

# Universidad Católica de Santa María

## Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales

### Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica



## DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO DE BOMBAS CENTRÍFUGAS E IMPLEMENTACIÓN DE GUÍAS PRÁCTICAS PARA EL ESTUDIO DE SUS PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS

Tesis presentada por el Bachiller:

**Paredes Ego-Aguirre, Carlos Alberto**

para optar el Título Profesional de

**Ingeniero Mecánico Electricista**

Asesor: **Mg. Gordillo Andía, Carlos**

**Arequipa- Perú**

**2019**



*Universidad Católica de Santa María*

☎ (51 54) 382038 Fax: (51 54) 251213 ✉ [ucsm@ucsm.edu.pe](mailto:ucsm@ucsm.edu.pe) 🌐 <http://www.ucsm.edu.pe> Apartado: 1350

AREQUIPA - PERÚ

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA  
ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA**

**INFORME DICTAMINATORIO**

**VISTO**

EL BORRADOR DE TESIS TITULADO:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN MODULO DE BOMBAS CENTRIFUGAS E  
IMPLEMENTACION DE GUIAS PRACTICAS PARA EL ESTUDIO DE SUS  
PRINCIPALES CARACTERISTICAS”**

Presentado por el Bachiller:

**PAREDES EGO AGUIRRE CARLOS ALBERTO**

Nuestro **DICTAMEN** es:

*APROBADO*

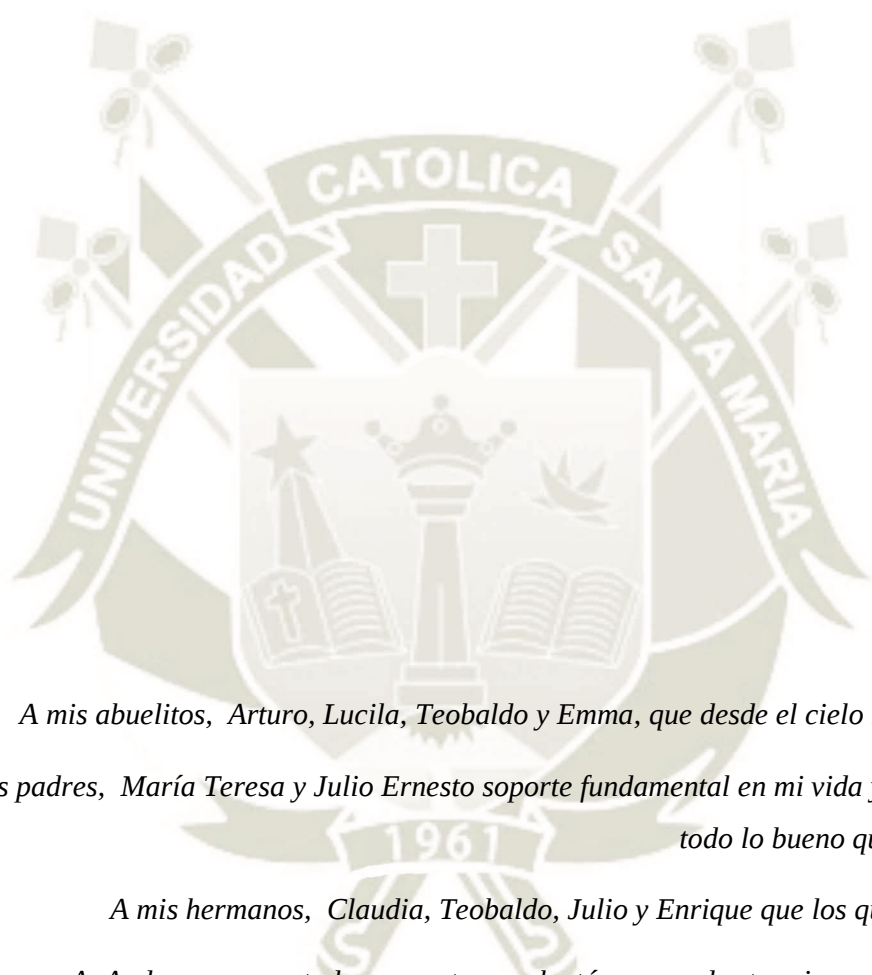
OBSERVACIONES:

*absueltas*

Arequipa, *19 Julio* 2019

*Mario Valencia Salas*  
\_\_\_\_\_  
ING. MARIO VALENCIA SALAS

*Carlos Gordillo Andia*  
\_\_\_\_\_  
ING. CARLOS GORDILLO ANDIA



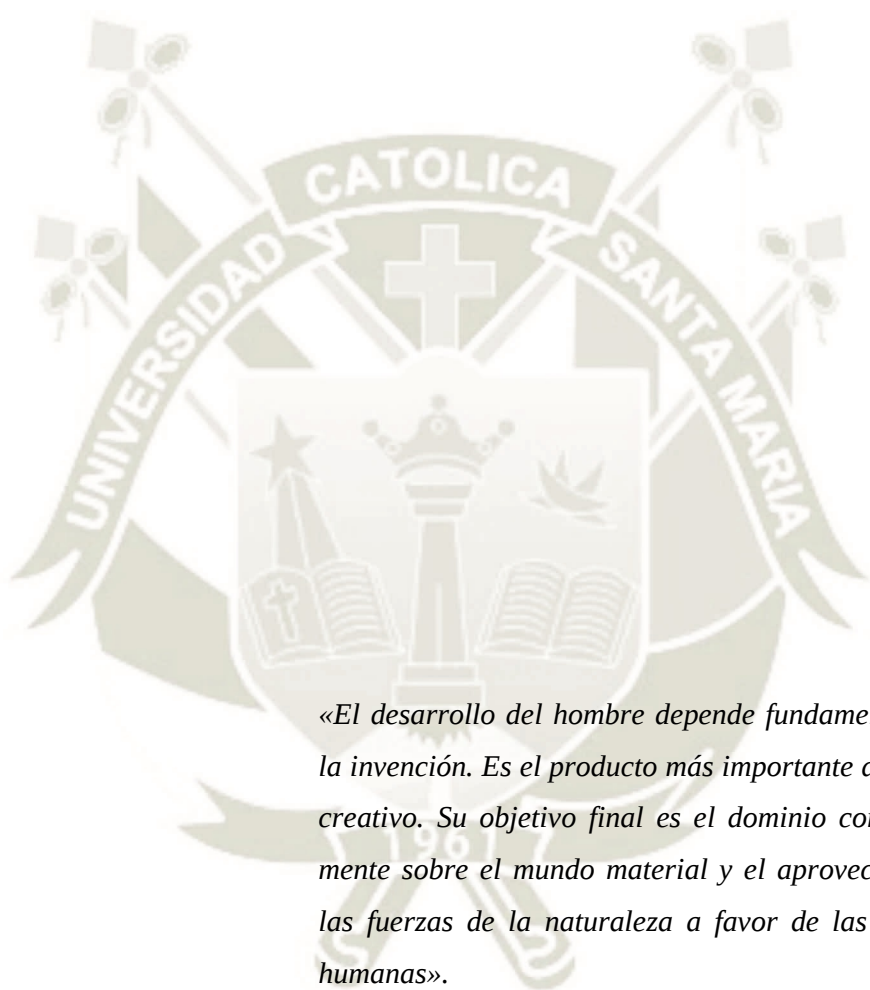
*A mis abuelitos, Arturo, Lucila, Teobaldo y Emma, que desde el cielo me protegen.*

*A mis padres, María Teresa y Julio Ernesto soporte fundamental en mi vida y gestores de todo lo bueno que hay en mí.*

*A mis hermanos, Claudia, Teobaldo, Julio y Enrique que los quiero mucho.*

*A Andrea, que en todo momento me alentó para poder terminar este proyecto.*

*Y a todas las personas que me estiman y aportaron algo en mi crecimiento como persona y como profesional.*



*«El desarrollo del hombre depende fundamentalmente de la invención. Es el producto más importante de su cerebro creativo. Su objetivo final es el dominio completo de la mente sobre el mundo material y el aprovechamiento de las fuerzas de la naturaleza a favor de las necesidades humanas».*

*Nikola Tesla (1856 - 1943)*

*Inventor, ingeniero mecánico e ingeniero eléctrico.*

## RESUMEN

El presente proyecto, “Diseño y construcción de un módulo de bombas centrífugas e implementación de guías prácticas para el estudio de sus principales características”, para la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica-Eléctrica y Mecatrónica, se concibe a partir de la necesidad de conocer el comportamiento de un banco de bombas centrífugas en sus diferentes opciones de configuración (trabajo individual, en serie y/o en paralelo) y a distintas velocidades.

Dada esta necesidad, y en base a opciones ya existentes en el mercado, se ideó un banco de pruebas con diseño similar a sistemas hidráulicos presentes en plantas industriales de producción, que pueda mostrar de manera didáctica dicho comportamiento y estudiar así las principales características de las bombas centrífugas, en contraste con la teoría de mecánica de fluidos y turbomáquinas.

Una vez concebida la idea y teniendo en claro las características del banco de pruebas se procedió a la construcción del mismo, se verificaron de forma práctica las mediciones de presión y caudal para que estén de acuerdo a lo especificado por el fabricante y con los cálculos teóricos efectuados, se realizaron protocolos de funcionamiento para un correcto uso de parte de los usuarios del banco de pruebas.

Finalmente, se diseñaron las guías prácticas para que los alumnos de pre-grado o interesados en seguir con la investigación, puedan llevar de manera ordenada los datos tomados en la práctica y tener los resultados esperados.

**Palabras Clave:** Bomba centrífuga, Bernoulli, curvas características, leyes de afinidad, altura dinámica.

## ABSTRACT

The present project, "Design and construction of a centrifugal pump module and implementation of practical guides for the study of its main characteristics", for the Professional School of Mechanical Engineering, Mechanical-Electrical and Mechatronics, is conceived from the need of know the behavior of a bank of centrifugal pumps in their different configuration options (individual work, in series and / or in parallel) and at different speeds.

Given this need, and based on existing options in the market, a test bench was designed with a design similar to hydraulic systems present in industrial production plants, which can show such behavior in a didactic way and study the main characteristics of the Centrifugal pumps, in contrast to the theory of fluid mechanics and turbomachinery.

Once the idea was conceived and the characteristics of the test bench were clear, construction was carried out, pressure and flow measurements were verified in a practical way so that they were in accordance with what was specified by the manufacturer and with the theoretical calculations performed, operating protocols were made for correct use by the users of the test bench.

Finally, the practical guides were designed so that the undergraduate students or those interested in continuing with the research, can carry out in an orderly manner the data taken in practice and have the expected results.

**Key words:** Centrifugal pump, Bernoulli, characteristic curves, affinity laws of centrifugal pumps, dynamic head.

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación denominado “Diseño y construcción de un módulo de bombas centrífugas e implementación de guías prácticas para el estudio de sus principales características” consta de diseño, construcción, de un banco de pruebas; análisis de datos registrados en el funcionamiento e implementación de guías prácticas de laboratorio para diferentes las configuraciones de operación (individual, serie y/o paralelo) para el laboratorio de Termofluidos la escuela profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica-Eléctrica y Mecatrónica de la Universidad Católica de Santa María.

Para alcanzar este se objetivo, se diseñó y se construyó un módulo de aprendizaje teniendo en cuenta las principales características del comportamiento de las bombas centrífugas y las diferentes condiciones de funcionamiento en las que estas puedan ser operadas.

El informe consta de cinco capítulos, distribuidos de la siguiente manera: planteamiento metodológico, marco teórico, diseño y construcción, experiencias de funcionamiento y validación de datos, y costos.

El primer capítulo se refiere al planteamiento del problema, donde se detallan los objetivos del proyecto, así como, la justificación, alcances y limitaciones del mismo.

El segundo capítulo es el sustento teórico del funcionamiento de las bombas centrífugas.

El tercer capítulo es referido al diseño en sí del banco de pruebas donde se explica el porqué de la elección de hacer un diseño propio frente a las opciones existentes en el mercado, y también los elementos que conforman el banco.

El cuarto capítulo, es netamente experimental, se detalla los datos obtenidos en cuadros y se obtienen las curvas características para cada configuración de funcionamiento de las bombas, estas han sido comparadas con las del fabricante.

El quinto capítulo, explica todo lo referente a los costos del proyecto.

De esta manera se realizó de manera satisfactoria el proyecto inicial, obteniendo los resultados esperados en coordinación con los objetivos formulados.

## ÍNDICE GENERAL

|                                                                 |            |
|-----------------------------------------------------------------|------------|
| <b>RESUMEN .....</b>                                            | <b>v</b>   |
| <b>ABSTRACT .....</b>                                           | <b>vi</b>  |
| <b>INTRODUCCIÓN .....</b>                                       | <b>vii</b> |
| <br>                                                            |            |
| <b>CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO .....</b>              | <b>1</b>   |
| 1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....                               | 1          |
| 1.1. Determinación del problema .....                           | 1          |
| 1.2. Enunciado del problema.....                                | 1          |
| 1.3. Justificación .....                                        | 1          |
| 1.4. Alcances y limitaciones.....                               | 1          |
| 1.4.1. Alcances.....                                            | 1          |
| 1.4.2. Limitaciones.....                                        | 2          |
| 2. OBJETIVOS .....                                              | 2          |
| 2.1. Objetivo General.....                                      | 2          |
| 2.2. Objetivos Específicos.....                                 | 2          |
| 3. ESTADO DEL ARTE.....                                         | 3          |
| <br>                                                            |            |
| <b>CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO .....</b>                          | <b>5</b>   |
| 1. GENERALIDADES .....                                          | 5          |
| 2. COMPONENTES DE LA BOMBA CENTRÍFUGA .....                     | 5          |
| 2.1. Carcasa o voluta.....                                      | 5          |
| 2.2. Rodete .....                                               | 6          |
| 2.3. Eje .....                                                  | 7          |
| 2.4. Anillo de desgaste .....                                   | 7          |
| 2.5. Cierre Hidráulico .....                                    | 7          |
| 3. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO.....                             | 9          |
| 3.1. Principio de Bernoulli aplicado a Bombas Centrífugas ..... | 9          |
| 3.2. Ecuación de Euler .....                                    | 10         |
| 4. PARÁMETROS DE LAS BOMBAS CENTRÍFUGAS.....                    | 14         |
| 4.1. Carga Dinámica o “Head” .....                              | 14         |
| 4.2. Carga Estática .....                                       | 15         |

|                                                                                                 |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.3. Carga de Fricción.....                                                                     | 15        |
| 4.4. Carga de Velocidad.....                                                                    | 16        |
| 4.5. Curva de Carga del Sistema .....                                                           | 17        |
| 4.6. Altura de aspiración neta positiva (NPSH) .....                                            | 17        |
| 4.6.1.El NPSH de la bomba .....                                                                 | 18        |
| 4.6.2.El NPSH de la instalación .....                                                           | 18        |
| 5. CARGA TOTAL .....                                                                            | 19        |
| 5.1. Curvas características de una bomba centrífuga.....                                        | 20        |
| 5.2. Altura, la curva Q-H .....                                                                 | 21        |
| 5.3. Eficiencia, la curva $\eta$ .....                                                          | 22        |
| 5.4. Consumo de potencia .....                                                                  | 23        |
| 5.5. Curva NPSH (Altura de aspiración neta positiva).....                                       | 24        |
| 6. CAVITACIÓN .....                                                                             | 24        |
| 7. CONFIGURACIÓN DE CIRCUITOS HIDRÁULICOS CON BOMBAS<br>CENTRÍFUGAS .....                       | 25        |
| 7.1. Bombas en serie .....                                                                      | 26        |
| 7.2. Bombas en paralelo.....                                                                    | 27        |
| 8. APLICACIÓN DE VELOCIDAD VARIABLE .....                                                       | 28        |
| 8.1. Regulación del flujo en bombas centrífugas .....                                           | 28        |
| 8.1.1.Modificación de la curva presión-caudal del sistema sobre el que trabaja la<br>bomba..... | 29        |
| 8.1.2.Modificación de la curva presión-caudal de la bomba.....                                  | 30        |
| 8.1.3.Modificación simultánea de ambas características (sistema y bomba).....                   | 30        |
| 8.1.4.Arranque o paro de la bomba.....                                                          | 31        |
| 8.2. Leyes de afinidad .....                                                                    | 32        |
| <b>CAPÍTULO III DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL MÓDULO .....</b>                                      | <b>33</b> |
| 1. DISEÑO Y COMPOSICIÓN .....                                                                   | 33        |
| 1.1. Banco de pruebas “ZM7116 Centrifugal Pumps Characteristics” .....                          | 33        |
| 1.2. HM 150.16 Conexión en serie y en paralelo de bombas.....                                   | 34        |
| 1.3. Diseño propio .....                                                                        | 35        |
| 2. DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL MÓDULO .....                                              | 36        |
| 2.1. Estructura.....                                                                            | 36        |

|                                                                                  |           |
|----------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.2. Sistema Hidráulico.....                                                     | 37        |
| 2.3. Tablero Eléctrico.....                                                      | 39        |
| <br><b>CAPÍTULO VI EXPERIENCIAS DE FUNCIONAMIENTO Y VALIDACIÓN DE DATOS.....</b> | <b>40</b> |
| 4.1 Procedimiento de uso del Banco de pruebas de bombas centrífugas.....         | 40        |
| 4.2 Fórmulas utilizadas en la validación de datos .....                          | 41        |
| 4.2.1 Altura de Presión .....                                                    | 41        |
| 4.2.2 Altura de Velocidad .....                                                  | 41        |
| 4.2.3 Altura de Pérdidas.....                                                    | 42        |
| 4.2.4 Potencia Eléctrica .....                                                   | 43        |
| 4.2.5 Potencia Hidráulica.....                                                   | 43        |
| 4.3 ANÁLISIS DE DATOS .....                                                      | 44        |
| 4.3.1 Una sola bomba: Bomba 01 .....                                             | 44        |
| 4.3.2 Circuito en Serie .....                                                    | 48        |
| 4.3.3 Circuito en Paralelo.....                                                  | 51        |
| 4.4 GUÍAS PRÁCTICAS.....                                                         | 54        |
| <br><b>CAPÍTULO VI COSTOS .....</b>                                              | <b>68</b> |
| 1. DEFINICIONES .....                                                            | 68        |
| 2. ELEMENTOS DE UN PRODUCTO. ....                                                | 68        |
| 2.1. Materiales:.....                                                            | 69        |
| 2.2. Mano de obra:.....                                                          | 69        |
| 2.3. Costos indirectos de fabricación (CIF): .....                               | 70        |
| 3. COSTOS UNITARIOS .....                                                        | 70        |
| <br><b>CONCLUSIONES .....</b>                                                    | <b>71</b> |
| <b>RECOMENDACIONES.....</b>                                                      | <b>72</b> |
| <br><b>PLANOS.....</b>                                                           | <b>75</b> |
| <br><b>ANEXOS .....</b>                                                          | <b>82</b> |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                   |                                                                                                                                                                                                                              |    |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1.</b>  | Carcasa de Bomba centrífuga.....                                                                                                                                                                                             | 5  |
| <b>Figura 2.</b>  | Clasificación de los rodetes.....                                                                                                                                                                                            | 6  |
| <b>Figura 3.</b>  | Morfología de los anillos de desgaste.....                                                                                                                                                                                   | 7  |
| <b>Figura 4.</b>  | Esquema de cierre hidráulico tipo empaque .....                                                                                                                                                                              | 8  |
| <b>Figura 5.</b>  | Esquema de cierre hidráulico tipo anillo 8                                                                                                                                                                                   |    |
| <b>Figura 6.</b>  | Trayectorias del fluido en el rodete de la bomba centrífuga .....                                                                                                                                                            | 11 |
| <b>Figura 7.</b>  | Esquema de velocidades en los álabes del rodete .....                                                                                                                                                                        | 12 |
| <b>Figura 8.</b>  | Triangulo de velocidades a la entrada.....                                                                                                                                                                                   | 12 |
| <b>Figura 9.</b>  | Triangulo de velocidades a la salida.....                                                                                                                                                                                    | 12 |
| <b>Figura 10.</b> | Comparación de los triángulos de velocidades .....                                                                                                                                                                           | 13 |
| <b>Figura 11.</b> | Carga Estática del Sistema .....                                                                                                                                                                                             | 15 |
| <b>Figura 12.</b> | Curva de carga del sistema.....                                                                                                                                                                                              | 17 |
| <b>Figura 13.</b> | Curvas de rendimiento típicas de una bomba centrífuga. Altura, consumo de potencia, eficiencia y NPSH se muestran en función del caudal .....                                                                                | 20 |
| <b>Figura 14.</b> | Esquema de potencias (eléctrica, mecánica, hidráulica).....                                                                                                                                                                  | 21 |
| <b>Figura 15.</b> | Una curva típica QH de una bomba centrífuga; caudal bajo resulta en gran altura y caudal alto resulta en baja altura.....                                                                                                    | 21 |
| <b>Figura 16.</b> | Curva de eficiencia de una bomba centrífuga típica.....                                                                                                                                                                      | 23 |
| <b>Figura 17.</b> | Curva de consumo de potencia de una bomba centrífuga típica .....                                                                                                                                                            | 23 |
| <b>Figura 18.</b> | Curva NPSH de una bomba centrífuga típica .....                                                                                                                                                                              | 24 |
| <b>Figura 19.</b> | Acoplamiento de bombas en serie .....                                                                                                                                                                                        | 26 |
| <b>Figura 20.</b> | Curva característica H vs. Q de bombas en serie .....                                                                                                                                                                        | 26 |
| <b>Figura 21.</b> | Acoplamiento de bombas en paralelo.....                                                                                                                                                                                      | 27 |
| <b>Figura 22.</b> | Acoplamiento de dos bombas idénticas en paralelo.....                                                                                                                                                                        | 28 |
| <b>Figura 23.</b> | Control por modificación de la curva del sistema. ....                                                                                                                                                                       | 29 |
| <b>Figura 24.</b> | Comportamiento de la curva del sistema de conducción.....                                                                                                                                                                    | 29 |
| <b>Figura 25.</b> | Control de gasto por variación de velocidad en la bomba .....                                                                                                                                                                | 30 |
| <b>Figura 26.</b> | Variación simultánea de las curvas del sistema y la bomba .....                                                                                                                                                              | 31 |
| <b>Figura 28.</b> | Módulo ZM7116 Centrifugal Pumps Characteristics.....                                                                                                                                                                         | 33 |
| <b>Figura 29.</b> | HM 150.16 Conexión en serie y en paralelo de bombas .....                                                                                                                                                                    | 34 |
| <b>Figura 30.</b> | Diseño propio de un banco de pruebas de bombas centrífugas en serie y paralelo, dimensiones largo 1.80 m., ancho 0.70 m y altura 1.60 m, Q=20-80 litros/minuto, Potencia eléctrica 1.05 KW, Potencia hidráulica de 0.75 KW . | 35 |
| <b>Figura 31.</b> | Producto final, banco de pruebas de bombas centrífugas en serie y paralelo, dimensiones largo 1.80 m., ancho 0.70 m y altura 1.60 m, Q=20-80 litros/minuto, Potencia 1.05 KW, Potencia hidráulica de 0.75 KW .....           | 36 |

|                                                                                                                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 32.</b> Estructura metálica del banco de prueba de bombas centrífugas .....                                                                                              | 37 |
| <b>Figura 33.</b> Esquema hidráulico del banco de pruebas de bombas centrífugas en serie y paralelo.....                                                                           | 37 |
| <b>Figura 34.</b> Bombas centrífugas de módulo caudal máximo 80 litros/minuto una altura máxima de 32 metros, potencia eléctrica de 1.05 KW y potencia hidráulica de 0.75 KW ..... | 38 |
| <b>Figura 42.</b> Tablero eléctrico del banco de pruebas.....                                                                                                                      | 39 |
| <b>Figura 43.</b> Curva Q-H real, curva Q-H catálogo y curva del sistema para una sola bomba a 60 Hz.....                                                                          | 45 |
| <b>Figura 44.</b> Curva de potencia hidráulica y potencia eléctrica para una sola bomba a 60 Hz .....                                                                              | 46 |
| <b>Figura 45.</b> Curva del rendimiento de la bomba a 60 Hz.....                                                                                                                   | 46 |
| <b>Figura 46.</b> Curvas Q-H de una sola bomba a diferentes RPM.....                                                                                                               | 47 |
| <b>Figura 47.</b> Curva Q-H real, curva Q-H catálogo y curva del sistema para circuito en serie a 60 Hz. ....                                                                      | 49 |
| <b>Figura 48.</b> Curva de potencia hidráulica y potencia eléctrica para circuito en serie a 60 Hz. (Fuente: Elaboración propia).....                                              | 50 |
| <b>Figura 49.</b> Curva del rendimiento de la bomba a 60 Hz.....                                                                                                                   | 50 |
| <b>Figura 50.</b> Curva Q-H real, curva Q-H catálogo y curva del sistema para circuito en paralelo a 60 Hz. (Fuente: Elaboración propia) .....                                     | 52 |
| <b>Figura 51.</b> Curva de potencia hidráulica y potencia eléctrica para circuito en serie a 60 Hz. ....                                                                           | 53 |
| <b>Figura 52.</b> Curva del rendimiento de la bomba a 60 Hz.....                                                                                                                   | 53 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|                  |                                                                                                                                                   |    |
|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabla 1.</b>  | Lecturas de caudal, presión e intensidad de corriente para una sola bomba a 60 Hz.....                                                            | 44 |
| <b>Tabla 2.</b>  | Cálculo de la altura de presión, altura de velocidad, altura de pérdida y altura dinámica total $H_B$ para una sola bomba a 60 Hz. ....           | 44 |
| <b>Tabla 3.</b>  | Cálculo de la curva del sistema para una sola bomba a 60 Hz.....                                                                                  | 45 |
| <b>Tabla 4.</b>  | Potencia eléctrica y potencia hidráulica para una sola bomba a 60 Hz. ....                                                                        | 46 |
| <b>Tabla 5.</b>  | Altura dinámica total ( $H_B$ ) para diferentes velocidades (disminuido cada 10%).....                                                            | 47 |
| <b>Tabla 6.</b>  | Lecturas de caudal, presión e intensidad de corriente para circuito en serie a 60 Hz.....                                                         | 48 |
| <b>Tabla 7.</b>  | Cálculo de la altura de presión, altura de velocidad, altura de pérdidas y la altura dinámica total $H_B$ para circuito en serie a 60 Hz. ....    | 48 |
| <b>Tabla 8.</b>  | Cálculo de la curva del sistema para circuito en serie a 60 Hz. ....                                                                              | 49 |
| <b>Tabla 9.</b>  | Potencia eléctrica y potencia hidráulica para circuito en serie a 60 Hz.....                                                                      | 50 |
| <b>Tabla 10.</b> | Lecturas de caudal, presión e intensidad de corriente para circuito en paralelo a 60 Hz.....                                                      | 51 |
| <b>Tabla 11.</b> | Cálculo de la altura de presión, altura de velocidad, altura de pérdidas y la altura dinámica total $H_B$ para circuito en paralelo a 60 Hz. .... | 51 |
| <b>Tabla 12.</b> | Cálculo de la curva del sistema para circuito en paralelo a 60 Hz. ....                                                                           | 52 |
| <b>Tabla 13.</b> | Potencia eléctrica y potencia hidráulica para circuito en paralelo a 60 Hz.....                                                                   | 53 |

## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

#### 1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

##### 1.1. Determinación del problema

La Universidad Católica de Santa María, carece de un banco de pruebas de bombas centrífugas con velocidad variable, que permita la simulación de funcionamiento de éstas ya sea de manera individual, serie o paralelo, de tal manera que los alumnos puedan demostrar la teoría impartida con situaciones prácticas que se encuentran en la industria.

##### 1.2. Enunciado del problema

Diseño y construcción de un módulo de bombas centrífugas e implementación de guías prácticas para el estudio de sus principales características.

##### 1.3. Justificación

Desde el punto de vista técnico-económico, resulta atractivo construir un módulo de bombas centrífugas con características semejantes a circuitos hidráulicos aplicados en la industria, dado el elevado costo de módulos similares en el mercado.

Desde una perspectiva académico-social, el presente proyecto va a contribuir al desarrollo cognoscitivo y aplicativo de los alumnos de la especialidad que en su currícula tengan cursos relacionados a turbomáquinas.

Desde el punto de vista operativo, resulta también importante diseñar guías prácticas tendentes a que los alumnos puedan ver reflejada la teoría de turbomáquinas en sesiones prácticas, en concordancia a los requerimientos de las asignaturas.

##### 1.4. Alcances y limitaciones

###### 1.4.1. Alcances

El presente trabajo de investigación, tiene como alcance el diseño y construcción del módulo de bombas centrífugas para trabajo en serie o

paralelo; la elaboración de planos de la estructura del banco de pruebas, planos de la configuración de tuberías, bombas, manómetros y válvulas, planos hidráulicos y planos eléctricos del tablero de control; y la elaboración de las guías de experiencias orientadas a que el alumno las pueda realizar para comprender las características de funcionamiento.

#### 1.4.2. Limitaciones

El presente trabajo de investigación, no incluye la programación de los variadores de velocidad, tampoco así la configuración del tablero eléctrico.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1. Objetivo General

Diseñar y construir un módulo de bombas centrífugas para el Laboratorio de Termofluidos en el cual se puedan realizar experiencias prácticas para el análisis de sus características cuando operan de manera individual, en serie y en paralelo.

### 2.2. Objetivos Específicos

- Diseñar de manera consistente el módulo de bombas centrífugas para que sea didáctico y de fácil uso.
- Realizar las pruebas de funcionamiento de manera tal que los resultados obtenidos en estas puedan ser confrontados con los manuales del fabricante.
- Elaborar guías prácticas para el estudio de las principales características de las bombas centrífugas cuando trabajen de manera individual, en serie o en paralelo.
- Contribuir con la implementación del Laboratorio de Termofluidos de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica.
- Aportar con el Módulo de Bombas Centrífugas, para el aprendizaje eficiente en asignaturas de pregrado y trabajos de investigación a realizarse en nuestra Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica.

### 3. ESTADO DEL ARTE

Para poder alcanzar los objetivos planteados, es necesario tomar en cuenta los trabajos realizados anteriormente, a nivel nacional e internacional, lo cual, nos va a permitir desarrollar de manera óptima el presente trabajo, por ello, podemos tener en cuenta los siguientes trabajos:

El proyecto de investigación denominado: Diseño y construcción de un módulo de laboratorio para el estudio experimental del comportamiento de bombas hidráulicas en serie y paralelo, realizado por los tesisistas, Aguilar Torres, Rodrigo Eduardo & Ventura Gomez, Harold Yuri (2017); tuvo como finalidad desarrollar el “Diseño y Construcción de un Módulo de Laboratorio para el estudio experimental del comportamiento de bombas hidráulicas en serie y paralelo” para el Laboratorio de Ingeniería Mecánica, en la Universidad Nacional del Altiplano, de Puno. El tipo de investigación que aplicaron fue experimental y aplicada, las recolecciones de datos empleadas al diseño mecánico abarcaron los siguientes aspectos: Identificación de la necesidad, definición del problema, síntesis, análisis y optimización, evaluación y construcción del prototipo del módulo de ensayo. Los resultados que obtuvieron en el desarrollo de la construcción del módulo de laboratorio del proyecto de tesis, fueron de utilidad para la experimentación e investigación mediante la aplicación de las guías de laboratorio elaboradas para los ensayos experimentales para los cursos de laboratorio, relacionados a las curvas características H-Q, curvas del sistema, punto óptimo de funcionamiento en serie y paralelo. Las conclusiones del proyecto de investigación fueron óptimas porque se diseñó y construyó el módulo de laboratorio y se desarrollaron las guías para los ensayos del estudio experimental del comportamiento de bombas hidráulicas en serie, paralelo y serie paralelo.

