

**UNIVERSIDAD NACIONAL
JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN**

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y METALURGICA

ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA



TESIS

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO PARA EFLUENTES
ÁCIDOS UTILIZANDO DIFERENTES BOMBAS EN LA
EMPRESA QUIMPAC CALLAO S.A. 2018”**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO QUÍMICO

PRESENTADO POR:

MENDOZA CABRACANCHA, JERSON

Bachiller en Ingeniería Química

ASESOR:

Mg. Ing. JOSÉ SAÚL ORBEGOSO LÓPEZ

Ingeniero Químico – Registro CIP N° 22021

Abril 30 del 2019

HUACHO – PERÚ

JURADO CALIFICADOR

CARREÑO CISNEROS EDGARDO OCTAVIO

Registro CIP N° 46389

PRESIDENTE

PAREDES AGUIRRE FREDY ROMAN

Registro CIP N° 95123

SECRETARIO

RAMOS PACHECO RONALD LUIS

Registro CIP N° 131168

VOCAL

ORBEGOSO LÓPEZ JOSÉ SAÚL

Registro CIP N° 22021

ASESOR

DEDICATORIA

A la constante ayuda de mis padres que en todo momento me han motivado para culminar esta investigación. A mi abuela en especial, y toda mi familia que me motivan en mi desarrollo personal y profesional.

AGRADECIMIENTO

Mis agradecimientos sincero al Mg. Ing. José Saúl Orbegoso López por sus acertadas sugerencias y orientación en el desarrollo de esta investigación, al Ing. Adrián Córdova Meléndez por su apoyo y sus recomendaciones en base a su experiencia en este campo de la ingeniería química.

ÍNDICE

JURADO CALIFICADOR	2
DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTO	4
ÍNDICE.....	5
RESUMEN	12
INTRODUCCIÓN.....	14
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	15
1.1. Descripción de la realidad problemática	15
1.2. Formulación del Problema.....	16
1.2.1. Problema general.....	16
1.2.2. Problemas específicos.....	16
1.3. Objetivos.....	16
1.3.1. Objetivo general.	16
1.3.2. Objetivos específicos.....	16
1.4. Justificación de la Investigación	16
1.5. Delimitación del estudio	17
1.5.1. Delimitación social.....	17
1.5.2. Delimitación Temporal.....	17
1.5.3. Delimitación Espacial.	17
1.6. Viabilidad del estudio.....	17
1.6.1. Viabilidad técnica.....	17

1.6.2.	Viabilidad económica.	17
1.6.3.	Viabilidad legal.	17
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO		18
2.1.	Antecedentes de la investigación	18
2.1.1.	Antecedente Nacional 1.	18
2.1.2.	Antecedente Nacional 2.	18
2.1.3.	Antecedente Nacional 3.	18
2.1.4.	Antecedente Internacional 1.	19
2.1.5.	Antecedente Internacional 2.	19
2.1.6.	Antecedente Internacional 3.	19
2.2.	Bases Teóricas	20
2.2.1.	¿Qué es una bomba?	20
2.2.2.	Presión	20
2.2.3.	Clasificación de las bombas	20
2.2.4.	Selección de bombas	21
2.2.5.	Dimensionamiento de bombas	24
2.2.6.	Análisis interno hidráulico	26
2.2.7.	Sistema de bombeo	27
2.2.8.	ASPEN PLUS	28
2.3.	Definiciones conceptuales	30
2.4.	Formulación de la Hipótesis	31
2.4.1.	Hipótesis General	31

2.4.2.	Hipótesis Específicos.....	31
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....		32
3.1.	Diseño Metodológico	32
3.1.1.	Tipo de Investigación.....	32
3.1.2.	Nivel de Investigación.....	32
3.1.3.	Diseño.....	32
3.1.4.	Enfoque.....	33
3.2.	Población y Muestra.....	33
3.2.1.	Población.....	33
3.2.2.	Muestra.....	33
3.3.	Operacionalización de variables e indicadores.....	34
3.4.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	34
3.4.1.	Técnicas a emplear.	34
3.4.2.	Descripción de los instrumentos.....	35
3.5.	Técnicas para el procesamiento de la información	35
CAPÍTULO IV: RESULTADOS		36
4.1.	Descripción del PFD del sistema de bombeo	36
4.2.	Cálculo del diámetro de tubería.....	38
4.3.	Dimensionamiento del manifold de aspiración y de impulsión	40
4.4.	Dimensionamiento de válvulas.....	43
4.5.	Dimensionamiento y selección de bombas	44
4.5.1.	Cálculos del sistema de bombeo	49

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	57
5.1. Discusión.....	57
5.2. Conclusiones.....	58
5.3. Recomendaciones	59
CAPÍTULO V: FUENTES DE INFORMACIÓN	60
ANEXOS.....	61
Anexo 1: Resistencia química del ácido fosfórico	61
Anexo 2: Resistencia química del ácido clorhídrico	62
Anexo 3: Resistencia química del cloruro de calcio	63
Anexo 4: Resistencia química del cloruro sodio.....	64
Anexo 5: Válvula de pie tipo canastilla	65
Anexo 6: Válvula de compuerta	66
Anexo 7: Válvula de globo	67
Anexo 8: Válvula check swing.....	68
Anexo 9: Válvula ventosa	69
Anexo 10: Tipos de Bombas	70
Anexo 11: Curva de performance Bomba ASME/ANSI 3x1.5-8 AB	74
Anexo 12: Curva de performace de bombas en paralelo	75
Anexo 14: Cuestionario a experto	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación de bombas.....	20
Figura 2. Aspectos para la selección de bombas	21
Figura 3. Rangos de viscosidad para la selección de bombas	22
Figura 4. Motor eléctrico.....	23
Figura 5. Motor de combustión interna (Diésel).....	24
Figura 6. Aspectos para el dimensionamiento de bombas	25
Figura 7. Placa de una bomba.....	25
Figura 8. Sistema de bombeo	27
Figura 9. Método de propiedades.....	29
Figura 10. PFD del sistema de bombeo.....	36
Figura 11. Longitudes del sistema del bombeo (1).....	37
Figura 12. Longitudes del sistema de bombeo (2).....	37
Figura 13. Cálculos del diámetro de tubería.....	39
Figura 14. Ficha técnica de tubería CPVC	40
Figura 15. Equipo de bombeo con manifolds.....	41
Figura 16. Cálculos del diámetro de la salida del manifold de aspiración.....	42
Figura 17. Ficha técnica de tubería CPVC para la salida del manifold de aspiración	42
Figura 18. Ventana de selección de frecuencia	46
Figura 19. Ventana de ingreso de las condiciones de operación	46
Figura 20. Ventana de ingreso de parámetros del efluente ácido	48
Figura 21. Ventana de selección de bombas.....	48
Figura 22. Ventana de cálculos hidráulicos.....	52
Figura 23. Ventana Aspen Plus V10	52
Figura 24. Ventana de ingreso de componentes	53

Figura 25. Ventana de ingreso del paquete de propiedades	53
Figura 26. Ventana de condiciones de operación de la corriente de entrada	54
Figura 27. Ventana de condiciones de operación de la tubería B1	54
Figura 28. Ventana de condiciones de operación de la tubería B2	55
Figura 29. Ventana de condiciones de operación de la Bomba	55
Figura 30. Ventana de simulación	56
Figura 31. Ventana de resultados del sistema.....	56
Figura 32. Horizontal de succión axial.....	70
Figura 33. Horizontal de carcaza partida.....	70
Figura 34. Vertical multietápica	70
Figura 35. Tipo turbina vertical	71
Figura 36. Para sumidero / achique.....	71
Figura 37. Eyector.....	71
Figura 38. Bomba de pistón-émbolo	72
Figura 39. Bomba de doble diafragma	72
Figura 40. Bomba de paletas	72
Figura 41. Bomba peristáltica.....	73
Figura 42. Bomba de engranajes internos	73
Figura 43. Bomba de triple tornillo.....	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Porcentajes de sólidos del fluido	23
Tabla 2 Matriz de diseño metodológico	33
Tabla 3 Variable Independiente: Dimensionamiento y selección de diferentes tipos de bombas	34
Tabla 4 Variable Dependiente: Bombeo de efluentes ácidos	34
Tabla 5 Técnicas e instrumentos para recolección de datos.....	35
Tabla 6 Comparación de tuberías comerciales	38
Tabla 7 Análisis de pozas	44
Tabla 8 Parámetros del sistema	44
Tabla 9 Composición del efluente ácido	45
Tabla 10 Características de las bombas ASME / ANSI.....	47

RESUMEN

Esta investigación trata del diseño de un sistema de bombeo, dimensionamiento y selección de bombas, desarrollada en la empresa QUIMPAC Callao S.A. siendo el propósito el transporte del fluido desde las pozas de recepción hacia un tanque de almacenamiento.

La metodología empleada consta de análisis de la naturaleza del fluido y datos de operación, brindadas para el desarrollo de la investigación, se inicia con la elaboración del PFD (diagrama de flujo de proceso) del sistema de bombeo, para determinar cuántas bombas se usaran, cuantas válvulas, etc.

Luego se determina el diámetro y el material de tubería que cumpla con las características necesarias para el transporte del efluente ácido, se dimensiona los manifolds de aspiración y de impulsión para el sistema de bombeo en paralelo, se seleccionan tres bombas ASME / ANSI, dos en funcionamiento y una en stand by, esta última tiene un mayor rendimiento ya que será utilizada en casos de mantenimiento o fallas de las otras bombas.

Finalmente se calcula la presión de descarga utilizando una hoja de cálculo de excel, para corroborar el resultado obtenido, se usa el simulador ASPEN PLUS, el cual es recomendable para fluidos con trazas de sólidos.

Palabras claves: Fluido incompresible, bomba, sistema de bombeo, impulsor, carcasa, accionamiento, cavitación y altura dinámica total.

ABSTRACT

This research deals with the design of a pumping system, sizing and pump selection, developed in the company Quimpac Callao S.A. the purpose being the transport of the fluid from the reception ponds to a storage tank.

The methodology used consists of analysis of the nature of the fluid and operation data, provided for the development of the research, begins with the development of the PFD (process flow diagram) of the pumping system, to determine how many pumps will be used, how many valves, etc.

Then determine the diameter and pipe material that meets the characteristics necessary for the transport of the acid effluent, dimensioning the suction and discharge manifolds for the pump system in parallel, three ASME / ANSI pumps are selected, two in operation and one in stand by, the latter has a higher performance since it will be used in cases of maintenance or failures of the other pumps.

Finally the discharge pressure is calculated using an excel spreadsheet, to corroborate the result obtained, the ASPEN PLUS simulator is used, which is recommended for fluids with traces of solids.

Key words: Incompressible fluid, pump, pumping system, impeller, housing, drive, cavitation and total dynamic height.

INTRODUCCIÓN

La presente tesis trata del diseño de un sistema de bombeo para efluentes ácidos para la empresa Quimpac Callao S.A., que tiene como propósito transportar el fluido desde las pozas de recepción hasta un tanque de almacenamiento, teniendo como objetivo el dimensionamiento y la selección de la bomba más idónea para el sistema de bombeo a diseñar. Para ello se identificó la naturaleza del fluido y los parámetros hidráulicos.

