operaciones son las siguientes:

- Antes de instalar la bomba, asegúrese de que se haya llevado a cabo todo el trabajo de soldadura directa e indirecta en la tubería, y de que ésta haya sido limpiada a fondo con agua. Los cuerpos extraños y las impurezas causarán daños a la bomba.
- Coloque la bomba en un lugar seco a salvo de las heladas.
- Reserve espacio suficiente para llevar a cabo el mantenimiento.
- La entrada de ventilación del motor debe permanecer despejada y su parte trasera debe encontrarse a por lo menos 0,3 m de la pared.
- Colóquela sobre una superficie horizontal y plana.
- La bomba debe ir montada sobre una base que absorba las vibraciones y ha de fijarse a la misma mediante dos tornillos de 8 mm de diámetro. Pueden utilizarse los conectores



Diseño y construcción de banco de ensayo para una bomba centrífuga.

de metal montados sobre tacos de caucho, muy comunes en el oficio, para fijar la bomba y absorber las vibraciones.

- Para asegurar el acceso a la válvula de drenaje debe instalarse la bomba por lo menos a 20 mm por encima del nivel del suelo.
- Instale válvulas de aislamiento (pos.1) tanto en la entrada como en la salida de la bomba de modo que ésta pueda cambiarse fácilmente y/o que no haya dificultad en realizar su mantenimiento.
- Debe instalarse inmediatamente una válvula de retención (pos. 2) detrás del orificio de impulsión de la bomba.
- Conecte los tubos de aspiración y de impulsión de modo que no haya tensión. Para obtener una conexión libre de vibraciones pueden utilizarse tramos de tubo flexibles o juntas de expansión de fuelle de largo limitado. El peso de la tubería debe estar sostenido.
- Han de tomarse las medidas necesarias para evitar que la bomba funcione en seco. Wilo le ofrece una amplia variedad de componentes de esta gama de accesorios.
- La bomba ha de protegerse en el tubo de entrada mediante un colador (malla de 1 mm) o un dispositivo filtrante (pos.5) para evitar daños en la bomba causados por la absorción de impurezas.

Conexión eléctrica.

La conexión eléctrica ha de realizarla un electricista cualificado y autorizado en conformidad absoluta con la reglamentación local.

- La conexión eléctrica ha de ir por una instalación fija según UNE 0730/Parte 1, que tenga una clavija o un interruptor para todos los polos con una abertura de contacto de al menos 3 mm.
- Compruebe la corriente y el voltaje de la conexión a la red.
- Tenga en cuenta las características técnicas que figuran en la placa de características



de la bomba.

- Verifique si la bomba está puesta a tierra.
- Fusible de red: 10A, lento.
- El cliente ha de equipar los motores de corriente trifásica con un interruptor de seguridad, que los proteja contra las sobrecargas, y que ha de ajustarse a la corriente nominal que figura en la placa de características. Los motores de corriente alterna están dotados de fábrica de un disyuntor térmico que apaga la bomba cuando se excede la temperatura permitida de la bobina del motor, y vuelve a encenderla automáticamente cuando se ha enfriado.
- Para proteger la bomba contra la humedad y afianzar la abrazadera del cable de la conexión a la red del prensaestopas, utilice un cable de alimentación de diámetro externo amplio (por ejemplo, 05 VV-F 3/5 ó AVMH-I 3/5 x 1,5).
- La conexión a la red deberá realizarse conforme al plano de conexiones terminales de la caja de bornes de la bomba (véase también la Fig.4M).
- Al utilizarse medios de impulsión con temperaturas superiores a 90 °C, deberá utilizarse un cable termo resistente.
- El cable de la red deberá estar dispuesto de modo tal que no entre jamás en contacto con la caja de la bomba ni del motor. De ser necesario, deberá instalarse un interruptor de seguridad de corriente de cortocircuito.

Funcionamiento con convertidor de frecuencia.

La velocidad de la bomba puede controlarse si está conectada a un convertidor de frecuencia. Límite de control de velocidad: $40\%n_{\text{nominal}} \leq n \leq 100\%n_{\text{nominal}}$. Para la conexión y el funcionamiento, véase las Instrucciones de instalación y funcionamiento del convertidor de frecuencia. Para evitar la sobrecarga de la bobina del motor de modo que no sufra daños ni aumente el ruido, el convertidor de frecuencia no deberá producir velocidades, de incrementos de voltaje, que sean superiores a 500 V/ μ s y picos de $\hat{u} >$



650 V.

Si cabe la posibilidad de que ocurran dichas velocidades, ha de instalarse un filtro LC (filtro de motor) entre el convertidor de frecuencia y el motor. El fabricante del convertidor de frecuencia o del filtro deberá proporcionar las instrucciones de montaje del filtro. En los dispositivos de control con reguladores de frecuencia que suministra Wilo, el filtro ya viene instalado.

Puesta en funcionamiento.

- Compruebe que haya un nivel suficiente de agua en el depósito y/o compruebe la presión de entrada. ¡CUIDADO! La bomba no debe funcionar jamás en seco, ya que esto destruiría el cierre mecánico.
- Al utilizar la bomba por primera vez, si ésta ha de usarse para bombear agua potable, habrá que limpiar el sistema a fondo con agua, de modo que quede eliminada toda agua sucia susceptible de penetrar en la tubería de agua potable.
- Cómo comprobar el sentido de rotación (sólo para motores de corriente trifásica): después de que la bomba haya estado encendida por un corto intervalo, verifique si el sentido de rotación de la bomba es el mismo que el indicado por la flecha de la caja de la bomba. De no ser así, intercambie 2 fases en la caja de bornes.
- Sólo para motores de corriente trifásica: ajuste el disyuntor del motor a la corriente nominal indicada en la placa de características.
- De existir, coloque los interruptores de flotador o los electrodos de protección contra el nivel mínimo del agua, de modo que la bomba se apague si el nivel de agua es demasiado bajo, lo que significaría que empezaría a aspirar aire.
- Abra la válvula de aislamiento de la entrada, abra el tornillo de purga (Figs. 1, 2, M pos. 3, SW 19) hasta que el medio de impulsión salga; cierre el tornillo de purga, abra la válvula de aislamiento de la salida y encienda la bomba.



- Dependiendo de la temperatura del medio de impulsión y de la presión del sistema, si el tornillo de purga está completamente flojo, pueden salir a gran presión o incluso salir disparados el medio de impulsión o el gas calientes. ¡Existe el riesgo de sufrir escaldaduras!
- Dependiendo de las condiciones de funcionamiento de la bomba, así como de la instalación (temperatura del medio de impulsión), siempre existe el peligro de que la bomba se caliente en extremo. ¡Existe peligro de sufrir quemaduras al tocar la bomba! ¡CUIDADO! La bomba no debe funcionar nunca durante más de 10 minutos con un caudal de $Q = 0 \text{ m}^3/\text{h}$. Cuando la bomba esté funcionando en continuo, recomendamos mantener un caudal mínimo del 10% del caudal nominal.

Mantenimiento.

- La bomba casi no requiere mantenimiento alguno.
- Durante el rodaje puede haber un ligero goteo por el cierre mecánico. De haber una fuga mayor, como resultado de un desgaste más importante del cierre, mande sustituirla a un especialista.
- Un aumento del ruido de los rodamientos y vibraciones inhabituales indican que éstos están desgastados, en cuyo caso ha de sustituirlos un especialista.
- Antes de realizar cualquier mantenimiento, desconecte la bomba y asegúrese de que no puedan volver a encender la persona no autorizada. Nunca permita que se realice ningún tipo de mantenimiento en una bomba que esté funcionando.
- Cuando la bomba se encuentra en un lugar que no está a salvo de las heladas o cuando deja de utilizarse durante mucho tiempo, tanto la bomba como su tubería habrán de vaciarse en la temporada fría. Para vaciar la bomba, abra el tornillo de purga; para vaciar el tubo de entrada, afloje el tornillo de purga y para vaciar el tubo de salida, abra el grifo (Fig. 1, 2M pos. 4)

Fallos: causas y eliminación.



Diseño y construcción de banco de ensayo para una bomba centrífuga.

Fallo	Causa	Eliminación
La bomba no funciona	No hay suministro de alimentación eléctrica	Comprobar los disyuntores, los flotadores y los cables
	El interruptor del disyuntor se ha activado	Eliminar la sobrecarga del motor
La bomba funciona, pero no bombea	Sentido de rotación equivocado	Intercambiar 2 fases de la conexión a la red
	Obstrucciones producidas por cuerpos extraños en la tubería o componentes de la bomba	Verificar y limpiar la tubería y la bomba
	Aire en la parte de aspiración	Sellar el tubo de aspiración
	Diámetro del tubo de aspiración insuficiente	Montar un tubo de aspiración más ancho
La bomba no bombea de manera uniforme	Altura de aspiración demasiado grande	Colocar la bomba en posición más alta
Presión insuficiente	Elección de bomba equivocada	Montar una bomba de mayor potencia
	Sentido de rotación equivocada	Intercambiar 2 fases de la conexión a la red
	Caudal demasiado bajo, tubo de	Limpiar la filtrante y el tubo



Diseño y construcción de banco de ensayo para una bomba centrífuga.

	aspiración atascado	de aspiración
	Llave de paso no está suficientemente abierta	Abrir la llave
	Atasco de la bomba producido por cuerpos extraños	Limpiar la bomba
La bomba vibra	Cuerpos extraños en la bomba	Eliminar el cuerpo extraño
	La bomba no está debidamente fijada a la base	Apretar los pernos del anclaje
	La base no es lo suficientemente solida	Montar una base más pesada
El motor se recalienta El disyuntor se activa	Voltaje insuficiente	Comprobar el voltaje
	La bomba no gira libremente: Cuerpo extraño, cojinete dañado	Limpiar la bomba Llevar la bomba al servicio técnico a efectos de su reparación
	Temperatura ambiente	Proporcione un ambiente más fresco

Si no consigue eliminar el fallo, diríjase a la representación o al servicio técnico de WILO más próximos. **Sujeto a modificaciones técnicas.**



Anexo 20. Manual del fabricante del contador de volumen. (Fill-rite)

Contador de volumen

FILL-RITE®



Este manual contiene valiosa información sobre su nuevo equipo y requisitos operativos y de servicio. Por favor tome unos minutos para revisar este material detenidamente.

La misión de Tuthill es proporcionar sistemas de manejo de fluidos que brindan lo más preciso, seguro, conveniente, y sistemas de transferencia económicos para usuarios de combustibles.

Las instrucciones de seguridad.

Para garantizar un funcionamiento seguro y eficiente, es esencial leer y seguir cada una de las siguientes advertencias y precauciones.

1. Combustibles y productos químicos que fluyen por el medidor puede ser perjudicial para su salud. Uso y eliminación de estos productos está controlado por el gobierno federal, estatal, o leyes y procedimientos locales.

2. Cumplir con las recomendaciones del fabricante de fluidos. Procedimientos de



Diseño y construcción de banco de ensayo para una bomba centrífuga.

manipulación cuando se utiliza el producto y al limpiar el medidor.

3. No exceda la presión del medidor interno de 50 PSI (3,5 Bar) para los modelos TT10A y 125 PSI (8,6 Bar) para los modelos TT10P.
4. El uso o la instalación inadecuados de este producto pueden causar lesiones corporales graves o la muerte.
5. Asegúrese de que las tuberías y mangueras que estén conectadas al medidor estén debidamente conectado a tierra al medir, utilizando fluidos casi inflamables.
6. NO instale válvulas de retención o de pie adicionales sin el uso de una válvula de alivio de presión; de lo contrario el medidor puede romperse.
7. Para evitar la acumulación de descargas electrostáticas, limpie únicamente con un paño húmedo.
8. El cuerpo del medidor está hecho de aleación de aluminio. Evite el impacto o tracción en el cuerpo del medidor.