El trabajo de investigación, presentado por; Agila Diaz, Freddy & Calahorrano Pérez Iván (2011), bajo el nombre de; Diseño y construcción de un banco de pruebas para bombas centrífugas conectadas en serie y paralelo, comprende el diseño, construcción y guías de laboratorio de un banco de pruebas para bombas centrífugas hidráulicas operadas en configuración individual, serie y paralelo para el laboratorio de fluidos de la Universidad Politécnica Salesiana de Ecuador, requiriendo un análisis del comportamiento y las condiciones de operación puesta en servicio, para analizar teóricamente, se obtuvieron los criterios necesarios en base de los cuales se

seleccionaron las dimensiones que debe tener el prototipo y todos sus elementos constitutivos. Así mismo, se analizó la problemática de su construcción, para de esta manera conseguir un ensamble correcto entre todos los elementos, estableciendo sus respectivos procedimientos y ajustes, incluyendo sistemas de medición necesarios para evaluar el funcionamiento real del banco de pruebas, el diseño fue experimental confirmando la validez del estudio. Las pruebas realizadas evidenciaron que el análisis teórico y práctico se asemeje a los resultados.

Correa Haz, Alexandre (2016), presentó la investigación titulada; “Proyecto de banco de pruebas para bombas centrífugas”, teniendo como objetivo principal el diseño de un Banco de Pruebas para Bombas Centrífugas para obtener las “Curvas Características” y funcionamiento de las bombas centrífugas de la empresa Gefico Enterprise, S.A., dentro del rango de potencia de 0,5 a 4 caballos de vapor, paralelo al diseño del Banco de Pruebas, el autor creó un documento Excel, permitiendo la recopilación de los datos tomados del Banco de Pruebas durante los ensayos, y de esta recopilación, el objeto del documento es realizar el cálculo de las Curvas Características de la bomba y presentarlas en forma de gráfica, así como un reporte de los datos de la prueba, la elaboración del proyecto sienta las bases de investigación y pueda ser empleado con fines educativos en prácticas de materias como “Mecánica de Fluidos” e “Hidráulica”.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 1. GENERALIDADES

Se denomina bomba hidráulica a la maquina capaz de absorber energía mecánica que puede provenir de un motor eléctrico, térmico, o de cualquier otra clase transformándola en energía hidráulica, esta energía es transferida al fluido que la atraviesa en forma de presión o de velocidad y permite trasladar a este de un lugar a otro, a un mismo nivel o a diferentes niveles. (Mendoza & Villanueva, 1982)

Las bombas hidráulicas se emplean para impulsar toda clase de líquidos: agua , aceites de lubricación, combustibles, ácidos, líquidos alimenticios; como también se emplean para bombear líquidos espesos con sólidos en suspensión como pastas de papel, melazas, fangos, desperdicios, etc.(Mataix, 1986)

#### 2. COMPONENTES DE LA BOMBA CENTRÍFUGA

##### 2.1. Carcasa o voluta

La carcasa o caja de la bomba de voluta, es una de las principales partes de una bomba centrífuga. Tiene forma de espiral y rodea al impulsor o rodete. Dirige el fluido proveniente del difusor para transformar la energía de velocidad en energía potencial. En una bomba centrífuga, la voluta debe aumentar la sección a medida que se avanza en la espiral hasta llegar a una abertura final donde el fluido es descargado al sistema. (Garrido Martínez, 2016)



Figura 1. Carcasa de Bomba centrífuga (Fuente: “[www.directindustry.it](http://www.directindustry.it)”)

## 2.2. Rodete

El rodete es el elemento fundamental en una bomba centrífuga, es la parte móvil y su principal función es hacer girar el fluido, de manera tal que la presión de la bomba aumente. El disco está siempre orientado de forma perpendicular a la circulación del fluido y dispone de un número determinado de álabes curvados, estos tienen dirección opuesta al giro del eje. El rendimiento hidráulico de la bomba dependerá en gran medida del diseño de este componente. Existen varios tipos de rodetes en función del componente que trasladan. Estos pueden ser:

- **Abiertos:** No disponen de paredes laterales, para impulsar fluidos que pueden contener impurezas, así permite el paso de éstas. Su principal desventaja es el bajo rendimiento que obtienen.
- **Cerrados:** Están compuestos por los álabes y discos unidos en la parte posterior y frontal para que el flujo sea dirigido a través de sus paredes. Son utilizados para empujar fluidos limpios. Este tipo de impulsor es el que tiene mayor rendimiento.
- **Semiabiertos:** Es un componente híbrido entre los dos anteriores. Incorpora una pared posterior (cubierta) que sirve para endurecer las paletas y agrega resistencia mecánica. (Garrido Martínez, 2016)

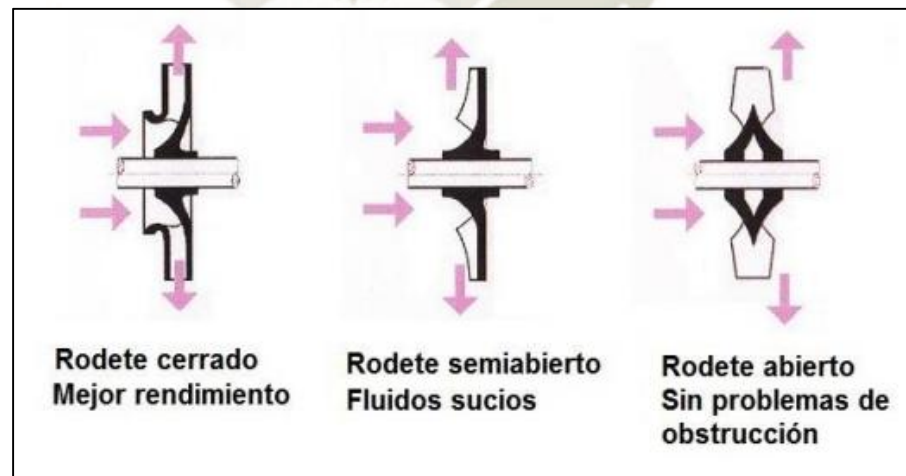


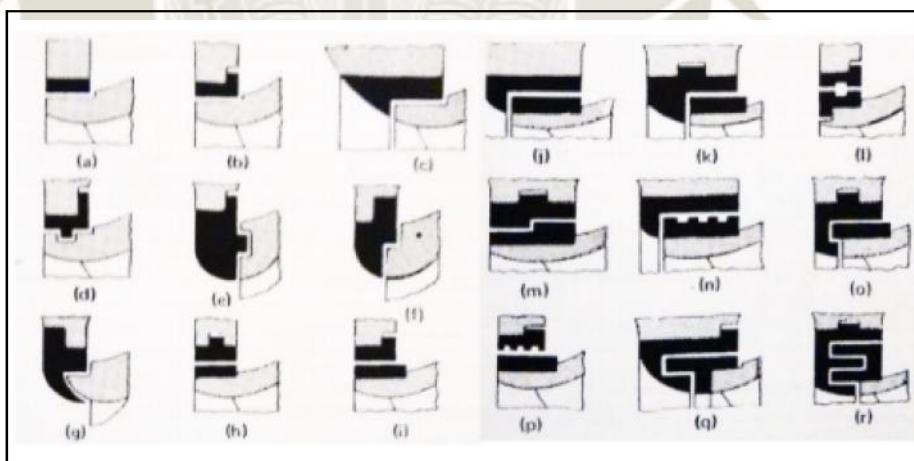
Figura 2. Clasificación de los rodetes (Fuente: <http://ingemecanica.com/>)

### 2.3. Eje

El eje es el elemento motor de la bomba centrífuga. Gira a la velocidad de diseño porque va acoplado con un motor eléctrico. La energía eléctrica se transforma en energía de velocidad para mover el rodete, una chaveta ensambla ambas piezas. (Garrido Martínez, 2016)

### 2.4. Anillo de desgaste

El anillo de desgaste sirve de junta entre la carcasa y el rodete. Estas partes son utilizadas para imposibilitar las pérdidas volumétricas entre las partes fijas y móviles de la bomba. Aun incorporando estos tipos de anillos, el caudal de fugas no se puede reducir a cero, siempre se tendrá una pequeña cantidad de fugas, lo que origina un rendimiento volumétrico de la bomba. Por lo tanto, es conveniente que estas pérdidas se reduzcan al mínimo. Es por ello por lo que existen anillos de formas diversas, con laberintos que aumentan la resistencia del conducto. Normalmente las bombas centrífugas disponen de dos anillos de desgaste, uno fijo al disco anterior del rodete y otro a la voluta. (Garrido Martínez, 2016)

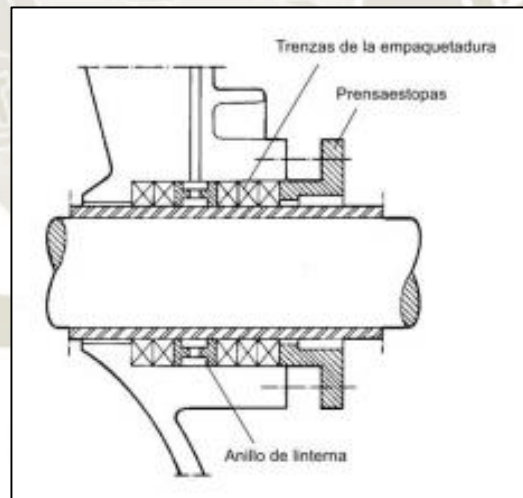


*Figura 3. Morfología de los anillos de desgaste*  
(Fuente: G. López Patiño, F.J. Martínez, 1999)

### 2.5. Cierre Hidráulico

La función primordial de este componente es evitar las fugas externas, así como, asegurar que no se produzca un gran rozamiento mecánico sobre el eje. Generalmente está formado por los siguientes componentes:

- **Empaquetadura:** Esta es prensada para evitar las fugas de fluido. Normalmente, está compuesta por fibras animales, vegetales o sintéticas debidamente presionadas. Pero también existen empaquetaduras metálicas fabricadas de plomo o aluminio, donde el núcleo es elástico. La empaquetadura, cuando se fabrica, es introducida en algún lubricante para intentar reducir al máximo el rozamiento con el eje.
- **Prensaestopas:** Este presiona la empaquetadura mediante el apriete de tornillos, disminuyendo el juego entre el eje y la carcasa.
- **Anillo linterna:** Este componente tiene forma de H y está situado en medio de dos empaquetaduras. Es utilizado en bombas que trasiegan fluidos peligrosos. Dispone de un orificio el cual se conecta mediante una tubería a la carcasa, lo que sirve para introducir por el agujero un fluido de seguridad que disolvería una posible fuga de líquido. El mayor inconveniente de este componente es que necesita un alineamiento constante del agujero con una parte de la carcasa, con los costes de mantenimiento que esto ocasiona. (Garrido Martínez, 2016)



*Figura 4.* Esquema de cierre hidráulico tipo empaque  
(Fuente: <https://areamecanica.files.wordpress.com>)



*Figura 5.* Esquema de cierre hidráulico tipo anillo  
(Fuente: <http://slurrypumpmexico.com/>)

### 3. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Para bombear un fluido se necesita añadir energía para moverlo de un punto a otro punto. Las bombas centrífugas adicionan energía cinética al fluido aumentando así su velocidad, esta energía la transmite al fluido el rotor a través de sus álabes que son movidos por un eje.

Las bombas centrífugas se rigen por dos principios, el Principio de Bernoulli de conservación de la energía y la Ecuación de Euler para turbomáquinas, que calcula la energía entregada al fluido por la bomba. (Correa Haz, 2016)

#### 3.1. Principio de Bernoulli aplicado a Bombas Centrífugas

El fluido entra a la bomba por el eje hueco del rodete, aspirado como consecuencia de la disminución inicial de presión que producen sus álabes al girar. A continuación, este líquido es proyectado radialmente a lo largo de los álabes por la acción de la fuerza centrífuga, aumentando considerablemente su energía cinética; este exceso de energía cinética a la salida del impulsor conviene convertirlo en energía de presión. Para esto se utiliza la zona fija que sigue a la móvil. En el estator, carcasa o cuerpo hay una parte diseñada para trabajar como difusor, es decir, convertir energía cinética en presión. Esto se logra diseñando un sector divergente. Por la presencia de esta porción de área creciente, la velocidad necesariamente debe disminuir para que se cumpla la ecuación de continuidad o de conservación del caudal. Y si se analiza precisamente con la ecuación de Bernoulli, como las variaciones de energía potencial son nulas o casi nulas, la disminución de energía cinética se transforma necesariamente en un aumento de presión. (Martín, Salcedo, Font, 2011)

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + z_1 + H_B = h_f + \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + z_2$$

Donde:

$H_B$ : Altura de carga del sistema (m)

$Z_1$ : Altura estática de succión (m)

$Z_2$ : Altura estática de descarga (m)

$P_1$ : Presión de succión (Pa)

$P_2$ : Presión de descarga (Pa)

$V_1$ : Velocidad de succión (m/seg)

$V_2$ : Velocidad de descarga (m/seg)

$H_f$ : Pérdidas de energía en tuberías y accesorios (m)

$g$ : Aceleración de la gravedad (m/seg<sup>2</sup>)

### 3.2. Ecuación de Euler

El intercambio de energía mecánica y de fluido en una turbomáquina se verifica únicamente en el rodete. Los órganos restantes de la máquina por donde circula el fluido son conductos o transformadores de energía que posee el fluido.

El intercambio de energía se obtiene por una acción mutua (acción-reacción) entre las paredes de los álabes y el fluido. La acción resultante del rodete sobre el fluido, será una fuerza, cuyo valor podrá calcularse mediante el principio de la cantidad de movimiento. Calculada esta fuerza, y su momento con relación al eje de la máquina, el cálculo de la energía que la máquina comunica al fluido es inmediato. De la misma manera se obtiene la energía que el fluido comunica a la máquina en una turbina. La energía que el fluido intercambia con el rodete puede ser de dos clases: energía de presión y energía cinética.

La ecuación que expresa la energía por unidad de masa intercambiada en el rodete es la ecuación de Euler. Esta ecuación constituye una base analítica para el diseño del órgano principal de una turbomáquina: el rodete. La ecuación es de tal importancia que recibe el nombre de ecuación fundamental.

El triángulo de velocidades se refiere al triángulo formado por tres vectores de velocidad:

- $c$ : velocidad absoluta del fluido
- $w$ : velocidad relativa del rotor respecto al fluido
- $u$ : velocidad lineal del rotor.

El ángulo formado entre la velocidad absoluta y relativa se denomina  $\alpha$  y el formado por la velocidad relativa y lineal se denomina  $\beta$  (Mataix, 1975).

En el siguiente corte transversal de la bomba se representan la trayectoria relativa de una partícula de fluido en su paso por el rodete, la trayectoria absoluta en su paso por el rodete y entrada en la cámara espiral. La trayectoria relativa sigue naturalmente el contorno de los álabes, no así la trayectoria absoluta, porque los álabes del rodete están en movimiento. Si se trata de una corona fija las trayectorias absolutas y relativas coinciden.

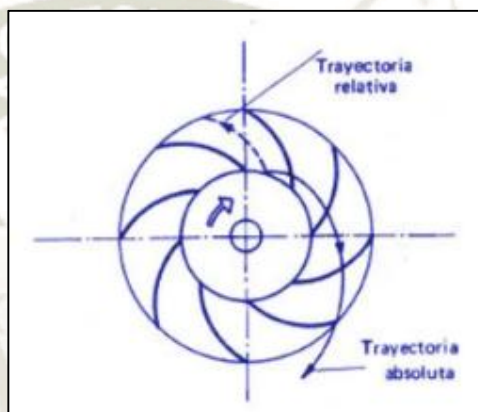


Figura 6. Trayectorias del fluido en el rodete de la bomba centrífuga  
(Fuente: <https://ingelibreblogger.wordpress.com/>)

Como el rodete está girando a una velocidad angular  $\omega$ , sus álabes tienen en los puntos de entrada la velocidad tangencial  $u_1$  ( $u_1 = \omega \cdot r_1$ ). Así pues, el álabe recibe el flujo a la velocidad relativa  $w_1$ , diferencia vectorial de  $c_1$  y  $u_1$ :

$$\vec{c}_1 = (\vec{u}_1 + \vec{w}_1)$$

A la salida del álabe se tiene:

$$\vec{c}_2 = (\vec{u}_2 + \vec{w}_2)$$

A la entrada existe un triángulo de velocidades, cuyos lados son  $\vec{c}_1$ ,  $\vec{u}_1$ , y  $\vec{w}_1$ ; y en el recorrido del flujo a lo largo del rodete, el triángulo va cambiando de forma, resultando al final el de salida, de lados  $\vec{c}_2$ ,  $\vec{u}_2$ , y  $\vec{w}_2$  (Mataix, 1975).

Por ejemplo, para una bomba tenemos:

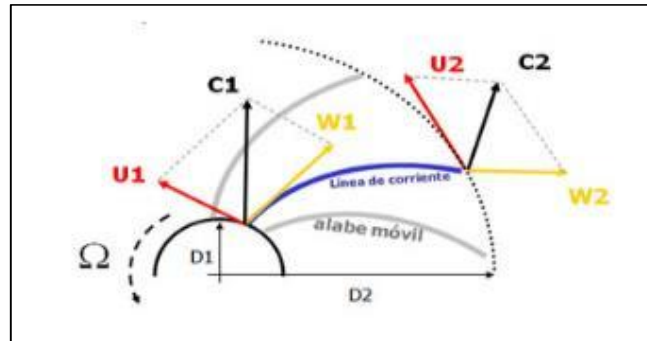


Figura 7. Esquema de velocidades en los álabes del rodete  
(Fuente: <https://ingelibreblog.wordpress.com/>)

Formamos el triángulo de velocidad a la entrada:

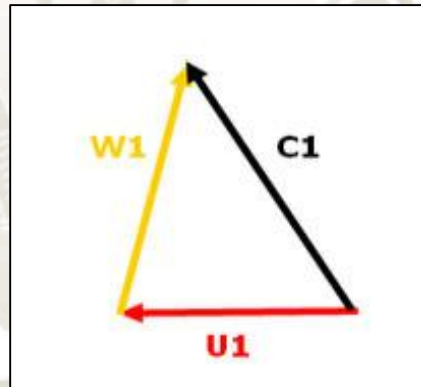


Figura 8. Triángulo de velocidades a la entrada  
(Fuente: <https://ingelibreblog.wordpress.com/>)

A la salida tendremos:

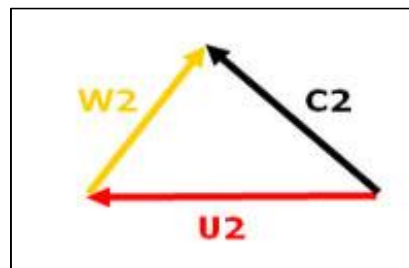


Figura 9. Triángulo de velocidades a la salida  
(Fuente: <https://ingelibreblog.wordpress.com/>)

Entendido el triángulo de velocidades, vamos a explicar la ecuación de Euler.

La ecuación de Euler es la ecuación fundamental para el estudio de las turbomáquinas, tanto térmicas como hidráulicas. Constituye, pues, la ecuación básica para el estudio de bombas, turbinas, expresando la energía intercambiada en el rodete de dichas máquinas.

La ecuación de Euler, por tanto, es aplicable a máquinas térmicas, hidráulicas, generadoras, motoras, axiales, radiales y mixtas.

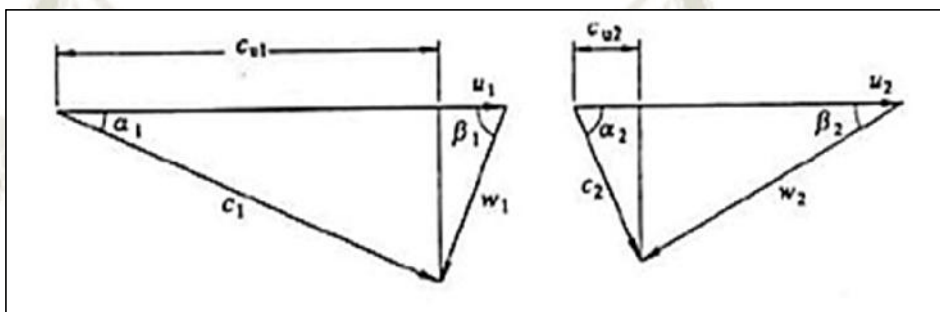


Figura 10. Comparación de los triángulos de velocidades  
(Fuente: <https://ingelibreblog.wordpress.com/>)

Para el caso más general de las turbomáquinas de reacción, en las que las presiones de entrada y de salida del rodete son diferentes, la fuerza que actúa sobre los álabes del mismo vendría dada por la expresión:

$$\vec{F} = \vec{p}_1 \vec{S}_1 + \vec{p}_2 \vec{S}_2 + \dot{m} (\vec{c}_1 - \vec{c}_2)$$

Ahora bien, las fuerzas  $\vec{p}_1 \vec{S}_1$  y  $\vec{p}_2 \vec{S}_2$  que actúan a la entrada y salida del rodete, o son paralelas al eje, o cortan perpendicularmente al eje o cortan oblicuamente al eje. En cualquier caso, sus proyecciones sobre la dirección de  $u$  y/o su momento respecto al eje de giro es nulo: no contribuyen al par motor. Este par es provocado solo por las fuerzas  $m c_1$  y  $m c_2$  tanto en máquinas de acción como de reacción.

Las componentes tangenciales  $m c_{u1}$  y  $m c_{u2}$  son las únicas que producen trabajo cuando el rodete gira. El momento resultante respecto del eje de giro, o par motor  $M$ , que originan estas fuerzas sería la diferencia entre el momento  $M_1$  a la entrada y el momento  $M_2$  a la salida:

$$M = M_1 - M_2 = \dot{m} \cdot c_{u1} \cdot r_1 - \dot{m} \cdot c_{u2} \cdot r_2$$

En turbinas, el momento disminuye a lo largo del rodete y el par motor resulta positivo ( $M > 0$ ); y en bombas ocurre lo contrario ( $M < 0$ ).

Por lo tanto, tendríamos que el trabajo interior en el eje del rodete que se consigue por cada kg de fluido que pasa por su interior es:

$$W_t = u_1 \cdot c_1 \cdot \cos \alpha_1 - u_2 \cdot c_2 \cdot \cos \alpha_2$$

Si el desarrollo se hace para una bomba en lugar de para una turbina, se llega a la misma expresión, pero el trabajo será negativo.

Existe una segunda forma de la ecuación de Euler: (Mataix, 1975)

$$W_t = \left( \frac{u_1^2 - u_2^2}{2} + \frac{w_2^2 - w_1^2}{2} + \frac{c_1^2 - c_2^2}{2} \right) \quad (\text{Mataix, 1975})$$

## 4. PARÁMETROS DE LAS BOMBAS CENTRÍFUGAS

### 4.1. Carga Dinámica o “Head”

La palabra en inglés “Head”, traducida al español por “Carga”, se emplea para designar una forma de energía o bien la posibilidad de realizar trabajo. Esta forma de energía es expresada en forma de presión de metros de columna de agua. (Correa Haz, 2016)

$$H_B = H_{\text{presión}} + H_{\text{velocidad}} + H_{\text{geodésica}} + H_{\text{pérdidas}}$$

Donde:

$H_B$  : Altura de Bomba (m)

$H_{\text{presión}}$  : Altura de presión (m)

$H_{\text{velocidad}}$  : Altura de velocidad (m)

$H_{\text{geodésica}}$  : Altura geodésica (m)

$H_{\text{pérdidas}}$  : Altura de pérdidas (m)

#### 4.2. Carga Estática

Es la carga que hace referencia a la altura. La carga estática es la diferencia de alturas del sistema entre la altura del nivel de líquido en la aspiración y la descarga. (Correa Haz, 2016)

$$H_{geodésica} = Z_2 - Z_1$$

Donde:

$Z_1$  : Altura de succión (m)

$Z_2$  : Altura de descarga (m)

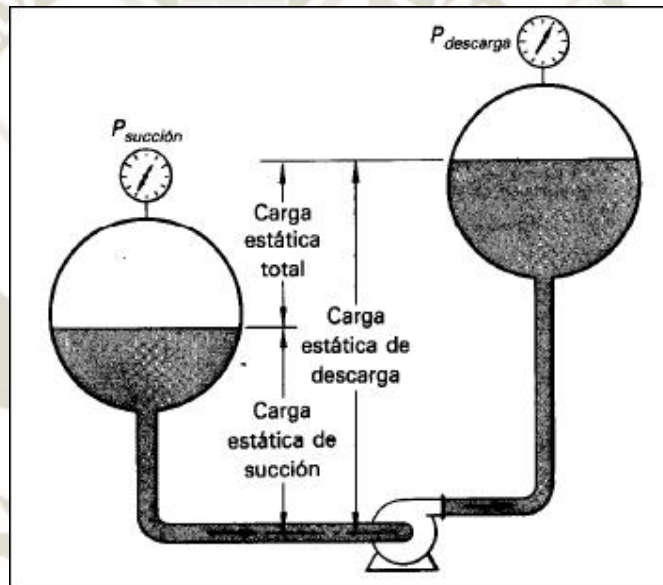


Figura 11. Carga Estática del Sistema (Fuente: Kenneth J., 1998)

#### 4.3. Carga de Fricción

Es la carga, expresada también en metros, de pérdidas por fricción en las líneas del sistema. En estas pérdidas no se incluyen las pérdidas que se dan en la bomba. Dentro de estas pérdidas se pueden englobar también las pérdidas por entrada y salida, es decir, en la aspiración y descarga de las líneas. (Correa Haz, 2016)

$$H_{perdidas} = H_f - H_s$$

Donde:

$H_f$  : Pérdidas primarias (m)

$H_s$  : Pérdidas secundarias (m)

$$H_f = \frac{fLV^2}{\phi 2g}$$

Donde:

$H_f$  : Pérdidas primarias (m)

$f$  : Factor de fricción

$L$  : Longitud de tubería (m)

$V$  : Velocidad del fluido (m/seg)

$\phi$  : Diámetro de Tubería (m)

$g$  : Aceleración de la gravedad (m/seg<sup>2</sup>)

$$H_s = \frac{\sum K V^2}{2g}$$

Donde:

$H_s$  : Pérdidas secundarias (m)

$\Sigma$  : Constante de pérdidas por accesorio

$V$  : Velocidad del fluido (m/seg)

$\phi$  : Diámetro de Tubería (m)

$g$  : Aceleración de la gravedad (m/seg<sup>2</sup>)

#### 4.4. Carga de Velocidad

La carga de velocidad de un fluido es la energía cinética de éste en un punto, expresada en metros. Esta carga de velocidad se debe de tener en cuenta en los cálculos ya que es parte de energía del fluido. Viene expresada por la siguiente ecuación: (Correa Haz, 2016)

$$velocidad = \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g}$$

Donde:

$H_{velocidad}$  : Altura de velocidad (m)

$V_2$  : Velocidad de descarga (m/seg)

$V_1$  : Velocidad de succión (m/seg)

$g$  : Aceleración de la gravedad (m/seg<sup>2</sup>)

#### 4.5. Curva de Carga del Sistema

La curva de carga del sistema es una gráfica H-Q en la que se representa la suma de la carga estática del sistema, la diferencia de presión entre la aspiración y la descarga del sistema, y la carga de fricción. (Correa Haz, 2016)

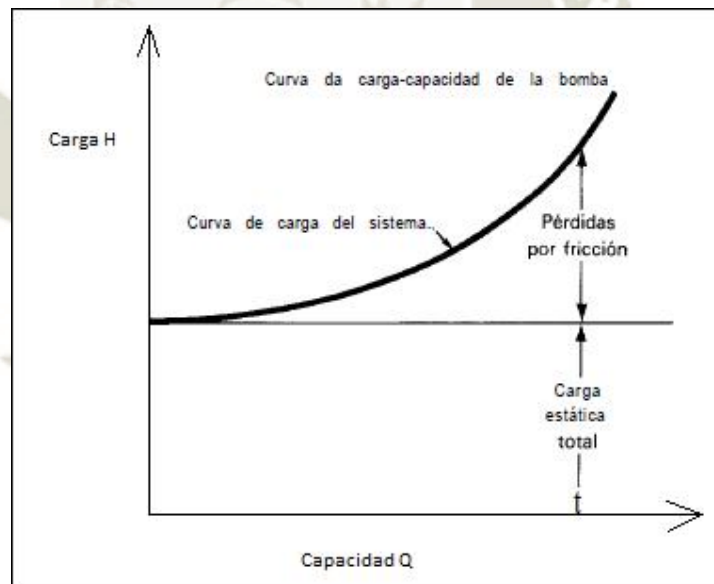


Figura 12. Curva de carga del sistema (Elaboración propia)

#### 4.6. Altura de aspiración neta positiva (NPSH)

La altura de aspiración neta positiva o altura total de presión de retención, cuya sigla es NPSH del inglés “Net-Positive-Suction-Head”, está relacionada con el fenómeno de cavitación. Al igual que la altura de elevación, el caudal de impulsión y la potencia absorbida, representa una de las características más

importantes para una bomba. Se distingue entre el NPSH de la instalación ( $NPSH_A$  o  $NPSH_{disponible}$ ) y el NPSH de la bomba ( $NPSH_P$  o  $NPSH_{requerido}$ ). Mediante una simple comparación de los dos valores  $NPSH_{disp.}$  y  $NPSH_{req.}$ , es posible determinar, si la bomba seleccionada es apta para trabajar con seguridad en la planta contemplada o no. Para que una bomba funcione sin cavitación, debe cumplirse la siguiente expresión:

$$NPSH_{disp} > NPSH_{req}$$

#### 4.6.1. El NPSH de la bomba

El valor  $NPSH_{req}$  solamente depende de las características de la bomba y no de las de la instalación. Es variable para cada bomba en función del caudal y del número de revoluciones y es siempre positivo. El valor  $NPSH_{req}$  es independiente de la naturaleza del fluido trasegado. Los valores  $NPSH_{req}$  indicados en las curvas características de cada bomba son resultado de mediciones efectuadas con agua fría como fluido trasladado. El valor  $NPSH_{req}$  da una indicación acerca de la capacidad de aspiración de una bomba en un punto determinado de la curva característica: cuanto menor es el valor  $NPSH_{req}$ , tanto mayor es su capacidad de aspiración. Unos valores reducidos de  $NPSH_{req}$  pueden ser conseguidos gracias a adecuadas medidas constructivas. Son de gran importancia, especialmente en el caso del trasiego de líquidos cerca del punto de ebullición (gases licuados).