La presentación de la tesis está organizada en seis capítulos. El primer capítulo trata sobre el planteamiento del problema en donde se describe la formulación, objetivo, justificación, delimitación y viabilidad del estudio. El segundo capítulo presenta el marco teórico, que consiste en describir el sustento científico del trabajo de investigación, como las leyes y principios que fundamenta el diseño de un sistema de bombeo y la selección de bombas.

En el tercer capítulo se expone la metodología indicando el tipo, nivel y diseño de investigación. En el cuarto capítulo se presentan los resultados de la investigación, el diseño del sistema de bombeo, el dimensionamiento y la selección de las bombas utilizadas en el sistema y la verificación de los datos obtenidos en el Excel con el simulador de proceso ASPEN PLUS V.10.0. En el capítulo cinco se presenta la discusión, conclusiones y recomendaciones de la investigación y finalmente en el capítulo seis se presentan las fuentes de investigación utilizadas para el desarrollo de la investigación.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

En la actualidad la planta de productos químicos QUIMPAC S.A., no cuenta con un sistema de bombeo para transportar sus efluentes ácidos hacia un tanque de almacenamiento.

En la empresa QUIMPAC S.A. emplean una gran variedad de procesos según sea el compuesto que se desea producir. En la planta de QUIMPAC S.A. Oquendo (Callao), se producen soda cáustica y cloro, y a partir de ellos, una gama de productos derivados, también se produce fosfato bicálcico compuesto usado como complemento alimenticio en la dieta de aves, porcinos y bovino.

Las bombas e instalaciones de bombeo son componentes esenciales y vulnerables en casi todos sistemas de fluido. El diseño, operación y mantenimiento inadecuados de los sistemas de bombeo pueden representar riesgos sanitarios graves.

Existen diversos tipos de bombas y aplicaciones en los sistemas de fluidos. Las bombas que se utilizan para transportar líquidos a través del sistema están dentro de la categoría “Rotodinámicas” o “centrifugas”. Otras aplicaciones usan bombas de desplazamiento positivo, como en la dosificación de sustancias químicas, remoción de lodos, etc. Para poder seleccionar la bomba más idónea para este proceso se tienen que tener en cuenta el Altura dinámica total además el caudal de trabajo, la naturaleza del fluido, el accionamiento del equipo y la ubicación geográfica del equipo, que se obtendrán analizando los datos disponibles.

Se utilizo el simulador de procesos ASPEN PLUS V10.0, el cual permite trabajar con componentes sólidos, ya que los efluentes contiene trazas de solidos. Tambien se utilizo un seleccionador de bombas para poder determinar el más viable técnicamente para este proceso.

1.2. Formulación del Problema

1.2.1. Problema general.

- ¿Será posible dimensionar y seleccionar diferentes tipos de bombas para el bombeo de efluentes ácidos?

1.2.2. Problemas específicos.

- ¿Será posible caracterizar un sistema de bombeo para efluentes ácidos en la empresa QUIMPAC Callao S.A.?
- ¿De qué manera se relaciona la naturaleza del fluido con la selección del tipo de bomba?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general.

- Dimensionar y seleccionar diferentes tipos de bombas para el bombeo de efluentes ácidos.

1.3.2. Objetivos específicos.

- Caracterizar un sistema de bombeo para efluentes ácidos en la empresa QUIMPAC Callao S.A.
- Relacionar la naturaleza del fluido con la selección del tipo de bombas.

1.4. Justificación de la Investigación

El presente trabajo contribuye a la implementación de un sistema de bombeo en la empresa QUIMPAC S.A. Callao, con el cual se resuelve la necesidad de transportar el efluente ácido hacia un tanque de almacenamiento, por lo que es necesario realizar los cálculos hidráulicos para el diseño.

El simulador a desarrollar es muy útil para corroborar los resultados obtenidos en Excel, esto nos ayuda a dimensionar la bomba para el transporte de los efluentes.

1.5. Delimitación del estudio

Este estudio está delimitado en tres aspectos importantes:

1.5.1. Delimitación social.

La presente investigación se realizó en las siguientes unidades de análisis.

Personas:

- Ingenieros Químicos y Residentes en planta
- Supervisores
- Técnicos en planta

1.5.2. Delimitación Temporal.

El trabajo de investigación se realizó entre el periodo comprendido de Diciembre del 2018 - Abril del 2019.

1.5.3. Delimitación Espacial.

El proyecto de investigación se realizó en la empresa QUIMPAC S.A., ubicada en la provincia constitucional del Callao con av. Néstor Gambeta N° 8585 con coordenadas geográficas 11°58'29.97''S 77°07'38.29''O .

1.6. Viabilidad del estudio

1.6.1. Viabilidad técnica.

Los materiales requeridos para realizar el trabajo de investigación y el simulador de procesos son factibles para el tesista. Lo cual demuestra su viabilidad técnica.

1.6.2. Viabilidad económica.

Las necesidades de recursos y ejecución que se utiliza para el desarrollo de la tesis, son sufragadas por el tesista, lo cual es viable desde el punto de vista económico.

1.6.3. Viabilidad legal.

No se han encontrado impedimentos legales que impidan la realización del proyecto por lo que se considera viable desde el punto de vista legislativo.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedente Nacional 1.

Franco (2015), en su tesis de grado de Ingeniero Mecánico, Universidad del centro del Perú, concluye que: “La bomba GIW-LCC no presentará problemas de cavitación ya que el $NPSH_D$ es (4.85 m) de la tabla N°4.5 y haciendo la comparación $NPSH_R$ (4 m) de la figura N°4.1 se observa que cumple la condición de no cavitación y también la bomba MEGANOR no presentará problemas de cavitación ya que el $NPSH_D$ es (4.74 m) de la tabla N° 4.5 y haciendo la comparación $NPSH_R$ (3 m) de la figura N° 4.2 se observa que cumple la condición de no cavitación, lo que permitirá que las bombas trabajen en su punto de operación sin que se presente cavitación. (p.68)

2.1.2. Antecedente Nacional 2.

Rojas (2017), en su tesis de grado de Ingeniero Mecánico, Universidad del centro del Perú, concluye que: Cuando funcionaba la bomba en actual uso el medidor de volumen instalado al inicio del tubo de impulsión la lectura fue de 40 l/s. Cuando funcionó la siguiente bomba también registró 40 l/s y cuando se instaló las dos bombas en paralelo la lectura fue de 52 litros. Esto se debe que dos bombas que descargan a una sola tubería de impulsión aumentan su capacidad de bombeo solo en el 30%. (p.115)

2.1.3. Antecedente Nacional 3.

Salcedo (2005), en su tesis de grado de Ingeniero Mecánico de Fluidos, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, concluye que: “No hay pérdida de potencia en los motores eléctricos de las bombas debido a que están ubicados a

147.35 msnm, y no tiene problema alguno según lo que nos indica las tablas de Hidrostat” (p.76).

2.1.4. Antecedente Internacional 1.

Gualancañay y Jaguaco (2017), en su tesis de grado de Ingeniero Electromecánico, Universidad Técnica de Cotopaxi-Ecuador, concluye que: “Los métodos de diseño permitieron seleccionar una bomba centrífuga de multietapa que funciona, de manera permanente al caudal requerido a una altura máxima de 148 m y con un rendimiento óptimo en su operación” (p.51).

2.1.5. Antecedente Internacional 2.

Ortiz (2014), en su tesis de grado de Ingeniero de Minas, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, concluye que: La manera como se ha diseñado el sistema de bombeo en el sector A, ha venido cambiando de la misma forma en que se ha cambiado la configuración del pit, es esta una de las principales razones por lo que el sistema de bombeo es dinámico, del cual es necesario revisar constantemente el diseño para hacerle los ajustes que permitan optimizar el proceso utilizando todas las técnicas y teorías de diseño, acopiando información de los cambios topográficos y cruzando información con los planes de minería a corto y largo plazo en procura de alcanzar un plan a mediano plazo que sea funcional, económico y que sea la solución a la problemática planteada. (p.86)

2.1.6. Antecedente Internacional 3.

Guerrero (2016), en su tesis de grado de Ingeniero Civil, Universidad Central de Ecuador, concluye que: “No hay pérdida de potencia en los motores eléctricos de las bombas debido a que estamos ubicados a 272.00 msnm, y no tiene problema alguno” (p.259).

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. ¿Qué es una bomba?

“Una bomba es un equipo que transforma la energía mecánica en energía para transportar un fluido incomprensible hacia un punto de mayor presión o altitud, venciendo esta presión” (Córdova, 2018, p.6).

2.2.2. Presión

“La presión es una fuerza por unidad de superficie y puede expresarse en unidades tales como pascal, bar, atmósferas, kilogramos por centímetros cuadrados y psi (Libras por pulgada al cuadrado)” (Córdova, 2018, p.7).

2.2.3. Clasificación de las bombas

“Clasificaremos las bombas basándonos en lo establecido por el Instituto Hidráulico (Hydraulic Institute, USA) en su estándar ANSI/HI 9.1- 9.5 y adaptándolo a nuestra realidad” (Córdova, 2018, p.8).