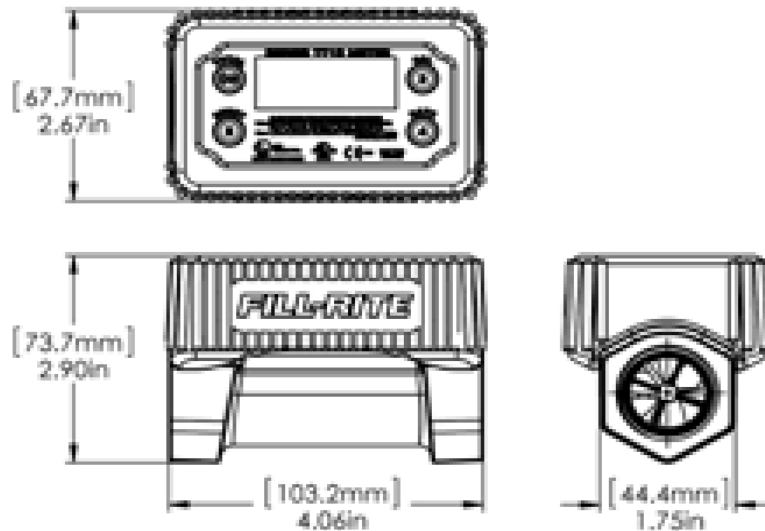
Información técnica de TT10A.

Puertos de flujo	Entrada hembra NPT o BSPP de 1 "y puertos de salida
Rango de flujo	2 a 35 U.S.GPM / 7,6 a 132,5 LPM
Presión de trabajo	50 PSI (3.4 Bar) MAX UL 300 PSI (20,7 bar) Ráfaga
Temperatura de almacenamiento	-40 ° F a 176 ° F (-40 ° C a 60 ° C) (sin líquidos)



Diseño y construcción de banco de ensayo para una bomba centrífuga.

Temperatura de funcionamiento	-40 ° F a 176 ° F (-40 ° C a 60 ° C)
Medida y/o exactitud	± 1,0% (después de la calibración de campo)
Medidas repetidas	± 0,30% (tamaños de lote ≥ 2 galones)
Unidades de medida	onza, pinta, cuarto, litro, galón
Rango	90,000,000 unidades.
Rango de lote	0,00 - 9999 unidades (parpadea cuando el lote excede 9999)
Materiales	Acero inoxidable 304/316 húmedo, Aluminio Acetal, Oro
Pantalla	-40 ° F a 176 ° F (-40 ° C a 60 ° C)
Power	2 pilas alcalinas aprobadas. Consulte la sección de reemplazo de la batería. del manual
Memoria	Los totales y la calibración son conservado al reemplazar las baterías
Seguridad electrónica	intrínsecamente segura para su uso en lugares peligrosos.



Descripción general.

Los medidores de la serie TT10 son medidores de turbina electrónico adecuado para su uso en lugares peligrosos y extremos temperaturas.

Los medidores TT10 cuentan con electrónica avanzada que eliminan cuentas falsas en alta vibración y móvil aplicaciones sin sacrificar la capacidad de medir a flujos bajos.

El medidor puede almacenar y mostrar la corriente medida, cantidad (total del lote) o cantidad medida acumulada, (totalizador) en cualquiera de las cinco unidades seleccionables por el usuario (onzas, pintas, cuartos, litros y galones).

El medidor se puede ajustar fácilmente para diferentes fluidos mediante seleccionando un factor de calibración de uno de los 20 ajustes.

La energía es suministrada por dos baterías alcalinas AA reemplazables. Compatibilidad de fluidos / viscosidad.

Los medidores de la serie TT10A manejarán la mayoría de los combustibles con viscosidades en el rango de 0,4 cSt a 79 cSt. Puede medir fluidos que excedan una viscosidad de 79 cSt, pero la precisión se limitará a la tasa de flujo de calibración. Selecciona el medidor para CAL 19 y siga la calibración descrita en este manual.



Diseño y construcción de banco de ensayo para una bomba centrífuga.

Si tiene dudas sobre la compatibilidad de un fluido específico, comuníquese con el proveedor del líquido para comprobar si hay reacciones adversas a los materiales enumerados en la sección Información técnica de este manual.

Fluidos aprobados:

- Gasolina
- Heptano
- Diésel
- Destilados minerales
- Queroseno
- Agua no potable
- Hexano

Instalación.

Sugerencias de instalación.

Exceso de cinta sellante o compuesto para roscas aguas arriba del medidor puede liberarse y atascar o dañar el rotor y provocar una falla en el medidor. Uso de una cantidad de compuesto de hilo es el preferido método de instalación. Utilice una cinta selladora compatible o un compuesto para roscas en todas las juntas roscadas.

1. Determine la dirección correcta para el flujo de fluido y apunte flecha en la parte inferior del cuerpo del medidor en esa dirección. Instalación del medidor en la dirección incorrecta de flujo tendrá un impacto significativo en el rendimiento del metro.

2. Enrosque la manguera o el tubo en los puertos hasta que quede ajustado. Tenga cuidado de no cruzar el hilo al comenzar hilos o apriete demasiado el medidor. Orientación del módulo electrónico. La pantalla se puede orientar de derecha a izquierda o flujo de izquierda a derecha.

1. Quite la funda protectora de goma y déjela a un lado.

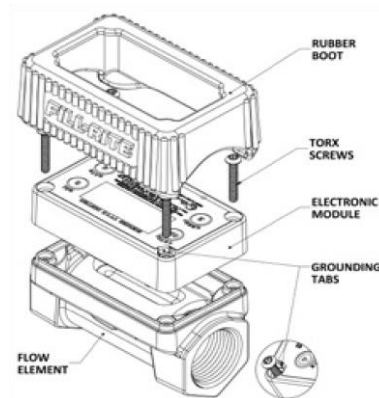
2. Quite los 4 tornillos que sujetan la electrónica módulo utilizando un destornillador T-20



Diseño y construcción de banco de ensayo para una bomba centrífuga.

Torx.

3. Retire el módulo y gírelo 180 °. Asegúrese de que La almohadilla de espuma debajo de las baterías se reinstala correctamente si se cae. Esto es fundamental para garantizar que las baterías no se desalojado si el medidor está expuesto a un manejo brusco.
4. Vuelva a instalar los 4 tornillos. Deben estar lo suficientemente apretados para asiente completamente el módulo. La instalación recomendada el par es de 0,6- Nm (5-10 in-lb). Apretar demasiado puede romper el módulo.
5. Vuelva a instalar la funda protectora de goma.



¡PRECAUCIÓN!

Al reinstalar los tornillos de la electrónica módulo, asegúrese de que se capturan las pestañas de conexión a tierra debajo de las cabezas de los tornillos. Esto asegura una adecuada tierra y protección contra descargas estáticas al manipular el medidor.

Funciones operacionales.



TOTAL ON	<ul style="list-style-type: none">• Enciende el medidor.• Muestra el total acumulado mientras se presiona. <p>Si el total acumulado es mayor que 9999, los números se desplazarán por la pantalla en grupos de 4 dígitos.</p>
RESET	<p>Cuando se mantiene durante 3 segundos, restablece la corriente total, a cero. También vuelve al funcionamiento normal modo cuando está en modo CAL o FLSH.</p>
CAL	<p>Cuando se mantiene durante 3 segundos, permite cambios.</p> <p>Al factor de calibración / fluido mostrado en la esquina inferior izquierda. Activación repetida incrementará el número hasta 19 y luego de vuelta a cero. Cuando el número deseado aparece, presione el botón 2 para bloquear el nuevo número y volver al funcionamiento normal. Consulte la Tabla 1 para conocer las especificaciones.</p>
RATE	<p>Cuando se mantiene presionado durante 3 segundos, el ícono RATE se desplegado. Se mostrará la tasa de flujo activa. Presione el botón 4 nuevamente para reanudar operación normal. El medidor continuará para contar el volumen mientras se muestra la velocidad de flujo Cuando se mantiene presionado durante 3 segundos, desplegado. Se mostrará la tasa de flujo activa. Presione el botón 4 nuevamente para reanudar operación normal. El medidor continuará para contar el volumen mientras se muestra la velocidad de flujo.</p>

NOTA



Diseño y construcción de banco de ensayo para una bomba centrífuga.

La pantalla del medidor se apagará automáticamente después 30 segundos de inactividad para conservar pilas. Se enciende cuando se reanuda el flujo o se presiona cualquier botón. No se pierden datos durante los períodos de inactividad.

Cambio de unidades de medida.

Las unidades de medida se pueden cambiar a onzas (OZ), pintas (PT), cuartos de galón (QT), galones (GAL) o litros (LITROS) sin recalibrar el medidor.

1. Mantenga presionados los botones 2 y 4 durante tres segundos. La pantalla mostrará la versión del firmware.
2. Presione el botón 3. La pantalla mostrará la unidad actual.
3. Para cambiar las unidades, presione el botón ON repetidamente hasta se muestra la unidad deseada.
4. Presione el botón 2 para bloquear la selección. La pantalla muestra la versión del firmware.
5. Para volver al modo de funcionamiento normal, presione el botón 2 de nuevo.
6. Se mostrarán las unidades seleccionadas. Actual o El total acumulado se actualizará para reflejar la nueva unidad de medida.

Presione Calibración / Factor de tipo de fluido (CAL).

Los medidores de la serie TT10 proporcionan 20 factores preestablecidos para diferentes tipos de fluidos / viscosidades.

El uso de factores de calibración está destinado a proporcionar la mayor Solución de dosificación precisa para un fluido específico. Un factor CAL de 0 es para usar con los fluidos más finos y aumenta para fluidos de mayor viscosidad.

1. Mantenga presionado el botón 3 durante 3 segundos. La corriente del valor de recuento dispensado desaparecerá y solo el CAL y se mostrará el valor actual.
2. Pulsando repetidamente el botón 3 aumentará el número hasta 19 y luego de nuevo a



Diseño y construcción de banco de ensayo para una bomba centrífuga.

cero.

3. Una vez seleccionado el factor de fluido deseado, presione botón 2 para bloquear el factor de fluido y devolver el medidor al modo de funcionamiento normal.

CAL los factores y viscosidades que se muestran en la siguiente tabla son para fluidos a 70 ° F / 21 ° C.

Cal	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
cSt	0.36	0.48	0.63	0.84	1.12	1.48	1.98	2.62	3.48	4.62
Fluid	Heptane		Gasoline		Water / DEF		Mineral Spirits	Kerosene	Diesel	B100

Cal	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
cSt	6.15	8.16	10.8	14.4	19.1	25.4	33.7	44.8	59.5	79.0
Fluid		Jet Fuel			Ethylene Glycol				Propylene glycol	10W-30 Oil / ATF

NOTA.

El uso del factor CAL / Fluid es independiente de realizar una calibración contra un volumen conocido. El medidor está calibrado en fábrica, pero realizar una calibración de campo puede mejorar aún más precisión del medidor.

Calibración de fluidos.

La calibración de fluidos requiere un recipiente de un volumen conocido al menos 5



Diseño y construcción de banco de ensayo para una bomba centrífuga.

galones o más que sea compatible con el líquido siendo medido.

Puede usarse un volumen mayor y puede mejorar la calibración precisión, pero no supere las 99.99 unidades de medida.

NOTA.

Antes de realizar una calibración de fluidos, asegúrese de han seleccionado el factor de fluido / CAL más parecido para garantizar la mejor precisión del medidor. Presione los botones 2 y 4 al mismo tiempo y mantenga presionado durante 3 segundos. La pantalla mostrará el firmware versión.