#### 4.6.2. El NPSH de la instalación

El valor  $NPSH_{disp}$  equivale a la reserva total de presión, por encima de la tensión de vapor del fluido, disponible en la brida de aspiración de la bomba. Este valor resume en un sólo término todas las características de la instalación que influyen en la altura de aspiración de una bomba. Cuando debe seleccionar una bomba, es suficiente para el fabricante conocer el valor  $NPSH_{disp}$ , con el fin poder garantizar el perfecto funcionamiento de una instalación de bombeo. Las características de la instalación contenidas en el valor  $NPSH_{disp}$  son las siguientes:

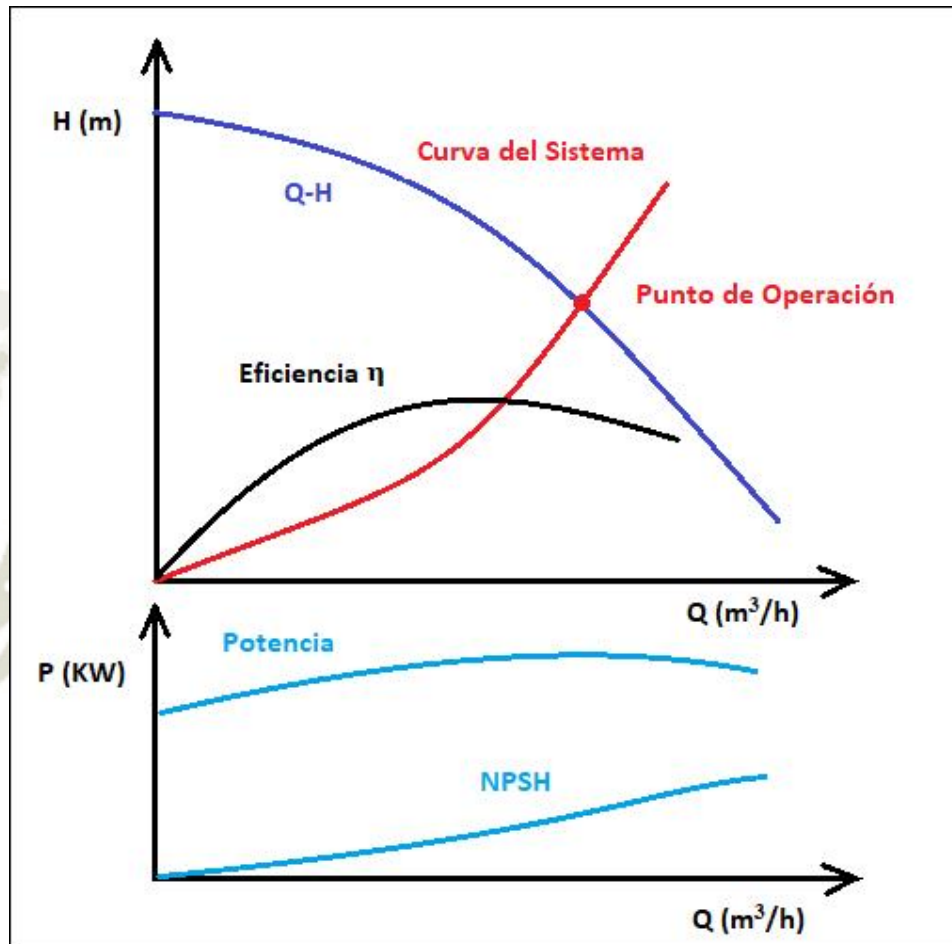
- **La altura geodésica de aspiración** es la distancia vertical comprendida entre el nivel de aspiración del líquido y el eje de la bomba.
- **La altura geodésica de acometida** es la distancia vertical comprendida entre el nivel del líquido en el recipiente de acometida y el eje de la bomba.
- **La tensión de vapor del líquido a trasladar** es la tensión de vapor de un líquido a una temperatura determinada equivale a la presión bajo la cual el líquido empieza a hervir, si esta presión es ejercida sobre la superficie del líquido. (Ejemplo: agua hierve a 20 °C en un vacío de 0,023 bar abs.)
- **La presión del gas ejercida sobre el nivel del líquido en la aspiración** es el conocimiento de esta presión es particularmente importante. Si el recipiente de aspiración o de acometida es atmosférico, la presión del gas equivale a la presión atmosférica (1 bar abs.). Si el líquido a trasladar se encuentra en el interior del recipiente en estado de ebullición, la presión del gas encima del nivel del líquido equivale a la tensión de vapor de este líquido a la temperatura del mismo.
- **Densidad del líquido a trasladar.**
- **Aceleración de la gravedad.**
- **Pérdida de carga en la línea de aspiración** es la pérdida de carga resultante de la fricción en tuberías y válvulas. A menudo se utilizan valores estimados. En casos críticos puede realizarse un cálculo de pérdida de carga basado en pérdidas de carga, individuales de tuberías, codos, válvulas etc. El cálculo debería ser realizado con el caudal máximo previsible (HERMETIC-Pumpen GmbH, 2010).

## 5. CARGA TOTAL

La carga total de una bomba centrífuga es la energía total transmitida por la bomba al fluido. Esta energía es simplemente la diferencia entre la carga en la aspiración de la bomba y la carga en la descarga de la bomba. Se tiene en cuenta las formas de energía cinética, potencial y de presión del fluido. (Correa Haz, 2016)

### 5.1. Curvas características de una bomba centrífuga

El rendimiento de una bomba centrífuga se muestra mediante las curvas de rendimiento. Se detallan la altura, consumo de potencia, eficiencia y NPSH en función del caudal. (<https://es.grundfos.com>)



*Figura 13.* Curvas de rendimiento típicas de una bomba centrífuga. Altura, consumo de potencia, eficiencia y NPSH se muestran en función del caudal (Elaboración Propia)

Normalmente las curvas de bomba en los catálogos técnicos solo cubren una parte de la bomba. Debido a esto, el consumo de potencia, mostrado en los catálogos técnicos, sólo cubre la potencia que se suministra a la bomba. Lo mismo ocurre con el valor de eficiencia, que solo cubre una parte de la bomba. En algunos tipos de bomba con motor integrado y en ocasiones con un convertidor de frecuencia integrado, por ejemplo, bombas con motor

encapsulado, la curva de consumo de potencia y la curva  $\eta$  cubren tanto el motor como la bomba. (<https://es.grundfos.com>)

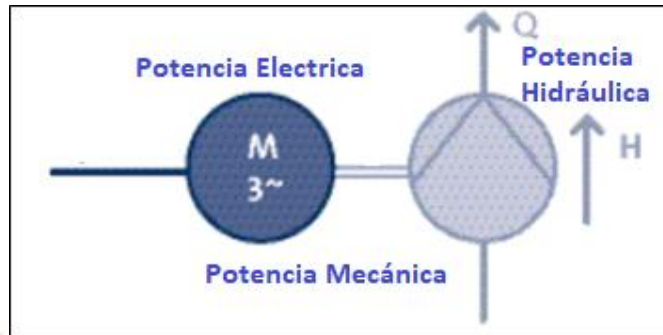


Figura 14. Esquema de potencias (eléctrica, mecánica, hidráulica)  
(Fuente: <https://es.grundfos.com>)

## 5.2. Altura, la curva Q-H

La curva Q-H muestra la altura que la bomba es capaz de desarrollar a un caudal determinado. La altura se mide en columna de metros de líquido; normalmente la unidad aplicada es metros (m). La ventaja de utilizar esta unidad (m) como unidad de medida de la altura de la bomba es que la curva Q-H no se ve afectada por el líquido que la bomba está manejando. (<https://es.grundfos.com>)

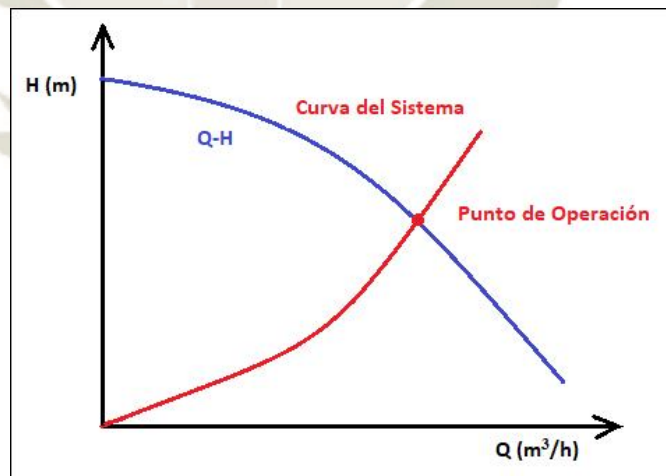


Figura 15. Una curva típica QH de una bomba centrífuga; caudal bajo resulta en gran altura y caudal alto resulta en baja altura (Elaboración propia)

### 5.3. Eficiencia, la curva $\eta$

La eficiencia es la relación entre el suministro de potencia y la cantidad de potencia utilizada realmente. En el mundo de las bombas, la eficiencia  $\eta_p$  es la relación entre la potencia que entrega la bomba al agua ( $P_H$ ) y la entrada de potencia al eje ( $P_E$ ): (<https://es.grundfos.com>)

$$\eta = \frac{P_H}{P_E}$$

Donde:

$P_H$ : Potencia hidráulica (KW)

$P_E$ : Potencia eléctrica (KW)

$$P_E = \sqrt{3}VI\cos\phi$$

Donde:

V: Voltaje (v)

I: Intensidad de corriente (Amp.)

$\cos\phi$ : Factor de potencia (0.8)

$$P_H = \frac{\rho \cdot g \cdot QH}{1000}$$

Donde:

$P_H$ : Potencia hidráulica (Kw)

$\rho$ : Densidad del agua ( $\text{Kg/m}^3$ )

g: Aceleración de la gravedad ( $\text{m/seg}^2$ )

Q: Caudal

H: Altura

Como se desprende de la curva de eficiencia, la eficiencia depende del punto de trabajo de la bomba. Por esto es importante seleccionar una bomba que

cubra los requisitos de caudal y asegurarse que la bomba trabaje en el área más eficiente. (<https://es.grundfos.com>)

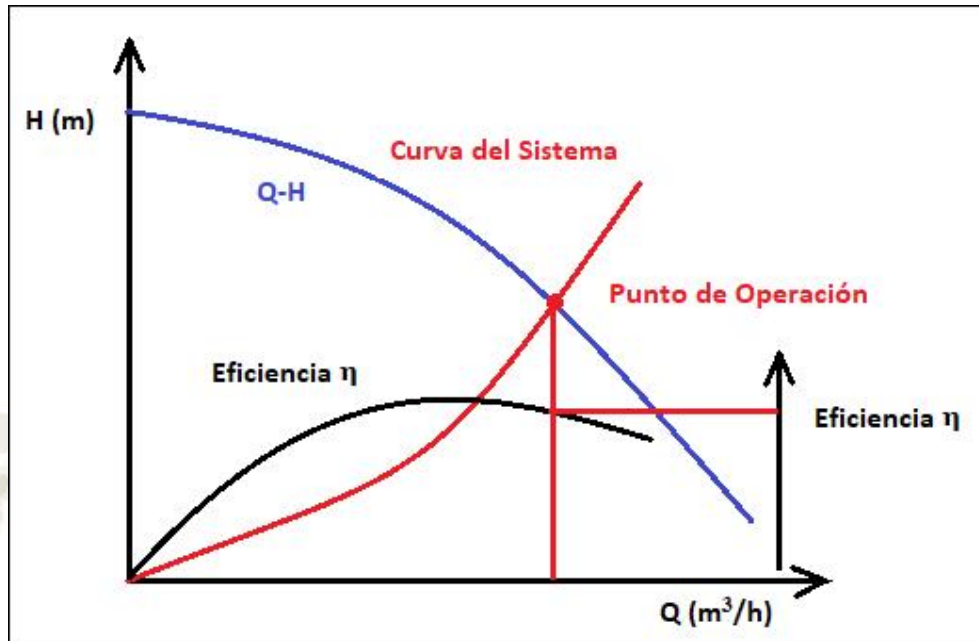


Figura 16. Curva de eficiencia de una bomba centrífuga típica  
(Elaboración propia)

#### 5.4. Consumo de potencia

La relación entre el consumo de potencia de la bomba y el caudal se muestra en la figura 5. La curva  $P_2$  de la mayoría de las bombas centrífugas es similar a la que se muestra en la figura 5, donde el valor  $P_2$  se incrementa cuando el caudal se incrementa. (<https://es.grundfos.com>)

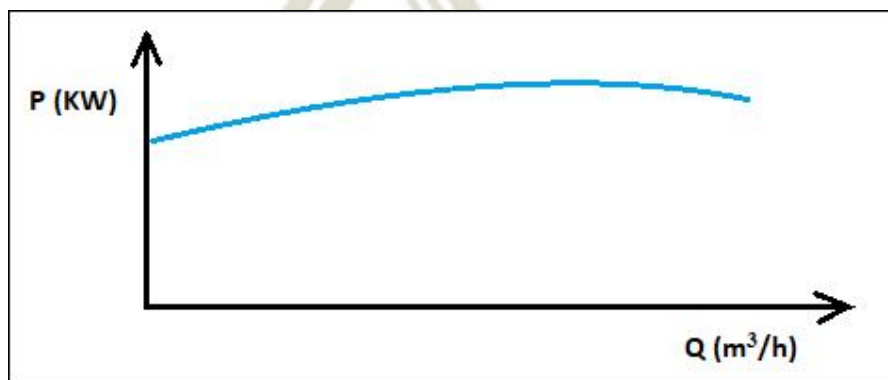


Figura 17. Curva de consumo de potencia de una bomba centrífuga típica  
(Elaboración propia)

### 5.5. Curva NPSH (Altura de aspiración neta positiva)

El valor NPSH de una bomba es la presión mínima absoluta que debe tener en el lado de la aspiración de la bomba para evitar la cavitación. Los valores NPSH se miden en [m] y dependen del caudal; cuando el caudal aumenta, el valor NPSH también aumenta. (<https://es.grundfos.com>)

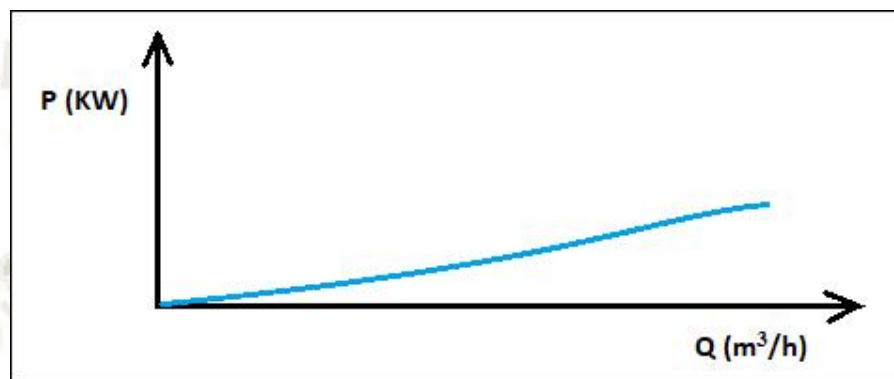


Figura 18. Curva NPSH de una bomba centrífuga típica  
(Elaboración propia)

## 6. CAVITACIÓN

La cavitación o aspiraciones en vacío es un efecto hidrodinámico que se produce cuando se crean cavidades de vapor dentro del agua o cualquier otro fluido en estado líquido en el que actúan fuerzas que responden a diferencias de presión, como puede suceder cuando el fluido pasa a gran velocidad por una arista afilada, produciendo una descompresión del fluido debido a la conservación de la constante de Bernoulli. Puede ocurrir que se alcance la presión de vapor del líquido de tal forma que las moléculas que lo componen cambian inmediatamente a estado de vapor, formándose burbujas o, más correctamente, cavidades. Las burbujas formadas viajan a zonas de mayor presión e implosionan (el vapor regresa al estado líquido de manera súbita, «aplastándose» bruscamente las burbujas) produciendo una estela de gas de gran energía sobre una superficie sólida que puede resquebrajar en el choque.

La implosión causa ondas de presión que viajan en el líquido a velocidades próximas a las del sonido, es decir independientemente del fluido la velocidad adquirida va a ser próxima a la del sonido. Estas pueden disiparse en la corriente del líquido o pueden chocar con una superficie. Si la zona donde chocan las ondas de presión es la misma, el material tiende a debilitarse estructuralmente y se inicia una erosión que, además de

dañar la superficie, provoca que ésta se convierta en una zona de mayor pérdida de presión y por ende de mayor foco de formación de burbujas de vapor. Si las burbujas de vapor se encuentran cerca o en contacto con una pared sólida cuando implosionan, las fuerzas ejercidas por el líquido al aplastar la cavidad dejada por el vapor dan lugar a presiones localizadas muy altas, ocasionando picaduras sobre la superficie sólida. Nótese que dependiendo de la composición del material usado se podría producir una oxidación de éste con el consiguiente deterioro del material.

El fenómeno generalmente va acompañado de ruido y vibraciones, dando la impresión de que se tratara de grava que golpea en diferentes partes de una máquina.

El proceso físico de la cavitación es casi exactamente igual que el que ocurre durante la ebullición. La mayor diferencia entre ambos se debe a presión y temperatura dentro del diagrama de fases. La ebullición eleva la presión de vapor del líquido por encima de la presión ambiente local para producir el cambio a fase gaseosa, mientras que la cavitación es causada por una caída de la presión local por debajo de la presión de vapor que causa una succión.

Para que la cavitación se produzca, las «burbujas» necesitan una superficie donde nuclearse. Esta superficie puede ser la pared de un contenedor o depósito, impurezas del líquido o cualquier otra irregularidad, pero normalmente ha de tenerse en cuenta la temperatura del fluido que, en gran medida va a ser la posible causa de la cavitación.

El factor determinante en la cavitación es la temperatura del líquido. Al variar la temperatura del líquido varía también la presión de vapor de forma importante, haciendo más fácil o difícil que para una presión local ambiente dada la presión de vapor caiga a un valor que provoque cavitación. (Es.wikipedia.org. (2019). Cavitación. [online] Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Cavitaci%C3%B3n>)

## **7. CONFIGURACIÓN DE CIRCUITOS HIDRÁULICOS CON BOMBAS CENTRÍFUGAS**

El acoplamiento de dos o más bombas puede llevarse a cabo, bien en serie, bien en paralelo, según las necesidades. (Marbello Pérez, 2007)

### 7.1. Bombas en serie

En serie, la tubería de impulsión de una bomba se constituye en la tubería de aspiración de la siguiente unidad, por lo que el caudal bombeado,  $Q_B$ , es el mismo para todas ellas, y la altura del conjunto es la suma de las alturas desarrolladas por las bombas individualmente. (Marbello Pérez, 2007)

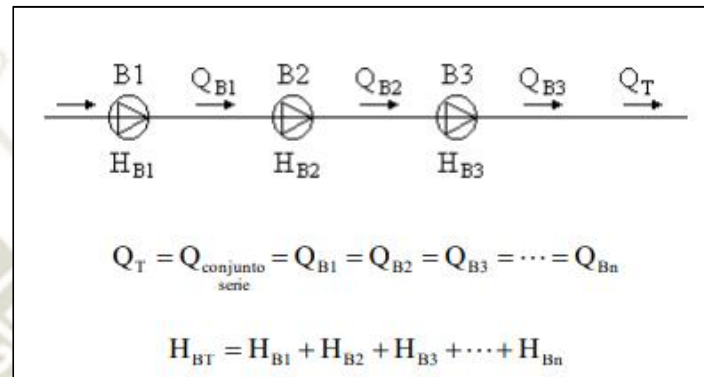


Figura 19. Acoplamiento de bombas en serie

(Fuente: <http://bdigital.unal.edu.co/11934/51/3353962.2007.Parte11.pdf>)

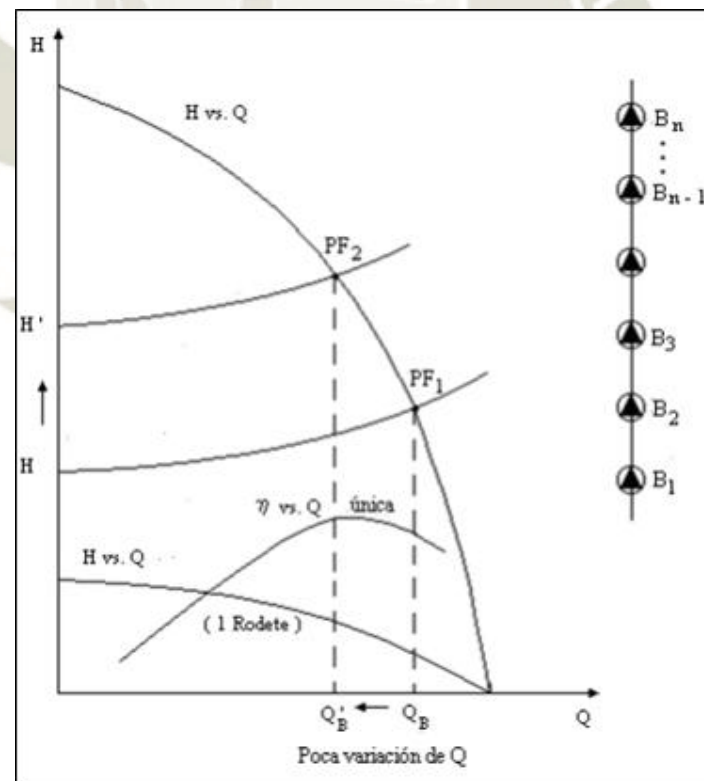


Figura 20. Curva característica  $H$  vs.  $Q$  de bombas en serie

(Fuente: <http://bdigital.unal.edu.co/11934/51/3353962.2007.Parte11.pdf>)

## 7.2. Bombas en paralelo

Cuando se acoplan dos o más bombas en paralelo, cada una de éstas aspira el fluido desde un tanque o depósito común, para reunir sus respectivos caudales impulsados en una tubería de impulsión común para ellas. En este tipo de acoplamiento, el caudal total del acoplamiento es la suma de los caudales individuales, y la altura total es constante e igual a la de cada una de las bombas individualmente. Las dos figuras siguientes resumen los esquemas de acoplamiento de bombas en serie y en paralelo, con sus respectivos comportamientos en cuanto al caudal total y la altura total del conjunto acoplado en bombas. (Marbello Pérez, 2007)

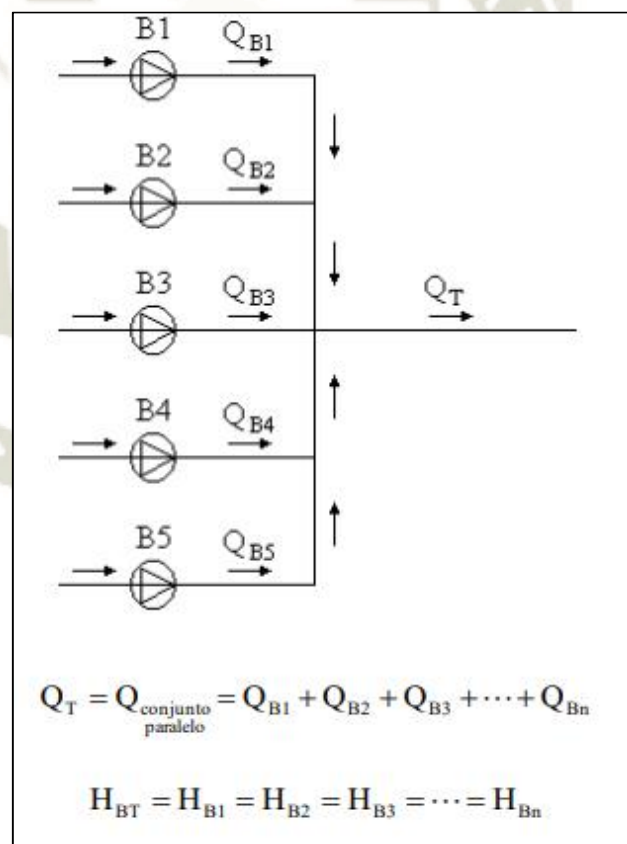


Figura 21. Acoplamiento de bombas en paralelo

(Fuente: <http://bdigital.unal.edu.co/11934/51/3353962.2007.Parte11.pdf>)

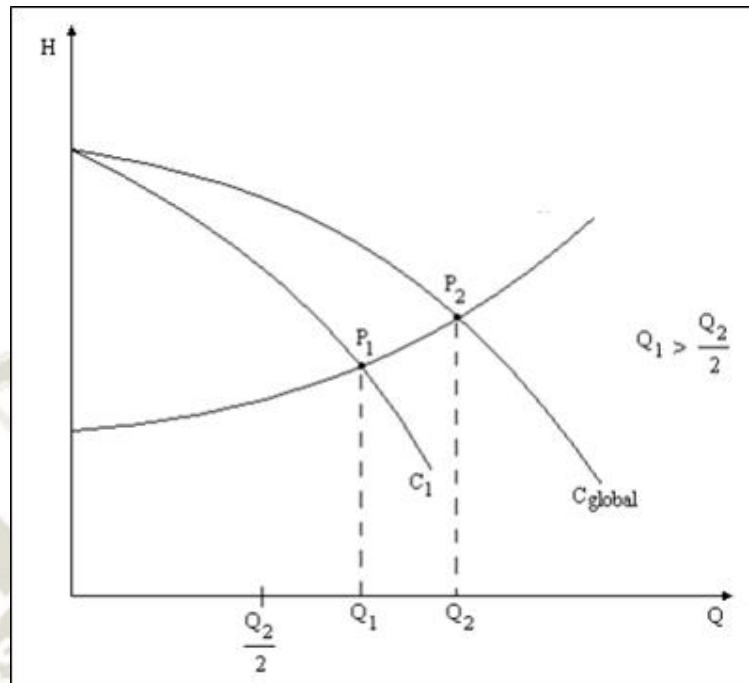


Figura 22. Acoplamiento de dos bombas idénticas en paralelo.  
(Fuente: <http://bdigital.unal.edu.co/11934/51/3353962.2007.Parte11.pdf>)

## 8. APLICACIÓN DE VELOCIDAD VARIABLE

A medida que la electrónica avanza y la generación de energía es cada vez más costosa, se torna rentable y necesario hacer cada vez más eficientes los equipos de impulsión, éste es el caso de los grupos de bombeo para impulsión de agua y que, haciendo uso de los controles de frecuencia o variadores de velocidad, pueden ser más eficientes y con ello ahorrar energía.

Los sistemas de velocidad variables se pueden aplicar en aquellas instalaciones en donde se requiere regular el flujo a diferentes cargas.

Los organismos operadores de agua potable, las comunidades de regantes y las instalaciones y sistemas de riego por aspersión tienen un gran potencial de ahorro de energía mediante la aplicación de velocidad variable a sus sistemas de bombeo directo a la línea, ya que éste es el caso donde la carga es variable. (Rosas Moya, 2016)

### 8.1. Regulación del flujo en bombas centrífugas

En muchas ocasiones es preciso trabajar durante mucho tiempo en condiciones de caudal inferiores al nominal. En esta situación se pueden realizar

planteamientos que permitan ahorros energéticos considerables, implantando el sistema de regulación de caudal más apropiado. Los métodos de regulación de caudal se obtienen mediante:

- Modificación de la curva presión-caudal del sistema sobre el que trabaja la bomba.
- Modificación de la curva presión-caudal de la bomba.
- Modificación simultánea de ambas características (sistema y bomba).
- Arranque o paro de la bomba. (Rosas Moya, 2016)

### 8.1.1. Modificación de la curva presión-caudal del sistema sobre el que trabaja la bomba

Éste es el método más utilizado, se trata en esencia de regular el flujo mediante la actuación de una o más válvulas, de tal forma que se modifique la curva de comportamiento del sistema de conducción. (Rosas Moya, 2016)

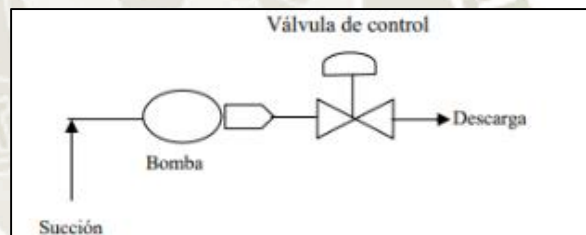


Figura 23. Control por modificación de la curva del sistema. (Fuente: <http://www.waterymex.org/>)

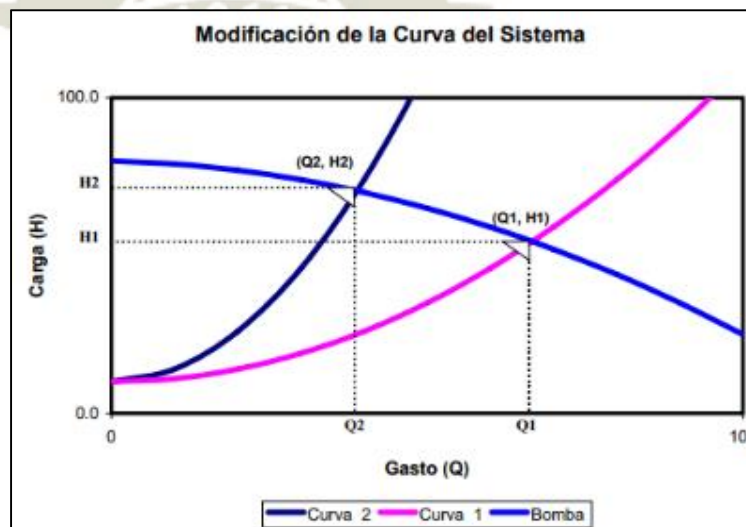


Figura 24. Comportamiento de la curva del sistema de conducción. . (Fuente: <http://www.waterymex.org/>)

Nótese que al estrangular la válvula de control para reducir el gasto de  $Q_1$ , a  $Q_2$ , la curva del sistema cambia de la curva 1 a la curva 2, (fig. 24), y la carga se ve incrementada de  $H_1$  a  $H_2$ . Resultando una potencia hidráulica:  $P = Q_2 \times H_2$ . (Rosas Moya, 2016)

### 8.1.2. Modificación de la curva presión-caudal de la bomba.

Otra alternativa de control consiste en variar la curva “Carga-Capacidad”, de la bomba. Esto se logra, variando la velocidad de operación de la bomba, como se muestra en la figura 25. Se puede notar que, variando la velocidad de la bomba de  $N_1$  a  $N_2$ , podemos pasar de un gasto  $Q_1$  a un gasto  $Q_2$ , sin incrementar la carga, por el contrario, la nueva carga  $H_2'$ , es menor a la carga inicial  $H_1$  y mucho menor a la que se obtendría con la válvula de estrangulación  $H_2$ . En este caso, la potencia hidráulica será:  $P' = Q_2 \times H_2'$  la cual es mucho menor que  $P$ . (Rosas Moya, 2016)

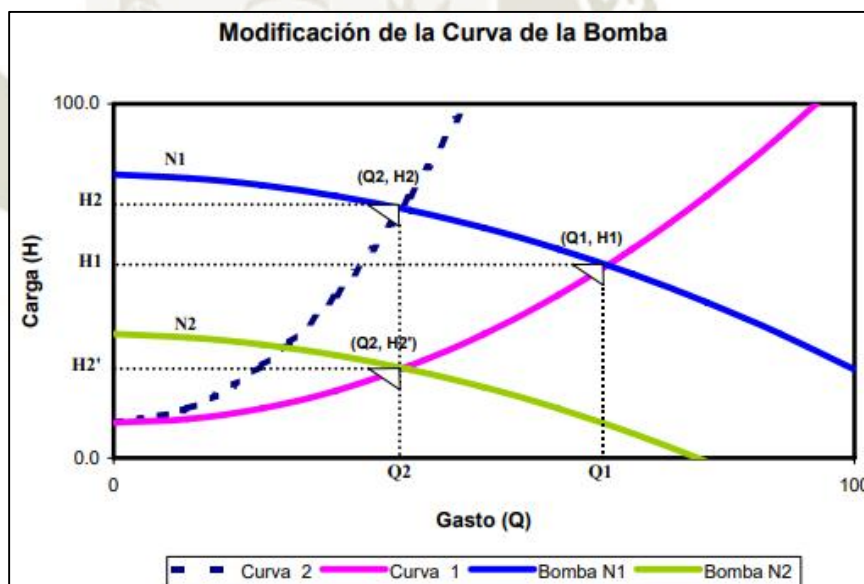


Figura 25. Control de gasto por variación de velocidad en la bomba.  
(Fuente: <http://www.waterymex.org/>)

### 8.1.3. Modificación simultánea de ambas características (sistema y bomba).

Uno de los casos más frecuentes es aquel en donde por requerimientos del proceso, la curva “Carga-Capacidad” del sistema varía, debido a

que en el sistema existen varios usuarios y cada uno de ellos demanda más o menos gasto como función de sus propias necesidades. Esto, visto desde la bomba, representa variaciones en la curva del sistema, por lo que continuamente varía el gasto y la carga.