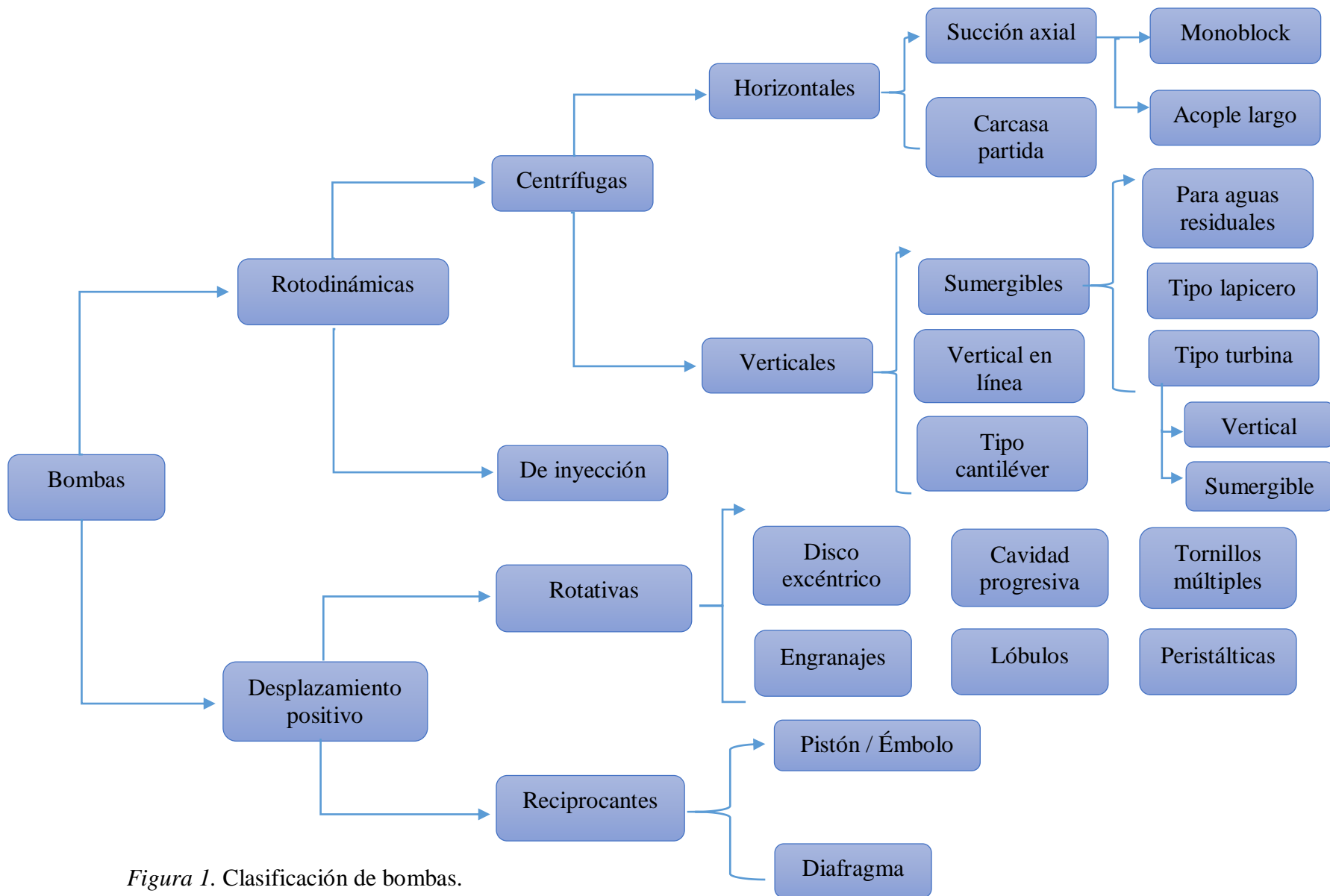


Figura 1. Clasificación de bombas.

Fuente: Sistemas de bombeo (Córdova, 2018)

2.2.4. Selección de bombas

Para poder seleccionar adecuadamente una bomba, debemos conocer los siguientes aspectos:

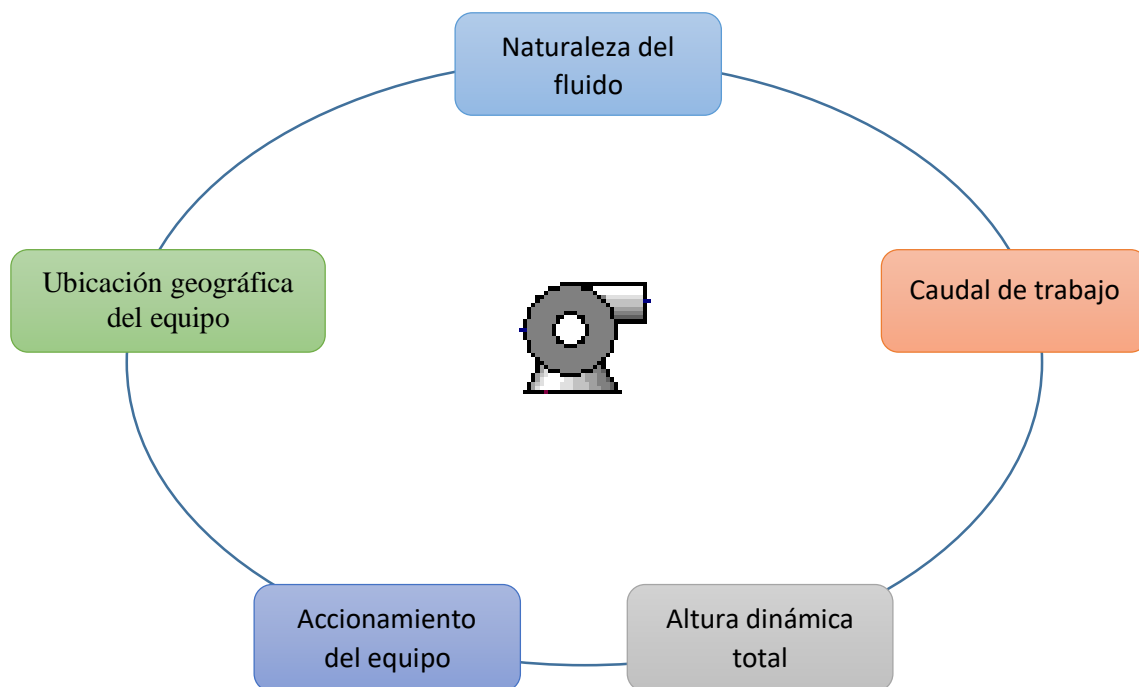


Figura 2. Aspectos para la selección de bombas

Fuente: Sistemas de bombeo (Córdova, 2018)

Córdova (2018) refiere que: “Es necesario conocer adecuadamente todos estos aspectos, para poder realizar una correcta selección y el posterior dimensionamiento del equipo de bombeo” (p.10).

- **Naturaleza del fluido.** “El primer aspecto a tener en cuenta es la naturaleza del fluido, esto es, tener la mayor cantidad de características del fluido de trabajo” (Córdova, 2018, p.11).

- *Composición química del fluido de trabajo.* “El conocer la composición o familia química del fluido nos asegura una correcta selección de materiales para el equipo” (Córdova, 2018, p.11).
- *pH del fluido de trabajo.* “El saber el pH del fluido de trabajo también nos asegura una correcta selección de materiales para el equipo” (Córdova, 2018, p.11).
- *Temperatura del fluido de trabajo.* La temperatura se define como el grado de calor o frío de un sistema medido en una escala definida. Está relacionada con la energía interna de ese sistema, y asociado al movimiento de molecular de las partículas que componen el sistema. (Córdova, 2018, p.11)
- *Densidad del fluido de trabajo.* “La densidad de un fluido es el valor de su masa por unidad de volumen” (Córdova, 2018, p.11).
- *Viscosidad del fluido de trabajo.* “La viscosidad refleja la resistencia al movimiento de fluido al pasar por una superficie” (Córdova, 2018, p.11).

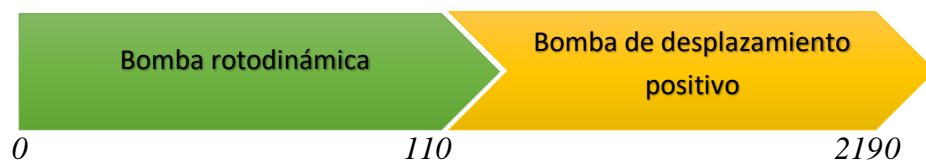
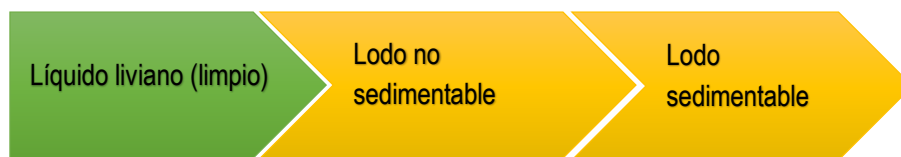


Figura 3. Rangos de viscosidad para la selección de bombas

Fuente: Sistemas de bombeo (Córdova, 2018)

- *% de sólidos del fluido de trabajo.* “En la industria muchas veces tenemos que manejar una mezcla sólido/líquido, en la que el líquido funciona como medio de transporte para el sólido, y en un 98% de estos casos el líquido de transporte es el agua” (Córdova, 2018, p.11).

Tabla 1

Porcentajes de sólidos del fluido

	Una sola fase líquida	Dos fases: sólido – líquido (lodo o slurry)	
Porcentajes de sólidos	0% (máximo 1%)	1 – 5% (máximo 6%)	De 6% a más
Diámetro de partícula	-	Máximo 50 μ m	De 50 μ m a más

Fuente: Sistemas de bombeo (Córdova, 2018)

- *Presión de vapor del fluido de trabajo.* La presión de vapor de un fluido es la presión a la que, a una temperatura dada, el fluido comienza a evaporarse. Se debe tener en cuenta la importancia de la presión de vapor en la selección de la bomba, ya que una bomba está diseñada para generar vacío. Una bomba puede entonces vaporizar parcialmente un líquido, especialmente si este tiene una alta presión de vapor. (Córdova, 2018, p.11)
- *Accionamiento del equipo.* Córdova (2018) refiere que: “El accionamiento se refiere a cómo el equipo de bombeo obtendrá energía para su funcionamiento” (p.26).



Figura 4. Motor eléctrico

Fuente: Sistemas de bombeo (Córdova, 2018)



Figura 5. Motor de combustión interna (Diésel)

Fuente: Sistemas de bombeo (Córdova, 2018)

- **Ubicación geográfica del equipo.** Córdova (2018) refiere que: “La ubicación nos ayuda para la configuración final del accionamiento y la bomba en sí” (p.27).
 - *Derrateo.* “Es castigar al motor con un factor, para saber en realidad cuanto más de torque de fuerza voy a necesitar” (Córdova, 2018, p.27).
 - *Hidráulica.* “Es la configuración de la bomba dependiendo al clima en la cual funcionará” (Córdova, 2018, p.27).
 - *Protecciones.* “Dependiendo del lugar donde va a funcionar la bomba se elige las protecciones más adecuadas” (Córdova, 2018, p.27).

2.2.5. Dimensionamiento de bombas

Córdova (2018) refiere que: “El dimensionamiento de un equipo de bombeo requiere básicamente de solo 2 parámetros esenciales” (p.24).