Presione el botón 3 para ingresar al modo de calibración. La unidad de Se mostrará la medida.

Presione el botón 3. La pantalla mostrará "FILL".

Ahora dispense el líquido en su recipiente. "FILL" parpadeará en la pantalla cuando se detecta un flujo.

Después de dispensar el líquido, presione el botón ON. La izquierda parpadeará el dígito de la pantalla. ("00.00") Presione el botón 4 para incrementar el dígito a la cantidad de líquido dispensado (ejemplo: "05.00"). Presione el botón ON para desplazarse hacia la derecha. Si comete un error presione el botón 2 para comenzar de nuevo en el dígito más a la izquierda. Después de cargar el número, presione el botón ON nuevamente para aceptar el volumen introducido.

La pantalla muestra ahora el factor CAL configurado.

Vuelva a pulsar el botón ON y la versión del firmware será mostrado.

Presione el botón 2 nuevamente para volver a la normalidad modo operativo.

NOTA.

Si el valor ingresado está fuera de un rango aceptable, la pantalla mostrará "Err0" y el



medidor se revertirá a la configuración anterior. Ver la guía de solución de problemas para más información.

PROPINA

Si mide en onzas, pintas o cuartos de galón, Puede ser más fácil cambiar el medidor a una unidad más grande de medida como galones o litros para la calibración proceso y luego vuelva a cambiar a la unidad deseada de la medida.

Modo de descarga (FLSH).

El uso del modo Flish le permite enjuagar el medidor sin agregando volumen a los totales del medidor. Esto es útil cuando enjuagar el medidor para almacenarlo o cambiar entre diferentes líquidos y desea mantener totales precisos.

1. Mantenga presionados los botones 3 y 4 durante 3 segundos. El medidor mostrar "FLSH".
2. Presione el botón 2 para volver al modo de funcionamiento normal.

Restablecer total acumulado.

Mantenga presionados los botones 2 y 4 durante 3 segundos. Se mostrará la versión actual del firmware.

Presione el botón ON para mostrar el total acumulado. Si supera las 9999 unidades, el total acumulado se desplazará a través de la pantalla.

Mantenga presionados los botones en ON y 4 juntos durante 5 segundos para restablecer el total acumulado. Presione el botón 2 dos veces para volver al funcionamiento modo normal.

Comprobación del factor K.

Puede comprobar el factor de calibración interno del medidor.

El valor mostrado es el número de recuentos de sensores por unidad de medida seleccionada y CAL / factor de fluido. La fábrica puede solicitarle este valor si soluciona



Diseño y construcción de banco de ensayo para una bomba centrífuga.

problemas del medidor.

Mantenga presionados los botones 3 y 4 durante 3 segundos, el medidor mostrar "FLSH".

Mantenga presionados los botones ON y 3 al mismo tiempo. Los se mostrará el número de conteos por unidad de medida.

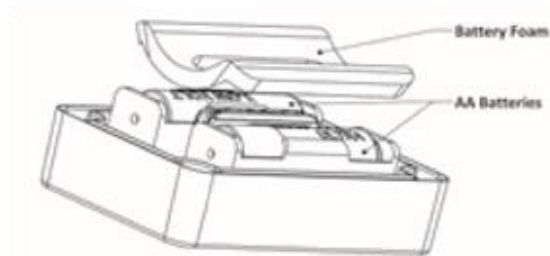
Presione el botón 2 para volver al modo de funcionamiento normal.

Cambio de batería.

Las baterías deben reemplazarse cuando la batería BAJA El icono comienza a parpadear en la pantalla. Los totales del medidor, configuración y calibración se conservan mientras se están reemplazando las baterías, por lo que no es necesario vuelva a calibrar después.

¡ADVERTENCIA!

Cuando reemplace las baterías, asegúrese de que el área vapores explosivos, o mueva la electrónica del medidor a un área segura antes de reemplazarlos. Se accede a las baterías quitando la pantalla como descrito en la sección que muestra cómo girar la pantalla.



La espuma de la batería puede estar adherida a las baterías, con cuidado retírelo y vuelva a instalarlo en el montaje, la espuma de la batería protege las baterías y evita que se vuelvan desalojado si el medidor se maneja con brusquedad.

Preste atención a la polaridad de las baterías marcada dentro del porta pilas. El medidor



Diseño y construcción de banco de ensayo para una bomba centrífuga.

no funcionará si las baterías están instaladas incorrectamente y pueden producirse daños.

¡ADVERTENCIA!

Para reducir el riesgo de explosión, no mezcle pilas con pilas nuevas, o mezcle pilas de diferentes fabricantes.

Las baterías SÓLO se pueden reemplazar con lo siguiente:

- Duracell MN1500 • Energizer E9.
- Duracell QU1500.

Mantenimiento y almacenaje.

Si el medidor se almacenará durante un período de tiempo prolongado sin uso y se está utilizando con un líquido que puede dejar un residuo, debe enjuagarse con un fluido compatible para evitar que el conjunto de la turbina se pegue y se atasque, el exterior del medidor se puede limpiar con un paño suave, detergente a base de agua y paño húmedo para limpiar la pantalla, no use una hidrolavadora para limpiar el medidor.

¡IMPORTANTE!

El uso de aire comprimido causará daño al medidor, Utilice siempre un chorro suave de fluido compatible para enjuagar el interior del medidor.

Regulador.

Aprobaciones de pruebas de seguridad, los medidores de la serie Fill-Rite TT10 han sido probados para el cumplimiento de las normas establecidas por

Underwriters Laboratories (UL), UL Canadá, ATEX, y otras organizaciones de prueba. Para determinar los cumplimientos específicos se aplican a su medidor, consulte la placa frontal para obtener información y logotipos de cumplimiento.

MEDIDOR DE FLUJO PARA LUGARES PELIGROSOS.

Exia INTRÍNSECAMENTE SEGURO (SECURITE INTRINSEQUE) Clase I, Grupo D, T4;



Diseño y construcción de banco de ensayo para una bomba centrífuga.

Clase I, Zona 0, AEx ia IIA T4 Ex ia IIA T4; IECEx UL 16.0147X; Ex ia IIA T4 Ga; -40 ° C <Ta <+ 60 ° C.



Información de certificación CE.

Los medidores de la serie TT10 que llevan la marca CE han sido certificados con las siguientes normas europeas directivas:

2011/65 / UE: Restricción del uso de determinados Sustancias peligrosas en electricidad y electrónica.

Equipo. 2014/30 / UE: electromagnético.

Compatibilidad.

Los siguientes estándares se utilizaron para probar y mostrar cumplimiento:

Emisiones

EN 55011: 2009 / A1: 2010 Grupo 1, Clase B, Industrial, Equipo científico y médico (ISM) Inmunidad, IEC 61000-4-8: 2010 Campo magnético, EN 60079-0: 2012 + A11: 2013, IEC 60079 Edición 6, EN 60079-11: 2012, IEC 60079-11 Edición 6, UL60079-0 Sexta edición, UL60079-11 Sexta edición, CAN / CSA - C22.2 No 157-92, CAN / CSA - C22.2 No 60079-0: 2014, CAN / CSA - C22.2 No 60079-11: 2015, UL 25ULC / ORD-C2.

Tabla 2: Guía de resolución de problemas.

PROBLEMA	POSIBLE CAUSA	SOLUCION	
El medidor no enciende.	*Batería agotada *Electrónica dañada	*Reemplazar baterías. *Reemplazar el medidor.	El sello de la electrónica se rompe si se quita o perfora la pantalla.



Diseño y construcción de banco de ensayo para una bomba centrífuga.

Decimales intermitentes.	*El contador ha superado las 9999 Unidades.	*Restablezca la pantalla a cero, manteniendo presionado el botón 2.	El medidor seguirá funcionando normalmente.
Icono BAT intermitente.	Batería baja	Reemplazar baterías	Consulte la sección de reemplazo de batería.
Fugas de fluidos en el puerto de entrada/salida.	*Necesita sellador de rosca. *Puerto de rosca cruzada	*Agregue sellador a la junta. *Reemplazar el medidor.	
Medidor no cuenta el flujo de los fluidos.	*La turbina está atascada. *Fallo el medidor	*Enjuague el medidor. *Reemplazar el medidor.	
La lectura del medidor no es correcta.	*Hay aire en el sistema. *El medidor está instalado al revés. *La viscosidad del fluido cambio. *CAL/factor de fluido incorrecto. *Mala calibración.	*asegúrese de que el medidor este lleno de líquido en todo. *Asegúrese que la dirección del flujo este correcta. *Use CAL/factor correcto. *Recalibre.	El medidor contara el aire. Las viscosidades de los fluidos cambiaran con la temperatura.
El medidor no es consistente.	*El aire está en el sistema. *El medidor está instalado al revés. *La turbina está adherida. *Funcionando fuera del rango de flujo del medidor.	*Asegúrese de que el medidor este lleno de líquido en todo momento. *Dirección del flujo correcta en el medidor. *Lave el medidor. Coloque una pantalla frente al medidor. Opere dentro del rango de flujo del medidor.	Rejilla de entrada mínima de malla 40
Err0	*Error de calibración. *El medidor puede tener un desgaste excesivo.	*Vuelva a calibrar con un recipiente más preciso. *Reemplazar el medidor.	Indica que la calibración del fluido esta fuera de rango aceptable. Es posible que el contenedor volumétrico



			no sea exacto o que haya aire en el sistema. El medidor puede tener un desgaste excesivo.
Err1	*Electrónica dañada o error de software.	*Presione y mantenga presionado el botón 2 para reestablecer el contador y luego recalibrar el medidor. *Reemplazar el medidor.	
Err2	*Eeprom malo.	Reemplazar el medidor	El medidor aun funciona, pero los totales y la calibración se perderán si se quitan las baterías.

POLÍTICA DE GARANTÍA LIMITADA.

Fecha de revisión: 1 de agosto de 2014 Productos Fill-Rite y Sotera Tuthill Transfer Systems ("Fabricante") garantiza a cada consumidor comprador de sus productos ("Comprador") a partir de la fecha de venta que los bienes de su fabricación ("Bienes") estarán libres de defectos de materiales y mano de obra.

La duración de la garantía es la siguiente:

Partir de la fecha de venta.	No exceder el siguiente Período desde la fecha de Fabricación.	Producción en serie.	Producción en serie.
5 años	60 meses	Bomba de la serie SP100	Bomba de la serie 400



Diseño y construcción de banco de ensayo para una bomba centrífuga.

2 años	27 meses	Bombas de servicio pesado y Metros 820, 825 y 850 metros	Bombas de armario, Medidores de gabinete, TN Metros, TM Metros, Medidores TS
1 año	15 meses	Bombas de servicio estándar y Metros, 1600 bombas	Accesorios, partes

Los usuarios finales deben comunicarse con el lugar donde compraron el producto para procesar una garantía. "Lugar de compra" se define como cualquier distribuidor autorizado de TTS, incluidas todas y cada una de las tiendas minoristas, casas de pedidos, casas de catálogo, tiendas en línea, distribuidores comerciales. La única obligación del fabricante en virtud de las garantías anteriores se limitará a: en opción del fabricante: sustitución de productos defectuosos (sujeto a las limitaciones que se proporcionan a continuación) o reembolsar el precio de compra de dichos bienes pagados hasta ese momento por el comprador y los compradores, el recurso exclusivo por incumplimiento de dichas garantías será el cumplimiento de dichas obligaciones del fabricante. Si el fabricante solicita la devolución de dichos bienes, los bienes serán devuelto al fabricante de acuerdo con las instrucciones del fabricante FOB factory. Los recursos aquí contenidos constituirán el único recurso del comprador contra la fabricante por incumplimiento de garantía.