En sistema de control que garantice el mismo gasto a los usuarios a pesar de que algún otro usuario haya cambiado su régimen de demanda, lo encontramos en la variación de la curva de la bomba, simultáneamente con la variación de la curva del sistema, de manera tal que se mantenga la carga del sistema en cualquier condición de operación. La figura 26 ilustra el proceso. Obsérvese como ante una variación de la curva del sistema, el control ajusta la velocidad de la bomba para mantener la carga  $H_1$ , y suministrar el gasto  $Q_2$  que el sistema realmente está demandando. La potencia hidráulica en este caso es:  $P_1' = Q_2 \times H_1$ . (Rosas Moya, 2016)

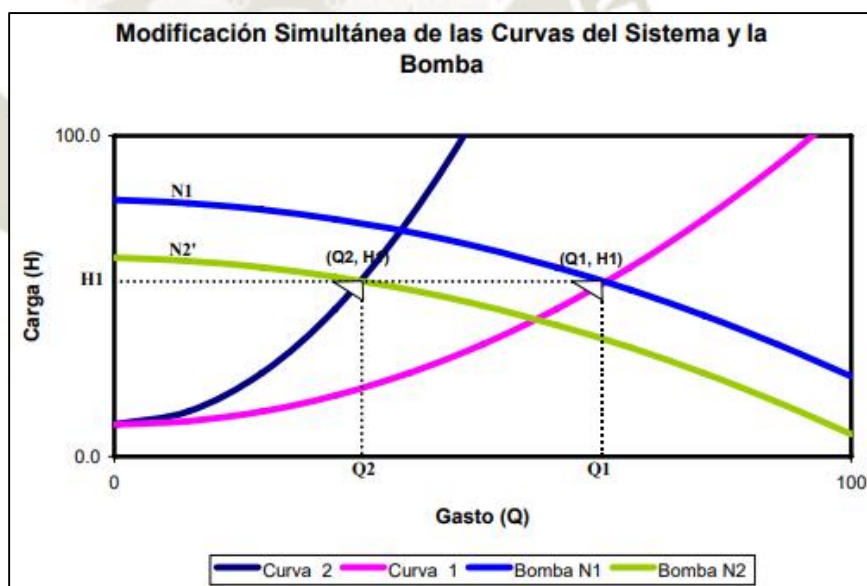


Figura 26. Variación simultánea de las curvas del sistema y la bomba.  
(Fuente: <http://www.waterymex.org/>)

#### 8.1.4. Arranque o paro de la bomba.

Este es un sistema muy conveniente cuando se cuenta con un acumulador, tal como hidroneumático o tanque elevado. Así la bomba operará con válvula de descarga siempre abierta y cuando se haya llegado a la presión nominal en el hidroneumático o al nivel alto en el

tanque elevado, la bomba parará, para volver a arrancar cuando la presión o el nivel, según el caso, haya llegado al nivel bajo. El sistema es energéticamente eficiente. Tiene la limitante de que necesita del acumulador, y no siempre es posible contar con él. (Rosas Moya, 2016)

## 8.2. Leyes de afinidad

Las bombas centrífugas, en su mayoría, se operan a distintas velocidades y así obtener capacidades variables. Además, una carcasa de bomba de un tamaño determinado es susceptible a ser acomodada con impulsores de diámetros diferentes. Es de suma importancia entender la manera en que varían la capacidad, la carga y la potencia, cuando se modifica la velocidad o el diámetro del impulsor. Estas relaciones se denominan leyes de afinidad. El símbolo  $N$  se refiere a la velocidad de rotación del impulsor,  $Q$  se refiere al caudal ( $m^3/seg$ ),  $H$  es la carga total (metros) y  $P$  es la potencia requerida por la bomba (Watts o HP). Como las leyes de afinidad sirven para proyectar valores aproximados de rendimiento en bombas a una diferente velocidad o diámetro de impulsor se usarán los números 1 y 2 para diferenciar cada término en las ecuaciones siguientes:

Cuando la velocidad varía:

- La capacidad varía en forma directa con la velocidad:  $Q_1/Q_2=N_1/N_2$
- La capacidad de carga total varía con el cuadrado de la velocidad:  
 $H_1/H_2=(N_1/N_2)^2$
- La potencia que requiere la bomba varia con el cubo de la velocidad:  
 $P_1/P_2=(N_1/N_2)^3$

Cuando el diámetro del impulsor varía:

La capacidad varia en forma directa con el diámetro del impulsor:  $Q_1/Q_2=D_1/D_2$

La carga total varia con el cuadrado del diámetro del impulsor:  $H_1/H_2=(D_1/D_2)^2$

La potencia que requiere la bomba varia con el cubo del diámetro del impulsor:

$$P_1/P_2=(D_1/D_2)^3$$

La eficiencia permanece casi constante para cambios en la velocidad y para cambios pequeños en el diámetro del impulsor. (Vargas Badillo, 2015)

## CAPÍTULO III

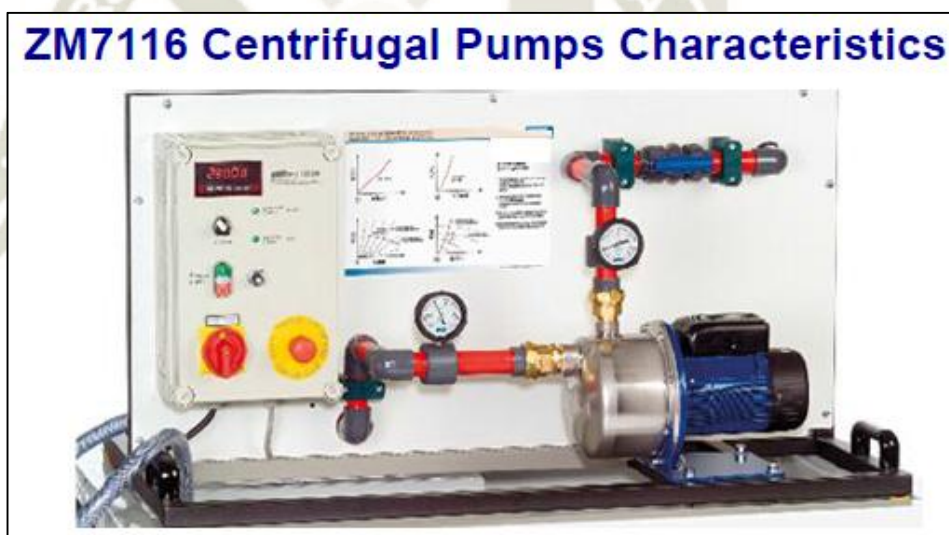
### DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL MÓDULO

#### 1. DISEÑO Y COMPOSICIÓN

Para la realización del presente proyecto cubriendo la necesidad de poder contar con un banco de pruebas de bombas centrífugas con velocidad variable se consideró evaluar tres alternativas, las cuales analizamos a continuación.

##### 1.1. Banco de pruebas “ZM7116 Centrifugal Pumps Characteristics”

Como primera alternativa se vio de importar desde China el módulo “ZM7116 Centrifugal Pumps Characteristics” de Jinan Should Shine Import And Export Co., Ltd.



*Figura 27. Módulo ZM7116 Centrifugal Pumps Characteristics*  
(Fuente: <https://www.ssedumachine.com/>)

El equipo de ensayo contiene una bomba centrífuga auto aspirante, una válvula de bola en el lado de salida, un vacuómetro en la succión y un manómetro en la descarga. El equipo es accionado por un motor asíncrono. El número de revoluciones se puede ajustar sin escalonamiento mediante un convertidor de frecuencia. La altura de elevación se ajusta mediante una llave de bola.

En los ensayos se estudia el comportamiento de funcionamiento de la bomba en función del caudal. El número de revoluciones y la potencia eléctrica del

motor se indican digitalmente. Las presiones de entrada y salida se indican en dos manómetros.

Este módulo proporciona un caudal máximo de 3000 litros/h o 50 litros/min una altura total de 13.8 metros o 1.3 bar con una potencia nominal del motor de la bomba de 370 Watts y un consumo de energía de 670 Watts.

Con este módulo se pueden realizar pruebas de manera tal que se puedan obtener las curvas características de una bomba centrífuga a diferentes frecuencias. (<https://www.ssedumachine.com/>)

### 1.2. HM 150.16 Conexión en serie y en paralelo de bombas

Como segunda alternativa se vio un módulo de pruebas de bombas centrífugas de la fábrica danesa Gunt, con la siguiente denominación “HM 150.16 Conexión en serie y en paralelo de bombas”.



*Figura 28. HM 150.16 Conexión en serie y en paralelo de bombas  
(Fuente: <https://www.gunt.de>)*

El equipo de ensayo contiene dos bombas centrífugas idénticas y un depósito de aspiración con rebosadero. El rebosadero se encarga de mantener una altura de aspiración constante en el depósito, independientemente del suministro de agua. Los grifos de bola en las tuberías permiten una conmutación sencilla

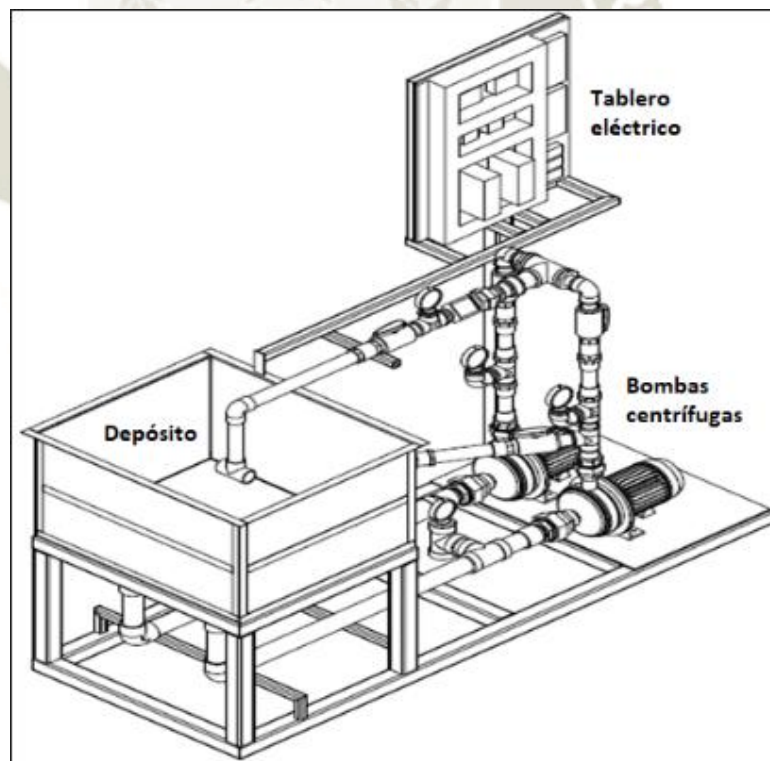
entre el funcionamiento en serie y en paralelo. Las presiones a la entrada y a la salida de las dos bombas se indican en los manómetros.

Este módulo cuenta con dos bombas centrífugas cuyo consumo de potencia es de 370W y un caudal máximo de 21L/min, la altura de elevación máxima es 12 metros, un depósito de agua de 13 litros; y las tuberías y conexiones de tuberías son PVC.

El módulo nos da la posibilidad de determinar las curvas características de la bomba en serie y en paralelo. (<https://www.gunt.de>)

### 1.3. Diseño propio

Se creyó necesario tener un banco de pruebas de bombas centrífugas que pueda trabajar con velocidades varias y que tenga la posibilidad de tener también conexión en serie y paralelo.



*Figura 29.* Diseño propio de un banco de pruebas de bombas centrífugas en serie y paralelo, dimensiones largo 1.80 m., ancho 0.70 m y altura 1.60 m, Q=20-80 litros/minuto, Potencia eléctrica 1.05 KW, Potencia hidráulica de 0.75 KW (Fuente: Elaboración Propia)



*Figura 30. Producto final, banco de pruebas de bombas centrífugas en serie y paralelo, dimensiones largo 1.80 m., ancho 0.70 m y altura 1.60 m,  $Q=20-80$  litros/minuto, Potencia 1.05 KW, Potencia hidráulica de 0.75 KW (Fuente: Elaboración Propia).*

Con los datos de presión y caudal leídos en el funcionamiento del banco de pruebas el usuario será capaz de determinar las curvas características de funcionamiento de las bombas centrífugas, ya sea funcionando individualmente, en serie y/o en paralelo, a diferentes velocidades.

Si se hace un simple análisis de costos y funcionalidad, la alternativa 3 “Diseño propio” es la más ventajosa de las tres.

## **2. DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL MÓDULO**

### **2.1. Estructura**

Los componentes hidráulicos y eléctricos se apoyan en una estructura de acero, cuyas dimensiones se pueden apreciar en el plano.

La estructura sostiene un tanque de agua de 154 litros volumen previsto para que las bombas tengan siempre agua para succionar. (ver plano 2401-PCTE-18-01-002)

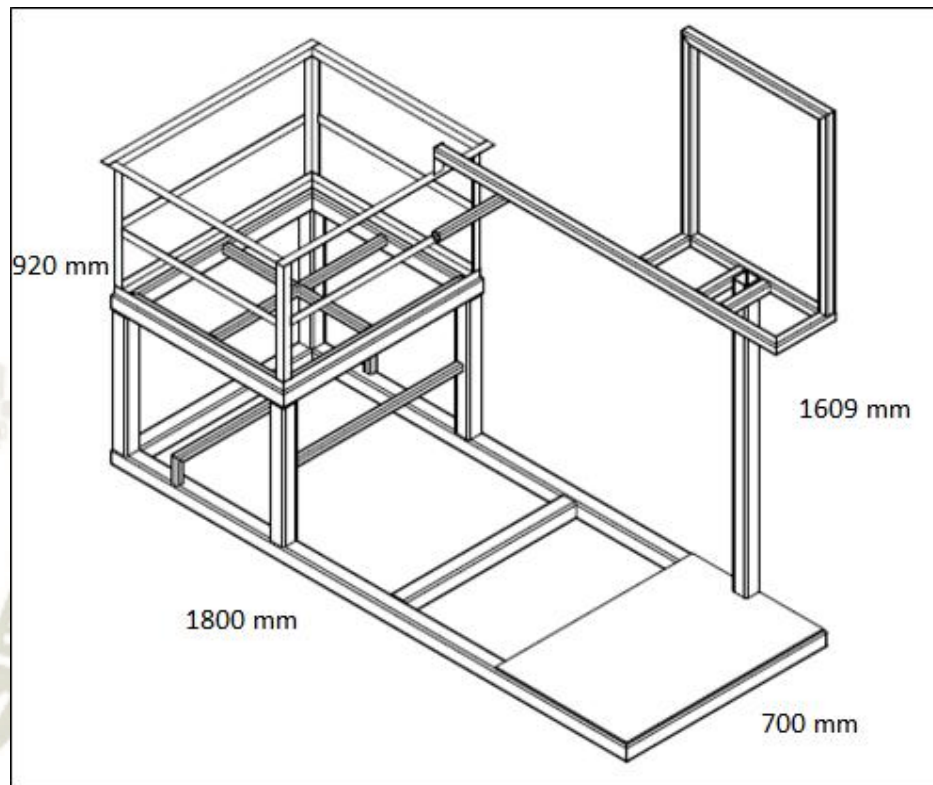


Figura 31. Estructura metálica del banco de prueba de bombas centrífugas (Fuente: elaboración propia)

## 2.2. Sistema Hidráulico

El sistema hidráulico se concibió a partir del siguiente sistema hidráulico:

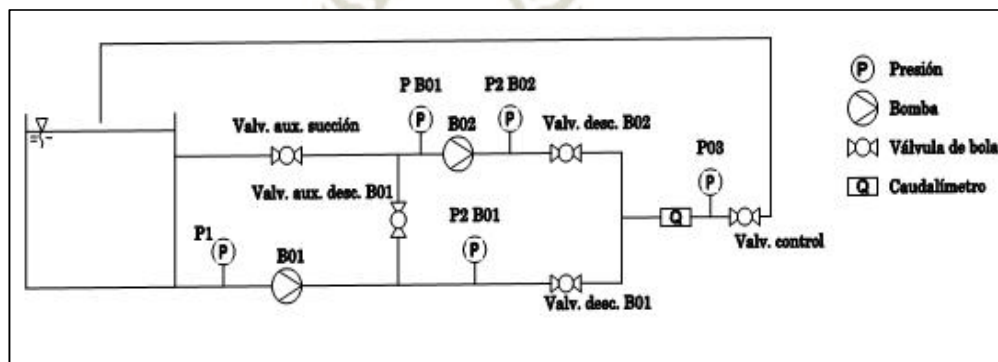


Figura 32. Esquema hidráulico del banco de pruebas de bombas centrífugas en serie y paralelo (Fuente: Elaboración propia)

A partir de esto, se seleccionó los componentes adecuados para un buen funcionamiento y obtener los datos adecuados.

El banco de pruebas cuenta con dos bombas centrífugas EBARA de las mismas características, caudal máximo 80 litros/minuto una altura máxima de 32 metros, potencia eléctrica de 1.05 KW y potencia hidráulica de 0.75 KW.



*Figura 33.* Bombas centrífugas de módulo caudal máximo 80 litros/minuto una altura máxima de 32 metros, potencia eléctrica de 1.05 KW y potencia hidráulica de 0.75 KW  
(Fuente: Foto real de las bombas del banco de pruebas)

El circuito de tuberías es de 1-1/2 pulgadas en la parte de la succión y de 1 pulgada en la parte de descarga, cinco válvulas de bola para hacer las distintas combinaciones de trabajo de las bombas y para regular el flujo y simular presión de trabajo. Cuenta también con cuatro manómetros y un vacuómetro, para poder tomar las medidas de presión respectivas.

### 2.3. Tablero Eléctrico

El tablero Eléctrico cuenta con los siguientes componentes:

**Variadores de frecuencia**, de acuerdo con la definición fundamental, los variadores de frecuencia son sistemas que se usan para el control de la velocidad rotacional de un motor de corriente alterna (AC) por medio del control de la frecuencia de alimentación suministrada al motor.

**Interruptores termomagnéticos**: como es sabido, su principio de funcionamiento es actuar cuando la corriente sobrepasa el valor nominal establecido en las especificaciones técnicas del dispositivo, su finalidad es proteger y dar seguridad a la instalación eléctrica ante la presencia de alguna falla.

**Guardamotores**: son unos interruptores magnetotérmicos, especialmente diseñados para la protección de motores eléctricos. De acuerdo a su principio de funcionamiento, protegen de sobreintensidades transitorias típicas de los arranques de los motores, proporciona protección frente a sobrecargas del motor y cortocircuitos, así como también, frente a falla de fase.

**Contactores**: se usan para dar arranque y mando a los variadores de velocidad.



Figura 34. Tablero eléctrico del banco de pruebas  
(Fuente: foto real tomada del banco de pruebas)

## CAPÍTULO VI

### EXPERIENCIAS DE FUNCIONAMIENTO Y VALIDACIÓN DE DATOS

#### 4.1 Procedimiento de uso del Banco de pruebas de bombas centrífugas

- Conectar el banco de pruebas de bombas centrífugas a un tomacorriente con voltaje de 220 VAC.
- Encender el banco de pruebas con la llave general y la llave para energizar el tablero eléctrico.
- Verificar las válvulas hidráulicas dependiendo el tipo de circuito en el que se desean hacer las pruebas:

##### UNA SOLA BOMA: Bomba 01

- Cerrar las válvulas: válvula auxiliar de succión, válvula auxiliar de descarga de la bomba 01, válvula de descarga de la bomba 02.
- Abrir la válvula de descarga de la bomba 01.
- Revisar la frecuencia a la cual se van a realizar las pruebas en el variador de velocidad 1 y dar arranque a la bomba 01 (con el botón start del variador o con la botonera correspondiente).
- Cerrar o abrir la válvula de control hasta encontrar el caudal requerido.

##### CIRCUITO EN SERIE

- Cerrar las válvulas: válvula auxiliar de succión, válvula de descarga de la bomba 01.
- Abrir las válvulas: válvula auxiliar de descarga de la bomba 01 y válvula de descarga de la bomba 02.
- Revisar la frecuencia a la cual se van a realizar las pruebas en los variadores de velocidad y dar arranque a la bomba 01 y seguidamente a la bomba 02 (con el botón start del variador o con la botonera correspondiente).
- Cerrar o abrir la válvula de control hasta encontrar el caudal requerido.

##### CIRCUITO EN PARALELO

- Cerrar la válvula auxiliar de descarga de la bomba 01.

- Abrir las válvulas: Válvula auxiliar de succión, válvula de descarga de la bomba 01 y válvula de descarga de la bomba 02.
- Revisar la frecuencia a la cual se van a realizar las pruebas en los variadores de velocidad y dar arranque a la bomba 01 y seguidamente a la bomba 02 (con el botón start del variador o con la botonera correspondiente).
- Cerrar o abrir la válvula de control hasta encontrar el caudal requerido.

## 4.2 Fórmulas utilizadas en la validación de datos

Para validar los datos tomados en el funcionamiento del banco de pruebas, se utilizarán las siguientes ecuaciones:

### 4.2.1 Altura de Presión

$$\frac{P_2 - P_1}{\rho g}$$

Donde:

$P_2$  : Presión en la descarga (m).

$P_1$ : Presión en la succión (m).

$\rho$ : Densidad del agua (kg/m<sup>3</sup>).

$g$ : Aceleración de la gravedad ( m/seg<sup>2</sup>).

### 4.2.2 Altura de Velocidad

$$\frac{V_2^2 - V_1^2}{2g}$$

Donde:

$V_1$ : Velocidad en la succión (m/seg).

$V_2$ : Velocidad en la descarga (m/seg).

$g$ : Aceleración de la gravedad (m/seg<sup>2</sup>).

Para calcular la velocidad se usa:

$$V = \frac{4Q}{\pi \phi^2}$$

Donde:

V: Velocidad del fluido (m/seg).

Q: Caudal ( m<sup>3</sup>/seg).

$\phi$ : Diámetro de la tubería (m).

#### 4.2.3 Altura de Pérdidas

##### Pérdidas primarias (Ecuación de Darcy Weisbach)

$$h_f = \lambda \frac{LV^2}{\phi 2g}$$

Donde:

$h_f$ : Altura de pérdida primarias.

$\lambda$ : Factor de fricción.

L: Longitud por donde pasa el fluido (m).

V: Velocidad del fluido (m/seg).

$\phi$ : Diámetro de la tubería (m).

g: Aceleración de la gravedad (m/seg<sup>2</sup>).

Para calcular el factor de fricción tenemos la ecuación de Blasius:

$$\lambda = \frac{0.316}{Re^{\frac{1}{4}}} \text{ para flujo turbulento, tuberías lisas y } Re < 100000$$

Y para calcula el Numero de Reynolds,  $Re = \frac{V\phi\rho}{\mu}$

Donde:

Re: Número de Reynolds.

V: Velocidad (m/seg).

$\phi$ : Diámetro (m).

$\rho$ : Densidad (kg/m<sup>3</sup>).

$$velocidad = \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g}$$

Donde:

$H_{velocidad}$  : Altura de velocidad (m)

$V_2$  : Velocidad de descarga (m/seg)

$V_1$  : Velocidad de succión (m/seg)

$g$  : Aceleración de la gravedad (m/seg<sup>2</sup>)

#### 4.5. Curva de Carga del Sistema

La curva de carga del sistema es una gráfica H-Q en la que se representa la suma de la carga estática del sistema, la diferencia de presión entre la aspiración y la descarga del sistema, y la carga de fricción. (Correa Haz, 2016)

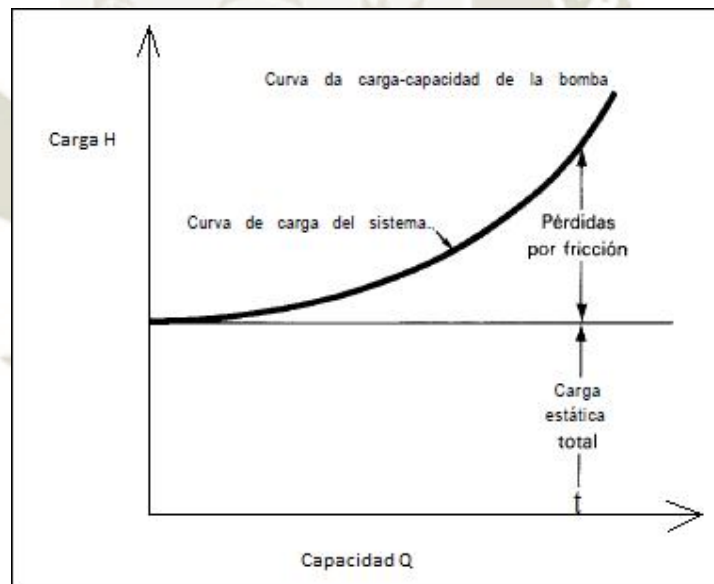


Figura 12. Curva de carga del sistema (Elaboración propia)

#### 4.6. Altura de aspiración neta positiva (NPSH)

La altura de aspiración neta positiva o altura total de presión de retención, cuya sigla es NPSH del inglés “Net-Positive-Suction-Head”, está relacionada con el fenómeno de cavitación. Al igual que la altura de elevación, el caudal de impulsión y la potencia absorbida, representa una de las características más

### 4.3 ANÁLISIS DE DATOS

#### 4.3.1 Una sola bomba: Bomba 01

Los datos recopilados para el trabajo de una sola bomba trabajando a 60 Hz fueron los siguientes:

Tabla 1. *Lecturas de caudal, presión e intensidad de corriente para una sola bomba a 60 Hz. (Fuente: Elaboración propia)*

| Caudal Q<br>(litros/minuto) | P <sub>Descarga</sub><br>(bar) | P <sub>Control</sub><br>(bar) | Intensidad de Corriente<br>(Amp.) |
|-----------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|
| 0                           | 3.00                           | 3.00                          | 2.40                              |
| 10                          | 3.00                           | 2.80                          | 2.50                              |
| 20                          | 2.90                           | 2.70                          | 2.70                              |
| 30                          | 2.80                           | 2.60                          | 2.70                              |
| 40                          | 2.70                           | 2.40                          | 2.90                              |
| 50                          | 2.60                           | 2.20                          | 3.00                              |
| 60                          | 2.50                           | 1.90                          | 3.10                              |
| 70                          | 2.40                           | 1.60                          | 3.30                              |
| 80                          | 2.40                           | 1.40                          | 3.40                              |
| 90                          | 2.30                           | 1.00                          | 3.50                              |
| 100                         | 2.10                           | 0.50                          | 3.60                              |
| 110                         | 1.90                           | 0.00                          | 3.70                              |

Con estos datos se pueden calcular la altura de presión, altura de velocidad y alturas de pérdidas de la ecuación de Bernoulli para poder calcular la altura de bomba o carga dinámica total ( $H_B$ ).

Tabla 2. *Cálculo de la altura de presión, altura de velocidad, altura de pérdida y altura dinámica total  $H_B$  para una sola bomba a 60 Hz. (Fuente: Elaboración propia)*

| Caudal Q<br>(litros/minuto) | Altura de Presión<br>(m) | Altura de velocidad<br>(m) | Altura de Pérdidas<br>(m) | $H_B$<br>(m) |
|-----------------------------|--------------------------|----------------------------|---------------------------|--------------|
| 0                           | 30.58                    | 0.00                       | 0.00                      | 30.85        |
| 10                          | 30.58                    | 0.00                       | 0.01                      | 30.86        |
| 20                          | 29.56                    | 0.02                       | 0.03                      | 29.88        |
| 30                          | 28.54                    | 0.04                       | 0.06                      | 28.91        |
| 40                          | 27.52                    | 0.07                       | 0.10                      | 27.96        |
| 50                          | 26.50                    | 0.11                       | 0.15                      | 27.03        |
| 60                          | 25.48                    | 0.16                       | 0.21                      | 26.12        |
| 70                          | 24.46                    | 0.22                       | 0.28                      | 25.23        |
| 80                          | 24.46                    | 0.28                       | 0.36                      | 25.37        |
| 90                          | 23.45                    | 0.36                       | 0.44                      | 24.52        |
| 100                         | 21.41                    | 0.44                       | 0.54                      | 22.66        |
| 110                         | 19.37                    | 0.54                       | 0.65                      | 20.82        |

Con los resultados obtenidos de altura de bomba se puede hallar la curva del sistema con la válvula totalmente abierta, por definición la curva de sistema es

una curva Q-H que es afectada por la carga estática, la diferencia de presión del sistema y las pérdidas por fricción a medida que el caudal varía. Por lo tanto, esta variación de presión la da la lectura del manómetro.