Caudal (Q) & Altura dinámica total (h_A)

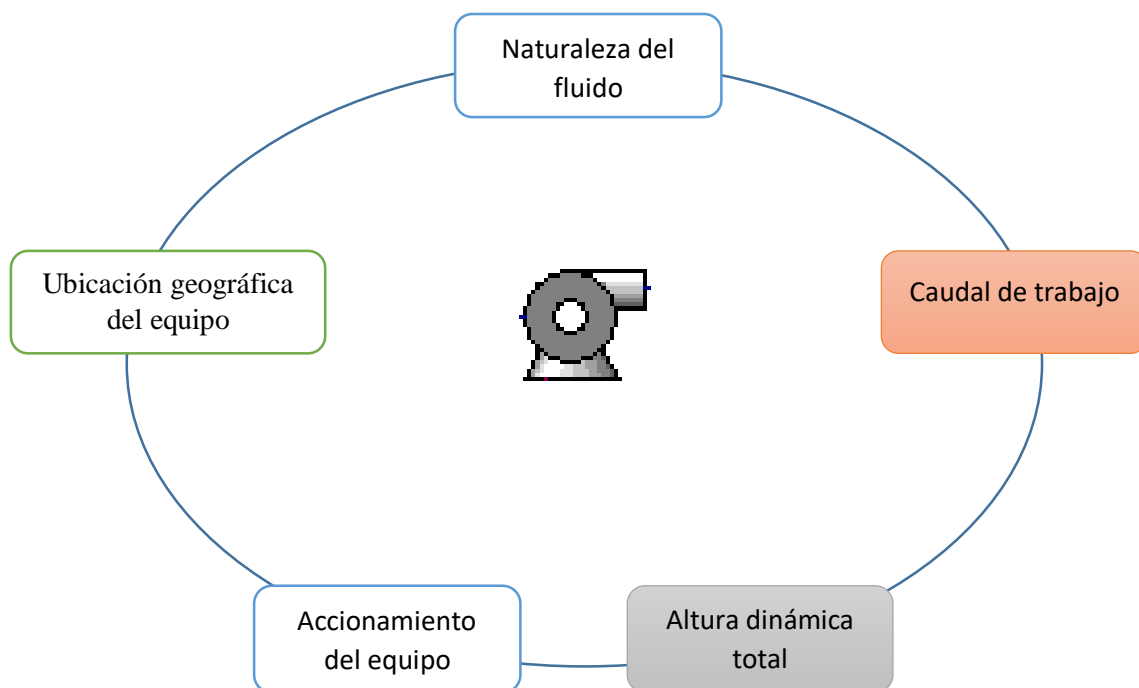


Figura 6. Aspectos para el dimensionamiento de bombas

Fuente: Sistemas de bombeo (Córdova, 2018)

En la placa de la bomba siempre figuran estos dos datos:

Bell & Gossett		MORTON GROVE, IL USA ASSEMBLED IN U.S.A.	
Size	e-1532 SSF	6.625	GPM 115
	2AD		FT 40
Model	CL2396-02	D-51	HP 2
Flow	175	MOD.	RPM 1750

Figura 7. Placa de una bomba

Fuente: Sistemas de bombeo (Córdova, 2018)

- **Caudal de trabajo.** “Es el flujo volumétrico que va circular por el equipo de bombeo, este va a ser determinante en el tamaño del equipo de bombeo” (Córdova, 2018, p.19).
- **Altura dinámica total.** “Es una magnitud que no depende de la densidad de fluido, se obtiene de la ecuación general de conservación de la energía y se expresa en términos de longitud” (Córdova, 2018, p.20).

2.2.6. Análisis interno hidráulico

- **Impulsor.** “El impulsor es el corazón de la bomba centrífuga. Recibe el fluido y le imparte energía cinética. Una parte de esta energía se convierte en energía de presión antes de abandonar el impulsor” (Córdova, 2018, p.28).

Por diseño del impulsor, podemos distinguir:

- Impulsor abierto
 - Impulsor semiabierto
 - Impulsor cerrado
- **Carcasa.** “Es la cámara en la que gira el impulsor. Su función principal es convertir la energía cinética (impartida por el impulsor al fluido) en energía potencial (de presión)” (Córdova, 2018, p.29).
 - **Anillos de desgaste.** Cumplen la función de ser un elemento fácil y barato de remover en aquellas partes en donde debido a las cerradas holguras entre el impulsor y la carcasa, el desgaste es casi seguro, evitando así la necesidad de cambiar estos elementos y quitar solo los anillos. (Córdova, 2018, p.30)
 - **Dispositivo de sellado.** “Dispositivo que, como su nombre lo indica, sella la parte hidráulica impidiendo que el fluido entre en contacto con las partes del accionamiento de la bomba” (Córdova, 2018, p.31).
 - **Accionamiento.** “La bomba necesita energía de algún medio para poder transmitirla al fluido. El equipo que le transmite energía cae dentro de la categoría del accionamiento de la bomba” (Córdova, 2018, p.32).

2.2.7. Sistema de bombeo

El sistema de bombeo tiene como objetivo elevar la presión del fluido térmico para vencer la resistencia que opondrá el circuito a su circulación. Las presiones de trabajo deben ser tales que se garanticen en todo momento que el fluido permanece en estado líquido y que no haya evaporización.

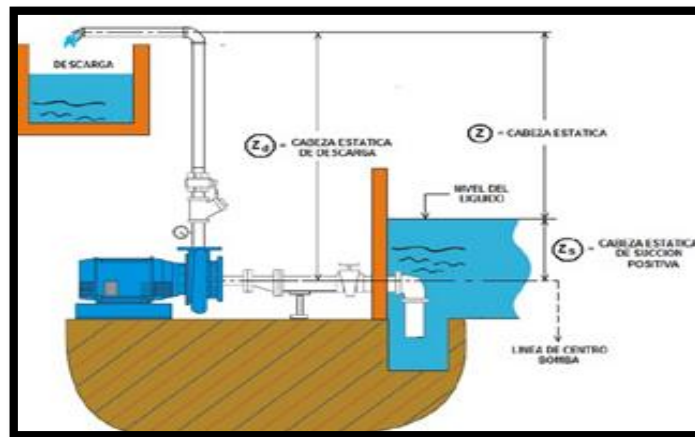


Figura 8. Sistema de bombeo

Fuente: Manual Quimpac Callao (2018)

El líquido es aspirado por el tubo de entrada de la bomba para luego ser impulsada por un motor que utiliza bobinas e imanes para crear un campo magnético y así lograr que el impulsor gire de una manera continua. Entonces, a medida que el rotor gira, se mueve el fluido alimentado por la bomba.

➤ *Sistema de bombeo en paralelo.*

“Son aquellos en los que hay más de una trayectoria que el fluido puede recorrer para llegar de un punto de origen a otro de destino”. (Mott, 2006, p.358)

Para un sistema en paralelo se cumple que:

$$Q_T = Q_1 + Q_2 \quad \text{y} \quad h_{A1} = h_{A2}$$

2.2.8. ASPEN PLUS

➤ *¿Para que esta ASPEN?*

ASPEN es un acrónimo de “Advanced System for Process Engineering” (Sistema Avanzado para Ingeniería de Procesos. Se basa en una simulación de diagrama de flujo. Tenga en cuenta que Aspen fue reemplazado por Aspen Plus® en las últimas versiones. Una simulación de diagrama de flujo es un software de computadora que se utiliza para modelar cuantitativamente una planta de procesamiento químico que, además de la unidad del reactor central, también incluye pasos previos y posteriores al tratamiento. Así, la simulación de un proceso químico completo, a partir de la materia prima hasta el producto final, está representada simbólicamente por diferentes íconos donde cada ícono representa una unidad de operación, proceso químico, flujo de material de entrada / salida, flujo de energía de entrada / salida o señal eléctrica / neumática de entrada / salida. En cuanto a la notación del diagrama de flujo de Aspen Plus, habrá un ícono de bloque y un ícono de flujo. (Al-Malah, 2017, p.1)

➤ *Especificación del método de propiedades.*

“Una de las decisiones clave y más importantes es la selección del método de propiedad. Un método de propiedad es un conjunto de modelos utilizados para calcular la termodinámica, la cinética y propiedades de transporte” (Al-Malah, 2017, p.15).

Se muestra el árbol para la selección del método de propiedad, que se basa en diferentes categorías, como la naturaleza del medio (es decir, polar vs. no polar, electrolito vs. no electrolito o ideal vs. real), condiciones de operación (es decir, presión alta frente a baja), la presencia / ausencia de parámetros de interacción y la presencia / ausencia de LLE. (Al-Malah, 2017, p.21)

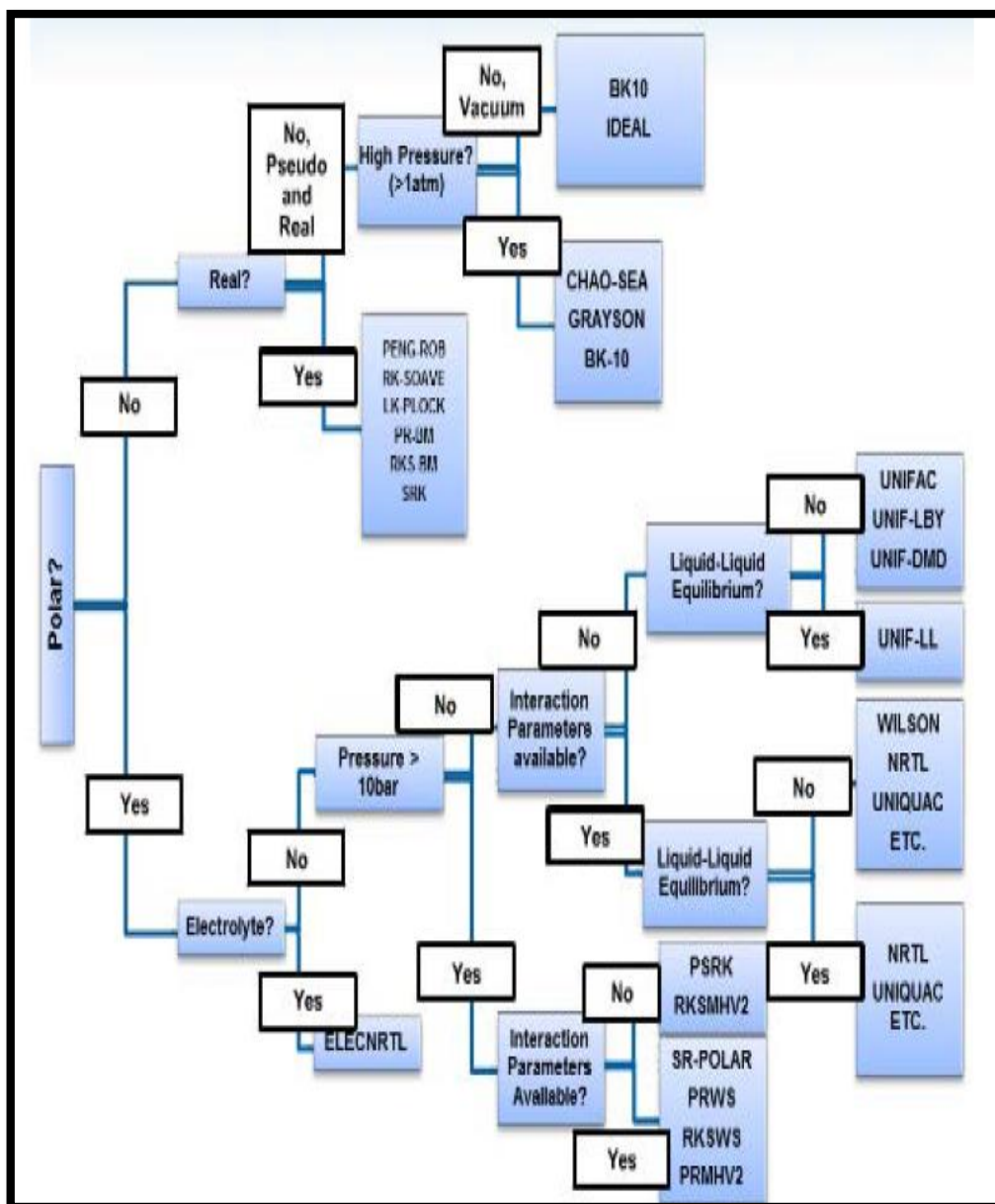


Figura 9. Método de propiedades

Fuente: ASPEN PLUS: Chemical Engineering Applications (Al-Malah, 2017)