EN NINGÚN CASO SERÁ LA RESPONSABILIDAD DEL FABRICANTE PARA CUALQUIER RECLAMO POR DAÑOS DERIVADOS DE LA FABRICACIÓN, VENTA, ENTREGA, O EL USO DE LOS BIENES EXCEDE EL PRECIO DE COMPRA.

Las garantías anteriores no se extenderán a los bienes sujetos a mal uso, negligencia, accidente, instalación o mantenimiento, o han sido reparados por alguien que no sea el fabricante o su representante autorizado.



Diseño y construcción de banco de ensayo para una bomba centrífuga.

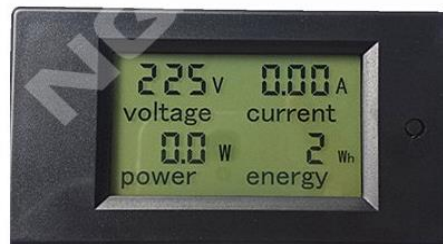
LAS GARANTÍAS ANTERIORES SON EXCLUSIVAS Y ESTÁN EN SUSTITUYENDO TODAS LAS DEMÁS GARANTÍAS DE COMERCIALIZACIÓN, APTITUD PARA EL PROPÓSITO DE CUALQUIER OTRO TIPO, YA SEA EXPRESADO O IMPLÍCITO.

Ninguna persona puede variar lo anterior garantías o recursos, excepto por escrito firmado por un oficial debidamente autorizado del Fabricante. La aceptación por parte del Comprador de la entrega de los Bienes constituye la aceptación de las garantías anteriores y recursos, y todas las condiciones y limitaciones de los mismos.



**Anexo 21. Manual del fabricante del medidor multifunción digital AC.
Multímetro Digital.**

PZEM-061



Medidor multifunción digital AC.

Tipo de producto: PZEM-061.

Una función.

Función de medición de parámetros eléctricos (voltaje, corriente, potencia activa, energía).

Función de alarma de sobrecarga (sobre el umbral de alarma de potencia, luz de fondo y luz intermitente para alarma).

Función preestablecida de umbral de alarma de potencia (puede configurar el umbral de alarmas de potencia).

La función de reinicio de la tecla de energía.

Almacenar datos cuando se apaga.



Diseño y construcción de banco de ensayo para una bomba centrífuga.

LCD de pantalla grande (muestra voltaje actual, potencia activa, energía al mismo tiempo).

Función de luz de fondo.

Apariencia y función clave.

Interfaz de pantalla.

La interfaz de pantalla es una pantalla LCD grande, puede mostrar voltaje, corriente, potencia, energía parámetros al mismo tiempo.

Formato Display.

Potencia: rango de prueba: 0-22kW Dentro de 1kW, el formato de visualización es 0.0-999.9W dentro de 1kW-10kW, el formato de visualización es 1000-9999W 10kW y superior, el formato de visualización es 0.1-22.0kW

Energía: rango de prueba: 0-9999kWh dentro de 10KWh, el formato de visualización es 0-9999Wh: 10kWh y superior, el formato de visualización es 10-9999kWh.

Voltaje: rango de prueba: 80-260V Formato de pantalla 80-260V.

Corriente: rango de prueba: 0-100A Formato de visualización: 0.00-99.99^a.

Llave.

Control de luz de fondo.

Presione brevemente la tecla para encender o apagar la luz de fondo, la luz de fondo tiene función de memoria, puede almacenar el estado de encendido o apagado cuando se apaga.

Restablecer la energía.

Paso 1: Mantenga presionada la tecla durante 5 segundos hasta que el número en la ventana de visualización de energía parpadee, luego suelte la tecla.

Paso 2: Presione brevemente la tecla nuevamente, luego el valor de energía se borrará



Diseño y construcción de banco de ensayo para una bomba centrífuga.

y saldrá del estado de reinicio intermitente. Si no desea borrar, mantenga presionada la tecla durante 5 segundos nuevamente hasta que el número no parpadee, significa que el valor de energía no se borra y saldrá del estado de reinicio.

Establecer umbral de alarma de potencia.

Paso 1: Mantenga presionada la tecla hasta que la pantalla LCD muestre "SET CLr", luego suelte la tecla para entrar en el estado de configuración.

Paso 2: La ventana de energía muestra el valor actual de la alarma de energía y el último dígito comienza a parpadear. Luego puede presionar brevemente a más 1, cuando no hay operación durante 3 segundos, cambiará la posición del dígito automáticamente, el método de configuración es el mismo que el anterior.

Paso 3: Después de finalizar la configuración, mantenga presionada la tecla durante 5 segundos se almacenará automáticamente y salida, el rango de umbral de potencia activa es 0.0-22.0kw.

Precauciones.

Este módulo es adecuado para interiores, no lo utilice en exteriores.

La carga aplicada no debe exceder la potencia nominal.

El orden de cableado no puede ser incorrecto.

Parámetros de especificación.

Voltaje de funcionamiento: 80-260VAC.

Voltaje de prueba: 80-260VAC.

Potencia nominal: 100 A / 22000 W.

Frecuencia de funcionamiento: 45-65 Hz.

Precisión de la medición: grado 1.0.



Anexo 22. Manual del fabricante del variador de frecuencia.

Variador de frecuencia.



ATV12HU15M2
VARIADOR 1FASE 240V 1,5KW 2HP
7,5A

Principal

Rango del producto	Altivar 12
Tipo del producto o componente	Variador de velocidad variable
Destino del producto	Motores asíncronos
Aplicación específica producto	Maquina simple
Estilo de conjunto	Con disipador de calor
Nombre del componente	ATV12
Cantidad por juego	Juego 1
Filtro CEM	Integrado
Ventilador integrado	Donde
Número de red de fases	1 fase
[US]Tensión de alimentación nominal	200...240 v – 15...10%
Potencia del motor en kw	1,5 kW
Potencia del motor en CV	2 hp
Protocolo de puerto de comunic	Modbus
Corriente de línea	17,8 A a 200 v 14.9 A a 240 v
Rango de velocidades	1...20
Sobre par transitorio	150...170% del par nominal del motor según la clasificación del variador y el tipo de motor



Diseño y construcción de banco de ensayo para una bomba centrífuga.

Perfil de control de motor asíncrono	Control vector flujo sin detector Relación de frecuencia / tensión cuadrática Relación tensión / frecuencia (v / f)
Grado de protección IP	IP20 sin placa ciega en la parte superior
Intensidad de ruido	45 dB
Complementario	
Frecuencia de alimentación	50/60 Hz +/- 5%
Tipo de conector	1 RJ45 (en la parte frontal) para Modbus
Interfaz física	RS 485 de 2 hilos para Modbus
Marco de transmisión	RTU para Modbus
Velocidad de transmisión	4800 bit/s 9600 bit/s 19200 bit/s 38400 bit/s
Número de direcciones	1... 247 para Modbus
Servicio de comunicación	Leer registros de tenencia (03) 29 palabras Escribir registro único (06) 27 palabras Leer / escribir varios registros (23) 4/4 palabras Leer identificación de dispositivo (43)
Línea prospectiva I _{sc}	1 kA
Corriente de salida continua	7.5 A en 4 kHz
Máxima corriente transitoria	11.2 A durante 60 s
Rango de frecuencia de salida	0,5...400 Hz
Frecuencia de conmutación nominal	4 kHz
Frecuencia de conmutación	2...16 kHz ajustable 4...16 kHz con factor de reducción
Par de frenado	Hasta el 70% del par nominal del motor sin resistencia de frenado
Compensación desliz. Motor	Regulable o no regulable Predt. de fabrica
Tensión de salida	200...240 v 3 fases
Conexión eléctrica	Terminal, capacidad de sujeción: 5,5 mm ² , AWG 10(L1,L2,L3,U,V,W,PA,PC)
Par de apriete	1,2 N.m
Aislamiento	Eléctrico entre alimentación y control



Diseño y construcción de banco de ensayo para una bomba centrífuga.

Alimentación	Alimentación interna para potenciómetro de referencia: 5 v CC (4,75...5,25 v), <10 mA, tipo de protección: protección contra sobrecargas y cortocircuitos Alimentación interna para entradas lógicas: 24 v DC (20,4...28,8 v), <100 mA, tipo de protección: sobrecarga y protección
Número de entrada analógica	1
Tipo de entrada analógica	Corriente configurable AI1 0...20 mA 250 Ohm Voltaje configurable AI1 0...10 v 30 kOhm Voltaje configurable AI1 0...5 v 30 kOhm
Número de entrada digital	4
Tipo de entrada digital	Programable LI1...LI4 24 v 18...30 v
Lógica de entrada digital	Lógica negativa (disipador), >16v (estado 0), <10v (estado 1), impedancia de entrada 3,5 kOhm Lógica positiva (fuente), 0...<5v (estado 0), >11v (estado 1)
Duración de muestreo	20 ms, tolerancia +/-1 ms para entrada lógica 10 ms para entrada analógica
Error de linealidad	+/- 0,3% del valor máximo para entrada analógica
Número de salida analógica	1
Tipo de salida analógica	Voltaje configurable por software AO1: 0...10 v, impedancia: 470 Ohm, resolución 8 bits Corriente configurable por software AO1: 0...20 mA, impedancia: 800 Ohm, resolución 8 bits
Número de salida digital	2
Tipo de salida digital	Salida lógica LO +, LO- Salida de relé protegida R1A, R1B, R1C, 1C/O
Corriente mínima de traducción	5 mA en 24v CC para relé lógico
Corriente de conmutación máxima	2A 250v AC inductivo cos phi=0,4 L/R=relé lógico de 7 ms



Diseño y construcción de banco de ensayo para una bomba centrífuga.

	2A 30v DC inductivo cos phi=0,4 L/R=relé lógico de 7 ms 3A 250v AC resistivo cos phi=1 L/R=relé lógico de 0 ms 4A 30v DC resistivo cos phi=1 L/R=relé lógico de 0 ms
Rampas de aceleración y deceleración	U S Lineal de 0a 999,9 s
De desconexión a parada	Por inyección DC, <30 s
Tipo de protección	Sobretensión de alimentación de línea Subtensión de alimentación de línea Sobre corriente entre las fases de salida y tierra Cortocircuito entre fases del motor Contra pérdida de fase de entrada en trifásico Protección térmica del motor a través del convertidor mediante cálculo continuo de I ²
Resolución de frecuencia	Entrada analógica: convertidor A/C, 10 bits
Constante de tiempo	20 ms +/- ms para cambio de referencia
Marcado	CE
Posición de funcionamiento	Vertical +/- 10 grados
Alto	142 mm
Ancho	105 mm
Profundidad	156,2 mm
Peso del producto	1,4 kg
Funcionalidad	BASIC
Aplicación específica	Equipamiento comercial
Aplicación de transmisión de velocidad variable selección	Mezclador Equipamiento comercial Otra aplicación de equipamiento comercial Planchado Textil
Tipo de arrancador de motor	Variador de velocidad