Tabla 3. *Cálculo de la curva del sistema para una sola bomba a 60 Hz.*  
(Fuente: Elaboración propia)

| Caudal Q<br>(litros/minuto) | P <sub>Sistema Teórica</sub><br>(m) | H <sub>B</sub> -P <sub>Control</sub><br>(m) |
|-----------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------|
| 0                           | 0.27                                | 0.27                                        |
| 10                          | 0.45                                | 2.32                                        |
| 20                          | 0.97                                | 2.35                                        |
| 30                          | 1.85                                | 2.41                                        |
| 40                          | 3.07                                | 3.50                                        |
| 50                          | 4.65                                | 4.61                                        |
| 60                          | 6.58                                | 6.75                                        |
| 70                          | 8.86                                | 8.92                                        |
| 80                          | 11.49                               | 11.10                                       |
| 90                          | 14.47                               | 14.32                                       |
| 100                         | 17.80                               | 17.56                                       |
| 110                         | 21.48                               | 20.82                                       |

Graficando los datos obtenidos:

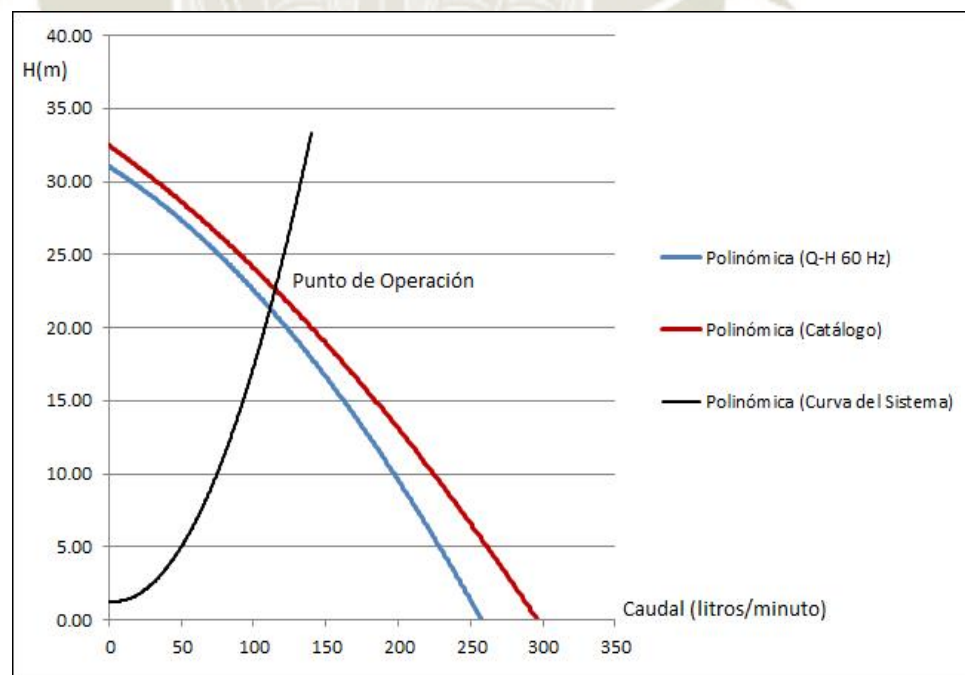


Figura 35. Curva Q-H real, curva Q-H catálogo y curva del sistema para una sola bomba a 60 Hz. (Fuente: Elaboración propia)

Con la altura de bomba y el caudal, se puede determinar la potencia hidráulica, y a su vez también hallamos la potencia eléctrica:

Tabla 4. *Potencia eléctrica y potencia hidráulica para una sola bomba a 60 Hz.*  
(Fuente: Elaboración propia)

| Caudal Q<br>(litros/minuto) | Potencia Hidráulica<br>(KW) | Potencia Eléctrica<br>(KW) | Eficiencia<br>% |
|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------|
| 0                           | 0.00                        | 0.73                       | 0%              |
| 10                          | 0.05                        | 0.76                       | 7%              |
| 20                          | 0.10                        | 0.82                       | 12%             |
| 30                          | 0.14                        | 0.82                       | 17%             |
| 40                          | 0.18                        | 0.88                       | 21%             |
| 50                          | 0.22                        | 0.91                       | 24%             |
| 60                          | 0.26                        | 0.95                       | 27%             |
| 70                          | 0.29                        | 1.01                       | 29%             |
| 80                          | 0.33                        | 1.04                       | 32%             |
| 90                          | 0.36                        | 1.07                       | 34%             |
| 100                         | 0.37                        | 1.10                       | 34%             |
| 110                         | 0.37                        | 1.13                       | 33%             |

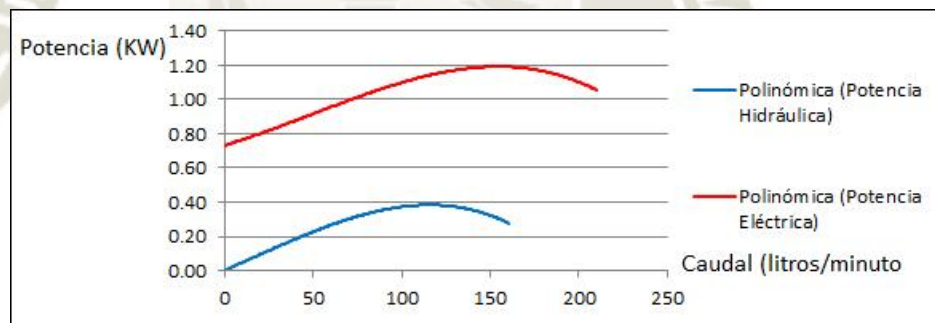


Figura 36. Curva de potencia hidráulica y potencia eléctrica para una sola bomba a 60 Hz. (Fuente: Elaboración propia)

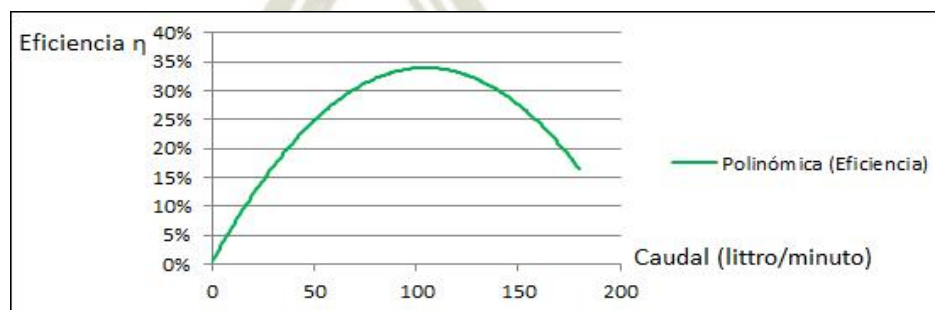


Figura 37. Curva del rendimiento de la bomba a 60 Hz  
(Fuente; Elaboración propia)

Con ayuda del variador de velocidad y siguiendo el procedimiento anterior se puede hallar las diferentes curvas Q-H para las RPM que se desee, se tomaron datos bajando las RPM 10% cada vez y se obtuvo el siguiente cuadro:

Tabla 5. *Altura dinámica total (HB) para diferentes velocidades (disminuido cada 10%)(Fuente: Elaboración propia)*

| Caudal Q<br>(l/min) | H <sub>B</sub> 60 Hz<br>(m) | H <sub>B</sub> 54 Hz<br>(m) | H <sub>B</sub> 48 Hz<br>(m) | H <sub>B</sub> 42 Hz<br>(m) | H <sub>B</sub> 36 Hz<br>(m) | H <sub>B</sub> 30 Hz<br>(m) |
|---------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 0                   | 30.85                       | 24.73                       | 18.62                       | 14.54                       | 9.44                        | 5.37                        |
| 10                  | 30.86                       | 23.73                       | 17.62                       | 13.54                       | 8.44                        | 4.36                        |
| 20                  | 29.88                       | 22.74                       | 16.63                       | 12.55                       | 8.47                        | 4.39                        |
| 30                  | 28.91                       | 22.78                       | 16.66                       | 11.57                       | 7.49                        | 4.43                        |
| 40                  | 27.96                       | 21.81                       | 15.69                       | 10.60                       | 6.52                        | 3.46                        |
| 50                  | 27.03                       | 20.85                       | 14.74                       | 10.66                       | 6.58                        | 3.50                        |
| 60                  | 26.12                       | 20.92                       | 14.80                       | 9.71                        | 5.63                        |                             |
| 70                  | 25.23                       | 19.98                       | 13.86                       | 8.77                        |                             |                             |
| 80                  | 25.37                       | 19.05                       | 12.93                       |                             |                             |                             |
| 90                  | 24.52                       | 18.13                       |                             |                             |                             |                             |
| 100                 | 22.66                       | 17.22                       |                             |                             |                             |                             |
| 110                 | 20.82                       |                             |                             |                             |                             |                             |

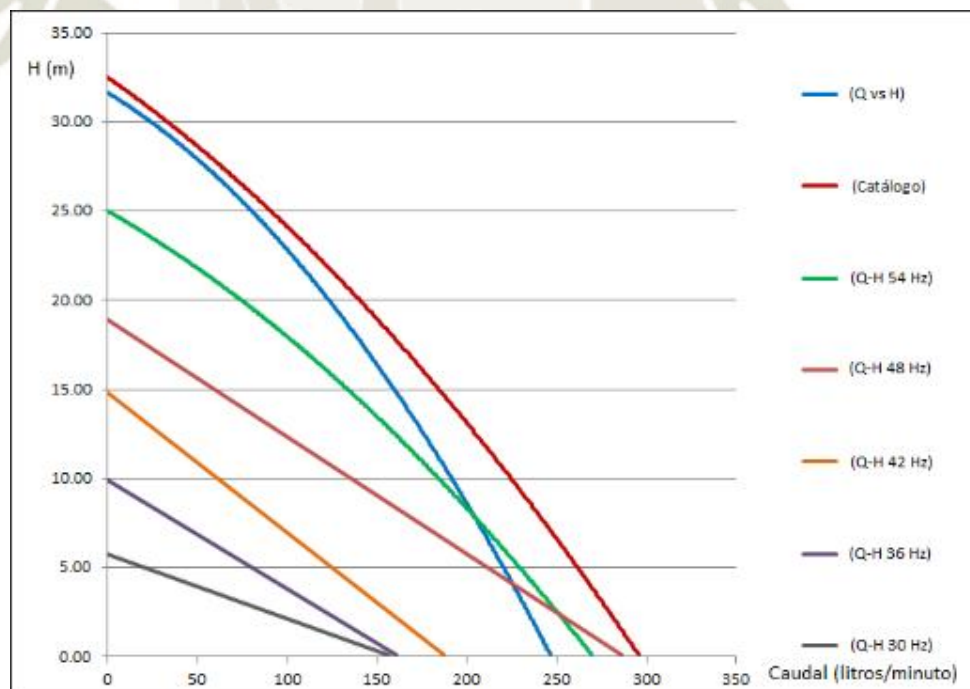


Figura 38. Curvas Q-H de una sola bomba a diferentes RPM  
(Fuente: Elaboración propia)

#### 4.3.2 Circuito en Serie

Los datos recopilados para el trabajo de las dos bombas en serie a 60 Hz fueron:

Tabla 6. *Lecturas de caudal, presión e intensidad de corriente para circuito en serie a 60 Hz. (Fuente: Elaboración propia)*

| Caudal Q<br>(litros/minuto) | P <sub>Descarga</sub><br>(bar) | P <sub>Control</sub><br>(bar) | Intensidad de<br>Corriente 1<br>(Amp.) | Intensidad de<br>Corriente 2<br>(Amp.) |
|-----------------------------|--------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|
| 0                           | 6.10                           | 6.00                          | 2.30                                   | 2.30                                   |
| 10                          | 6.00                           | 5.80                          | 2.50                                   | 2.50                                   |
| 20                          | 5.80                           | 5.60                          | 2.60                                   | 2.60                                   |
| 30                          | 5.60                           | 5.30                          | 2.70                                   | 2.70                                   |
| 40                          | 5.40                           | 5.00                          | 2.80                                   | 2.90                                   |
| 50                          | 5.30                           | 4.70                          | 3.00                                   | 3.00                                   |
| 60                          | 5.00                           | 4.20                          | 3.10                                   | 3.10                                   |
| 70                          | 4.70                           | 3.80                          | 3.20                                   | 3.20                                   |
| 80                          | 4.40                           | 3.30                          | 3.30                                   | 3.30                                   |
| 90                          | 4.10                           | 2.80                          | 3.50                                   | 3.50                                   |
| 100                         | 3.80                           | 2.40                          | 3.60                                   | 3.60                                   |
| 110                         | 3.40                           | 1.80                          | 3.70                                   | 3.70                                   |
| 120                         | 3.00                           | 1.10                          | 3.70                                   | 3.80                                   |
| 130                         | 2.60                           | 0.50                          | 3.80                                   | 3.80                                   |
| 133                         | 2.30                           | 0.00                          | 3.90                                   | 3.80                                   |

Luego, con la ecuación de Bernoulli se halla la altura dinámica total ( $H_B$ ) y se muestra en la siguiente tabla con sus alturas respectivas:

Tabla 7. *Cálculo de la altura de presión, altura de velocidad, altura de pérdidas y la altura dinámica total  $H_B$  para circuito en serie a 60 Hz. (Fuente: Elaboración propia)*

| Caudal Q<br>(litros/minuto) | Altura de<br>Presión<br>(m) | Altura de<br>velocidad<br>(m) | Altura de<br>Pérdidas<br>(m) | $H_B$<br>(m) |
|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|------------------------------|--------------|
| 0                           | 62.18                       | 0.00                          | 0.00                         | 62.45        |
| 10                          | 61.16                       | 0.00                          | 0.02                         | 61.19        |
| 20                          | 59.12                       | 0.02                          | 0.09                         | 59.23        |
| 30                          | 57.08                       | 0.04                          | 0.19                         | 57.31        |
| 40                          | 55.05                       | 0.07                          | 0.32                         | 55.44        |
| 50                          | 54.03                       | 0.11                          | 0.50                         | 54.63        |
| 60                          | 50.97                       | 0.16                          | 0.71                         | 51.83        |
| 70                          | 47.91                       | 0.22                          | 0.95                         | 49.08        |
| 80                          | 44.85                       | 0.28                          | 1.23                         | 46.36        |
| 90                          | 41.79                       | 0.36                          | 1.54                         | 43.69        |
| 100                         | 38.74                       | 0.44                          | 1.89                         | 41.07        |
| 110                         | 34.66                       | 0.54                          | 2.27                         | 37.46        |
| 120                         | 30.58                       | 0.64                          | 2.69                         | 33.90        |
| 130                         | 36.50                       | 0.75                          | 3.13                         | 30.39        |
| 133                         | 23.45                       | 0.78                          | 3.28                         | 27.50        |

Luego, la curva del sistema con válvula totalmente abierta:

Tabla 8. Cálculo de la curva del sistema para circuito en serie a 60 Hz.  
(Fuente: Elaboración propia)

| Caudal Q<br>(litros/minuto) | P <sub>Control</sub><br>(m) | H <sub>B</sub> -P <sub>Control</sub><br>(m) |
|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------------------------|
| 0                           | 62.18                       | 0.27                                        |
| 10                          | 59.12                       | 2.07                                        |
| 20                          | 57.08                       | 2.14                                        |
| 30                          | 54.03                       | 3.28                                        |
| 40                          | 50.97                       | 4.47                                        |
| 50                          | 47.91                       | 6.72                                        |
| 60                          | 42.81                       | 9.02                                        |
| 70                          | 38.74                       | 10.34                                       |
| 80                          | 33.64                       | 12.72                                       |
| 90                          | 28.54                       | 15.15                                       |
| 100                         | 24.46                       | 16.60                                       |
| 110                         | 18.35                       | 19.12                                       |
| 120                         | 11.21                       | 22.69                                       |
| 130                         | 5.10                        | 25.29                                       |
| 133                         | 0                           | 27.50                                       |

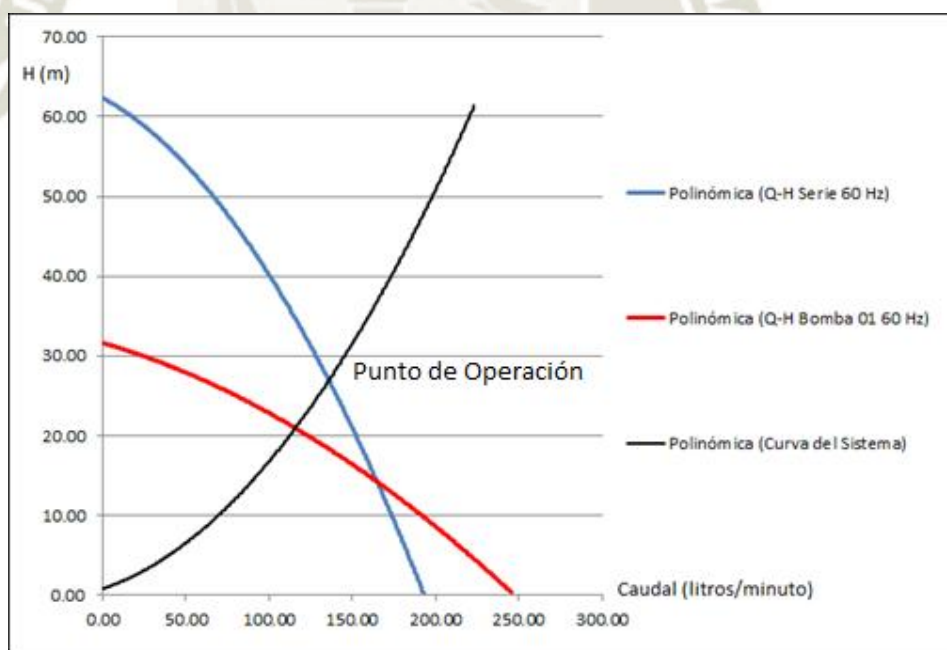


Figura 39. Curva Q-H real, curva Q-H catálogo y curva del sistema para circuito en serie a 60 Hz. (Fuente: Elaboración propia)

Con la altura de bomba y el caudal, se puede determinar la potencia hidráulica, a su vez también se halla la potencia eléctrica:

Tabla 9. Potencia eléctrica y potencia hidráulica para circuito en serie a 60 Hz.  
(Fuente: Elaboración propia)

| Caudal Q<br>(litros/minuto) | Potencia Hidráulica<br>(KW) | Potencia Eléctrica<br>(KW) | Eficiencia<br>% |
|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------|
| 0                           | 0.00                        | 1.40                       | 0%              |
| 10                          | 0.10                        | 1.52                       | 7%              |
| 20                          | 0.19                        | 1.59                       | 12%             |
| 30                          | 0.28                        | 1.65                       | 17%             |
| 40                          | 0.36                        | 1.74                       | 21%             |
| 50                          | 0.45                        | 1.83                       | 24%             |
| 60                          | 0.51                        | 1.89                       | 27%             |
| 70                          | 0.56                        | 1.95                       | 29%             |
| 80                          | 0.61                        | 2.01                       | 30%             |
| 90                          | 0.64                        | 2.13                       | 30%             |
| 100                         | 0.67                        | 2.19                       | 31%             |
| 110                         | 0.67                        | 2.26                       | 30%             |
| 120                         | 0.67                        | 2.29                       | 29%             |
| 130                         | 0.65                        | 2.32                       | 28%             |
| 133                         | 0.60                        | 2.38                       | 25%             |

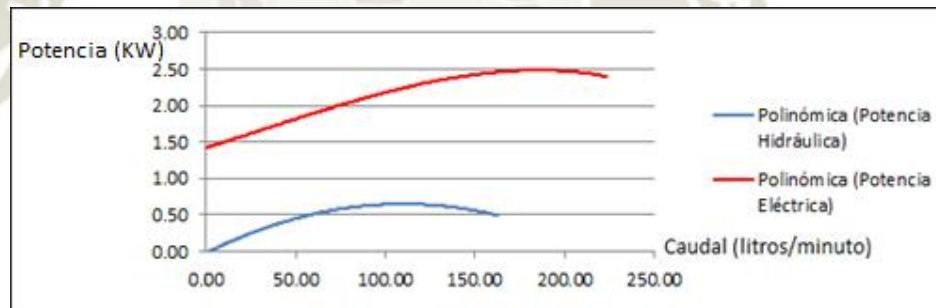


Figura 40. Curva de potencia hidráulica y potencia eléctrica para circuito en serie a 60 Hz. (Fuente: Elaboración propia)

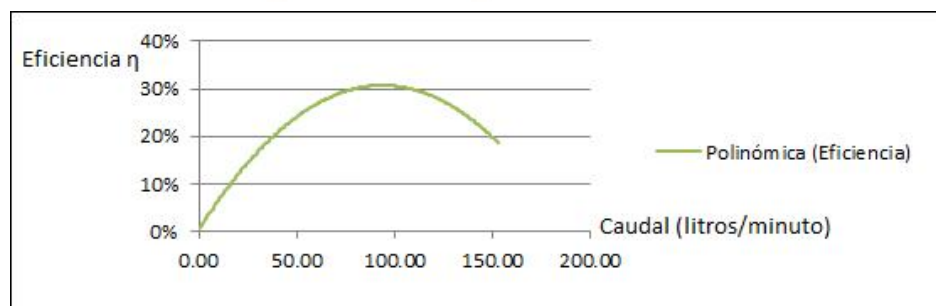


Figura 41. Curva del rendimiento para circuito en serie a 60 Hz  
(Fuente; Elaboración propia)

### 4.3.3 Circuito en Paralelo

Los datos recopilados para el trabajo de una sola bomba trabajando a 60 Hz fueron los siguientes:

Tabla 10. *Lecturas de caudal, presión e intensidad de corriente para circuito en paralelo a 60 Hz. (Fuente: Elaboración propia)*

| Caudal Q<br>(litros/minuto) | P <sub>Descarga B1</sub><br>(bar) | P <sub>Descarga B2</sub><br>(bar) | P <sub>Control</sub><br>(bar) | Intensidad de<br>Corriente 1<br>(Amp.) | Intensidad de<br>Corriente 2<br>(Amp.) |
|-----------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|
| 0                           | 2.90                              | 2.90                              | 2.90                          | 2.30                                   | 2.30                                   |
| 20                          | 2.90                              | 2.80                              | 2.80                          | 2.50                                   | 2.40                                   |
| 40                          | 2.80                              | 2.70                              | 2.60                          | 2.60                                   | 2.50                                   |
| 60                          | 2.70                              | 2.60                              | 2.50                          | 2.70                                   | 2.60                                   |
| 80                          | 2.60                              | 2.50                              | 2.30                          | 2.80                                   | 2.80                                   |
| 100                         | 2.60                              | 2.50                              | 2.00                          | 2.90                                   | 2.90                                   |
| 120                         | 2.40                              | 2.40                              | 1.60                          | 3.00                                   | 3.10                                   |
| 140                         | 2.30                              | 2.30                              | 1.20                          | 3.10                                   | 3.20                                   |
| 160                         | 2.20                              | 2.10                              | 0.70                          | 3.20                                   | 3.30                                   |
| 180                         | 2.00                              | 2.00                              | 0.00                          | 3.30                                   | 3.40                                   |

Luego, con la ecuación de Bernoulli se halla la altura dinámica total ( $H_B$ ) y se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 11. *Cálculo de la altura de presión, altura de velocidad, altura de pérdidas y la altura dinámica total  $H_B$  para circuito en paralelo a 60 Hz. (Fuente: Elaboración propia)*

| Caudal Q<br>(litros/minuto) | Altura de Presión<br>(m) | Altura de<br>velocidad<br>(m) | Altura de<br>Pérdidas<br>(m) | HB<br>(m) |
|-----------------------------|--------------------------|-------------------------------|------------------------------|-----------|
| 0                           | 29.56                    | 0.00                          | 0.00                         | 29.83     |
| 20                          | 29.05                    | 0.02                          | 0.12                         | 29.46     |
| 40                          | 28.03                    | 0.07                          | 0.22                         | 28.60     |
| 60                          | 27.01                    | 0.16                          | 0.38                         | 27.82     |
| 80                          | 25.99                    | 0.28                          | 0.60                         | 27.14     |
| 100                         | 25.99                    | 0.44                          | 0.88                         | 27.58     |
| 120                         | 24.46                    | 0.64                          | 1.20                         | 26.57     |
| 140                         | 23.45                    | 0.87                          | 1.59                         | 26.17     |
| 160                         | 21.92                    | 1.13                          | 2.03                         | 25.35     |
| 180                         | 20.39                    | 1.43                          | 2.53                         | 24.62     |

Luego, la curva del sistema:

Tabla 12. *Cálculo de la curva del sistema para circuito en serie a 60 Hz.*  
(Fuente: *Elaboración propia*)

| Caudal Q<br>(litros/minuto) | $P_{Control}$<br>(m) | $H_B - P_{Control}$<br>(m) |
|-----------------------------|----------------------|----------------------------|
| 0                           | 29.56                | 0.27                       |
| 20                          | 28.54                | 0.92                       |
| 40                          | 26.50                | 2.09                       |
| 60                          | 25.48                | 2.34                       |
| 80                          | 23.45                | 3.70                       |
| 100                         | 20.39                | 7.19                       |
| 120                         | 16.31                | 10.26                      |
| 140                         | 12.23                | 13.94                      |
| 160                         | 7.14                 | 18.22                      |
| 180                         | 0.00                 | 24.62                      |

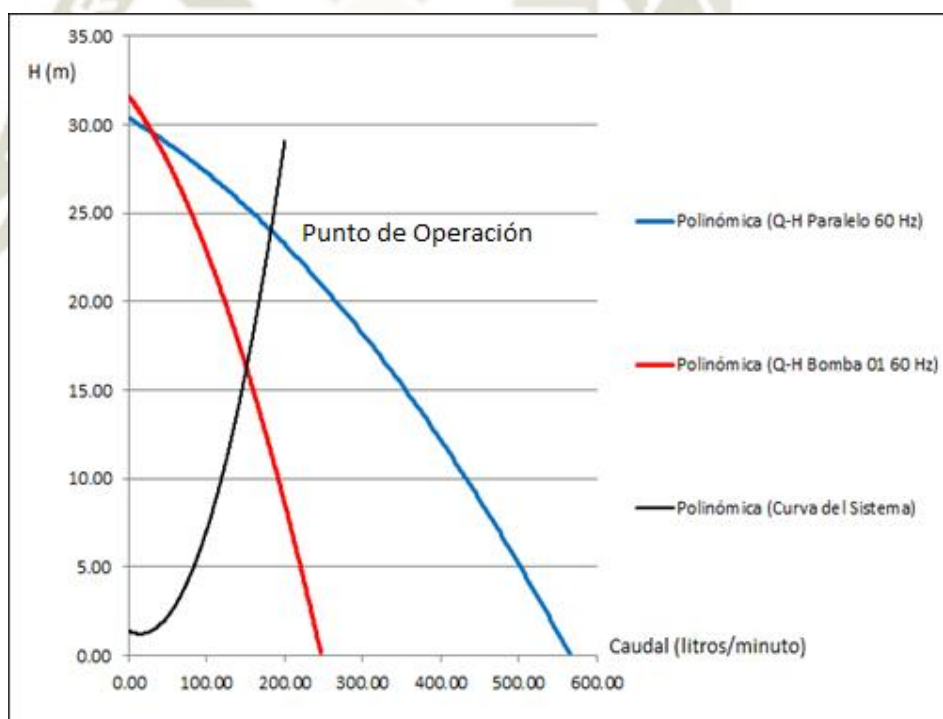


Figura 42. Curva Q-H real, curva Q-H catálogo y curva del sistema para circuito en paralelo a 60 Hz. (Fuente: *Elaboración propia*)

Con la altura de bomba y el caudal, se puede determinar la potencia hidráulica, a su vez también se halla la potencia eléctrica:

Tabla 13. *Potencia eléctrica y potencia hidráulica para circuito en paralelo a 60 Hz. (Fuente: Elaboración propia)*

| Caudal Q<br>(litros/minuto) | Potencia Hidráulica<br>(KW) | Potencia Eléctrica<br>(KW) | Eficiencia<br>% |
|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------|
| 0                           | 0.00                        | 1.40                       | 0%              |
| 20                          | 0.10                        | 1.49                       | 6%              |
| 40                          | 0.19                        | 1.55                       | 12%             |
| 60                          | 0.27                        | 1.62                       | 17%             |
| 80                          | 0.36                        | 1.71                       | 21%             |
| 100                         | 0.45                        | 1.77                       | 26%             |
| 120                         | 0.52                        | 1.86                       | 28%             |
| 140                         | 0.60                        | 1.92                       | 31%             |
| 160                         | 0.66                        | 1.98                       | 33%             |
| 180                         | 0.72                        | 2.04                       | 35%             |

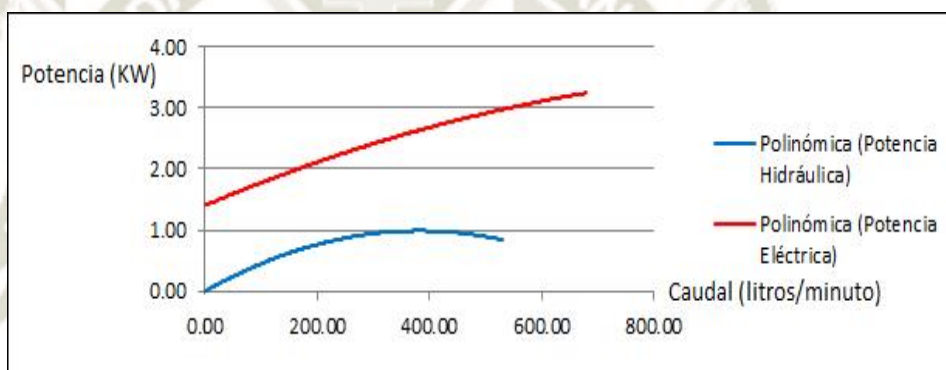


Figura 43. Curva de potencia hidráulica y potencia eléctrica para circuito en paralelo a 60 Hz.  
(Fuente: Elaboración propia)

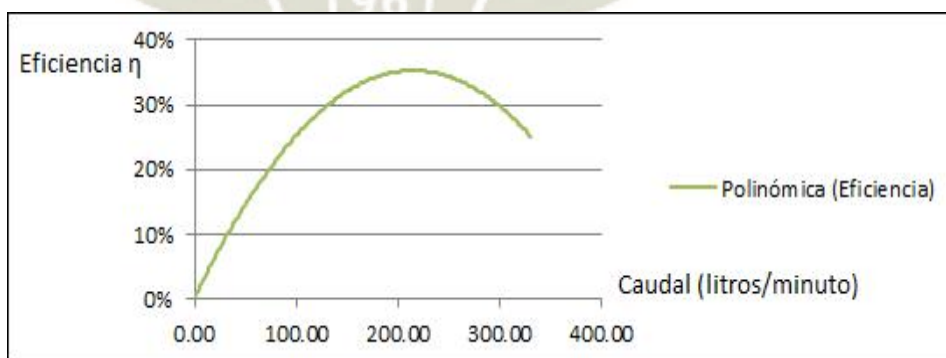


Figura 44. Curva del rendimiento para un circuito en paralelo a 60 Hz  
(Fuente; Elaboración propia)

## 4.4 GUÍAS PRÁCTICAS

### 4.4.1 Determinación de las Experiencias

De acuerdo a la experiencia directa con el banco de pruebas se ha visto por conveniente realizar los siguientes tipos de experiencias y agruparlas de la siguiente manera:

- Determinación de las curvas Q-H a velocidades variables configurando el circuito para trabajo de una sola bomba.
- Determinación de las curvas características de la bomba para las configuraciones de trabajo individual, serie y paralelo.

### 4.4.2 Objetivos

Se plantearon los siguientes objetivos, los cuales los usuarios deberán alcanzar al concluir las experiencias.

- Para la primera experiencia, se plantea dos objetivos:
  - a) Graficar las curvas Q-H a distintas velocidades del motor eléctrico.
  - b) Reconocer, mediante la práctica, como se comporta la curva Q-H a medida que se varía la velocidad del motor.
- Para la segunda experiencia
  - a) Graficar las curvas características de la bomba centrífuga para sus diferentes configuraciones de trabajo (individual, serie y paralelo).
  - b) Determinar, de manera práctica, la curva del sistema, calculando las pérdidas del sistema con la lectura directa de los manómetros, a medida que el caudal varía.

### 4.4.3 Fundamento teórico

El fundamento teórico utilizado para estas experiencias, está contenido en la presente tesis, dentro de las que tenemos:

- Ecuación de Bernoulli.
- Curvas características de una bomba centrífuga.
- Leyes de afinidad.
- Regulación del caudal a velocidad variable.

#### 4.4.4 Procedimiento

- Para la primera experiencia es necesario seguir el siguiente procedimiento:
  - Conectar el banco de pruebas de bombas centrífugas a un tomacorriente con voltaje de 220 VAC.
  - Encender el banco de pruebas con la llave general y la llave para energizar el tablero eléctrico.
  - Verificar las válvulas hidráulicas dependiendo el tipo de circuito en el que se desean hacer las pruebas: Cerrar las válvulas: válvula auxiliar de succión, válvula auxiliar de descarga de la bomba 01, válvula de descarga de la bomba 02.
  - Abrir la válvula de descarga de la bomba 01.
  - Revisar la frecuencia a la cual se van a realizar las pruebas en el variador de velocidad 1, se recomienda empezar en 60 Hz e ir bajando 10% cada vez la velocidad, una vez establecida la velocidad dar arranque a la bomba 01 (con el botón start del variador o con la botonera correspondiente).
  - Cerrar o abrir la válvula de control hasta encontrar el caudal requerido.
- Para la segunda experiencia, se procederá de la siguiente manera
  - Conectar el banco de pruebas de bombas centrífugas a un tomacorriente con voltaje de 220 VAC.
  - Encender el banco de pruebas con la llave general y la llave para energizar el tablero eléctrico.
  - Verificar las válvulas hidráulicas dependiendo el tipo de circuito en el que se desean hacer las pruebas:

Para una bomba

- Cerrar las válvulas: válvula auxiliar de succión, válvula auxiliar de descarga de la bomba 01, válvula de descarga de la bomba 02.
- Abrir la válvula de descarga de la bomba 01.
- Revisar la frecuencia a la cual se van a realizar las pruebas en el variador de velocidad 1 y dar arranque a la bomba 01 (con el botón start del variador o con la botonera correspondiente).
- Cerrar o abrir la válvula de control hasta encontrar el caudal requerido.

Circuito en serie:

- Cerrar las válvulas: válvula auxiliar de succión, válvula de descarga de la bomba 01.
- Abrir las válvulas: válvula auxiliar de descarga de la bomba 01 y válvula de descarga de la bomba 02.
- Revisar la frecuencia a la cual se van a realizar las pruebas en los variadores de velocidad y dar arranque a la bomba 01 y seguidamente a la bomba 02 (con el botón start del variador o con la botonera correspondiente).
- Cerrar o abrir la válvula de control hasta encontrar el caudal requerido.

Circuito en Paralelo

- Cerrar la válvula auxiliar de descarga de la bomba 01.
- Abrir las válvulas: Válvula auxiliar de succión, válvula de descarga de la bomba 01 y válvula de descarga de la bomba 02.
- Revisar la frecuencia a la cual se van a realizar las pruebas en los variadores de velocidad y dar arranque a la bomba 01 y seguidamente a la bomba 02 (con el botón start del variador o con la botonera correspondiente).
- Cerrar o abrir la válvula de control hasta encontrar el caudal requerido.