2.3. Definiciones conceptuales

- Fluido incompresible: “Es cualquier fluido cuya densidad siempre permanece constante con el tiempo, y tiene la capacidad de oponerse a la compresión del mismo bajo cualquier condición” (Rojas, 2017, p.29).
- Sistema de Bombeo: “Es un conjunto de estructuras civiles, equipos, tuberías y accesorios, que toman el fluido directa o indirectamente de la fuente de abastecimiento y la impulsan a un reservorio de almacenamiento o directo a la red de distribución” (Rojas, 2017, p.45).
- Cavitación: “Consiste en la formación de cavidades en un líquido y se produce cuando su tensión de vapor iguala o supera la presión que actúa sobre él” (Rojas, 2017, p.49).
- Viscosidad: “La viscosidad expresa la facilidad que tiene un fluido para fluir cuando se le aplica una fuerza externa” (Crane, 1992, p. 1-2).
- Presión: “Se define como la cantidad de fuerza que se ejerce sobre una unidad de área de alguna sustancia” (Mott, 2006, p.11).
- Flujo Laminar: “El fluido parece suave y estable, y parece moverse en láminas continuas con poca o ninguna mezcla entre las láminas adyacentes” (Córdova, 2018, p.14).
- Flujo Turbulento: “El fluido tiene una velocidad mayor. Los elementos del fluido parecen mezclarse en forma caótica dentro de la corriente” (Córdova, 2018, p.14).
- Cebado de una bomba: “El cebado de un equipo de bombeo es el llenado total de la línea de succión y de la parte hidráulica de la bomba por el fluido de trabajo” (Córdova, 2018, p. 21).
- NPSH: “Para determinar el nivel de presión de succión requerida, los diversos fabricantes prueban cada diseño, y sus resultados lo expresan como la altura neta positiva de succión” (Córdova, 2018, p.23).

- Carcasa: “La función de la carcasa en una bomba centrífuga es convertir la energía de velocidad impartida al líquido por el impulsor en energía de presión” (Zubicaray, 2003, p.38).
- Impulsor: “El impulsor es el corazón de la bomba centrífuga. Recibe el líquido y le imparte una velocidad de la cual depende de la carga producida por la bomba” (Zubicaray, 2003, p.40).
- Anillos de desgaste: “La función del anillo de desgaste es el tener un elemento fácil y barato de remover en aquellas partes en donde, debido a las cerradas holguras que se producen entre el impulsor que gira y la carcasa fija” (Zubicaray, 2003, p.41).

2.4. Formulación de la Hipótesis

2.4.1. Hipótesis General.

- Es posible dimensionar y seleccionar diferentes tipos de bombas para el bombeo de efluentes ácidos.

2.4.2. Hipótesis Específicos.

- Es técnicamente factible caracterizar un sistema de bombeo para efluentes ácidos en la empresa QUIMPAC Callao S.A.
- Es posible relacionar la influencia de la naturaleza del fluido con la selección de la bomba.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. Diseño Metodológico

3.1.1. Tipo de Investigación.

El trabajo se enmarca en una investigación aplicada, ya que se enfoca en el diseño de un sistema de bombeo para el transporte de efluentes ácidos.

3.1.2. Nivel de Investigación.

De acuerdo a la naturaleza de la investigación, reúne por su nivel las características de un estudio explicativo, ya que se conoce y da a conocer las causas o factores que han dado origen o han condicionado la existencia y naturaleza del hecho o fenómeno de estudio. Así mismo se indaga sobre la relación recíproca y concatenada de todos los hechos de la realidad, buscando dar una explicación objetiva, real y científica a aquello que se desconoce.

3.1.3. Diseño.

El diseño de la investigación es cuantitativa, se recolecta información mediante la revisión de la bibliografía y la realización de encuesta, la cual se analiza con los cálculos que se realiza para el diseño.

Tabla 2

Matriz de diseño metodológico

HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES
Es posible dimensionar y seleccionar diferentes tipos de bombas para el bombeo de efluentes ácidos	Independiente: Dimensionamiento y selección de diferentes tipos de bombas	Componentes hidráulicos de diseño	.Factores hidráulicos .Factores mecánicos
	Dependiente: Bombeo de efluentes ácidos	Naturaleza del fluido	. pH . % de Sólidos . Densidad . Viscosidad

Fuente: Elaboración propia

3.1.4. Enfoque.

El trabajo de investigación tiene un enfoque cuantitativo, ya que el investigador utiliza su diseño para analizar la certeza de las hipótesis formuladas en un contexto en particular.

3.2. Población y Muestra**3.2.1. Población.**

Los efluentes de la planta QUIMPAC Callao S.A.

3.2.2. Muestra.

Los efluentes ácidos de las líneas de producción de H_3PO_4 , NaOH líquido y $CaCl_2$ de la planta QUIMPAC Callao S.A.

3.3. Operacionalización de variables e indicadores

Es una presentación de la estructura metodológica de cada variable principal donde se desarrolla la definición conceptual, dimensiones e indicadores de las variables de procesos.

Tabla 3

Variable Independiente: Dimensionamiento y selección de diferentes tipos de bombas

Definición conceptual	Dimensión	Indicador
Tamaño y selección de la bomba más viable técnicamente para el transporte de efluentes ácidos	Hidráulica	. ADT (m) . Perdidas (m) . Caudal (m ³ /h) . Potencia (kW) . Eficiencia (%)

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4

Variable Dependiente: Bombeo de efluentes ácidos

Definición conceptual	Dimensión	Indicador
Transporte del fluido a través del sistema de bombeo	Hidráulica	Reológico

Fuente: Elaboración propia

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1. Técnicas a emplear.

Para obtener información se utilizó la técnica de análisis de documentos en libros y publicaciones, incluso también sobre documentos audiovisuales.

3.4.2. Descripción de los instrumentos.

Tabla 5

Técnicas e instrumentos para recolección de datos

TECNICA	INSTRUMENTO	ACCIONES
Revisión de la bibliografía	Literatura y Normas	Acopio de la información
Simulación	Programas (Aspen plus)	Simular el sistema
Encuesta	Cuestionario a experto	Validación de la información

Fuente: Elaboración propia

3.5. Técnicas para el procesamiento de la información

La recolección de datos se realiza para el diseño del sistema de bombeo tomando datos del funcionamiento y el caudal de envío de efluente hacia las pozas.

La información del efluente se obtiene a partir de los análisis obtenidos en laboratorio, los cuales son necesarios para realizar una correcta selección de bomba. Esta información se presenta en las tablas 7, 8 y 9.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1. Descripción del PFD del sistema de bombeo

Los efluentes ácidos son depositados en 4 pozas, las cuales se representaran en una sola (PZ-100 A/B/C/D), el fluido pasará a través de una válvula check tipo canastilla (check de pie CV-100) la cual impide el retorno del fluido manteniendo así, el cebado la bomba. Luego el fluido es distribuido por un sistema de bombas en paralelo, en la succión de las bombas son colocadas tres válvulas de corte (CV- 101, CV- 102 y CV- 103) las cuales se utilizarán para realizar mantenimiento, las bombas (P-100B, P-100C) se encontraran e funcionamiento, mientras que la bomba (P-100A) se encontrara en stand by, luego pasa a través de 3 válvulas check en línea (CV-104, CV-105 y CV-106) las cuales evitan el retorno del fluido hacia las bombas, tambien pasan a través de 3 válvulas de flujo (FV-100, FV-101 y FV-102) las cuales se encargarán de regular el flujo, en la descarga se coloca una válvula ventosa (SCV-100) la cual es una eliminadora de aire previniendo así los golpes de ariete, además permitiría colocar un flujómetro, para ir controlando cuanto de efluente se esta retirando de las pozas, al final el fluido es depositado en un tanque (TK-100).

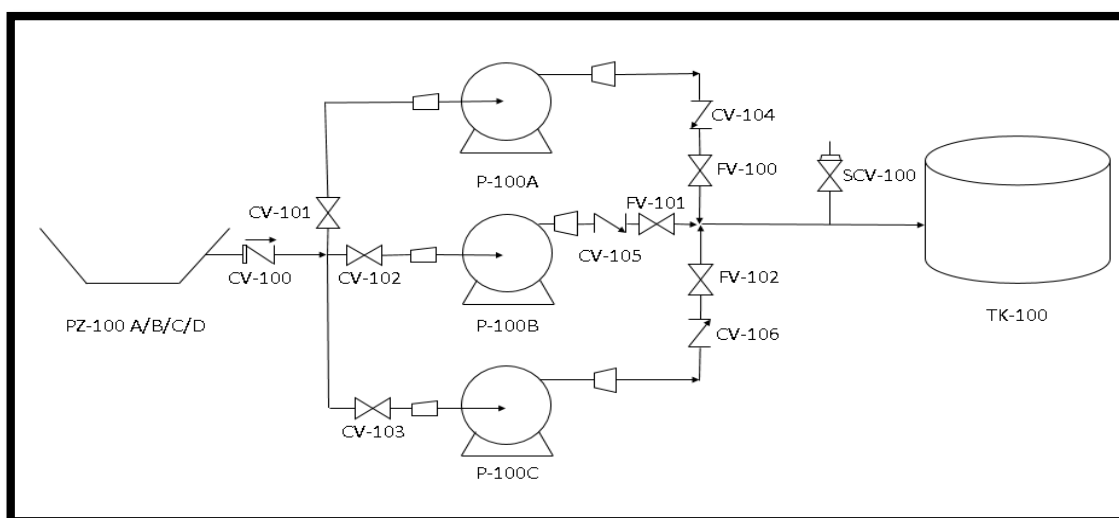


Figura 10. PFD del sistema de bombeo

Fuente: Elaboración propia

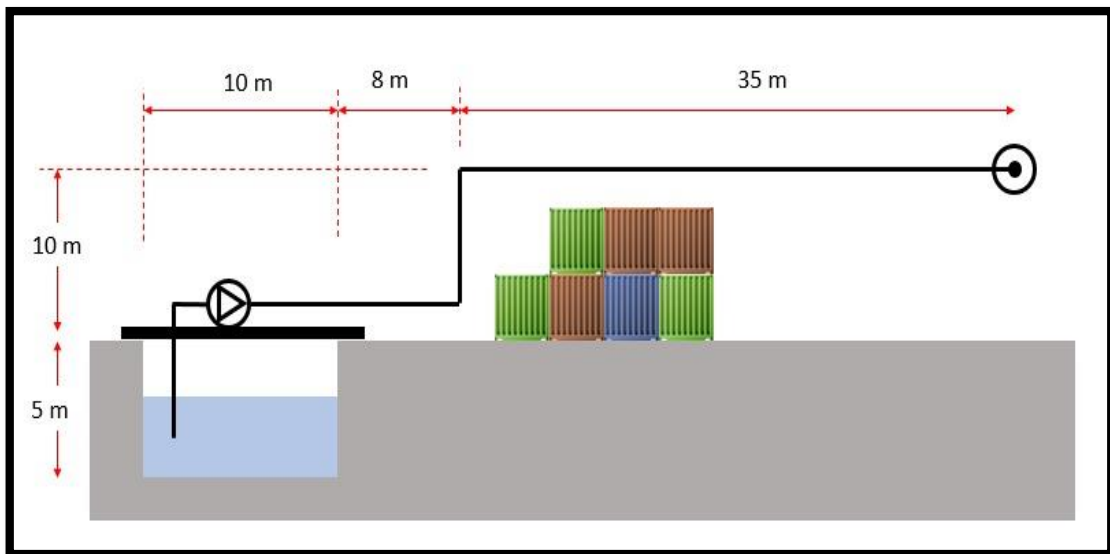


Figura 11. Longitudes del sistema del bombeo (1)