Entorno



Compatibilidad electromagnética	<p>Prueba de inmunidad a ráfagas / transitorios eléctricos rápidos nivel 4 de acuerdo con EN / IEC 61000-4-4</p> <p>Prueba de inmunidad de descarga electrostática nivel 3 de acuerdo con EN / IEC 61000-4-2</p> <p>Inmunidad a perturbaciones conducidas nivel 3 de acuerdo con EN / IEC 61000-4-6</p> <p>Prueba de inmunidad de campo electromagnético de radiofrecuencia radiada nivel 3 de acuerdo con EN /IEC 61000-4-3</p> <p>Prueba de inmunidad a sobre tensión nivel 3 de acuerdo con EN/IEC 61000-4-5</p> <p>Prueba de inmunidad de caídas e interrupciones de voltaje de acuerdo con EN/IEC 61000-4-11</p>
Emisión electromagnética	<p>Emisiones radiadas entorno 1 categoría C2 de acuerdo con EN/IEC 61800-3 2...16 kHz apantallado cable de motor</p> <p>Emisiones conducidas con filtro EMC integrado entorno 1 categoría C1 de acuerdo con EN/IEC 61800-3 cable de motor apantallado de 2,4,8,12 y 16 kHz <5m</p> <p>Emisiones conducidas con filtro EMC adicional entorno 1 categoría C1 de acuerdo con EN/IEC 68000-3 4...12 kHz cable de motor apantallado <20m</p> <p>Emisiones conducidas con filtro EMC adicional entorno 1 categoría C2 de acuerdo con EN/IEC 61800-3 4...12 kHz cable de motor apantallado <50m</p> <p>Emisiones conducidas con filtro EMC adicional entorno 2 categoría C3 de acuerdo con EN/IEC 61800-3 4...12 kHz cable de motor apantallado <50m</p> <p>Emisiones conducidas con filtro EMC integrado ambiente 1 categoría C2</p>



Diseño y construcción de banco de ensayo para una bomba centrífuga.

	conforme a EN/IEC 61800-3 4...16 kHz cable blindado del motor <5m Emisiones conducidas con filtro EMC integrado ambiente 1 categoría C2 conforme a EN/IEC 61800-3 2,4,8,12 y 16 kHz cable blindado del motor <10m
Certificados del producto	CSA GOST UL NOM C-Tick
Resistencia a las vibraciones	1 gn (f=13...200 Hz) de acuerdo con EN/IEC 60068-2-6 1,5 mm pico a pico (f=3...13 Hz) – variador sin montar en carril DIN simétrico – conforme a EN/IEC 60068-2-6
Resistencia a los choques	15 gn de acuerdo con EN/IEC 60068-2-27 durante 11 ms
Humedad relativa	5...95% condensación de acuerdo con IEC 60068-2-3 5.95% sin goteo de agua conforme a IEC 60068-2-3
Temperatura ambiente de almacenamiento	-25...70 °C
Temperatura ambiente	-10...50 °C se quitó la cubierta protectora de la parte superior del variador 50...60 °C reducción de corriente del 2,2% por °C
Altitud máxima de funcionamiento	>1000...2000 m con reducción de corriente del 1% por 100 m ≤1000 m sin reducción de potencia
Unidades de embalaje	
Tipo de unidad de paquete 1	PCE
Número de unidades en el paquete 1	1
Paquete 1 peso	1,738 kg
Paquete 1 altura	23 cm
Paquete 1 ancho	20 cm
Paquete 1 largo	21,5 cm
Tipo de unidad de paquete 2	P06
Número de unidades en el paquete 2	30



Diseño y construcción de banco de ensayo para una bomba centrífuga.

Paquete 2 peso	64,84 kg
Paquete 2 altura	73,5 cm
Paquete 2 ancho	60 cm
Paquete 2 largo	80 cm

Ofrecer sostenibilidad

Estado de oferta sostenible	Producto verde premium
Reglamento REACH	Declaración de REACH
Directiva RoHS UE	Cumplimiento proactivo (producto fuera de alcance de la normativa RoHS UE) Declaración RoHS UE
Sin mercurio	Si
Información sobre exenciones de RoHS	Si
Normativa de RoHS China	Declaración RoSH China
Comunicación ambiental	Perfila ambiente del producto
Perfil de circularidad	Información fin de vida útil
RAEE	En el mercado de la Unión Europea, el producto debe desecharse de acuerdo con un sistema de recolección de residuos específico y nunca terminar en un contenedor de basura

Garantía contractual

Periodo de garantía	18 meses
---------------------	----------

Guía de inicio rápido – ATV12

Peligro de descarga eléctrica, explosión o arco eléctrico

- Sólo estará autorizado a trabajar con este sistema de variador el personal debidamente formado que está familiarizado con el contenido de este manual y el resto de documentación pertinente de este producto, lo entienda y haya recibido formación de seguridad para reconocer y evitar los riesgos que implica. La



Diseño y construcción de banco de ensayo para una bomba centrífuga.

instalación, el ajuste, la reparación y el mantenimiento deben de ser realizados por personal cualificado.

- El integrador del sistema es responsable del cumplimiento de todos los requisitos de los códigos eléctricos locales y nacionales, así como el del resto de reglamentos aplicables relacionados con la correcta conexión a masa de todo el equipo.
- Muchas componentes de producto, incluidas las placas de circuito impreso, funcionan con tensión de red. No los toque. Utilice solo herramientas con aislante eléctrico.
- No toque los componentes no apantallados ni las bordas cuando halla tensión.
- Los motores pueden generar tensión cuando se gira el eje. Antes de realizar cualquier tipo de trabajo en el sistema del variador, bloquee el eje del motor para impedir que gire.
- La tensión CA puede asociar la tensión a los conductores no utilizables en el cable del motor. Aislé los dos extremos de los conductores no utilizados del cable del motor.
- No cortocircuite entre los bornes de bus CC, los condensadores de bus CC o los bornes de resistencia de frenado.
- Antes de trabajar en el sistema del variador:
 - Desconecte toda la potencia, incluida la alimentación de control externa que puede haber.
 - Coloque la etiqueta de “ No conectar ” en todos los interruptores de alimentación.
 - Espere 15 minutos para que los condensadores de bus CC se descarguen. El LED de bus CC no es un indicador de ausencia de tensión de bus CC que puede exceder 800 v CC.
 - Mida la tensión del bus CC entre los bornes del bus CC (PA/+, PC/-) usando un voltímetro con la capacidad adecuada para comprobar que la tensión es <42v CC.
 - Si los condensadores de bus CC no se descargan correctamente, póngase en contacto con su representante local de Schneider Electric.No repare ni haga funcionar el producto
- Instale y cierre todas las cubiertas antes de aplicar tensión.

Sólo personal cualificado deberá llevar a cabo la instalación, manejo, reparación y mantenimiento de los equipos eléctricos. Schneider Electric no asume las responsabilidades que pudieran surgir como consecuencia de la utilización de este producto.

1. Comprobación de la entrega del variador

- Retire el ATV12 del embalaje y compruebe que no presente daños.



ADVERTENCIA

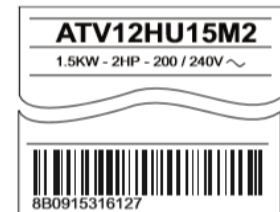
EQUIPO DAÑADO

No maneje ni instale ningún variador o accesorio del variador que parezca estar dañado

Si no se respetan estas instrucciones pueden producirse graves lesiones, daños materiales o incluso la muerte

- Asegúrese de que la referencia del variador impresa en la etiqueta coincida con la del albarán de envío correspondiente a la orden del pedido.

Escriba la referencia del modelo del variador: _____ y el número de serie: _____



2. Comprobación de la compatibilidad de la tensión de red

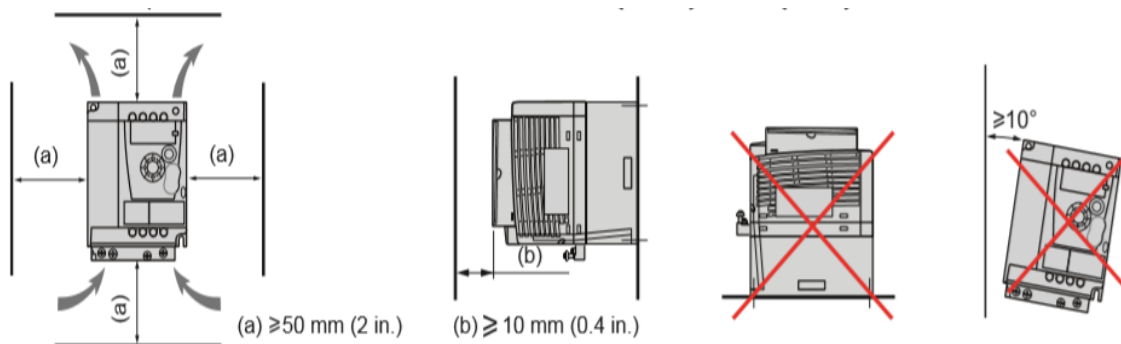
- Verifique que la tensión de red sea compatible con el rango de alimentación del variador.

Tensión de red _____ voltios / Rango de tensión del variador _____ voltios.

Rango del variador: ATV12...F1=100/120V monofásico / ATV12...M2=200/240V monofásico / ATV12...M3=200/240V trifásico

3. Instalación del variador verticalmente

Para una temperatura del aire circundante de hasta 40°C (104°F) o 50°C (122°F), basándose en el número de referencia del producto.

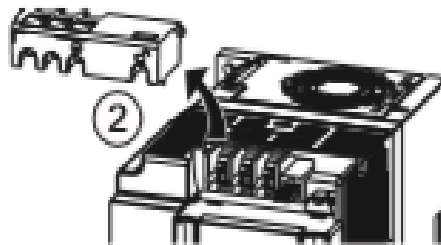
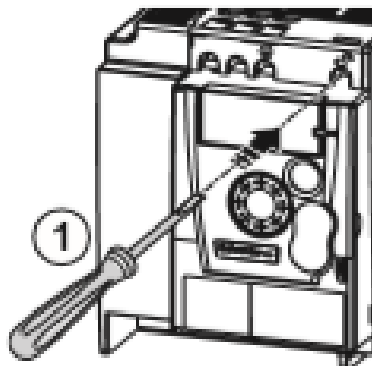




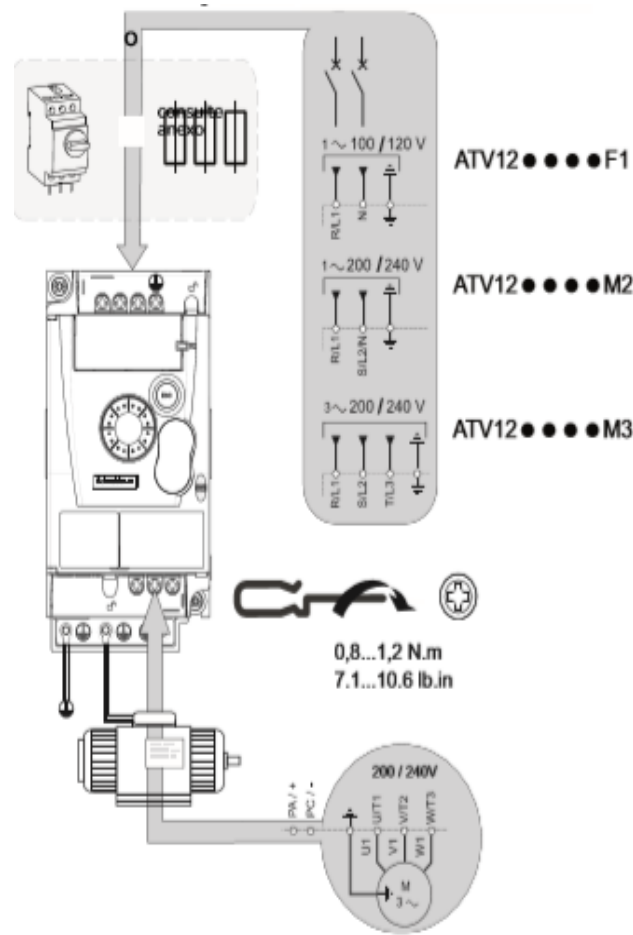
Para otras condiciones térmicas, consulte el manual del usuario (BBV28583) en www.schneir-electric.com.