Para todas las configuraciones trabajar con las bombas a 60 HZ., tomar lectura en los manómetros de descarga de las bombas y del manómetro de control.

#### 4.4.5 Resultados

Los resultados se presentaran de manera tabulada indicando las lecturas tomadas desde un caudal 0 litros/min (válvula de control totalmente cerrada) hasta el caudal máximo que ofrezcan las bombas (llave de control totalmente abierta), estos resultados deberán ser también graficados con ayuda de Microsoft Excel.

- Para la primera experiencia, usar la teoría de la ecuación de Bernoulli para poder hallar así la carga total dinámica o altura de bombeo.
- Para la segunda experiencia, usar la teoría de la ecuación de Bernoulli, configuraciones de circuitos hidráulicos para bombas centrífugas y la teoría de curva del sistema.

## Guía Práctica N° 1

### Determinación de las curvas Q-H a velocidades variables configurando el circuito para trabajo de una sola bomba.

#### 1. Objetivos:

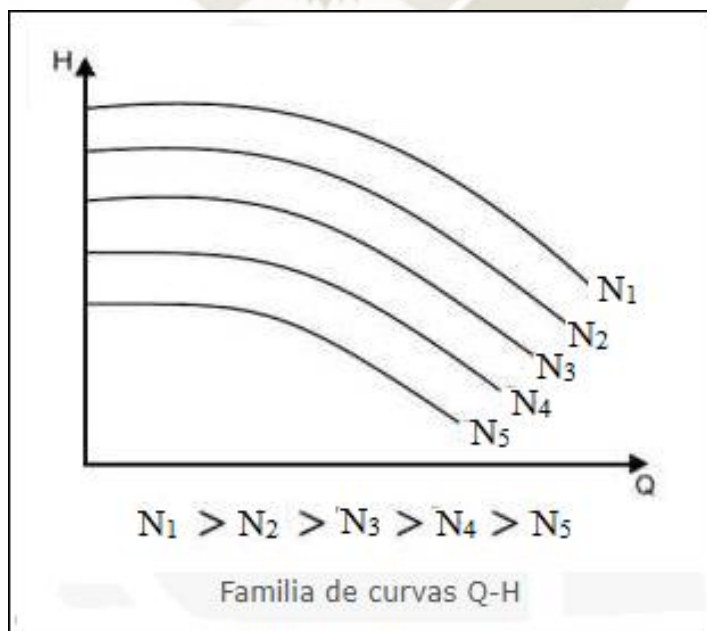
- Graficar las curvas Q-H a distintas velocidades del motor eléctrico.
- Reconocer, mediante la práctica, como se comporta la curva Q-H a medida que se varía la velocidad del motor.

#### 2. Fundamento Teórico

##### Ecuación de Bernoulli

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + z_1 + H_B = h_f + \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + z_2$$

##### Curvas Q-H a diferentes Velocidades



### 3. Procedimiento

- Conectar el banco de pruebas de bombas centrífugas a un tomacorriente con voltaje de 220 VAC.
- Encender el banco de pruebas con la llave general y la llave para energizar el tablero eléctrico.
- Verificar las válvulas hidráulicas dependiendo el tipo de circuito en el que se desean hacer las pruebas: Cerrar las válvulas: válvula auxiliar de succión, válvula auxiliar de descarga de la bomba 01, válvula de descarga de la bomba 02.
- Abrir la válvula de descarga de la bomba 01.
- Revisar la frecuencia a la cual se van a realizar las pruebas en el variador de velocidad 1, se recomienda empezar en 60 Hz e ir bajando 10% cada vez la velocidad, una vez establecida la velocidad dar arranque a la bomba 01 (con el botón start del variador o con la botonera correspondiente)
- Cerrar o abrir la válvula de control hasta encontrar el caudal requerido.

### 4. Altura dinámica total o Altura de Bomba

| Caudal Q<br>(l/min) | H <sub>B</sub> 60 Hz<br>(m) | H <sub>B</sub> 54 Hz<br>(m) | H <sub>B</sub> 48 Hz<br>(m) | H <sub>B</sub> 42 Hz<br>(m) | H <sub>B</sub> 36 Hz<br>(m) | H <sub>B</sub> 30 Hz<br>(m) |
|---------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 0                   |                             |                             |                             |                             |                             |                             |
| 10                  |                             |                             |                             |                             |                             |                             |
| 20                  |                             |                             |                             |                             |                             |                             |
| 30                  |                             |                             |                             |                             |                             |                             |
| 40                  |                             |                             |                             |                             |                             |                             |
| 50                  |                             |                             |                             |                             |                             |                             |
| 60                  |                             |                             |                             |                             |                             |                             |
| 70                  |                             |                             |                             |                             |                             |                             |
| 80                  |                             |                             |                             |                             |                             |                             |
| 90                  |                             |                             |                             |                             |                             |                             |
| 100                 |                             |                             |                             |                             |                             |                             |
| 110                 |                             |                             |                             |                             |                             |                             |

## Guía Práctica N°2

### Determinación de las curvas características de la bomba para las configuraciones de trabajo individual, serie y paralelo.

#### 1. Objetivos:

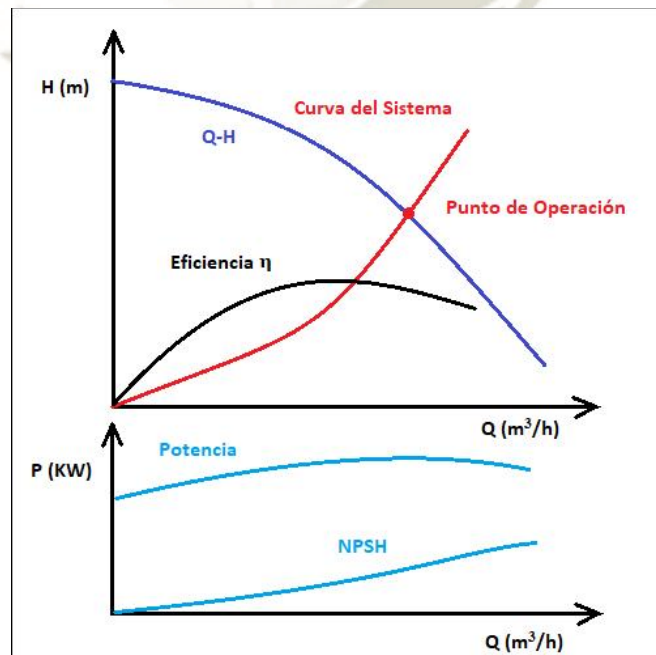
- Graficar las curvas características de la bomba centrífuga para sus diferentes configuraciones de trabajo (individual, serie y paralelo)
- Determinar, de manera práctica, la curva del sistema, calculando las pérdidas del sistema con la lectura directa de los manómetros, a medida que el caudal varía.

#### 2. Fundamento Teórico

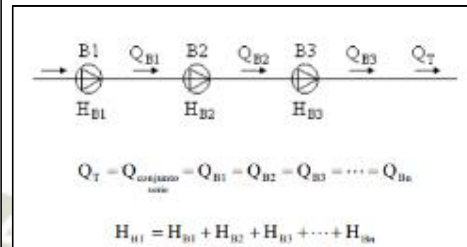
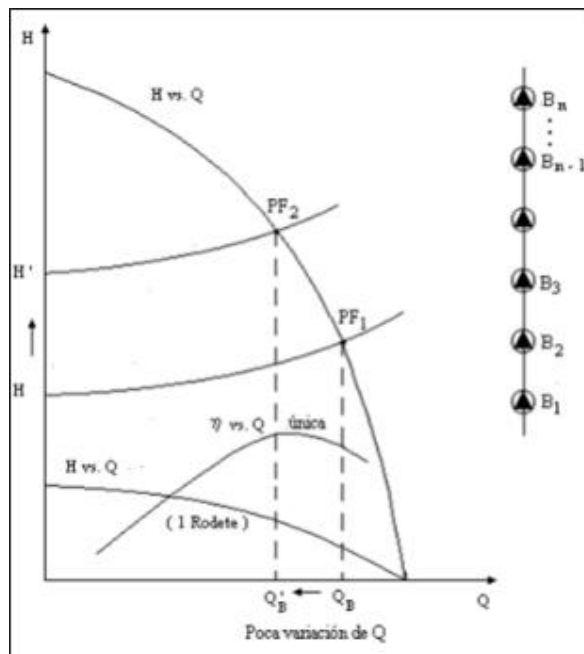
##### Ecuación de Bernoulli

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + z_1 + H_B = h_f + \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + z_2$$

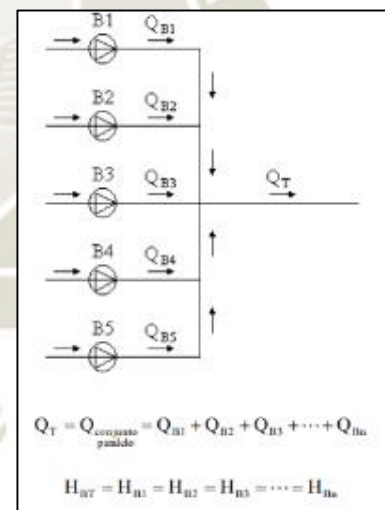
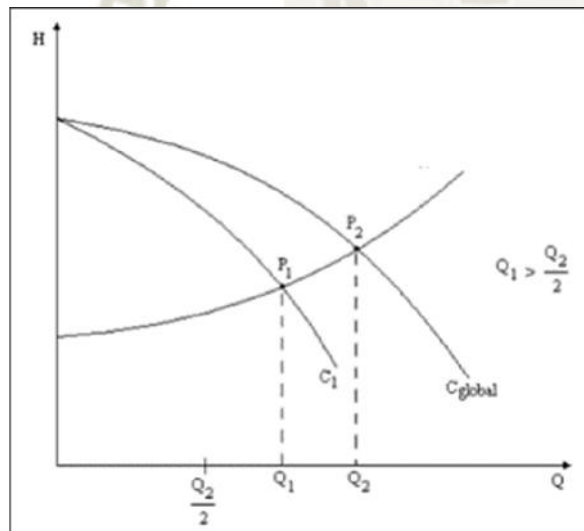
##### Curvas Características de las bombas centrífugas



### Configuración Serie



### Configuración Paralelo



### 3. Procedimiento

- Conectar el banco de pruebas de bombas centrífugas a un tomacorriente con voltaje de 220 VAC.
- Encender el banco de pruebas con la llave general y la llave para energizar el tablero eléctrico.

- Verificar las válvulas hidráulicas dependiendo el tipo de circuito en el que se desean hacer las pruebas:

- **Para una bomba**

- Cerrar las válvulas: válvula auxiliar de succión, válvula auxiliar de descarga de la bomba 01, válvula de descarga de la bomba 02.
- Abrir la válvula de descarga de la bomba 01.
- Revisar la frecuencia a la cual se van a realizar las pruebas en el variador de velocidad 1 y dar arranque a la bomba 01 (con el botón start del variador o con la botonera correspondiente)
- Cerrar o abrir la válvula de control hasta encontrar el caudal requerido.

- **Circuito en serie:**

- Cerrar las válvulas: válvula auxiliar de succión, válvula de descarga de la bomba 01
- Abrir las válvulas: válvula auxiliar de descarga de la bomba 01 y válvula de descarga de la bomba 02.
- Revisar la frecuencia a la cual se van a realizar las pruebas en los variadores de velocidad y dar arranque a la bomba 01 y seguidamente a la bomba 02 (con el botón start del variador o con la botonera correspondiente)
- Cerrar o abrir la válvula de control hasta encontrar el caudal requerido.

- **Circuito en Paralelo**

- Cerrar la válvula auxiliar de descarga de la bomba 01
- Abrir las válvulas: Válvula auxiliar de succión, válvula de descarga de la bomba 01 y válvula de descarga de la bomba 02
- Revisar la frecuencia a la cual se van a realizar las pruebas en los variadores de velocidad y dar arranque a la bomba 01 y seguidamente a la bomba 02 (con el botón start del variador o con la botonera correspondiente)
- Cerrar o abrir la válvula de control hasta encontrar el caudal requerido.

Para todas las configuraciones trabajar con las bombas a 60 HZ., tomar lectura en los manómetros de descarga de las bombas y del manómetro de control.

#### 4. Curvas Características

##### ▪ Para una bomba

Tomar los datos necesarios para el cálculo de la curva QH, anotarlos en la siguiente tabla:

| Caudal Q<br>(litros/minuto) | P <sub>Descarga</sub><br>(bar) | P <sub>Control</sub><br>(bar) | Intensidad de Corriente<br>(Amp.) |
|-----------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|
| 0                           |                                |                               |                                   |
| 10                          |                                |                               |                                   |
| 20                          |                                |                               |                                   |
| 30                          |                                |                               |                                   |
| 40                          |                                |                               |                                   |
| 50                          |                                |                               |                                   |
| 60                          |                                |                               |                                   |
| 70                          |                                |                               |                                   |
| 80                          |                                |                               |                                   |
| 90                          |                                |                               |                                   |
| 100                         |                                |                               |                                   |
| 110                         |                                |                               |                                   |

Utilizando la Ecuación de Bernoulli, calcular las alturas de presión, velocidad y Pérdidas para luego hallar la altura de bomba.

| Caudal Q<br>(litros/minuto) | Altura de<br>Presión<br>(m) | Altura de<br>velocidad<br>(m) | Altura de<br>Pérdidas<br>(m) | H <sub>B</sub><br>(m) |
|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|------------------------------|-----------------------|
| 0                           |                             |                               |                              |                       |
| 10                          |                             |                               |                              |                       |
| 20                          |                             |                               |                              |                       |
| 30                          |                             |                               |                              |                       |
| 40                          |                             |                               |                              |                       |
| 50                          |                             |                               |                              |                       |
| 60                          |                             |                               |                              |                       |
| 70                          |                             |                               |                              |                       |
| 80                          |                             |                               |                              |                       |
| 90                          |                             |                               |                              |                       |
| 100                         |                             |                               |                              |                       |
| 110                         |                             |                               |                              |                       |

Calcular la curva del Sistema.

| Caudal Q<br>(litros/minuto) | $P_{Control}$<br>(m) | $H_B - P_{Control}$<br>(m) |
|-----------------------------|----------------------|----------------------------|
| 0                           |                      |                            |
| 10                          |                      |                            |
| 20                          |                      |                            |
| 30                          |                      |                            |
| 40                          |                      |                            |
| 50                          |                      |                            |
| 60                          |                      |                            |
| 70                          |                      |                            |
| 80                          |                      |                            |
| 90                          |                      |                            |
| 100                         |                      |                            |
| 110                         |                      |                            |

Calcular la potencia Eléctrica, Potencia Hidráulica y Eficiencia de las bombas.

| Caudal Q<br>(litros/minuto) | Potencia Hidráulica<br>(KW) | Potencia Eléctrica<br>(KW) | Eficiencia |
|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|------------|
| 0                           |                             |                            |            |
| 10                          |                             |                            |            |
| 20                          |                             |                            |            |
| 30                          |                             |                            |            |
| 40                          |                             |                            |            |
| 50                          |                             |                            |            |
| 60                          |                             |                            |            |
| 70                          |                             |                            |            |
| 80                          |                             |                            |            |
| 90                          |                             |                            |            |
| 100                         |                             |                            |            |
| 110                         |                             |                            |            |

Con los resultados obtenidos, graficar las curvas características de las bombas centrífugas.

▪ **Circuito en Serie**

| <b>Caudal Q</b>        | <b>P<sub>Descarga</sub></b> | <b>P<sub>Control</sub></b> | <b>Intensidad de Corriente 1</b> | <b>Intensidad de Corriente 2</b> |
|------------------------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| <b>(litros/minuto)</b> | <b>(bar)</b>                | <b>(bar)</b>               | <b>(Amp.)</b>                    | <b>(Amp.)</b>                    |
| 0                      |                             |                            |                                  |                                  |
| 10                     |                             |                            |                                  |                                  |
| 20                     |                             |                            |                                  |                                  |
| 30                     |                             |                            |                                  |                                  |
| 40                     |                             |                            |                                  |                                  |
| 50                     |                             |                            |                                  |                                  |
| 60                     |                             |                            |                                  |                                  |
| 70                     |                             |                            |                                  |                                  |
| 80                     |                             |                            |                                  |                                  |
| 90                     |                             |                            |                                  |                                  |
| 100                    |                             |                            |                                  |                                  |
| 110                    |                             |                            |                                  |                                  |
| 120                    |                             |                            |                                  |                                  |
| 130                    |                             |                            |                                  |                                  |
| 140                    |                             |                            |                                  |                                  |
|                        |                             |                            |                                  |                                  |

Calcular las alturas de presión, velocidad y Pérdidas para luego hallar la altura de bomba.

| <b>Caudal Q</b>        | <b>Altura de Presión</b> | <b>Altura de velocidad</b> | <b>Altura de Pérdidas</b> | <b>H<sub>B</sub></b> |
|------------------------|--------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------|
| <b>(litros/minuto)</b> | <b>(m)</b>               | <b>(m)</b>                 | <b>(m)</b>                | <b>(m)</b>           |
| 0                      |                          |                            |                           |                      |
| 10                     |                          |                            |                           |                      |
| 20                     |                          |                            |                           |                      |
| 30                     |                          |                            |                           |                      |
| 40                     |                          |                            |                           |                      |
| 50                     |                          |                            |                           |                      |
| 60                     |                          |                            |                           |                      |
| 70                     |                          |                            |                           |                      |
| 80                     |                          |                            |                           |                      |
| 90                     |                          |                            |                           |                      |
| 100                    |                          |                            |                           |                      |
| 110                    |                          |                            |                           |                      |
| 120                    |                          |                            |                           |                      |
| 130                    |                          |                            |                           |                      |
| 140                    |                          |                            |                           |                      |
|                        |                          |                            |                           |                      |

Calcular la curva del Sistema.

| Caudal Q<br>(litros/minuto) | $P_{Control}$<br>(m) | $H_B - P_{Control}$<br>(m) |
|-----------------------------|----------------------|----------------------------|
| 0                           |                      |                            |
| 10                          |                      |                            |
| 20                          |                      |                            |
| 30                          |                      |                            |
| 40                          |                      |                            |
| 50                          |                      |                            |
| 60                          |                      |                            |
| 70                          |                      |                            |
| 80                          |                      |                            |
| 90                          |                      |                            |
| 100                         |                      |                            |
| 110                         |                      |                            |
| 120                         |                      |                            |
| 130                         |                      |                            |
| 140                         |                      |                            |
|                             |                      |                            |

Calcular la potencia Eléctrica, Potencia Hidráulica y Eficiencia de las bombas.

| Caudal Q<br>(litros/minuto) | Potencia Hidráulica<br>(KW) | Potencia Eléctrica<br>(KW) | Eficiencia |
|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|------------|
| 0                           |                             |                            |            |
| 10                          |                             |                            |            |
| 20                          |                             |                            |            |
| 30                          |                             |                            |            |
| 40                          |                             |                            |            |
| 50                          |                             |                            |            |
| 60                          |                             |                            |            |
| 70                          |                             |                            |            |
| 80                          |                             |                            |            |
| 90                          |                             |                            |            |
| 100                         |                             |                            |            |
| 110                         |                             |                            |            |
| 120                         |                             |                            |            |
| 130                         |                             |                            |            |
| 140                         |                             |                            |            |
|                             |                             |                            |            |

Con los resultados obtenidos, graficar las curvas características de las bombas centrífugas.

▪ **Circuito en Paralelo**

| Caudal Q<br>(litros/minuto) | P <sub>Descarga</sub><br>(bar) | P <sub>Control</sub><br>(bar) | Intensidad de<br>Corriente 1<br>(Amp.) | Intensidad de<br>Corriente 2<br>(Amp.) |
|-----------------------------|--------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|
| 0                           |                                |                               |                                        |                                        |
| 20                          |                                |                               |                                        |                                        |
| 40                          |                                |                               |                                        |                                        |
| 60                          |                                |                               |                                        |                                        |
| 80                          |                                |                               |                                        |                                        |
| 100                         |                                |                               |                                        |                                        |
| 120                         |                                |                               |                                        |                                        |
| 140                         |                                |                               |                                        |                                        |
| 160                         |                                |                               |                                        |                                        |
| 180                         |                                |                               |                                        |                                        |
|                             |                                |                               |                                        |                                        |

Calcular las alturas de presión, velocidad y Pérdidas para luego hallar la altura de bomba.

| Caudal Q<br>(litros/minuto) | Altura de<br>Presión<br>(m) | Altura de<br>velocidad<br>(m) | Altura de<br>Pérdidas<br>(m) | H <sub>B</sub><br>(m) |
|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|------------------------------|-----------------------|
| 0                           |                             |                               |                              |                       |
| 20                          |                             |                               |                              |                       |
| 40                          |                             |                               |                              |                       |
| 60                          |                             |                               |                              |                       |
| 80                          |                             |                               |                              |                       |
| 100                         |                             |                               |                              |                       |
| 120                         |                             |                               |                              |                       |
| 140                         |                             |                               |                              |                       |
| 160                         |                             |                               |                              |                       |
| 180                         |                             |                               |                              |                       |
|                             |                             |                               |                              |                       |

Calcular la curva del Sistema.

| Caudal Q<br>(litros/minuto) | $P_{Control}$<br>(m) | $H_B - P_{Control}$<br>(m) |
|-----------------------------|----------------------|----------------------------|
| 0                           |                      |                            |
| 20                          |                      |                            |
| 40                          |                      |                            |
| 60                          |                      |                            |
| 80                          |                      |                            |
| 100                         |                      |                            |
| 120                         |                      |                            |
| 140                         |                      |                            |
| 160                         |                      |                            |
| 180                         |                      |                            |
|                             |                      |                            |

Calcular la potencia Eléctrica, Potencia Hidráulica y Eficiencia de las bombas.

| Caudal Q<br>(litros/minuto) | Potencia Hidráulica<br>(KW) | Potencia Eléctrica<br>(KW) | Eficiencia |
|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|------------|
| 0                           |                             |                            |            |
| 20                          |                             |                            |            |
| 40                          |                             |                            |            |
| 60                          |                             |                            |            |
| 80                          |                             |                            |            |
| 100                         |                             |                            |            |
| 120                         |                             |                            |            |
| 140                         |                             |                            |            |
| 160                         |                             |                            |            |
| 180                         |                             |                            |            |
|                             |                             |                            |            |

Con los resultados obtenidos, graficar las curvas características de las bombas centrífugas.

## CAPÍTULO VI COSTOS

### 1. DEFINICIONES

La palabra costo representa el dinero o el equivalente que se entrega a alguien para adquirir bienes y generar un beneficio futuro. Haciendo un flujo de caja, los bienes, se ubican dentro de los activos. Los gastos, a su vez, se definen como los desembolsos de dinero que pueden expresarse en términos monetarios que generan un beneficio y tienen como característica verse reflejado en el estado de resultado.

Los costos de producción y/o de servicios son distribuciones de recursos económicos incurridos y aplicados en la operación de un proceso, fabricación de un producto o en la prestación de un servicio, con la finalidad de generar ingresos o beneficios en el futuro. Representan la base para el costo de los productos o servicios, el proceso de planeación y control, la evaluación del desempeño y la toma de decisiones gerenciales. A medida que se utilizan estos servicios, los costos, se convierten en gastos. Los gastos, vienen a ser los costos que han producido un beneficio y que han expirado, por ellos lo que se consideran costos del periodo y se llevan al estado de resultado en el periodo en que se incurren. Estos gastos son aplicados en el momento en que se venden los artículos, es decir se asocian directamente en la etapa de ventas. Los costos se agregan a los inventarios de materiales, productos en proceso y productos terminados. Son catalogados como activos en el balance general y son llevados al estado de resultados a medida que los productos elaborados sean vendidos. (Ccamaque Cuti & Ortega Rimachi, 2016)

### 2. ELEMENTOS DE UN PRODUCTO.

Los elementos del costo de cualquier producto o sus componentes, son los materiales directos, la mano de obra directa y los costos indirectos de fabricación; esta clasificación suministra la información necesaria para la medición del ingreso y la fijación del precio del producto. (Ccamaque Cuti & Ortega Rimachi, 2016)

## 2.1. Materiales:

Los materiales son los principales recursos que se usan en la etapa de producción; estos se transforman en bienes terminados cuando pasan por un proceso de manufactura. (Ccamaque Cuti & Ortega Rimachi, 2016)

Pueden identificarse los siguientes tipos:

- Directos: Son todos aquellos que pueden identificarse en la fabricación de un producto terminado, fácilmente se asocian con éste y representan el principal costo de materiales en la elaboración de un producto.
- Indirectos: Son los que están involucrados en la elaboración de un producto, pero tienen una relevancia relativa frente a los directos.
- Costos Indirectos Varios: estos no pueden ubicarse ni en los materiales indirectos ni en la mano de obra indirecta; las depreciaciones, seguros, el consumo de energía eléctrica, agua, arriendos, impuestos, suministros de mantenimientos, son algunos ejemplos. (Ccamaque Cuti & Ortega Rimachi, 2016)

También se debe tomar en cuenta:

- Costos de mantenimiento: son los correspondientes a mantener los inventarios a lo largo del tiempo. Por lo tanto, estos incluyen también los que se deben a la obsolescencia de los materiales, almacenamiento, seguros, contratación de personal adicional en caso se necesite y el pago de intereses.
- Costos de preparación: son los costes correspondientes a la preparación de una máquina o proceso para elaborar un pedido. Incluyen el tiempo y el trabajo necesarios para limpiar y cambiar herramientas o instrumentos. (Ccamaque Cuti & Ortega Rimachi, 2016)

## 2.2. Mano de obra:

Es el esfuerzo físico o mental empleados para la elaboración de un producto.

- Directa: Es aquella directamente involucrada en la fabricación de un producto terminado, con facilidad se asocia a la elaboración del producto y su costo se ve reflejado en el precio en mayor cuantía.

- Indirecta: Es aquella que no tiene un costo significativo en el momento de la producción del producto, es necesario un mayor análisis para darse cuenta la manera en que se involucra en la elaboración. (Ccamaque Cuti & Ortega Rimachi, 2016)

### 2.3. Costos indirectos de fabricación (CIF):

Los costos indirectos de fabricación son aquellos costos que debe cubrir una fábrica para la manufactura de un producto, aparte de los materiales y la mano de obra directa. (Ccamaque Cuti & Ortega Rimachi, 2016)

## 3. COSTOS UNITARIOS

El costo unitario es el gasto total que incurre una compañía por producir, almacenar y vender una unidad de un producto o servicio en particular. Es un sinónimo del costo de mercancía vendida y del costo de ventas. (Ccamaque Cuti & Ortega Rimachi, 2016)

| Item | Descripción                                                        | Cantidad | Costo Unitario (USD) | Costo Total (USD) |
|------|--------------------------------------------------------------------|----------|----------------------|-------------------|
| 1    | Bomba centrífuga Ebara motor 1 hp                                  | 2        | 350.00               | 700.00            |
| 2    | Medidor de caudal                                                  | 1        | 350.00               | 350.00            |
| 3    | Manómetro                                                          | 5        | 48.00                | 240.00            |
| 4    | Válvulas varias                                                    | 1        | 155.00               | 155.00            |
| 5    | Estructura metálica y accesorios codos niples; etc.                | 1        | 629.96               | 629.96            |
| 6    | Interruptor termomagnético tipo riel de 2x16a 20ka a 230v s202-k16 | 1        | 30.77                | 30.77             |
| 7    | Panel metálico para soporte de drive 600x500mm                     | 1        | 53.85                | 53.85             |
| 8    | Panel de control básico – ABB                                      | 2        | 69.23                | 138.46            |
| 9    | Variador de frecuencia - ABB - 1.0hp / 3.9 / 200 - 240v / ip20.    | 2        | 276.92               | 553.85            |
| 10   | Placa de aluminio fotograbado 10x15cmx0.5mm – ALT                  | 7        | 1.54                 | 10.77             |
| 11   | Placa de aluminio fotograbado 50x20x0.5m                           | 3        | 1.54                 | 4.62              |
| 12   | Bornera 6mm2 – siemens                                             | 8        | 3.08                 | 24.62             |
| 13   | Tope final de bornera – siemens                                    | 13       | 3.08                 | 40.00             |
| 14   | Bornera - siemens - 32a 4mm2 8wa1011-1dg11 (18-10awg)              | 2        | 1.54                 | 3.08              |
| 15   | Pernos stoboll 3/16" x 3/4" con tuerca, arandela plana y resión    | 40       | 0.08                 | 3.08              |
| 16   | Cable GPT 16awg color: negro                                       | 80       | 0.31                 | 24.62             |
| 17   | Cable GPT 16awg color: blanco                                      | 20       | 0.31                 | 6.15              |
| 18   | Terminal pin macho redondo 2.5 mm                                  | 1        | 0.04                 | 0.04              |
| 19   | Guardamotor termomagnético 4-6a, IEC                               | 2        | 38.46                | 76.92             |
| 20   | Portalámparas rojo IEC - ge - c/led 230vac 22mm                    | 2        | 9.23                 | 18.46             |
| 21   | Portalámparas verde IEC - ge - c/led 230vac 22mm                   | 2        | 9.23                 | 18.46             |
| 22   | Canaleta ranurada de 25x40x2000mm modelo: LINA                     | 2        | 6.15                 | 12.31             |
| 23   | Pulsador IEC 22mm verde cp1-30g-10                                 | 2        | 7.69                 | 15.38             |
| 24   | Pulsador IEC 22mm rojo cp1-30r-01                                  | 2        | 7.69                 | 15.38             |
| 25   | Socket para relé enchufable base tornillo 12 - 24 vac/vdc          | 2        | 12.31                | 24.62             |
| 26   | Relé enchufable 6a, 24 vdc                                         | 2        | 7.69                 | 15.38             |
| 27   | Contactador tripolar 9a/220v/2.2kw                                 | 2        | 16.92                | 33.85             |
| 28   | Caja vacía 4 agujeros                                              | 1        | 33.85                | 33.85             |
| 29   | Caja vacía 5 agujeros                                              | 1        | 33.85                | 33.85             |
| 30   | Piloto amarillo, 220vac, IEC – abb                                 | 1        | 9.23                 | 9.23              |
| 31   | Interruptor termomagnético tipo riel de 2X2A 10KA a 220V SH202-C2  | 1        | 18.46                | 18.46             |

**COSTO PARCIAL : USD 3,295.00**

**IGV : USD 593.10**

**TOTAL : USD 3,888.1**

## CONCLUSIONES

### **PRIMERA:**

El banco de pruebas de bombas centrífugas, cumple con las características para las que fue diseñado, es de fácil uso y tiene ergonomía para manipularlo.

### **SEGUNDA:**

Los valores obtenidos, usando los datos recopilados y las fórmulas matemáticas para el funcionamiento de bombas centrífugas, son muy similares a los que nos otorga el fabricante en sus manuales.

### **TERCERA:**

Se diseñaron guías prácticas en base a las experiencias realizadas en el banco de pruebas de bombas centrífugas, para que los usuarios tengan una correcta metodología para su uso, toma de datos y cálculos pertinentes.

### **CUARTA:**

Con el diseño y construcción de este módulo de aprendizaje, se cumplirá con la implementación del laboratorio de termofluidos y así los usuarios podrán tener experiencias prácticas similares a experiencias laborales futuras.

### **QUINTA:**

Este módulo garantiza el correcto aprendizaje práctico de los usuarios en los temas contenidos en la presente tesis.