Fuente: Elaboración propia

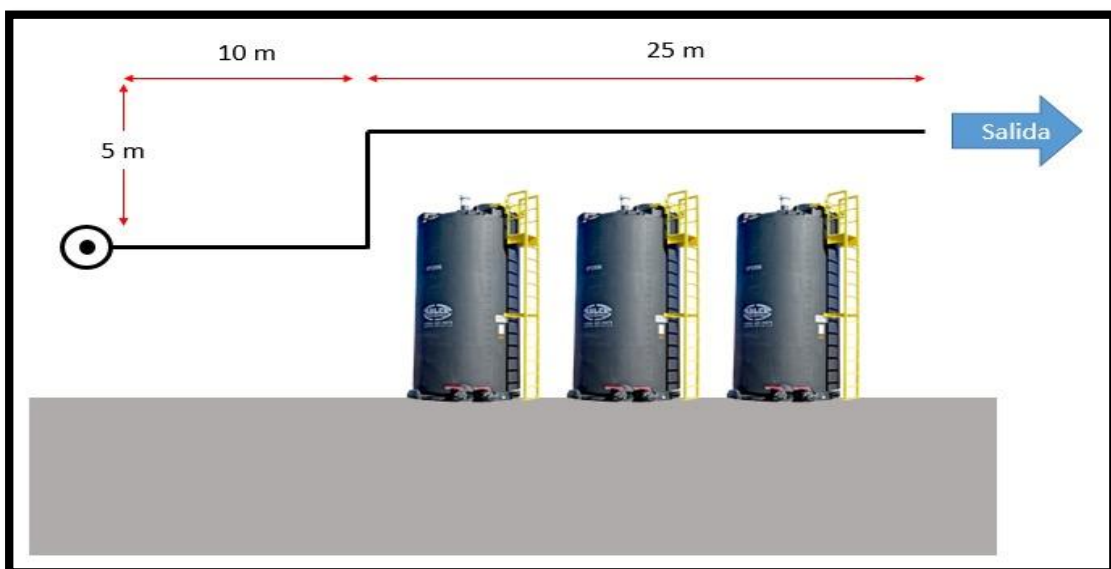


Figura 12. Longitudes del sistema de bombeo (2)

Fuente: Elaboración propia

4.2. Cálculo del diámetro de tubería

Al seleccionar la tubería se deben tener en cuenta dos aspectos importantes: El costo y la resistencia del material. Existen diferentes materiales para tubería, entre las cuales, las que se acomodan al estudio son las siguientes:

Tabla 6

Comparación de tuberías comerciales

COMPARACIÓN DE TUBERÍAS COMERCIALES		
Acero Inoxidable 304	Acero Inoxidable 316	CPVC
- Es el más utilizado internacionalmente.	- En los últimos años se ha vuelto el más popular.	- Es de bajo costo.
- Contiene aprox. un 18 % de cromo y un 8 % de níquel.	- Contiene aprox. Un 16 % de cromo, 11 % de níquel y molibdeno como mínimo al 2%.	- Es un homopolímero que se ha sometido a una reacción de cloración, entre el PVC y el cloro.
- Se usa en las industrias de alimentos, lácteos y bebidas, también para productos químicos suaves.	- Se usa en procesamientos químicos, procesamientos de pulpa y papel, dispensación de alimentos y bebidas y en entornos más corrosivos.	- Se usa en procesamiento de químicos agresivos a altas temperaturas, sin problemas de corrosión, también es usado en procesos de cloro alcalino y tratamiento de aguas residuales.

Fuente: Elaboración propia

Se selecciona la tubería de CPVC, ya que es de bajo costo y se puede usar bajo las condiciones del sistema.

El CPVC permite exceder los 60°C mas no debe de exceder los 93°C, conserva las propiedades básicas del PVC como son: Resistencia química, bajo peso, no se corroe, no se oxida, coeficiente de fricción, etc.

Se utilizó velocidades promedio que se estima de buenas prácticas para líquidos, en base a esto se calcula el diámetro de tubería.

“Fluidos acuosos con sólidos sedimentables $>1, < 1.5\text{m/s}$ ” (Móran, 2015, p.116).

Lo ideal es manejar rangos porque en algunos casos los equipos deben ser dimensionados por excesos, eso hará que no se quede justo de procesamiento. No es recomendable bajar mucho la velocidad porque eso implicaría que se emplee una tubería de mayor diámetro y esto haría que suban mucho los costos,tambien no debe subir la velocidad para evitar la turbulencia.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Datos:							
2	Caudal =	0.00689	m ³ /s		Densidad =	1050	Kg/m ³	
3					velocidad min =	1.1	m/s	
4					velocidad max =	1.4	m/s	
5								
6	Amin	Amax	p	Peso aprox. (Kg/m)min	Peso aprox. (Kg/m)max			
7	0.0063	0.0049	1050	6.5768	5.1675			
8								
9								
10								

Figura 13. Cálculos del diámetro de tubería

Fuente: Elaboración propia

Se realizaron los cálculos con el caudal máximo para poder determinar el área de la velocidad mínima y máxima, para poder obtener así el peso por unidad de metro de tubería, como se comentó anteriormente se selecciona la tubería de CPVC cédula 80, utilizando la ficha técnica para determinar el diámetro que se utilizará.

Diámetro Nominal (pulg.)	Diámetro Exterior		Diámetro Interior		Espesor de Pared		Presión a 23 °C		Peso Aprox. kg/m
	(pulg.) (O.D.)	(mm)	(pulg.) (I.D.)	(mm)	(pulg.) (T)	(mm)	(psi)	(kg/cm ²)	
½"	0.840	21.3	0.528	13.4	0.147	3.7	850	59.5	0.33
¾"	1.050	26.7	0.724	18.4	0.154	3.9	690	48.3	0.45
1"	1.315	33.4	0.936	23.8	0.179	4.5	630	44.1	0.67
1¼"	1.660	42.2	1.255	31.9	0.191	4.9	520	36.4	0.92
1½"	1.900	48.3	1.476	37.5	0.200	5.1	470	32.9	1.12
2"	2.375	60.3	1.913	48.6	0.218	5.5	400	28.0	1.55
2½"	2.875	73.0	2.290	58.2	0.276	7.0	420	29.4	2.36
3"	3.500	88.9	2.864	72.7	0.300	7.6	370	25.9	3.16
4"	4.500	114.3	3.786	96.2	0.337	8.6	320	22.4	4.62
6"	6.625	168.3	5.709	145.0	0.432	11.0	280	19.6	8.82
8"	8.625	219.1	7.565	192.2	0.500	12.7	250	17.5	13.46
10"	10.750	273.1	9.493	241.1	0.593	15.1	230	16.1	19.97
12"	12.750	323.9	11.294	286.9	0.687	17.4	230	16.1	27.45
14"	14.000	355.6	12.413	406.8	0.752	14.3	220	15.4	33.05
16"	16.000	406.4	14.214	361.0	0.843	21.4	220	15.4	42.47

Figura 14. Ficha técnica de tubería CPVC

Fuente: Importaciones Plásticas LOMA S.A. (2018)

4.3. Dimensionamiento del manifold de aspiración y de impulsión

Los manifolds son aquellos en el cual se recolecta el fluido en un sistema de bombas en paralelo, si este se encuentra antes de las bombas, se conoce como manifold de aspiración, por el contrario, si el manifold se ubicara después de las bombas, se llama manifold de impulsión.

Manifold de aspiración: En este manifold se recolecta el caudal máximo proveniente de las pozas que es $24.8 m^3/h$, tanto para la velocidad mínima y máxima se utiliza un manifold de diámetro de 6 in, a la salida se coloca una descarga de 3 in la cual se conecta a la succión de la bomba.

Manifold de impulsión: En este manifold se recolecta el caudal máximo que sale del sistema de bombas que es $24.8 m^3/h$, tanto para la velocidad mínima y máxima se utiliza un manifold de diámetro de 6 in. A la descarga de las bombas en funcionamiento se coloca expansores concéntricos de 1.5 in x 3 in y a la descarga de la bomba en stand by un expansor concéntrico de 2 in x 3 in, los cuales se conectan con una tubería al manifold, a la salida de este, se coloca una descarga de diámetro de 6 in.

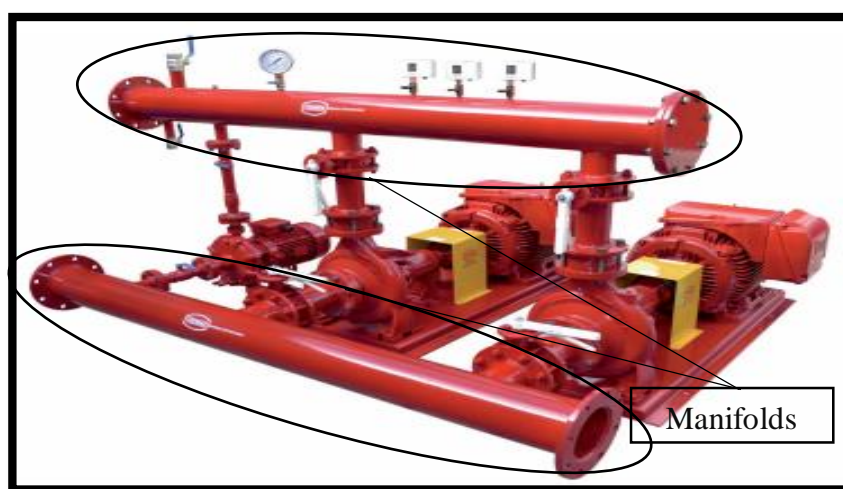


Figura 15. Equipo de bombeo con manifolds

Fuente: TROMPA (2017)

Se quiere que el caudal se reparta entre las dos bombas en funcionamiento, para poder hallar el diámetro por el cual pasará el fluido hacia la succión de la bomba, también se determina el diámetro para la bomba en stand by.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Datos:							
2	Caudal =	0.00344	m ³ /s		Densidad =	1050	Kg/m ³	
3					velocidad min =	1.1	m/s	
4					velocidad max =	1.4	m/s	
5								
6	A _{min}	A _{max}	ρ	Peso aprox. (Kg/m) _{min}	Peso aprox. (Kg/m) _{max}			
7	0.0031	0.0025	1050	3.2836	2.58			
8								
9								
10								