4. Conexión de Alimentación

- Conecte el variador a la masa.
- Compruebe el calibre del disyuntor o del fusible.
- Compruebe que la tensión del motor es compatible con la tensión del variador. Tensión del motor _____ voltios.
- Conecte el variador al motor.
- Conecte el variador a la alimentación de red:



Abra la rejilla del cableado para acceder con más facilidad a los terminales de la red de suministro.

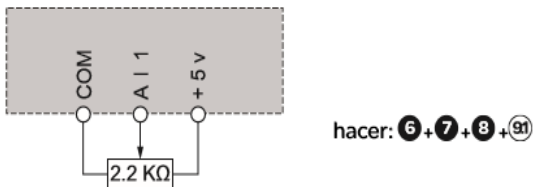


5. Cableado de control y selección del control configuración

5.1 [configuración Remota]

(Control por referencia externa)

- Cableado de la referencia de velocidad:



- Cableado de control:
 - El control utiliza 2 hilos:
- Parámetros $t C C=2C$



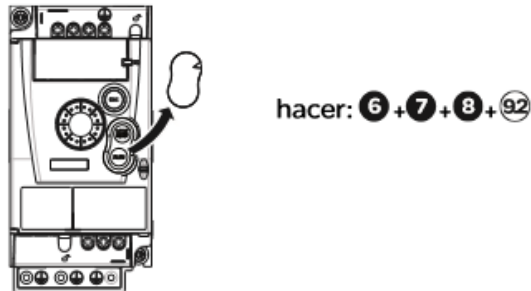
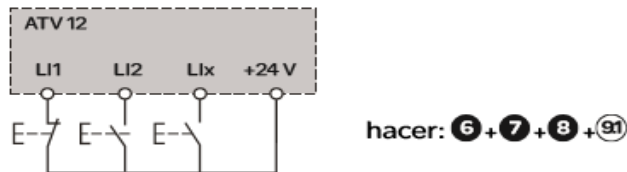
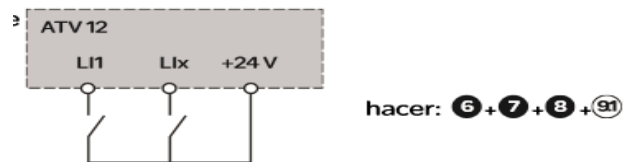
Diseño y construcción de banco de ensayo para una bomba centrífuga.

LI1: marcha adelante
LIx: marcha atrás

El control utiliza 3 hilos:
Parámetros $t C C=3C$

LI1: parada
LI2: marcha adelante
LIx: marcha atrás

5.2 [Configuración local] (Control por referencia interna)



6. Alimentación del variador



- Compruebe que las entradas lógicas utilizadas no están activas (Consultar Li1, Li2, Lix).
- La primera vez que se encienden, el variador mostrara *bFr*.
- En los siguientes arranques, el variador mostrara *rdy*.

7. Ajuste de los parámetros del motor

- Consulte la placa de característica del motor para ajustar los parámetros.

Menú	Código	Descripción	Ajuste de fabrica	Ajuste de cliente
<i>ConF > F</i> <i>uLL > drC</i>	<i>BFr</i>	[Frecuencia estándar del motor]: Frecuencia estándar del motor (Hz)	<i>S 0.0</i>	
[Menú Control motor]	<i>nPr</i>	[Potencia nominal motor]: Potencia nominal del motor indicada en la placa característica.	Calibre del variador	
	<i>nCr</i>	[Frecuencia nominal motor]: Corriente nominal del motor en la placa de característica del motor (A)	Calibre del variador	
<i>ConF > F</i> <i>uLL > FL</i> <i>t > tHt</i>	<i>,tH</i>	[Corriente térmica del motor]: Corriente nominal indicada en la placa características del motor (A)	Calibre del variador	
[Menú Protección Térmica del motor]				

8. Ajustes de los parámetros básicos

Menú	Código	Descripción	Ajuste de fabrica	Ajuste de cliente
<i>C o n F</i> [Configuración]	<i>ACC</i>	[Aceleración]: Tiempo de aceleración (s)	<i>3.0</i>	
	<i>dEC</i>	[Deceleración]: Tiempo de deceleración (s)	<i>3.0</i>	
	<i>LSP</i>	[Velocidad mínima]: Frecuencia del motor con referencia mínima (Hz)	<i>0.0</i>	
	<i>HSP</i>	[Velocidad Máxima]: Frecuencia de motor con referencia máxima (Hz)	<i>S 0.0</i>	



9. Ajuste de parámetros de control

Menú	Código	Descripción	5.1 [Configuración Remota]	5.2 [Configuración Local]	Ajuste del cliente
<i>ConF>F</i> <i>uLL>Ct</i> <i>L-</i> [Menú control]	<i>FrI</i>	[Canal Ref. 1]: Control de referencia	<i>AL I</i>	<i>AL u I</i>	
<i>ConF>F</i> <i>uLL>,_0</i> <i>-</i> [Menú Entrada/Salida]	<i>tCC</i>	[Control 2/3 hilos]: Control de comandos	<i>2 C</i> :2 hilos <i>3 C</i> :3 hilos	-	

9.1 [Configuración Remoto]

(Configuración de los ajustes de fábrica)

Parámetros predeterminados de fábrica:

FrI = A, I

9.2 [Configuración Local]

Parámetros predeterminados de fábrica:

FrI = A, u I



10. Arranque del motor

Resolución de problemas



Diseño y construcción de banco de ensayo para una bomba centrífuga.

Código	Causas posibles	Solución
<i>SCFI</i> <i>SCF3</i>	<p>Cortocircuito o puesta a tierra en la salida del variador</p> <ul style="list-style-type: none"> * Fallo a tierra durante funcionamiento. * Conmutación de motores durante el funcionamiento. * Corriente de fuga a tierra importante en el caso de varios motores en paralelo. 	<ul style="list-style-type: none"> * Verifique los cables que conectan el variador al motor, así como el aislamiento del motor. * Conecte bobinas de motor.
<i>obF</i>	<ul style="list-style-type: none"> * Frenado demasiado brusco o carga arrastrante. 	<ul style="list-style-type: none"> * Aumente el tiempo de deceleración. * Instale una unidad de modulo con una resistencia de frenado en caso necesario. * Verifique la tensión de alimentación de red para asegurarse de que se encuentra por debajo del máximo aceptable (20% por encima de la tensión de red máxima durante el estado de funcionamiento).
<i>oSF</i>	<ul style="list-style-type: none"> * Tensión de red demasiado elevado. -Solo al encender el variador, la tensión esta un 10% por encima del nivel de tensión máxima aceptable. -Potencia sin orden de marcha, 20% por encima de la alimentación de red máxima. * Alimentación de red perturbada. 	<ul style="list-style-type: none"> * Apague el variador. Compruebe y ajuste la tensión de red. Después de que la red vuelva a la tensión nominal (dentro de la tolerancia), encienda la alimentación. Si aparece código <i>oSF</i> intermitente, ajuste el relé R1 a <i>FLt</i> y se podrá conectar a la protección aguas arriba para evitar sobretensión en el variador. En este caso <i>LOI</i> puede utilizarse para otros estados de variador.
<i>oPF1</i>	<ul style="list-style-type: none"> *Corte de fase a la salida del variador 	<ul style="list-style-type: none"> * Verifique las conexiones del variador al motor. * En caso de utilizar un contactor aguas abajo, compruebe que la conexión, el cable y el contactor son correctos.
<i>oPF2</i>	<ul style="list-style-type: none"> * Motor no conectado. * Potencia de motor demasiado baja, inferior al 6% de la corriente nominal del variador. * Contactor de salida abierta. * Inestabilidades instantáneas de la intensidad de motor. 	<ul style="list-style-type: none"> * Verifique las conexiones del variador al motor. * Pruebe en un motor con alimentación baja o sin motor. Con el ajuste de fábrica, la detección de perdida de fase del motor esta activa: Pérdida fase motor Detección o PL = yES. Para comprobar el variador en un entorno de prueba o de mantenimiento, y sin

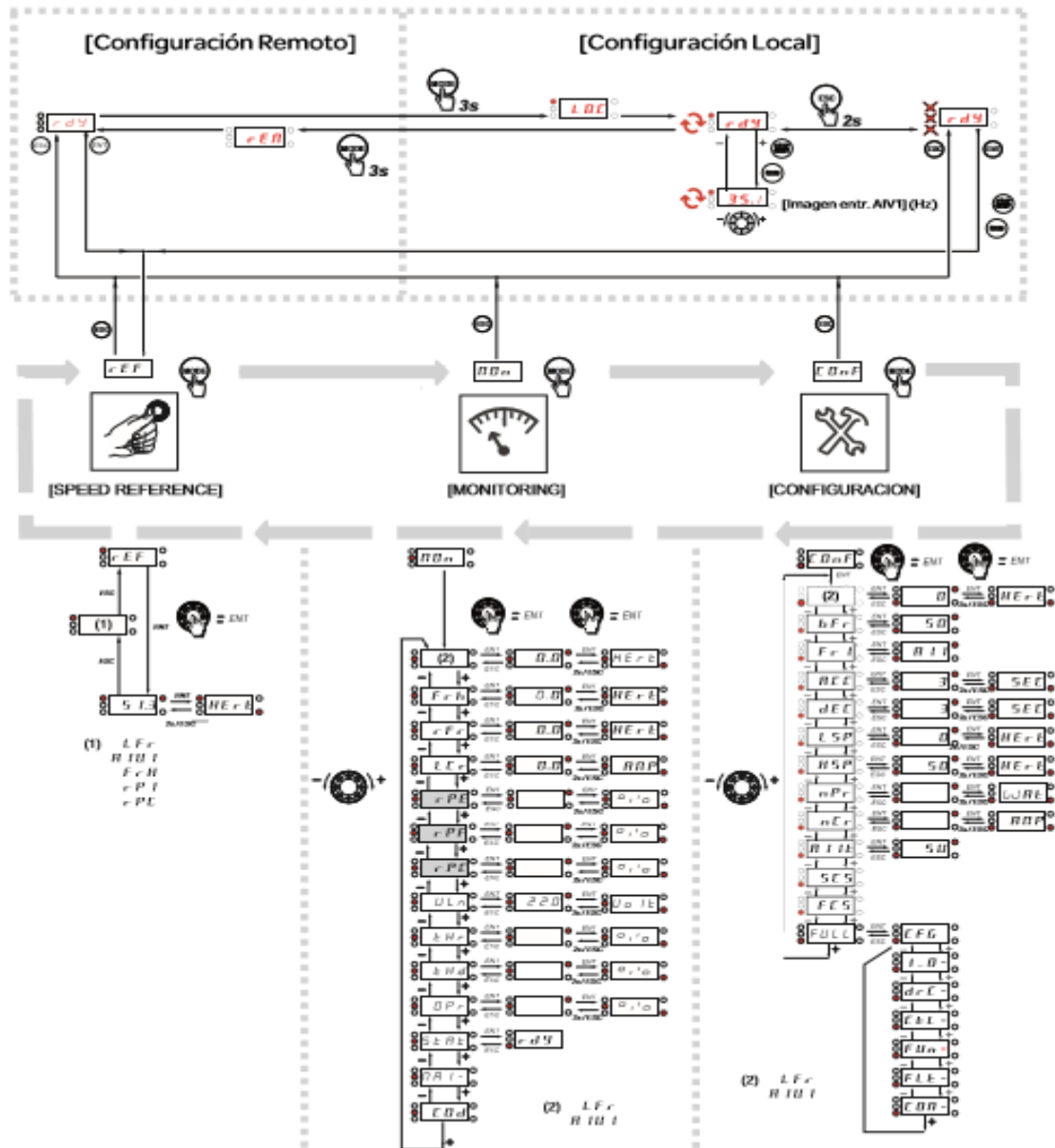


Diseño y construcción de banco de ensayo para una bomba centrífuga.