## RECOMENDACIONES

1. Para realizar las pruebas revisar en su totalidad el procedimiento de uso descrito en la presente tesis.
2. Verificar todos equipos de medición (manómetros, caudalímetro y variadores de velocidad) en la toma de datos, para tener mediciones certeras en las pruebas.
3. Mantener el orden y la limpieza para manipular el módulo, ya que se trabaja con agua y energía eléctrica.
4. Para llegar a conocer plenamente las características de las bombas centrifugas, se recomienda a los usuarios descubrir nuevas experiencias que puedan ser implementadas y motivo de estudios posteriores.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ágila D., F.; Calahorrano P., I. (2011). Diseño y construcción de un banco de pruebas para bombas centrífugas conectadas en serie y paralelo. Recuperado el 20 de enero de 2019, de <https://es.slideshare.net/luisizah2013/diseo-y-construccion-de-un-banco-de-prueba-bombas-centrifugas>
- Agüera Soriano, J. (1996) Mecánica de fluidos incompresibles y turbomáquinas hidráulicas; Ed. Ciencia 3, Córdoba, 4ª edición.
- Aguilar T., R. E.; Ventura G., H. Y. (2017). Diseño y construcción de un módulo de laboratorio para el estudio experimental del comportamiento de bombas hidráulicas en serie y paralelo. Recuperado el 2019, de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/4671>
- Correa H., A. (2016). Proyecto de banco de pruebas para bombas centrífugas. Recuperado el 18 de enero de 2019, de <https://ruc.udc.es/dspace/handle/2183/17661>
- Crane (1992) Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías. Preparado para la división de ingeniería de CRANE. Editorial Mc Graw-Hill. México. 1ª edición.
- Pfleiderer, C. (2009). Bombas Centrífugas y Turbocompresores (2 ed.). Barcelona: Labor S.A.
- Hermetic-Pumpen GmbH. (2010). Mecánica hidráulica, Recuperado el 12 de enero del 2019 de: [https://www.hermetic-pumpen.com/system/assets/405/Info\\_NPSH\\_ES\\_08\\_2010.pdf](https://www.hermetic-pumpen.com/system/assets/405/Info_NPSH_ES_08_2010.pdf).
- Kenneth, J., y cols. (1988) Bombas. Selección, uso y mantenimiento. Editorial Mc Graw-Hill. México. 1ª edición.
- Mataix, C. (1986) Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas; Ediciones del Castillo, Madrid, 2ª edición
- Mataix, C; (1975) Turbomáquinas hidráulicas; Ed. ICAI, Madrid

Mendoza, E., & Villanueva, L. (1982). Bombas Hidraulicas. Lima: Editorial e Imprenta Liberacion S.A.

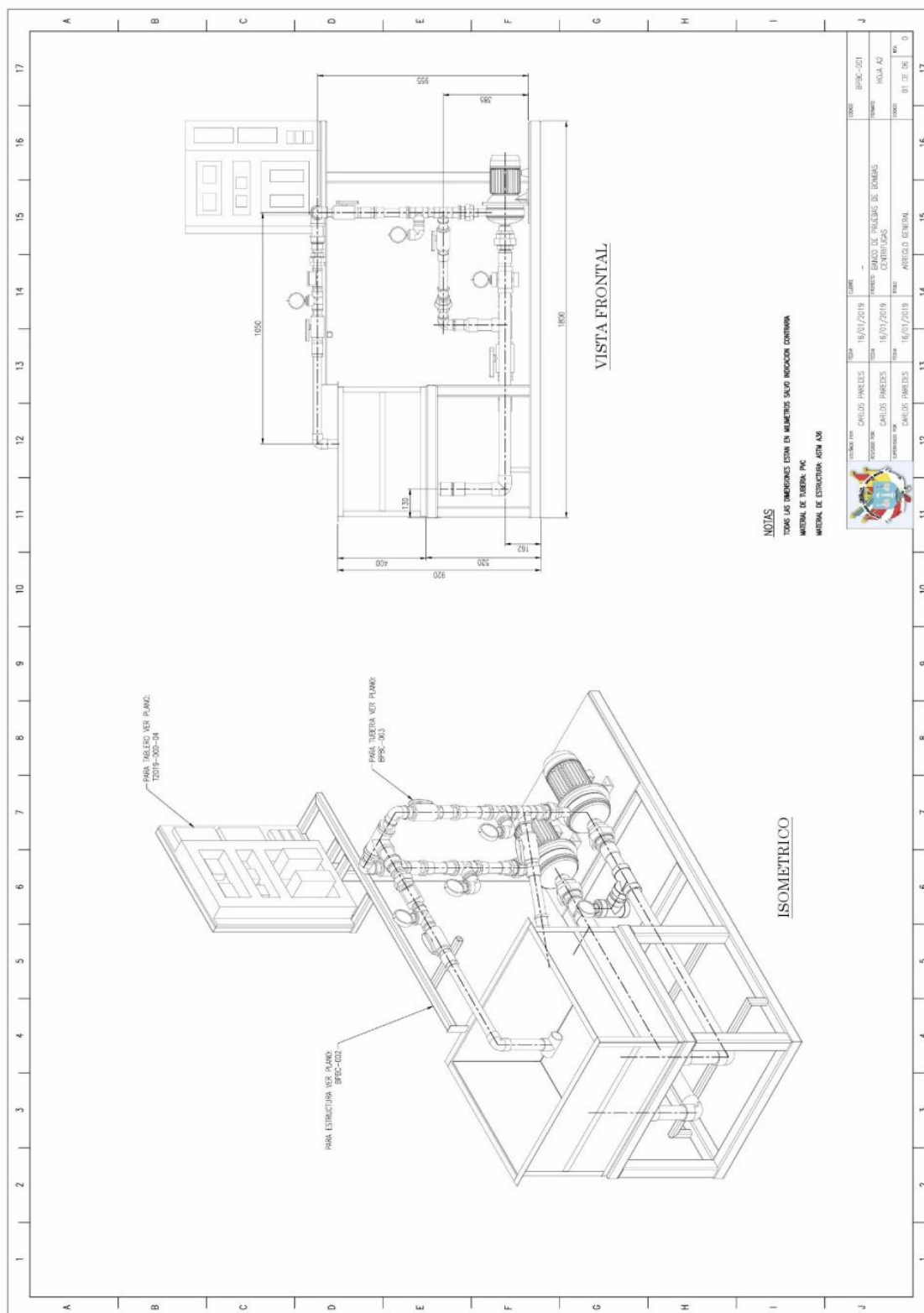
Mott, Robert y cols. (1996) Mecánica de fluidos aplicada. Editorial: Prentice-Hall Hispanoamericana. México.

Viejo, M.; Álvarez, J. (2012). Bombas: Teoría, diseño y aplicaciones. Ciudad de México: Limusa.

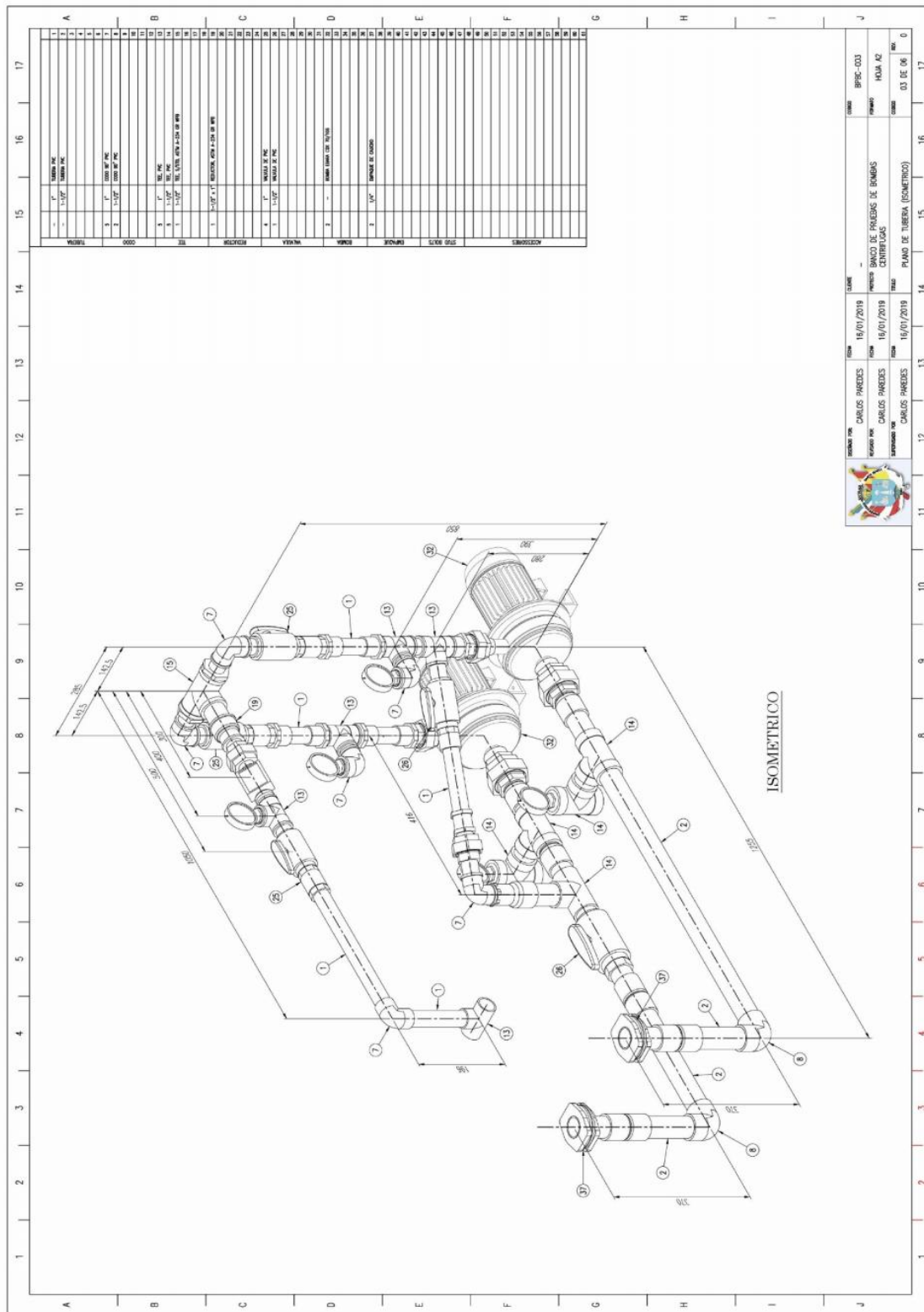




## PLANOS



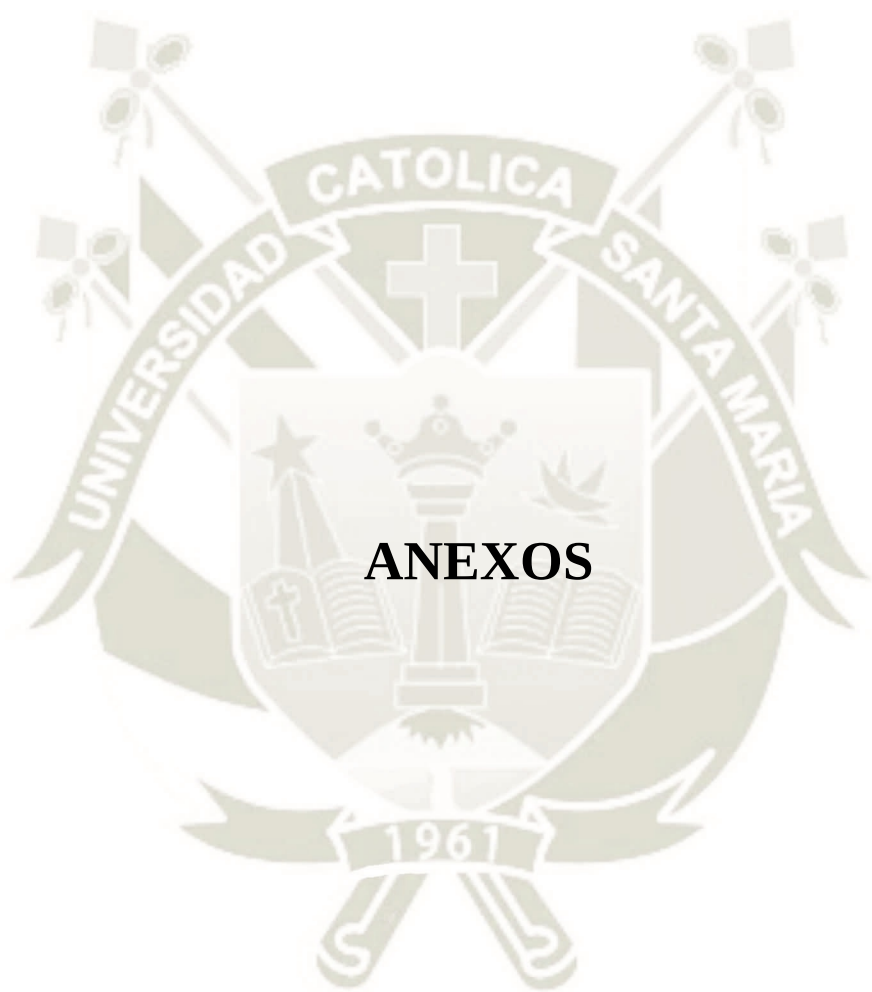












## ANEXO N° 1: BOMBA EBARA



**CENTRIFUGAL PUMPS** in AISI 304

*Single (CDX) impeller centrifugal pumps with hydraulic components constructed in stainless steel AISI 304, suitable for pressure boosting, water supply, water treatment and irrigation. Air conditioning systems and general water pumping including moderately aggressive liquids*



### **SPECIFICATIONS**

- Max working pressure: 8 bar
- Max. water temperature: 60°C CDX 70  
90°C CDX 90-120-200  
110°C CDXH - CDXHS

### **MATERIALS**

- Pump body, impeller, diffuser and casing cover in AISI 304
- Shaft in AISI 303
- Bracket and motor casing in aluminium
- Mechanical seal in carbon/ceramic/NBR
- Special mechanical seal are available on demand

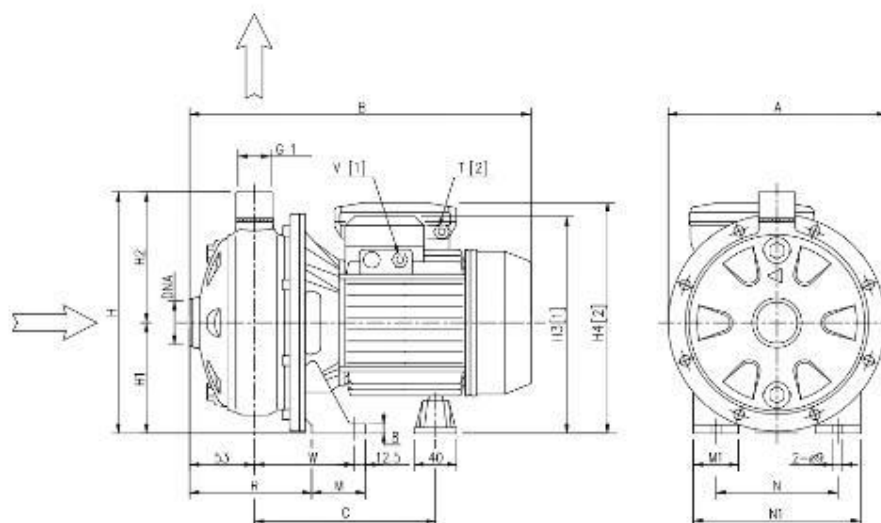
### **TECHNICAL DATA**

- T.E.F.C. 2 poles motor
- Insulation class F
- Protection degree IP 55
- Single-phase standard voltage: 220-230V  $\pm 6\%$   
110-115V  $\pm 6\%$
- Three-phase standard voltage: 220/380V  $-6\%$   $+10\%$
- Permanent split capacitor and automatic thermal overload protection for single-phase version
- Thermal protection to be provided by the user for three-phase version
- DNA 1 $\frac{1}{2}$ " for CDX 200 other models
- DNM 1"



**CENTRIFUGAL PUMPS** in AISI 304

## DIMENSIONS



## DIMENSIONAL TABLE

| Pump type<br>CDX(M) | Dimensions [mm] |       |       |       |       |     |       |       |       |    |    |     |     |       |         |       |      |         | Weight [kg] |      |
|---------------------|-----------------|-------|-------|-------|-------|-----|-------|-------|-------|----|----|-----|-----|-------|---------|-------|------|---------|-------------|------|
|                     | A               | B     |       | C     | H     | H1  | H2    | H3    | H4    | M  | M1 | N   | N1  | R     | T       | V     | W    | DNA     | 1~          | 3~   |
|                     |                 | [1]   | [2]   |       |       |     |       |       |       |    |    |     |     |       |         |       |      |         |             |      |
| 70/075              | 208             | 321.5 | 321.5 | 181   | 229.5 | 106 | 123.5 | 207   | 211   | 50 | 38 | 120 | 160 | 108   | PG 11   | PG 11 | 82.5 | G 1 1/4 | 8.5         | 8.4  |
| 70/106              | 208             | 321.5 | 321.5 | 181   | 229.5 | 106 | 123.5 | 207   | 211   | 50 | 38 | 120 | 160 | 108   | PG 11   | PG 11 | 82.5 | G 1 1/4 | 9.5         | 9.6  |
| 70/156              | 208             | 321.5 | 321.5 | 181   | 229.5 | 106 | 123.5 | 207   | 211   | 50 | 38 | 120 | 160 | 108   | PG 11   | PG 11 | 82.5 | G 1 1/4 | 11.7        | 11.7 |
| 120/106             | 208             | 321.5 | 321.5 | 181   | 229.5 | 106 | 123.5 | 207   | 211   | 50 | 38 | 120 | 160 | 108   | PG 11   | PG 11 | 82.5 | G 1 1/4 | 9.5         | 9.5  |
| 120/156             | 208             | 321.5 | 321.5 | 181   | 229.5 | 106 | 123.5 | 207   | 211   | 50 | 38 | 120 | 160 | 108   | PG 11   | PG 11 | 82.5 | G 1 1/4 | 11.7        | 11.6 |
| 120/208             | 208             | 346   | 359   | 189.5 | 229.5 | 106 | 123.5 | 221.5 | 242.5 | 55 | 40 | 140 | 180 | 105.5 | PG 13.5 | PG 11 | 95   | G 1 1/4 | 15.3        | 14.5 |
| 200/156             | 208             | 321.5 | 321.5 | 181   | 229.5 | 106 | 123.5 | 207   | 211   | 50 | 38 | 120 | 160 | 108   | PG 11   | PG 11 | 82.5 | G 1 1/4 | 11          | 10.7 |
| 200/208             | 208             | 346   | 359   | 189.5 | 229.5 | 106 | 123.5 | 221.5 | 242.5 | 55 | 40 | 140 | 180 | 105.5 | PG 13.5 | PG 11 | 95   | G 1 1/4 | 15          | 13.8 |
| 200/306             | 232             | 359   | -     | 189.5 | 250   | 118 | 132   | 233.5 | -     | 55 | 40 | 140 | 180 | 105.5 | -       | PG 11 | 95   | G 1 1/4 | -           | 15.9 |

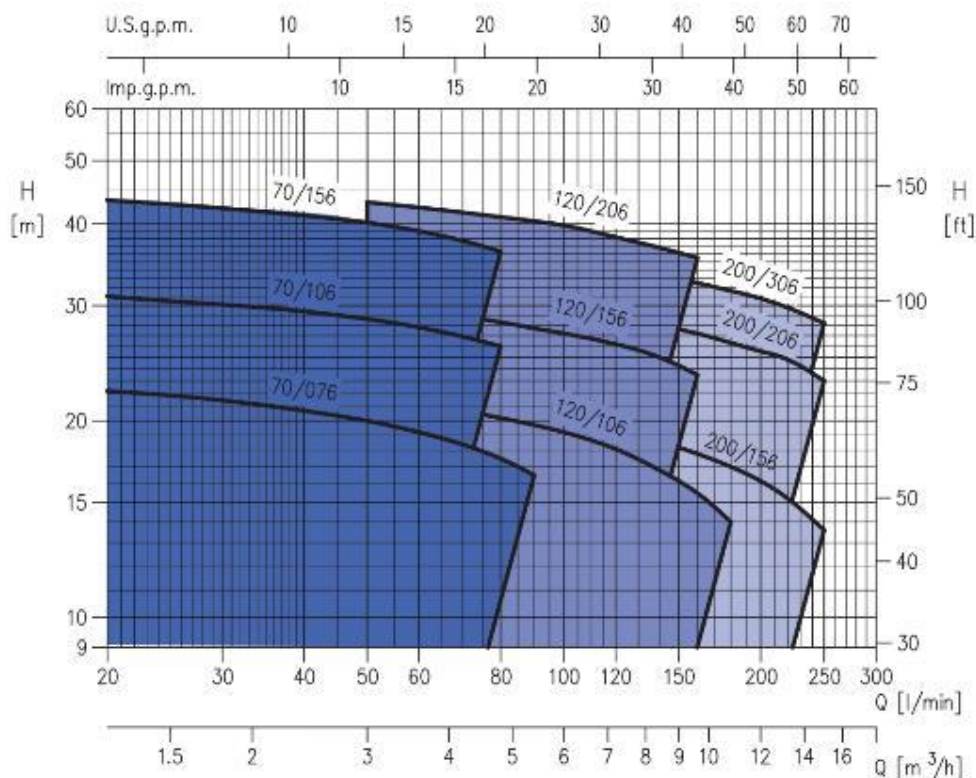
[1] - Only for threephase  
[2] - Only for singlephase



**CDX**

CENTRIFUGAL PUMPS in AISI 304

**PERFORMANCE CHART CDX** (according to ISO 9906 Annex A)



**PERFORMANCE TABLE**

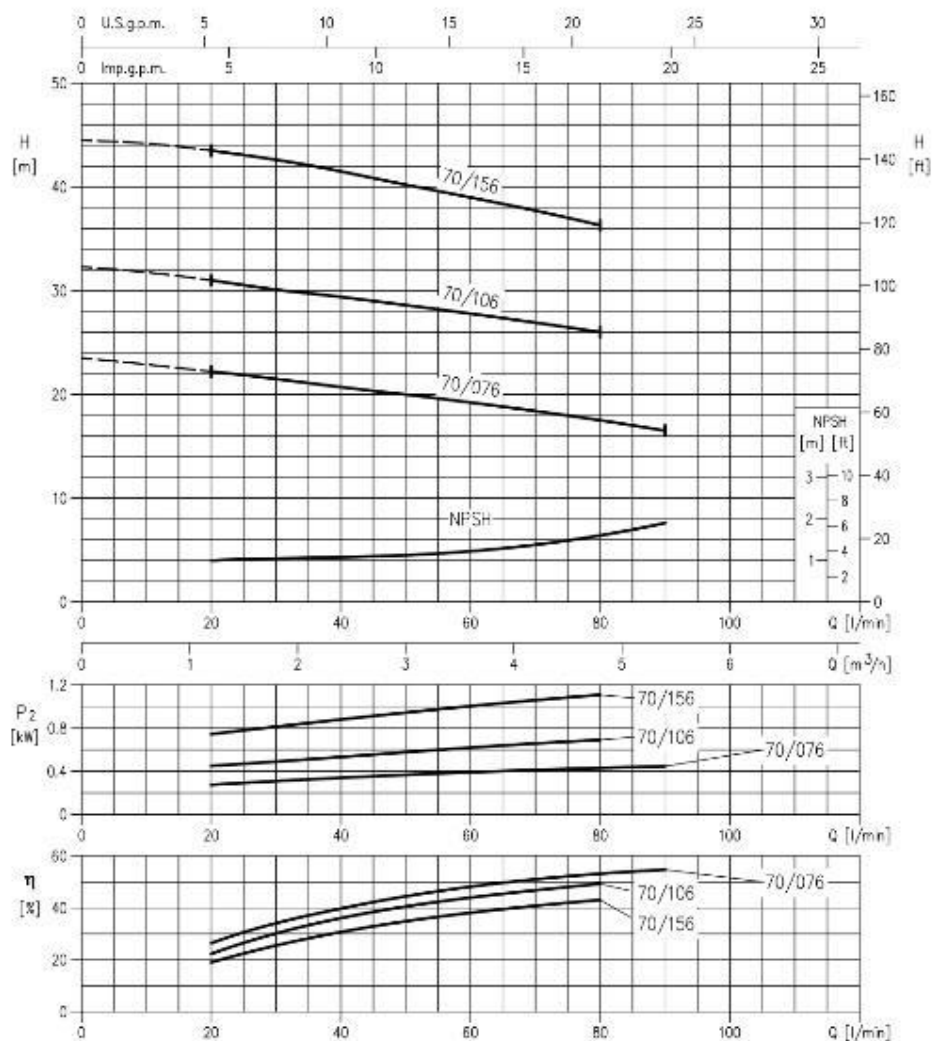
| Pump type    |             | Output |      | Absorbed current [A] |          |             |      | Q=Capacity                        |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------|-------------|--------|------|----------------------|----------|-------------|------|-----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Single-Phase | Three-Phase | kW     | HP   | Single-phase         |          | Three-phase |      | H=Total manometric head in meters |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|              |             |        |      | 115-115V             | 220-230V | 220V        | 380V | 0                                 | 20   | 40   | 60   | 80   | 100  | 120  | 140  | 160  | 180  | 200  | 220  | 240  | 260  |
| CDX 70/106   | CDX 70/106  | 0.35   | 0.75 | 7.5                  | 3.4      | 2           | 1.2  | 22.5                              | 22.2 | 20.8 | 20   | 19   | 17.5 | 16.5 | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
| CDX 70/106   | CDX 70/106  | 0.75   | 1    | 2.4                  | 5.1      | 2.9         | 1.7  | 32.1                              | 31   | 29.5 | 28.6 | 27.8 | 26   | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
| CDX 70/156   | CDX 70/156  | 1.1    | 1.5  | -                    | 7.5      | 4.5         | 2.6  | 44.5                              | 43.5 | 41.5 | 40   | 38   | 35.5 | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
| CDX 120/106  | CDX 120/106 | 0.75   | 1    | -                    | 5.2      | 2.9         | 1.7  | 23.8                              | -    | -    | 21.8 | 21.2 | 20.2 | 19.7 | 18.2 | 16.5 | 15.5 | 14   | -    | -    | -    |
| CDX 120/156  | CDX 120/156 | 1.1    | 1.5  | -                    | 7.7      | 4.3         | 2.5  | 37                                | -    | -    | 26.8 | 26.8 | 25.3 | 23.7 | 21.9 | 20.3 | 18.5 | 17.5 | -    | -    | -    |
| CDX 200/156  | CDX 200/156 | 1.5    | 2    | -                    | 11.3     | 6.9         | 4    | 45.5                              | -    | -    | 42.2 | 42.5 | 41   | 40.5 | 39.8 | 38.2 | 36.5 | 35   | -    | -    | -    |
| CDX 200/206  | CDX 200/206 | 1.1    | 1.5  | -                    | 6.6      | 3.9         | 2.5  | 27.3                              | -    | -    | -    | -    | 25.8 | 25.1 | 24.1 | 23.2 | 22.3 | 21.3 | 20.3 | 19.3 | 18.3 |
| CDX 200/306  | CDX 200/306 | 1.5    | 2    | -                    | 10       | 6.2         | 3.6  | 32                                | -    | -    | -    | -    | 30   | 29.7 | 29.4 | 28.1 | 27.3 | 26.5 | 25.5 | 24.5 | 23.5 |
| -            | CDX 200/306 | 2.2    | 3    | -                    | -        | 8.2         | 4.7  | 38.8                              | -    | -    | -    | -    | 35.5 | 35.1 | 34.7 | 33.1 | 32.4 | 31.4 | 30.4 | 29.4 | 28.4 |



**CDX**

CENTRIFUGAL PUMPS in AISI 304

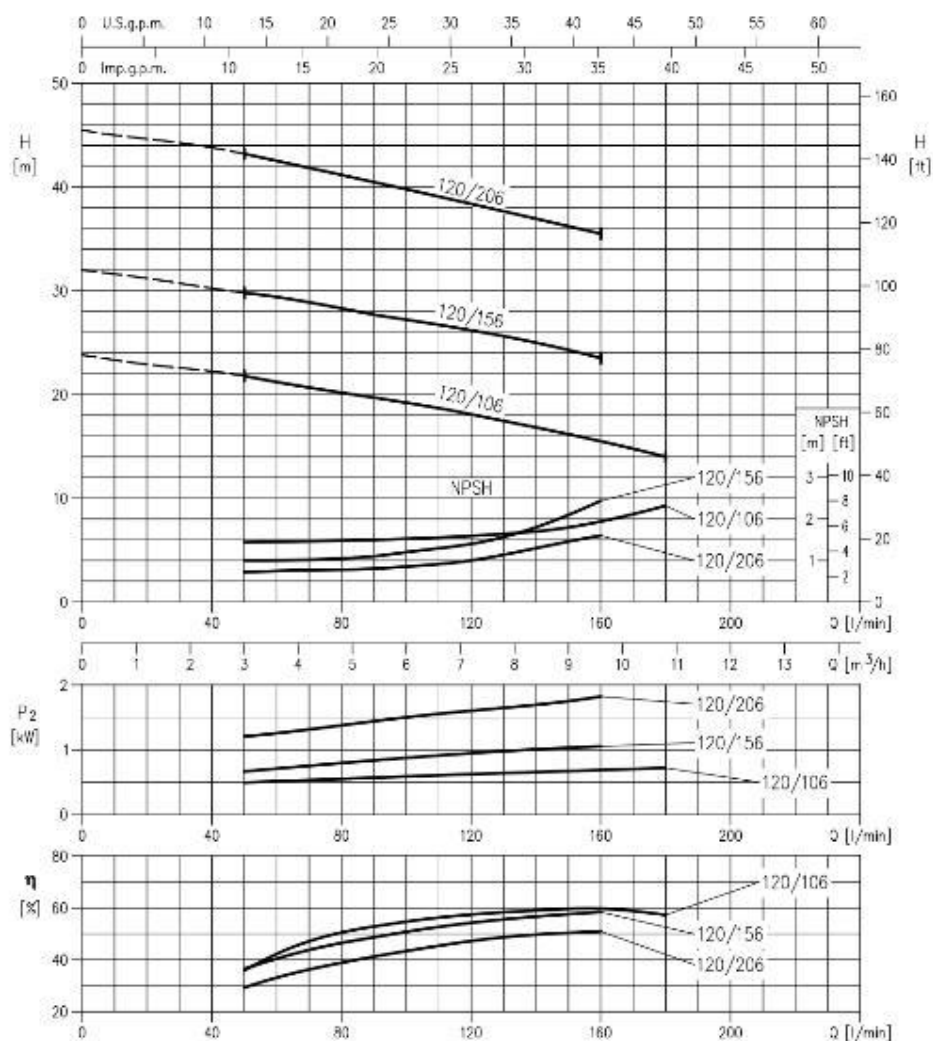
**PERFORMANCE CURVES CDX 70 series** (according to ISO 9906 Annex A)