Figura 16. Cálculos del diámetro de la salida del manifold de aspiración

Fuente: Elaboración propia

Diámetro Nominal (pulg.)	Diámetro Exterior		Diámetro Interior		Espesor de Pared		Presión a 23 °C		Peso Aprox. kg/m
	(pulg.) (O.D.)	(mm)	(pulg.) (I.D.)	(mm)	(pulg.) (T)	(mm)	(psi)	(kg/cm ²)	
1/2"	0.840	21.3	0.528	13.4	0.147	3.7	850	59.5	0.33
3/4"	1.050	26.7	0.724	18.4	0.154	3.9	690	48.3	0.45
1"	1.315	33.4	0.936	23.8	0.179	4.5	630	44.1	0.67
1 1/4"	1.660	42.2	1.255	31.9	0.191	4.9	520	36.4	0.92
1 1/2"	1.900	48.3	1.476	37.5	0.200	5.1	470	32.9	1.12
2"	2.375	60.3	1.913	48.6	0.218	5.5	400	28.0	1.55
2 1/2"	2.875	73.0	2.290	58.2	0.276	7.0	420	29.4	2.36
3"	3.500	88.9	2.864	72.7	0.300	7.6	370	25.9	3.16
4"	4.500	114.3	3.786	96.2	0.337	8.6	320	22.4	4.62
6"	6.625	168.3	5.709	145.0	0.432	11.0	280	19.6	8.82
8"	8.625	219.1	7.565	192.2	0.500	12.7	250	17.5	13.46
10"	10.750	273.1	9.493	241.1	0.593	15.1	230	16.1	19.97
12"	12.750	323.9	11.294	286.9	0.687	17.4	230	16.1	27.45
14"	14.000	355.6	12.413	406.8	0.752	14.3	220	15.4	33.05
16"	16.000	406.4	14.214	361.0	0.843	21.4	220	15.4	42.47

Figura 17. Ficha técnica de tubería CPVC para la salida del manifold de aspiración

Fuente: Importaciones Plásticas LOMA S.A. (2018)

4.4. Dimensionamiento de válvulas

4.4.1. Válvulas de compuerta. Estas válvulas bidireccionales son utilizadas para permitir o impedir el paso del fluido (líquidos). Son utilizados en sistemas que deben encontrarse abiertas o cerradas totalmente (ON-OFF). En el sistema de bombeo se utilizan 3 válvulas de compuerta clases 150 antes de la succión de la bomba (ver anexo N° 6).

4.4.2. Válvulas de globo. Estas válvulas unidireccionales son utilizadas para regular el caudal, la presión y la velocidad. Son utilizados también para evitar los golpes de ariete que se puedan presentar en el sistema de bombeo. Existe una gran variedad de válvulas de globo y su selección depende de las condiciones de operación a las que es sometida según su aplicación. En el sistema de bombeo se utilizan 3 válvulas de globo clase 150 después de la descarga de la bomba (ver anexo N° 7).

4.4.3. Válvulas de retención. Estas válvulas unidireccionales se utilizan para evitar el retorno del fluido. Las válvulas check tienen aplicaciones en sistema de bombeo para evitar que, al apagar las bombas, el fluido que queda en la línea retorne, garantizando así el cebado de las bombas. Se utiliza una válvula check tipo canastilla en la toma del fluido, y tres válvulas check swing clase 150 a la salida de la bomba (ver anexo N° 5 y N°8).

4.4.4. Válvula ventosa. Permite la evacuación del aire de una tubería en proceso de llenado y la entrada de aire durante el vaciado; además elimina el aire u otros gases acumulados cuando la red esté bajo presión. Se coloca una válvula ventosa después del Manifold que se encuentra a la salida de la bomba (ver anexo N° 9).

4.5. Dimensionamiento y selección de bombas

Como se menciona anteriormente se necesita conocer algunos aspectos, de los cuales se cuenta con datos para el dimensionamiento y la selección de bombas, los cuales son lo siguiente:

Tabla 7

Análisis de pozas

ANÁLISIS DE POZAS			
Tag Poza	pH	Densidad (Kg/dm ³)	% Sólidos
CH 2001 - A	0 – 4	1.031	4 - 6
CH 2001 - B	0 – 4	1.033	4 - 6
CH 2001 - C	0 – 4	1.028	4 - 6
CH 2001 - D	0 – 7	1.031	4 - 6

Fuente: Análisis de poza Quimpac Callao S.A. (2018)

Las condiciones de operación del sistema son las siguientes:

Tabla 8

Parámetros del sistema

PARAMETRO	VALOR
Temperatura mínima	30°C
Temperatura máxima	50°C
Caudal mínimo	15 m ³ /h
Caudal máximo	24.8 m ³ /h
NPSH requerido	3.1 m
Altura dinámica total	18.5 m

Fuente: Elaboración propia

La composición del efluente ácido es:

Tabla 9

Composición del efluente ácido

COMPUESTO	UNIDAD	VALOR
H ₃ PO ₄	ppm	3
HCl	ppm	37
CaCl ₂	ppm	1360
NaCl	ppm	430
Mg	ppm	14
K	ppm	13
Mn	ppm	0.077
B	ppm	0.31
Ni	ppm	0.23
Cd	ppm	0.014
Zn	ppm	0.064
As	ppm	0.044
Ba	ppm	0.023
Cr	ppm	0.015
Li	ppm	0.014
Pb	ppm	0.013
Ti	ppm	0.012

Fuente: Análisis de poza Quimpac Callao S.A. (2018)

Se tiene en cuenta que el fluido es ácido y tiene un porcentaje de sólidos significativos, existen varios tipos de bombas que cumplen con estos requisitos, pero la que mas se acomoda a las necesidades del sistema, son las bombas ASME / ANSI fabricadas de acuerdo al estándar B 73.1. Además estas bombas deben cebarse antes de la operación. Si se opera en seco, puede ocurrir daño en las partes con tolerancias y el sello mecánico se destruirá. Si no ceba la bomba, la bomba no entregará líquido.

Se utiliza el seleccionador de la marca GRISWOLD ya que cuenta con el tipo de bomba necesaria para nuestro sistema.

En el Perú se trabaja con una frecuencia de 60 Hz, así que se selecciona 60 Hz Pumps.



Figura 18. Ventana de selección de frecuencia

Fuente: Griswold (2019)

Se coloca el caudal de 12.4m³/h ya que sera repartida entre dos bombas en paralelo, el ADT 18.5 m. Además se selecciona las bombas tipo 811-ANSI y 811 LF-ANSI y las velocidades 900, 1200, 1800 y 3600, el motor eléctrico es contruido bajo la norma de diseño IEC.

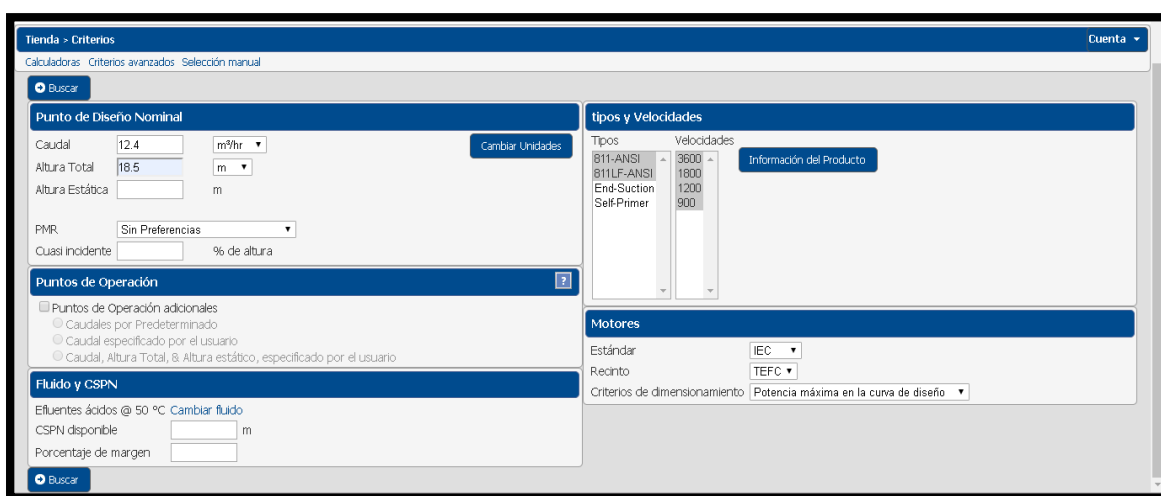


Figura 19. Ventana de ingreso de las condiciones de operación

Fuente: Griswold (2019)

Las bombas ASME/ANSI tienen las siguientes características:

Tabla 10

Características de las bombas ASME / ANSI

BOMBA ASME / ANSI	
Presión máxima de trabajo admisible	275 psig
Presión de prueba hidrostática	415 psig
Rating (clase) de las bridas	Bridas de cara plana 150# son el estándar. Cara resaltada también están disponibles.
Temperatura máxima	250 (121.11°C). Como la bomba está montada sobre patas, se limita el crecimiento térmico.
Materiales de construcción	Hierro dúctil, ac.inox. 316, dúplex, y aleación 20. Internos en acero al carbono no es común.
Máximo diferencial de ADT	550 a 660 ft. Las bombas ANSI/ASME solo son una etapa. Impulsor máximo de 13 inch.
Diseño y conexión del impulsor	Impulsor abierto estándar (cerrado también disponible). Conexión roscada al eje.
Dimensiones	Las bombas ASME/ANSI suelen tener piezas de dimensiones intercambiables entre marcas.
Lubricación	Puede ser lubricada por grasa o por aceite.

Se ingresan las propiedades del efluente ácido en la siguiente ventana:

Figura 20. Ventana de ingreso de parámetros del efluente ácido

Fuente: Griswold (2019)

Una vez ingresado los datos necesarios, el seleccionador da una lista de bombas, las cuales se acomodan de acuerdo a las necesidades.

Tienda > Criterios > Lista de selección

Selección manual

Punto de Diseño: 12.4 m³/hr, 18.5 m

#	Vista previa	Tipo	Tamaño	Curva	Velocidad (rpm)	Diámetro	Altura (m)	Eficienc (%)	PMR (%)	CSPN re (m)	Potencia (kW)	Motor (kW)	Armazón	Caudal mini (m ³ /hr)	Impulsor
---		811-ANSI	3x2-6 AC	G-3603	3500	4,2 in	18,5	31	48	2,44	2,13	4	112M	5,86	---
---		811-ANSI	1.5x1-6 AA	G-3601	3500	4,21 in	18,5	29	30	1,28	2,23	3	100L	1,44	---
---		811-ANSI	4x3-13 A40	G-1219	1150	11,31 in	18,5	28	50	0,61	3,3	11	160L	11,3	---
---		811-ANSI	3x2-8 A60	G-1807	1750	7,77 in	18,5	28	37	0,61	2,32	5,5	132S	2,57	---
---		811-ANSI	3x1.5-6 AB	G-3602	3500	4,16 in	18,6	28	36	1,94	2,33	3	100L	2,53	---
---		811-ANSI	3x1.5-10 A50	G-1811	1750	8,11 in	18,5	28	33	0,61	2,36	4	112M	2,23	---
---		811-ANSI	3x1.5-8 AB	G-1805	1750	7,88 in	18,5	27	36	0,61	2,45	4	112M	2,41	---

Figura 21. Ventana de selección de bombas

Fuente: Griswold (2019)

4.5.1. Cálculos del sistema de bombeo

Se utiliza la ecuación general de la energía para poder determinar el valor de la presión a la salida del sistema de bombeo. Con los datos de las tablas 7 y 8 se procede a realizar los cálculos hidráulicos.