		<p>recurrir a un motor equivalente al calibre del variador, desactive la detección de fase del motor Pérdida fase motor Detección oPL = no.</p> <p>* Verifique y optimice los parámetros: Compensación RI (ley U/F) UFr, Tensión nominal del motor unS, y Intensidad nominal del motor nCr, y realice un Autoajuste tun.</p>
USF	<ul style="list-style-type: none">* Alimentación de red insuficiente.* Bajada de tensión transitoria.	<p>Verifique la tensión y los parámetros del Menú pérdida fase subtensión uSb-.</p>



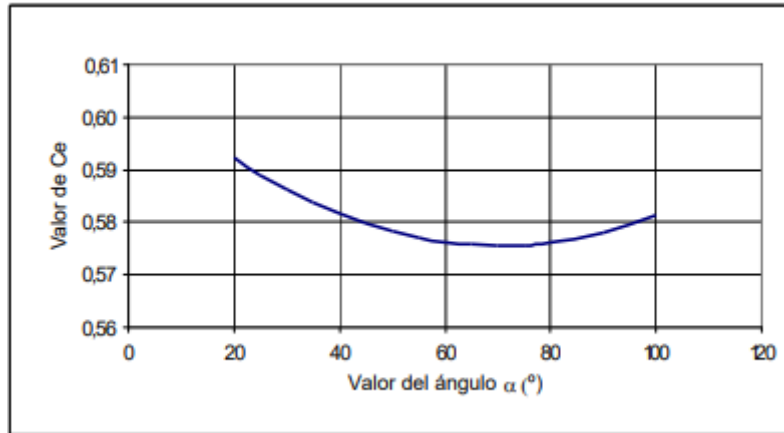
Estructura de menús



Consulte el manual de usuario del ATV12 ([BBV28583](#)) para obtener información sobre la localización de fallas y una descripción completa del menú.



Anexo 23. Relación entre C_e y α para vertederos triangulares.





Anexo 24. Ficha técnica electrodo Lincoln E6013.

ELECTRODO REVESTIDO (SMAW)

Lincoln® Master
Acero Dulce, Rutilico • AWS E6013

Características Principales

- ▶ Para soldar en todas posiciones sobre acero dulce o de baja aleación.
- ▶ Excelente alternativa cuando se requiere soldar sobre acero galvanizado.
- ▶ Escoria y salpicaduras mínimas sobre el metal base.

Aplicaciones Típicas

- ▶ Para ser utilizado con máquinas de bajo voltaje de circuito abierto.
- ▶ Excelente para uniones en traslape y filete de placas delgadas.
- ▶ Para soldar aceros estructurales, cordones de vista, herrería en general, reparaciones y mantenimiento de equipo, acero tubular y trabajos caseros.

Conformancia

AWS A5.1/A5.1M: 2004
ASME SFA-A5.1:

E6013
E6013

Posiciones de Soldadura

Todas.

DIÁMETROS / EMPAQUE

Diámetro in (mm)	Longitud in (mm)	Caja Granel 50.71 lb (23 kg.)
3/32 (2.4)	14 (350)	50601
1/8 (3.2)	14 (350)	50600

PROPIEDADES MECÁNICAS⁽¹⁾. De acuerdo con AWS A5.1/A5.1M: 2004

	Resistencia a la Cedencia ⁽²⁾ Mpa (ksi)	Resistencia a la Tensión Mpa (ksi)	Elongación %	Charpy V-Notch J(ft*lbft) @ °C (°F)
Requerimiento AWS E6013	330 (48) mín.	430 (60) mín.	17 mín.	No especificado
Resultados Típicos ⁽³⁾ . Tal como se soldó, Diámetro del Electrodo 1/8" (3.2 mm)	535 (78)	591 (86)	31	No especificado

COMPOSICIÓN QUÍMICA⁽¹⁾. De acuerdo con AWS A5.1/A5.1M: 2004

	%C	%Mn	%Si	%Ni	%Cr
Requerimiento AWS E6013	0.20 máx.	1.20 máx.	1.00 máx.	0.30 máx.	0.20 máx.
Resultados Típicos ⁽³⁾ .	0.069	0.43	0.34	0.01	0.02
	%Mo		%V		
Requerimiento AWS E6013	0.30 máx.		0.08 máx.		
Resultados Típicos ⁽³⁾ .	0.00		0.018		

PROCEDIMIENTOS TÍPICOS DE OPERACIÓN

Polaridad ⁽²⁾	Corriente (Amps)			
	3/32 in. (2.4 mm)	1/8 in (3.2 mm)		
C.A	75 – 85	110 – 140		
C.D ±	70 – 105	100 – 135		

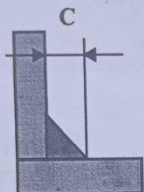
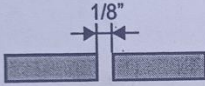
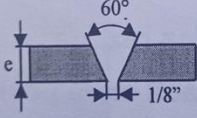
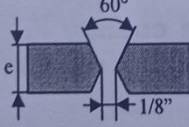


Anexo 25. Tabla de selección de medida electrodo y amperaje de trabajo. (Oxgasa, pág. 12)

Posición Plana Espesor del Metal	Medida del Electrodo	Amperaje Aproximado
Calibre 18	3/32"	50 - 80
Calibre 16	3/32"	
Calibre 14	1/8"	90 - 135
Calibre 12	1/8"	
Calibre 10	5/32" ó 1/8"	120 - 175
3/16"	5/32" ó 1/8"	
1/4"	3/16" ó 5/32"	140 - 200
5/16"	3/16" ó 5/32"	200 - 275
3/8"	1/4" ó 3/16"	
1/2"	1/4" ó 3/16"	250 - 350
3/4"	1/4"	
1"	1/4"	325 - 400



Anexo 26. Tabla de consumo de metal depositado según el tipo de junta. (Saavedra, 2010)

CONSUMO DEL METAL DEPOSITADO SEGÚN EL TIPO DE JUNTA						
Soldadura	Tipo de junta	Espesor chapa (pulg)	Área teórica (pulg ²)	Metal depositado teórico (lb / pie)	Área con refuerzo (pulg ²)	Metal depositado con refuerzo (lb / pie)
De filete (catetos iguales)		1/8	0,008	0,027	0,009	0,030
		3/16	0,018	0,061	0,020	0,067
		¼	0,031	0,106	0,034	0,117
		5/16	0,049	0,167	0,054	0,184
		3/8	0,070	0,238	0,077	0,262
		7/16	0,096	0,326	0,106	0,360
		½	0,125	0,425	0,138	0,469
		9/16	0,158	0,537	0,174	0,591
		5/8	0,195	0,663	0,215	0,729
		¾	0,281	0,956	0,309	1,052
7/8	0,383	1,503	0,421	1,653		
1	0,500	1,700	0,550	1,876		
A tope bordes recto		1/8	0,016	0,054	0,019	0,065
		5/32	0,019	0,065	0,023	0,078
		3/16	0,023	0,078	0,027	0,094
		7/32	0,027	0,092	0,032	0,110
		¼	0,031	0,105	0,037	0,126
		9/32	0,035	0,119	0,042	0,143
		5/16	0,039	0,132	0,047	0,158
A tope bisel en V		1/4	0,067	0,228	0,074	0,251
		3/8	0,128	0,384	0,141	0,422
		1/2	0,206	0,702	0,227	0,772
		5/8	0,305	1,040	0,336	1,144
		¾	0,418	1,430	0,460	1,573
		1	0,702	2,395	0,772	2,635
A tope bisel en X		3/4	0,256	0,874	0,307	1,049
		1	0,414	1,420	0,497	1,704
		1-¼	0,608	2,075	0,730	2,490
		1-1/2	0,838	2,860	1,006	3,432
		1-3/4	1,105	3,765	1,326	4,518
		2	1,405	4,780	1,686	5,736
2-1/4	1,742	5,945	2,090	7,134		



Anexo 27. Tabla de preparación de junta para soldadura. (Saavedra, 2010)

PREPARACIÓN DE LAS JUNTAS PARA LA SOLDADURA

Forma de la junta	Espesor (e) mm	Separación (s) mm	Ángulo (α) grados	Radio (r) mm	Electrodos (\varnothing) mm	
					Raíz	Relleno
	1 1,5	0 0,5	-	-	1,5 - 2 2,5	-
	3 a 6	1,5 a 3	-	-	3,2 - 4	-
	5 a 8 8 a 12 > 12	2 a 3	60	-	3,2 4 4	4 5 5 - 6
	5 a 8 8 a 12 > 12	1,5 a 3	60	-	3,2 4 4	4 5 5 - 6
	10 a 12 12 a 30 > 30	1,5 a 3	60	-	3,2 4 4	4 5 5 - 6
	12 a 25 > 25	2 a 3	45	-	3,2 4	4 - 5 5 - 6
	16 a 25 > 25	2 a 3	45	-	3,2 4	4 5 - 6
	> 25	1 a 2	10	4	4	5 - 6
	> 30	1 a 2	10	4	4	5 - 6



Anexo 28. Ficha técnica del disyuntor de protección de la bomba. (Allen-Bradley)



140M-C



140M-D



140M-F

Rated Operational Current (I_e) [A]	Motor Current Adjustment Range [A]	Magnetic Trip Current [A]	Max. Short Circuit Current [kA]		Max. 3-phase Hp Ratings ⁽¹⁾				Max. kW, 3-Phase — AC-3 ⁽¹⁾				Cat. No.
			400V (I_{cu})	480V (group motor)	200V	230V	460V	575V	230V	400/415V	500V	690V	
C-Frame													
0.16	0.10...0.16	2.1	100	65	—	—	—	—	—	0.02	0.06	0.06	140M-C2E-A16
0.25	0.16...0.25	3.3	100	65	—	—	—	—	—	0.04	0.09	0.09	140M-C2E-A25
0.4	0.25...0.40	5.2	100	65	—	—	—	0.25	0.06	0.09	0.12	0.18	140M-C2E-A40
0.63	0.40...0.63	8.2	100	65	—	—	0.25	0.33	0.09	0.18	0.18	0.25	140M-C2E-A63
1	0.63...1.0	13	100	65	—	—	0.5	0.75	0.18	0.25	0.37	0.55	140M-C2E-B10
1.6	1.0...1.6	21	100	65	0.25	0.33	1	1	0.25	0.55	0.75	1.1	140M-C2E-B16
2.5	1.6...2.5	33	100	65	0.5	0.75	1.5	2	0.37	0.75	1.1	1.8	140M-C2E-B25
4	2.5...4.0	52	100	65	1	1	3	3	0.75	1.5	2.2	3	140M-C2E-B40
6.3	4.0...6.3	82	100	65	1.5	2	5	5	1.5	2.2	3	4	140M-C2E-B63
10	6.3...10	130	100	65	3	3	7.5	10	2.2	4	6.3	7.5	140M-C2E-C10
16	10...16	208	65	30	5	5	10	15	4	7.5	10	13	140M-C2E-C16
20	14.5...20	260	50	30	5	7.5	15	20	5.5	10	11	17	140M-C2E-C20
25	18...25	325	15	25	7.5	7.5	20	20	5.5	11	15	22	140M-C2E-C25
29	24...29	406	15	25	7.5	10	20	25	7.5	13	18.5	25	140M-C2E-C29
32	27...32	448	15	25	7.5	10	25	30	7.5	15	20	25	140M-C2E-C32



Anexo 29. Leyes de semejanza. (Mataix, 1986, págs. 532-534)

Primera ley: los caudales son directamente proporcionales a los números de revoluciones.

$$\frac{Q'}{Q''} = \frac{n'}{n''}$$

Segunda ley: las alturas útiles son directamente proporcionales a los cuadrados de los números de revoluciones.