CENTRIFUGAL PUMPS in AISI 304

**PERFORMANCE CURVES CDX 120 series** (according to ISO 9906 Annex A)

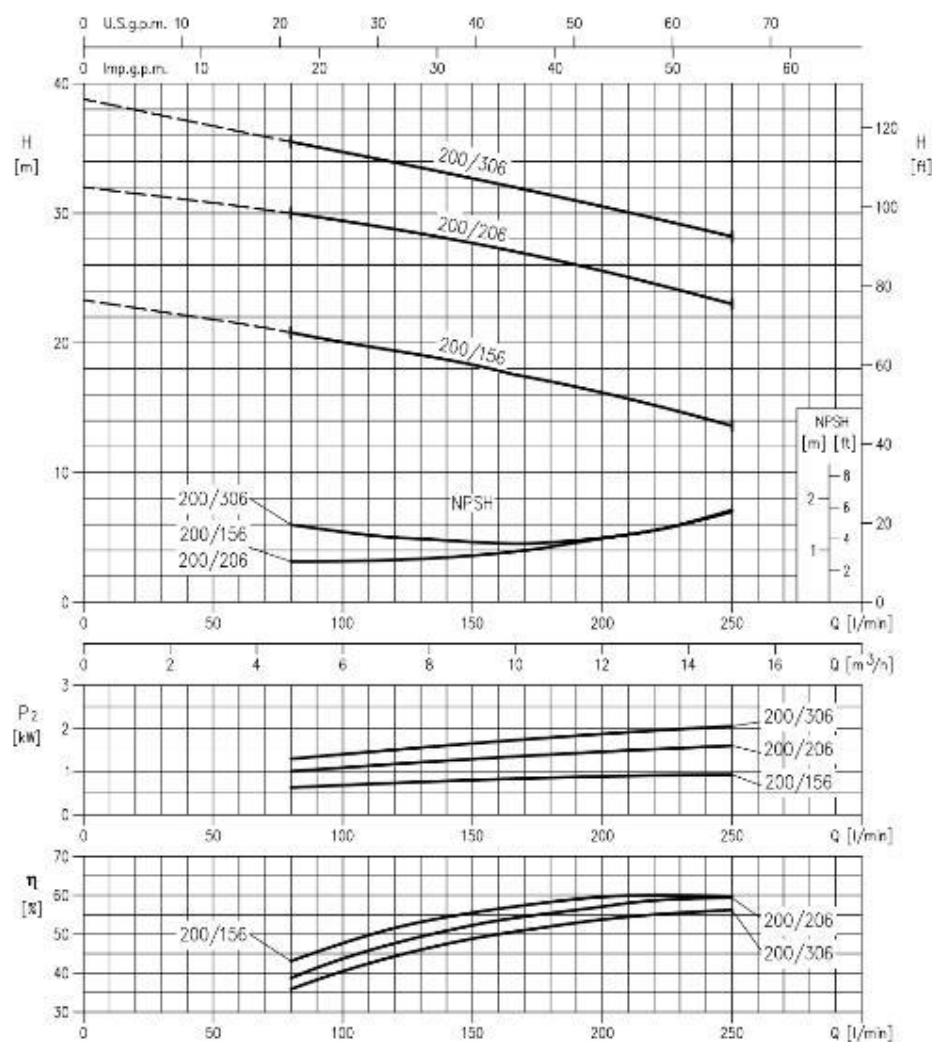




**CDX**

CENTRIFUGAL PUMPS in AISI 304

**PERFORMANCE CURVES CDX 200 series** (according to ISO 9906 Annex A)



## ANEXO N° 2: ACS310-01E-04\*7-2

### ACS310-01E-04A7-2



ACS310-01E-04A7-2 Pn 0,75kW, I2n 4,7A IP20



#### General Information

|                         |                                            |
|-------------------------|--------------------------------------------|
| Global Commercial Alias | ACS310 01E 04A7 2                          |
| Product ID              | 3AUAG00003043                              |
| ABB Type Designation    | ACS310-01E-04A7-2                          |
| EAN                     | 643817772618                               |
| Catalog Description     | ACS310-01E-04A7-2 Pn 0,75kW, I2n 4,7A IP20 |

#### Ordering

|                         |                                                                                                                                                        |
|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Country of Origin       | China (CN)<br>Finland (FI)                                                                                                                             |
| Customs Tariff Number   | 85044004                                                                                                                                               |
| EAN                     | 643817772618                                                                                                                                           |
| Invoice Description     | ACS310 01E 04A7 2 Pn 0,75kW, I2n 4,7A IP20                                                                                                             |
| Made To Order           | No                                                                                                                                                     |
| Minimum Order Quantity  | 1 piece                                                                                                                                                |
| Order Multiple          | 1 piece                                                                                                                                                |
| Quote Only              | No                                                                                                                                                     |
| Selling Unit of Measure | piece                                                                                                                                                  |
| Stocked At (Warehouses) | Central Stock Europe<br>RIPSEFXPU<br>US Drive Services<br>RIPSEFXPU014<br>SGRDC002CXPU<br>CHIA0001CXPU<br>SGIUD002FXPU<br>AUAG0001CXPU<br>SGIUD005FXPU |

#### Dimensions

|                    |        |
|--------------------|--------|
| Product Net Height | 130 mm |
| Product Net Length | 342 mm |
| Product Net Weight | 1.2 kg |
| Product Net Width  | 215 mm |

#### Technical

|                 |          |
|-----------------|----------|
| Enclosure Class | IP20     |
| Frequency (Hz)  | 50/60 Hz |

## ACS310-01E-04A7-2

2

|                                  |               |
|----------------------------------|---------------|
| Input Voltage ( $U_n$ )          | 200 ... 240 V |
| Mounting Type                    | Wall-mounted  |
| Number of Phases                 | 1             |
| Output Current, Normal Use       | 4.7 A         |
| Output Power, Light-Overload Use | 0.75 kW       |
| Output Power, Normal Use         | 0.75 kW       |
| Two Speed Motor                  | No            |

### Additional Information

|                   |                     |
|-------------------|---------------------|
| Product Main Type | ACS310              |
| Product Name      | Frequency converter |

### Classifications

|                |        |
|----------------|--------|
| Product Series | ACS310 |
|----------------|--------|

### Categories

Drives → Low voltage AC drives → General purpose drives

Water Utility Solutions → Water Pumping Stations → Electrical → Drive systems → Drives → Low voltage AC drives → General purpose drives

Water Utility Solutions → Water Pumping Stations → Electrical → Drive systems → Drives → Low voltage AC drives → General purpose drives



### ANEXO N° 3: TT10P In- Line Turbine Meter



#### Manual de operación y seguridad Medidor de turbina en línea TT10P



Estimado cliente de Tuthill:

Gracias por adquirir un producto Tuthill. Tuthill representa una nueva era en equipos de medición y transferencia. Este manual contiene información importante acerca de su equipo nuevo y sus requisitos de operación y servicio. Tómese unos minutos para revisar cuidadosamente este material.

La misión de Tuthill es proporcionar sistemas de manipulación de líquidos que ofrecen sistemas de transferencia más precisos, seguros, prácticos y económicos para el uso de sustancias químicas.

Si por cualquier motivo alguno de los productos no cumple sus expectativas de rendimiento, nos interesa conocer su opinión.

Le solicitamos y valoramos sus comentarios y sugerencias. Gracias nuevamente por adquirir un producto Tuthill. Esperamos servirle en el futuro.

El equipo Tuthill 1-800-634-2695

#### Información técnica (química) acerca de TT10P

|                               |                                                                                    |
|-------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| Puertos de flujo              | Puertos de salida y entrada, rosca hembra de 1" NPT o BSPP                         |
| Rango de flujo                | 7.6 a 132.5 LPM (2 a 35 GPM [EE. UU.])                                             |
| Presión de trabajo            | ≤ 49 °C (120 °F): 8.6 bar (125 psi)<br>> 49 °C (120 °F): 3.5 bar (50 psi)          |
| Temperatura de almacenamiento | -40 °C a 60 °C (-40 °F a 176 °F)<br>(Sin líquidos)                                 |
| Temperatura de operación      | -26 °C a 60 °C (-15 °F a 176 °F)                                                   |
| Precisión de medición         | ± 1.0 % (después de calibración en terreno)                                        |
| Repetibilidad de medición     | ± 0.30 % (tamaños de lotes ≥ 2 galones)                                            |
| Unidades de medición          | Onza, pinta, cuarto de galón, litro, galón                                         |
| Rango del totalizador         | Unidades de 0 a 90.000.000                                                         |
| Rango de lote                 | Unidades de 0.00 a 9999 (parpadea cuando el lote excede 9999)                      |
| Materiales húmedos            | Acero inoxidable 304/316, Polipropileno, UHMWPE, oro                               |
| Visualización                 | -40 °C a 60 °C (-40 °F a 176 °F)                                                   |
| Energía                       | 2 pilas alcalinas aprobadas. Consulte la sección de reemplazo de pilas del manual. |
| Memoria                       | La calibración y los totales del medidor se conservan cuando se cambian las pilas. |
| Seguridad                     | Electrónica de seguridad intrínseca para uso en ubicaciones peligrosas.            |



#### Instrucciones de seguridad

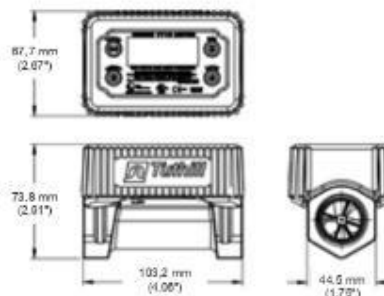
Para garantizar una operación segura y eficiente, es fundamental leer y respetar todas las precauciones y advertencias que se indican a continuación.

1. Los combustibles y las sustancias químicas que fluyen a través del medidor pueden ser nocivos para su salud. El uso y la eliminación de estos productos están controlados mediante procedimientos y leyes locales, estatales o federales.
2. Cumpla los procedimientos de manipulación que recomienda el fabricante cuando use los productos y cuando limpie el medidor.
3. No exceda una presión interna de 3.5 bar (50 psi) en el caso de los modelos TT10A y 8.6 bar (125 psi) en los modelos TT10P.
4. La instalación o el uso incorrectos de este producto pueden provocar lesiones corporales graves o la muerte.
5. Asegúrese de que las tuberías y mangueras conectadas al medidor estén correctamente conectadas a tierra cuando realice la medición o cuando trabaje cerca de líquidos inflamables.
6. NO instale una válvula de contención o una válvula de retención adicional sin una válvula de alivio de presión, de lo contrario el medidor podría romperse.
7. Para evitar la acumulación de descarga electrostática, limpie solamente con un paño húmedo.



#### ¡PRECAUCIÓN!

Use equipos de seguridad adecuados cuando manipule líquidos peligrosos.



### Descripción general

Las unidades de la serie TT10 son medidores electrónicos de turbinas adecuados para su uso en ubicaciones peligrosas y temperaturas extremas.

Los medidores TT10 cuentan con componentes electrónicos avanzados que eliminan los conteos falsos en aplicaciones móviles y de alta vibración, sin sacrificar la capacidad de medir en flujos bajos.

El medidor puede almacenar y mostrar la cantidad medida actual (total de lote) o la cantidad medida acumulativa (totalizador) en cualquiera de las cinco unidades que el usuario puede seleccionar (onza, pinta, cuarto de galón, litro y galón).

El medidor se puede ajustar fácilmente para distintos líquidos mediante la selección de un factor de calibración de entre una lista de 20 ajustes.

La energía se suministra mediante dos pilas alcalinas reemplazables tamaño "AA".

### Compatibilidad de viscosidad y líquido

Los medidores de la serie TT10P manipulan la mayoría de las sustancias químicas con viscosidades en el rango de 0,4 cSt a 79 cSt.

Puede medir líquidos con una viscosidad superior a 79 cSt, pero la precisión se limitará a la velocidad de flujo de calibración. Ajuste el medidor para CAL 19 y siga los pasos de calibración que se indican en este manual.

Si tiene dudas sobre la compatibilidad de líquidos específicos, comuníquese con el proveedor del líquido para verificar cualquier reacción adversa con los materiales que se indican en la sección Información técnica de este manual.

Líquidos aprobados:

- DEF (AUS32)
- Agua no potable
- Herbicidas\*
- Pesticidas\*
- \* Comuníquese con el proveedor de la sustancia química para obtener información acerca de la compatibilidad de viscosidad y los materiales húmedos.

### Instalación

#### Sugerencias de Instalación

El exceso de cinta selladora o compuesto para roscas situados aguas arriba del medidor, se puede soltar y atascar o dañar el rotor y provocar la falla del medidor. El método de instalación preferido es el uso de una cantidad apropiada de compuesto para roscas.

Use un compuesto para roscas o una cinta selladora compatible en todas las uniones roscadas.

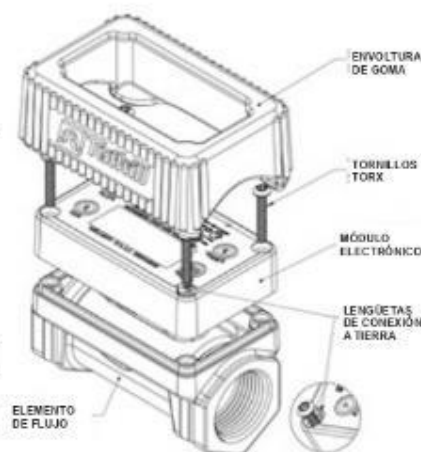
1. Determine la dirección correcta del flujo de líquido y apunte la flecha que está en la parte inferior del cuerpo del medidor en dicha dirección. *Instalar el medidor en la dirección de flujo incorrecta tendrá un impacto importante en su rendimiento.*

2. Enrosque las tuberías o mangueras en los puertos hasta que queden ajustadas. Tenga cuidado de no forzar la rosca cuando comience a enroscar y de no apretar en exceso el medidor.

### Orientación del módulo electrónico

La pantalla se puede orientar para un flujo de derecha a izquierda y de izquierda a derecha.

1. Despegue la envoltura de goma protectora y deje a un lado.
2. Retire los 4 tornillos que sostienen el módulo electrónico, con un destornillador Torx T-20.
3. Retire el módulo y gírelo en 180°. Asegúrese de que la almohadilla de espuma que está debajo de las pilas se reinstale correctamente en el caso de que se salga. Esto es fundamental para asegurarse de que las pilas no se desconecten si el medidor se somete a una manipulación brusca.
4. Vuelva a instalar los 4 tornillos. Estos deben estar lo suficientemente apretados como para asentar completamente el módulo. El par de torsión de instalación recomendado es 0,6 a 1,1 Nm (5 a 10 lb-in). *El exceso de apriete puede quebrar el módulo.*
5. Vuelva a instalar la envoltura de goma protectora.



#### ¡PRECAUCIÓN!

Cuando reinstale los tornillos del módulo electrónico, asegúrese de que las lengüetas de conexión a tierra estén capturadas debajo de las cabezas de los tornillos. Esto garantiza que haya una correcta conexión a tierra y protección contra descargas estáticas cuando manipule el medidor.

### Funciones operacionales

|                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>TOTAL</b><br><b>ON</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Enciende el medidor.</li> <li>Muestra el total acumulado mientras se presiona. Si el total acumulado es mayor que 9999, los números se desplazarán entre la pantalla en grupos de 4 dígitos.</li> </ul>                                                                                                                                                                                  |
| <b>RESET</b><br><b>2</b>  | Quando se presiona durante 3 segundos, restablece el total actual a cero. También vuelve al modo de operación normal cuando se encuentra en modo CAL o FLSH.                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>CAL</b><br><b>3</b>    | Quando se presiona durante 3 segundos, permite realizar cambios en el factor de calibración/ líquido, que se muestra en la esquina inferior izquierda. La activación reiterada incrementará el número hasta 19 y luego volverá a cero. Cuando se muestre el número deseado, presione el botón <b>[2]</b> para bloquear el número nuevo y volver a la operación normal. Consulte la Tabla 1 para obtener información específica. |
| <b>RATE</b><br><b>4</b>   | Quando se presiona durante 3 segundos, se muestra el icono RATE (Velocidad). Se mostrará la velocidad de flujo activa. Presione el botón <b>[4]</b> nuevamente para reanudar la operación normal. El medidor seguirá contando el volumen mientras se muestre la velocidad de flujo.                                                                                                                                             |

### NOTA

La pantalla del medidor se apagará automáticamente después de 30 segundos de inactividad para ahorrar pilas. Se encenderá cuando el flujo se reanude o cuando se presione cualquier botón. Ningún dato se pierde durante los periodos de inactividad.

### Cambio de las unidades de medida

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

- Presione los botones **[2]** y **[4]** durante tres segundos. La pantalla mostrará la versión de firmware.
- Presione el botón **[3]**. La pantalla mostrará la unidad actual.
- Para cambiar las unidades, presione reiteradamente el botón **[ON]** (Encendido) hasta que se muestre la unidad deseada.
- Presione el botón **[2]** para bloquear la selección. La pantalla mostrará la versión de firmware.
- Para volver al modo de operación normal, presione el botón **[2]** otra vez.
- Se mostrarán las unidades seleccionadas. El total actual o acumulado se actualizará para reflejar la nueva unidad de medida.

### Factor de tipo de líquido/calibración de prensa (CAL)

Los medidores de la serie TT10 ofrecen 20 factores preestablecidos para distintos tipos de viscosidades y tipos de líquidos.

El uso de los factores de calibración tiene el propósito de proporcionar la solución de medición más precisa para un líquido específico. Un factor CAL de 0 es para el uso de los líquidos menos viscosos y aumenta para los líquidos con mayor viscosidad.

- Mantenga presionado el botón **[3]** durante 3 segundos. Aparecerá el valor del conteo dispensado actual y solo se mostrará el valor actual y el icono CAL.
- La presión reiterada del botón **[3]** incrementará el número hasta 19 y luego volverá a cero.
- Después de seleccionar el factor de líquido deseado, presione el botón **[2]** para bloquear el factor de líquido y vuelva el medidor al modo de operación normal.

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

| 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 |
| Líquido |      |      |      |      | Agua / DEF   |       |           |            |                |      |
| 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 |
| Líquido |      |      |      |      | Etilenglicol | 2.4-D | Glicolato | Alcanna 4L | Propilenglicol |      |

Tabla 1: Tabla de factor CAL

### NOTA

El uso del factor de líquido/CAL es independiente de la realización de la calibración en comparación con un volumen conocido. El medidor se calibra en la fábrica, pero la realización de una calibración en terreno puede mejorar aún más la precisión del equipo.

### Calibración del líquido

La calibración del líquido requiere un recipiente de un volumen conocido de al menos 19 litros (5 galones) o más grande, que sea compatible con el líquido que se esté midiendo.

Se puede utilizar un volumen más grande, lo que puede mejorar la precisión, pero no exceda las 99.99 unidades de medida.

#### NOTA

Antes de realizar una calibración de líquido, asegúrese de haber seleccionado el factor de líquido/CAL más cercano, para garantizar la mejor precisión del medidor.

1. Mantenga presionados los botones [2] y [4] durante 3 segundos. La pantalla mostrará la versión de firmware.
2. Presione el botón [3] para ingresar al modo de calibración. Se mostrarán las unidades de medida seleccionadas.
3. Presione el botón [3]. La pantalla mostrará "FILL" (Llenar).
4. Comience a verter el líquido en el recipiente. "FILL" parpadeará en la pantalla cuando se detecte el flujo.
5. Después de verter el líquido, presione el botón ON. El dígito izquierdo de la pantalla parpadeará. ("00.00")
6. Presione el botón [4] para incrementar el dígito hasta la cantidad de líquido vertida (por ejemplo: "05.00"). Presione el botón [ON] para moverse a la derecha. Si comete un error, presione el botón [2] para comenzar desde el dígito que está más a la izquierda.
7. Después de cargar el número, presione nuevamente el botón [ON] para aceptar el volumen ingresado.
8. La pantalla ahora muestra el factor CAL configurado.
9. Presione nuevamente el botón [ON] y se mostrará la versión de firmware.
10. Presione el botón [2] nuevamente para volver al modo de operación normal.

#### NOTA

Si el valor ingresado está fuera de un rango aceptable, la pantalla mostrará "Err0" y el medidor volverá a la configuración anterior. Consulte la Guía de solución de problemas para obtener más información.

#### CONSEJO

Si realiza la medición en onzas, pintas o cuartos de galón, puede que sea más fácil cambiar el medidor a una unidad de medida más grande, como galones o litros para el proceso de calibración y luego volver a la unidad de medida deseada.

### Modo de enjuague (FLSH)

El uso del modo de enjuague le permite enjuagar el medidor sin agregar volumen a los totales medidos. Esto es útil cuando se realiza el enjuague del medidor para su almacenamiento o se cambia entre distintos líquidos y se desea mantener los totales precisos.

1. Presione los botones [3] y [4] durante 3 segundos. El medidor mostrará "FLSH".
2. Presione el botón [2] para volver al modo de operación normal.

### Restablecimiento del total acumulado

1. Mantenga presionado los botones [2] y [4] durante 3 segundos. Se mostrará la versión de firmware actual.
2. Presione el botón [ON] para mostrar el total acumulado. Si es mayor que 9999 unidades, el total acumulado se desplazará por la pantalla.
3. Mantenga presionados los botones [ON] y [4] durante 5 segundos para restablecer el total acumulado.
4. Presione dos veces el botón [2] para volver al modo de operación normal.

### Revisión del factor K

Puede revisar el factor de calibración interna del medidor. El valor mostrado es el número de conteos del sensor conforme a la unidad de medida seleccionada y el factor de líquido/CAL. El fabricante puede solicitarle este número si se realiza la solución de problemas del medidor.

1. Presione los botones [3] y [4] durante 3 segundos. El medidor mostrará "FLSH".
2. Mantenga presionado los botones [ON] y [3]. Se mostrará el número de conteos por unidad de medida.
3. Presione el botón [2] para volver al modo de operación normal.

### Reemplazo de las pilas

Las pilas se deben reemplazar cuando el icono LOW (Bajo) comience a parpadear en la pantalla. La calibración, la configuración y los totales se conservan mientras las pilas se reemplazan, de modo que no es necesario volver a calibrar posteriormente.



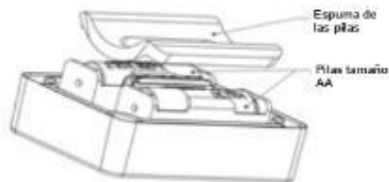
#### ¡ADVERTENCIA!

Cuando cambie las pilas, elimine del área los vapores explosivos o traslade los elementos electrónicos del medidor a un área segura antes del reemplazo.

Para acceder a las pilas, retire la pantalla como se describe en la sección que muestra cómo girar la pantalla.

La espuma de las pilas se debe pegar a las pilas. Retírela cuidadosamente y vuelva a instalarla durante el montaje. La espuma de las pilas las protege y evita que se desconecten si el medidor se somete a una manipulación brusca.

Ponga atención a la polaridad de las pilas según está marcado en el interior del soporte de las pilas. El medidor no funcionará si las pilas se instalan incorrectamente y se pueden producir daños.



#### ⚠ ¡ADVERTENCIA!

Para reducir el riesgo de explosión NO mezcle pilas antiguas con pilas nuevas, ni mezcle pilas de diferentes fabricantes.

Las pilas SOLO se pueden reemplazar por las siguientes:

- Duracell MN1500
- Energizer E91
- Duracell QU1500

#### Mantenimiento y almacenamiento

Si el medidor se va a almacenar durante un período prolongado sin uso y si se está usando con un líquido que puede dejar residuos, se debe enjuagar con un líquido compatible para evitar bloqueos o atascos del conjunto de turbina.

El exterior del medidor se puede limpiar con un detergente suave a base de agua y la pantalla se puede limpiar con un paño húmedo. No utilice una hidrolavadora para limpiar el medidor.

#### ⚠ ¡PRECAUCIÓN!

Para reducir el riesgo de incendio debido a la descarga electrostática, evite el contacto con la carcasa de los elementos electrónicos. Limpie solo con un paño húmedo.

#### ⚠ ¡IMPORTANTE!

El uso de aire comprimido CAUSARÁ daños permanentes en el medidor y anulará la garantía. Siempre use un chorro suave de un líquido compatible para enjuagar el interior del medidor.

#### Aspectos regulatorios

##### Aprobaciones de pruebas de seguridad

Los medidores de Fil-Rite de la serie TT10 han pasado pruebas de seguridad para cumplir los estándares establecidos por Underwriters Laboratories (UL), UL Canada, ATEX y otras organizaciones reguladoras. Para determinar qué estándares específicos se aplican a su medidor en particular, consulte la placa frontal para ver la información y los logotipos de cumplimiento.

##### MEDIDOR DE FLUJO PARA UBICACIONES PELIGROSAS, Exia INTRINSECAMENTE SEGURO (SECURITE INTRINSEQUE)

Class I, Group D, T4; Class I, Zone 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 cuentan con la marca CE han recibido certificación conforme a las siguientes directivas europeas:

2011/65/EU: Restricción del uso de ciertas sustancias peligrosas en equipos electrónicos y eléctricos  
2014/30/EU: Compatibilidad electromagnética

Los siguientes estándares se usan para probar y demostrar el cumplimiento:

##### Emisiones

EN 55011:2009/A1:2010 Grupo 1, Clase B, equipos industriales, científicos y médicos (ISM, por sus siglas en inglés)

##### Inmunidad

EN 61326-1:2013, Equipos eléctricos para medición, control y uso en laboratorios  
IEC 61000-4-2: 2009 ESD  
IEC 61000-4-3: 2006 A1:2008 & A2:2010 Inmunidad a campos radiados  
IEC 61000-4-8: 2010 Campos magnéticos  
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 N.º 157-92  
CAN/CSA - C22.2 N.º 60079-0:2014  
CAN/CSA - C22.2 N.º 60079-11:2015  
UL 25  
ULC/ORD-C25

Tabla 2: Guía de solución de problemas

| Problema                                            | Causa posible                                                                                                                                                                                                                                        | Solución                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Notas                                                                                                                                                                                                           |
|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| El medidor no enciende                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>Pilas agotadas</li> <li>Elementos electrónicos dañados</li> </ul>                                                                                                                                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>Reemplace las pilas</li> <li>Reemplace el medidor</li> </ul>                                                                                                                                                                                                 | Si la pantalla se retra o perfora, el sello de los elementos electrónicos se dañará.                                                                                                                            |
| Decimales parpadeantes                              | El contador excedió las 9999 unidades                                                                                                                                                                                                                | Mantenga presionado el botón [2] para restablecer la pantalla a cero                                                                                                                                                                                                                                | El medidor seguirá funcionando normalmente.                                                                                                                                                                     |
| Ícono BAT parpadeante                               | Pilas bajas                                                                                                                                                                                                                                          | Reemplace las pilas                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Consulte la sección de reemplazo de pilas.                                                                                                                                                                      |
| Fuga de líquido en el puerto de entrada o salida    | <ul style="list-style-type: none"> <li>Se requiere sellador para roscas</li> <li>El puerto tiene la rosca forzada</li> </ul>                                                                                                                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>Agregue sellador en la unión</li> <li>Reemplace el medidor</li> </ul>                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                 |
| El líquido fluye, pero el medidor no es el correcto | <ul style="list-style-type: none"> <li>La turbina está atascada</li> <li>Existe una falla del medidor</li> </ul>                                                                                                                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>Enjuague el medidor</li> <li>Reemplace el medidor</li> </ul>                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                 |
| La lectura del medidor no es correcta               | <ul style="list-style-type: none"> <li>Hay aire en el sistema</li> <li>El medidor está instalado al revés</li> <li>La viscosidad del líquido cambió</li> <li>El factor de líquido/CAL es incorrecto</li> <li>La calibración es deficiente</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Asegúrese de que el medidor siempre esté lleno de líquido</li> <li>Corrija la dirección de flujo del medidor</li> <li>Use el factor de líquido/CAL correcto</li> <li>Vuelva a calibrar</li> </ul>                                                            | El medidor contará el aire. Las viscosidades de los líquidos cambian con la temperatura.                                                                                                                        |
| El medidor no es consistente o repetible            | <ul style="list-style-type: none"> <li>Hay aire en el sistema</li> <li>El medidor está instalado al revés</li> <li>Hay partículas en el líquido</li> <li>La turbina está atascada</li> <li>Trabaja fuera del rango de flujo del medidor</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Asegúrese de que el medidor siempre esté lleno de líquido</li> <li>Corrija la dirección de flujo del medidor</li> <li>Enjuague el medidor</li> <li>Coloque una rejilla delante del medidor</li> <li>Trabaje dentro del rango de flujo del medidor</li> </ul> | Rejilla de entrada de malla 40 como mínimo                                                                                                                                                                      |
| Err0                                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>Error de calibración</li> <li>Es posible que el medidor tenga un desgaste excesivo</li> </ul>                                                                                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>Vuelva a calibrarlo con un recipiente más preciso</li> <li>Reemplace el medidor</li> </ul>                                                                                                                                                                   | Indica que la calibración del líquido está fuera de un rango aceptable. Puede que el recipiente volumétrico no sea preciso o que haya aire en el sistema. Es posible que el medidor tenga un desgaste excesivo. |
| Err1                                                | Los elementos electrónicos están dañados o hay un error de software                                                                                                                                                                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Mantenga presionado el botón [2] para restablecer el contador y luego volver a calibrar el medidor</li> <li>Reemplace el medidor</li> </ul>                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                 |
| Err2                                                | Eeprom defectuosa                                                                                                                                                                                                                                    | Reemplace el medidor                                                                                                                                                                                                                                                                                | El medidor sigue funcionando, pero se perderán los totales y la calibración si se retiran las pilas.                                                                                                            |

#### POLÍTICA DE GARANTÍA LIMITADA

Fecha de modificación: 1 de agosto de 2014

Productos Fill-Rite y Sotera

Tuthill Transfer Systems (en adelante el "Fabricante") garantiza a cada comprador consumidor de sus productos (en adelante el "Comprador"), a partir de la fecha de la venta, que los productos fabricados por la empresa (en adelante los "Productos") no presentarán defectos de materiales ni de fabricación.

La duración de la garantía es la siguiente:

| Desde la fecha de venta | No debe superar el siguiente periodo desde la fecha de fabricación | Serie del producto                                                          |                                                                                     |
|-------------------------|--------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Cinco años              | 60 meses                                                           | Bombas de la serie SP100                                                    | Bombas de la serie 400                                                              |
| Dos años                | 27 meses                                                           | Bombas y medidores para servicio pesado, medidores digitales 820, 825 y 850 | Bombas de gabinete, medidores de gabinete, medidores TN, medidores TM, medidores TS |
| Un año                  | 15 meses                                                           | Bombas y medidores para servicio estándar, bombas 1600                      | Accesorios<br>Piezas                                                                |

\* Se debe presentar el comprobante de compra en el lugar de compra

\*\* Consulte el Apéndice para ver la definición de productos "para servicio pesado" y "para servicio estándar"

Los usuarios finales deben comunicarse con el lugar donde compraron el producto para procesar una garantía. El "Lugar de compra" se define como cualquier distribuidor de TTS autorizado, como tiendas de venta minorista, empresas de ventas por correo, empresas de venta por catálogo, tiendas virtuales y distribuidores comerciales.

La obligación exclusiva del Fabricante, de acuerdo con las garantías anteriores, se limitará, según la opción del Fabricante, al reemplazo de los Productos defectuosos, (sujeto a las limitaciones que se indican más adelante) o al reembolso del valor de la compra de tales Productos pagados hasta entonces por el Comprador. El único recurso de los Compradores por el incumplimiento de cualquiera de estas garantías será el cumplimiento de tales obligaciones del Fabricante. Si el Fabricante solicita la devolución de tales Productos, estos se le reenviarán de acuerdo con las instrucciones de franco a bordo de la fábrica del Fabricante.

Los recursos que se indican en este documento constituirán el único recurso del Comprador contra el Fabricante por el incumplimiento de la garantía. **EN NINGÚN CASO LA RESPONSABILIDAD DEL FABRICANTE POR CUALQUIER RECLAMO POR DAÑOS QUE SURJAN DE LA FABRICACIÓN, VENTA, ENTREGA O USO DE LOS PRODUCTOS EXCEDERÁ EL VALOR DE LA COMPRA.**

Las garantías anteriores no se extenderán a los productos sujetos a un uso indebido, negligencia, accidente, mantenimiento o instalación incorrecta, o que hayan sido reparados por alguien que no sea el Fabricante o sus representantes autorizados. **LAS GARANTÍAS ANTERIORES SON EXCLUSIVAS Y REEMPLAZAN TODA OTRA GARANTÍA DE COMERCIABILIDAD, IDONEIDAD PARA UN PROPÓSITO DE CUALQUIER OTRO TIPO, YA SEA EXPRESA O IMPLÍCITA.** Ninguna persona podrá variar las garantías o recursos anteriores excepto por escrito y firmado por un trabajador debidamente autorizado por el Fabricante. La aceptación de la entrega de los Productos al Comprador constituye la aceptación de los recursos y las garantías anteriores, al igual que de todas las condiciones y limitaciones del presente documento.