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

Tercera ley: las potencias útiles son directamente proporcionales a los cubos de los números de revoluciones.

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

Cuarta ley: los caudales son directamente proporcionales al cubo de la relación de diámetros.

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

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

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

Sexta ley: las potencias útiles son directamente proporcionales a la quinta potencia de la relación de diámetros.

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



X. Apéndice.

En los siguientes apéndices se muestran los planos correspondientes al banco de ensayo.



Apéndice 1. Vista de banco de ensayo.



Diseño y construcción de banco de ensayo para una bomba centrífuga.



Apéndice 2. Banco de ensayo.



Apéndice 3. Corte A-A.



Apéndice 4. Sistema hidráulico.



Apéndice 5. Vista explosionada.



Apéndice 6. Vista con medidas en tuberías.



Apéndice 7. Diagrama eléctrico.



Apéndice 8. Aplicación de leyes de semejanza bomba Wilo 201-1/E/3-480-60-2.

Como se aprecia en el gráfico VI.1 no hay intersección entre la curva de la bomba y la curva del sistema hidráulico instalado en el banco esto debido al sobredimensionamiento de la bomba.

Para obtener el punto de trabajo de la bomba se debe tener en cuenta que este debe ser aquel en el que la altura total generada por la misma es igual a la altura necesaria en la instalación, es decir, el punto de trabajo de la bomba se encuentra en la intersección de la curva del sistema y la de la bomba.

Por ende se procedió al empleo de las leyes de semejanza para aproximar las curvas al punto de trabajo deseado.

Se propone un reemplazo de rodete para incrementar el caudal máximo bombeado de 4.7 m³/h a 8m³/h. Despejando de la cuarta ley de semejanza determinamos el diámetro de rodete requerido para impulsar el caudal deseado.

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

$$D'' = \sqrt[3]{(D')^3 \frac{Q''}{Q'}} = \sqrt[3]{(0.10 \text{ m})^3 * \frac{\frac{8\text{m}^3}{s}}{\frac{4.7\text{m}^3}{s}}} = 0.119 \text{ m}$$

Una vez que se determina el diámetro de rodete se procede a la realización de los cálculos de los nuevos caudales y alturas que proporcionara la bomba con el nuevo impulsor aplicando la cuarta y quinta ley de semejanza (Ver anexo 29) para determinar los caudales y alturas que ofrecerá la bomba para cada una de las posiciones de la válvula de bola, datos que se aprecian en la tabla X.1 y X.2.



Diseño y construcción de banco de ensayo para una bomba centrífuga.

Posición válvula de bola	Pérdidas mayores		Pérdidas menores		Velocidad del fluido m/s	Altura (m)	HL(m)
	Succión (m)	Descarga (m)	Succión (m)	Descarga (m)			
1	0	0	0	0	0	23.27	0
2	0.08	0.46	1.06	1.24	1.31	20.32	2.83
3	0.13	0.81	1.87	2.2	1.74	19.50	5.02
4	0.21	1.3	3	3.52	2.2	17.61	8.02
5	0.3	1.83	4.24	4.97	2.62	15.41	11.35
6	0.36	2.18	5.04	5.91	2.85	14.29	13.48
7	0.43	2.64	6.1	7.15	3.14	13.77	16.32
8	0.49	3	6.93	8.13	3.35	12.01	18.55
9	0.55	3.37	7.8	9.14	3.55	11.19	20.87
Datos a considerar.							
D (m)	L _{suc} (m)	L _{des} (m)	ΣK _{suc}	ΣK _{des}	g (m/s ²)	f	
0.02845	1.29	4.73	12.134	14.23	9.81	0.019	

Tabla X.1 Cálculos de pérdidas por tuberías y accesorios.

$H_B = \Delta Z + H_L \left(\frac{Q^2}{2gA^2} \right)$			
Área		g	ΔZ
0.0006357 m ²		9.81 m/s ²	0.15 m
Posición	Q (m ³ /s)	HL (m)	HB (m)
1	0.00000	0.00	0.15
2	0.00083	2.83	0.40
3	0.00111	5.02	0.93
4	0.00140	8.02	2.13
5	0.00166	11.35	4.12
6	0.00181	13.48	5.74
7	0.00200	16.32	8.35
8	0.00213	18.55	10.75
9	0.00226	20.87	13.56

Tabla X.2 Cálculos necesarios para la elaboración de la curva del sistema.



Diseño y construcción de banco de ensayo para una bomba centrífuga.

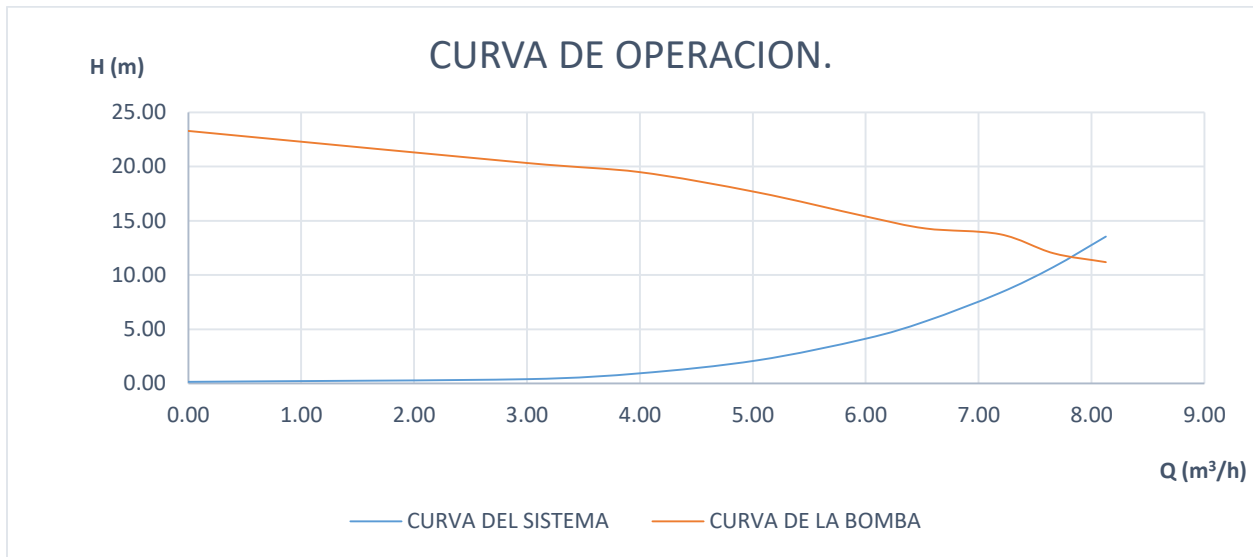


Gráfico X.1. Curva de operación de la bomba con impulsor de 12 cm de diámetro.

Con el intercambio de rodete se consigue aumentar el caudal y la altura que puede desarrollar la bomba, este incremento de caudal también conlleva un incremento de las pérdidas del sistema. En el gráfico X.1 se aprecia el punto de funcionamiento (punto de intersección de las curvas) que es el punto, donde la bomba alcanzara su máximo rendimiento.



XI. Bibliografía

- Pérez Porto, J., & Gardey, A. (S.F de S.F de 2015). *Definicion.de*. Obtenido de Definicion.de: (<https://definicion.de/voltmetro/>)
- Ayllón., F. M. (2008). *Abastecimiento, diseño y construcción de sistemas de agua potable modernizando el aprendizaje y enseñanza en la asignación de ingeniería sanitaria I*. Bolivia.
- Baldeon, E. H. (s.f.). *scribd*. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/231325083/Acero-Al-Carbono-Estructural-ASTM-A36>
- Benavides , S., Galeano, N., & Cano, J. (2018). desarrollo de un variador de velocidad trifasico. *revista chilena de ingeniería* , 214.
- Cengel, y. A. (2006). *mecánica de fluidos fundamentos y aplicaciones*. En y. A. M.Cimbala, *mecánica de fluidos fundamentos y aplicaciones*. Mexico: Mc Graw Hill.
- Crane. (1957). *Flujo de fluidos en valvulas, accesorios y tubería*. En *Flujo de fluidos en valvulas, accesorios y tubería*. mexico: McGRAW-HILL.
- Dinama. (28 de septiembre de 2004). *Dinama*. Obtenido de https://www.gub.uy/ministerio-ambiente/sites/ministerio-ambiente/files/documentos/publicaciones/Guia_Medicion_Caudales.pdf
- GeneratePress. (02 de junio de 2021). *App: Game tutoriales*. Obtenido de <http://appgametutoriales.com/calculo-de-motores-amperaje-potencia-y-mas>
- IspatGuru. (23 de Diciembre de 2020). *IspatGuru*. Obtenido de <https://www.ispatguru.com/spark-testing-of-steels/>
- Jiménez, J. (2009). Especies vegetales que habitan en los derechos de vía de las carreteras principales de nicaragua . *revista científica Nexo*, 22.
- Luis, G. C. (- de - de 1982). *EcuRed*. Obtenido de EcuRed: <https://www.ecured.cu/Vacu%C3%B3metro>
- Mataix, c. (1986). *mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas*. En c. Mataix, *mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas* (pág. 355). madrid: ediciones del castillo.



Diseño y construcción de banco de ensayo para una bomba centrífuga.

- Mecanica, A. (25 de 05 de 2011). *a.wordpress.com*. Obtenido de a.wordpress.com:
<https://areamecanica.wordpress.com/2011/05/25/ingenieria-mecanica-curvas-caracteristicas-de-una-bomba-centrifuga-i-amp/>
- Mott, R. I. (2006). Mecanica de Fluidos. En R. I. Mott, *Mecanica de Fluidos* (pág. 386). Mexico: Pearson Education.
- Ojeda., M. A. (s.f.). soldadura por arco con electrodos revestidos. En M. A. Ojeda., *soldadura por arco con electrodos revestidos*. casa McGregor.
- Oxgasa. (s.f.). Manual del soldador. En Oxgasa, *Manual del soldador*.
- Ringegni, P. (2013). *Calculos de uniones soldadas*. Obtenido de [www.aero.ing.unlp.edu.ar/catedras/archivos/uniones soldadas/sextaedicion](http://www.aero.ing.unlp.edu.ar/catedras/archivos/uniones_soldadas/sextaedicion).
- Risoul. (27 de septiembre de 2019). *Blog Risoul*. Obtenido de www.risoul.com.mx/blog/como-elegir-el-cable-correcto-con-base-al-factor-de-ampacidad%3fhs_amp=true
- Saavedra, I. A. (14 de julio de 2010). *construcciones soldadas*. Obtenido de <http://www.alexandersaavedra.com/2010/06/identificacion-de-metales-por-prueba-de.html>
- Salas, A. F. (05 de agosto de 2008). *OPEN COURSE WARE Universidad de Sevilla*. Obtenido de OPEN COURSE WARE Universidad de Sevilla: http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario/Tema%207.%20Bombas/tutorial_07.htm.
- serchjimenez. (07 de julio de 2017). *hidráulica fácil*. Obtenido de <https://www.hidraulicafacil.com/2017/07/perdida-de-carga-localizada-o-en.html>
- virtual, a. (2010-2011). *aula virtual*. Obtenido de <https://www.urg.es/-aulavirtualpfcicq/Bbombasytuberias.html>