Primero se calcula el número de reynolds:

$$\mu = 0.12 \text{ Kg}/\text{m.s}$$

$$Re = \frac{vD\rho}{\mu}$$

$$Re = \frac{1.4 \text{ m/s} * 0.1524 \text{ m} * 1050 \text{ Kg}/\text{m}^3}{0.12 \text{ Kg}/(\text{m.s})}$$

$$Re = 1466.85$$

El número de reynolds es menor a 2000 ,por lo tanto, el flujo es laminar, se halla el factor de fricción:

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

$$f = \frac{64}{1466.85}$$

$$f = 0.04$$

Se calcula las pérdidas por fricción en expansores, codos, válvulas , adaptadores y tubería:

Codos de 90° :

$$h_L = f * \frac{L_e}{D} * \frac{v^2}{2g}$$

$$h_L = 6[0.04 * 30 * \frac{(1.1 \text{ m/s})^2}{2 * 9.81 \text{ m/s}^2}]$$

$$h_L = 0.48 \text{ m}$$

Adaptadores con conexión MJ:

$$h_L = K * \frac{v^2}{2g}$$

$$h_L = 22[0.08 * \frac{(1.1 \text{ m/s})^2}{2 * 9.81 \text{ m/s}^2}]$$

$$h_L = 0.11 \text{ m}$$

Expansores concéntricos:

$$h_L = K * \frac{v^2}{2g}$$

$$h_L = 3[0.29 * \frac{(1.1 \text{ m/s})^2}{2 * 9.81 \text{ m/s}^2}]$$

$$h_L = 0.05 \text{ m}$$

Válvula check tipo canastilla:

$$h_L = f * \frac{L_e}{D} * \frac{v^2}{2g}$$

$$h_L = 1[0.04 * 420 * \frac{(1.1 \text{ m/s})^2}{2 * 9.81 \text{ m/s}^2}]$$

$$h_L = 1.13 \text{ m}$$

Válvula check tipo swing:

$$h_L = f * \frac{L_e}{D} * \frac{v^2}{2g}$$

$$h_L = 3[0.04 * 75 * \frac{(1.1 \text{ m/s})^2}{2 * 9.81 \text{ m/s}^2}]$$

$$h_L = 0.61 \text{ m}$$

Válvula de globo:

$$h_L = f * \frac{L_e}{D} * \frac{v^2}{2g}$$

$$h_L = 3 \left[0.04 * 340 * \frac{(1.1 \text{ m/s})^2}{2 * 9.81 \text{ m/s}^2} \right]$$

$$h_L = 2.74 \text{ m}$$

Válvula de compuerta:

$$h_L = f * \frac{L_e}{D} * \frac{v^2}{2g}$$

$$h_L = 3 \left[0.04 * 8 * \frac{(1.1 \text{ m/s})^2}{2 * 9.81 \text{ m/s}^2} \right]$$

$$h_L = 0.06 \text{ m}$$

Tubería de CPVC:

$$h_L = f * \frac{L_e}{D} * \frac{v^2}{2g}$$

$$h_L = 0.04 * \frac{150 \text{ m}}{0.1524 \text{ m}} * \frac{(1.1 \text{ m/s})^2}{2 * 9.81 \text{ m/s}^2}$$

$$h_L = 1.85 \text{ m}$$

Por último, se suman las pérdidas totales por fricción y se añaden en la ecuación general de la conservación de la energía para obtener P_2 :

$$P_2 = \gamma \left[\left(\frac{v_1 - v_2}{2g} \right) + (Z_1 - Z_2) + \left(\frac{P_1}{\gamma} \right) + h_A - h_L \right]$$

$$P_2 = 10.30 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \left[\left(\frac{1.1 \text{ m/s} - 1.4 \text{ m/s}}{2 * 9.81 \text{ m/s}^2} \right) + (11 \text{ m}) + \left(\frac{41.20 \text{ kN/m}^2}{10.30 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}} \right) + 18.5 \text{ m} - 7.05 \text{ m} \right]$$

$$P_2 = 272.10 \text{ kN/m}^2$$

Con una hoja de cálculos en excel se obtiene el valor de la presión.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1												
2		DATOS GENERALES				DATOS DE SUCCIÓN				DATOS DE DESCARGA		
3		Peso específico =	10.30	KN/m3		V1 =	1.1	m/s		V2 =	1.4	m/s
4		A. de la gravedad =	9.81	m/s2		P1 =	41.20	KN/m2		P2 =	272.10	KN/m2
5		ADT =	18.5	m		N° Reynolds =	1466.85			N° Reynolds =	1866.9	
6		Viscosidad absoluta =	0.12	Kg/(m.s)		factor de fricción =	0.04					
7		Densidad =	1050	Kg/m3								
8		Diámetro =	0.1524	m								
9												
10												
11												
12												
13		ITEM	CANTIDAD	NOMBRE DE ACCESORIO		FACTOR K		Hs				
14		1	6	Codos de 90°		1.31		0.48				
15		2	22	Adaptadores con conexión MJ		0.08		0.11				
16		3	3	Expansores concéntricos		0.29		0.05				
17		4	1	Válvula check tipo canastilla		18.32		1.13				
18		5	3	Válvula check swing		3.27		0.61				
19		6	3	Válvulas de globo		14.83		2.74				
20		7	3	Válvulas de compuerta		0.35		0.06				
21		8		Tubería CPVC		30.06		1.85				
22						Sumatoria =		7.05				
23												
24												

Figura 22. Ventana de cálculos hidráulicos

Fuente: Elaboración propia

Para corroborar los resultados obtenidos en excel, se usa el simulador ASPEN PLUS V10.

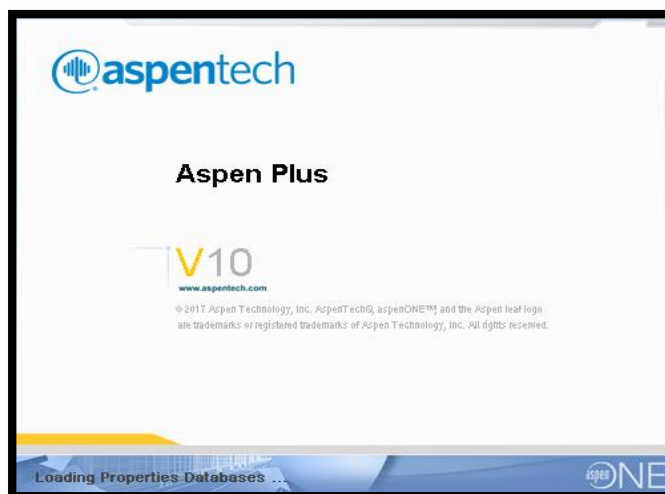


Figura 23. Ventana Aspen Plus V10

Fuente: Aspen Plus (2018)

Se ingresan los componentes presentes en el fluido, se obvian los metales pesados presentes, ya que no tiene una gran influencia y se encuentra en concentraciones muy pequeñas.

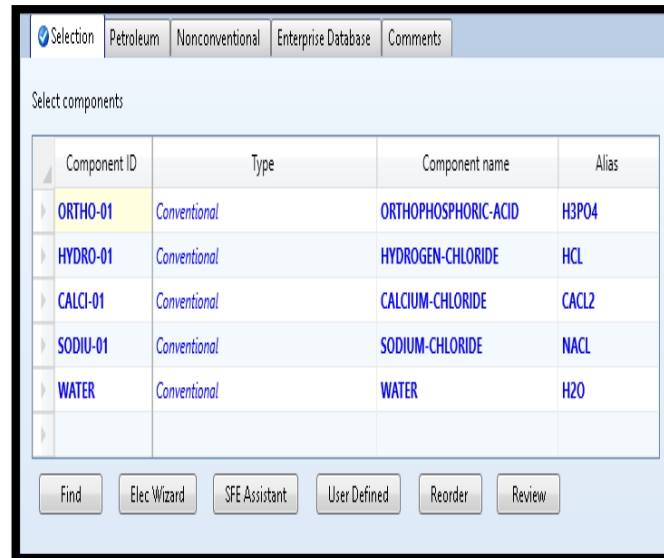


Figura 24. Ventana de ingreso de componentes

Fuente: Aspen Plus (2018)

La simulación a realizar va para una ingeniería básica, por lo cual, se enfoca en la mecánica de fluidos, no se analiza reacciones químicas, o efectos corrosivos al detalle, tampoco se evalúan las interacciones donde interfieren los electrolitos fuertes. Los electrolitos fuertes producen una solución casi total en agua, y por ende, una sola fase líquida.

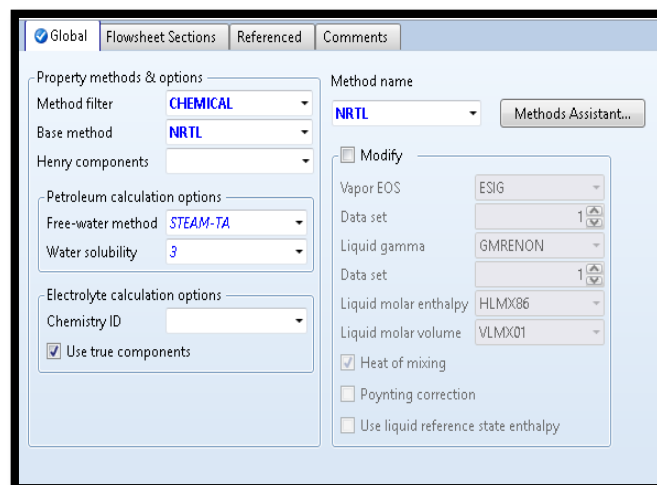


Figura 25. Ventana de ingreso del paquete de propiedades

Fuente: Aspen Plus (2018)

Se ingresan las condiciones de operación y las composiciones de los componentes involucrados.

The screenshot shows the 'ENTRADA (MATERIAL)' window in Aspen Plus. The 'Flash Type' is set to 'Temperature' and 'Pressure'. Under 'State variables', the temperature is 50 C and pressure is 1 atm. The total flow basis is 'Volume' with a total flow rate of 24300 l/hr. Reference temperatures are set to K. The 'Composition' section shows a 'Mass-Frac' table with the following data:

Component	Value
ORTHO-01	3e-06
HYDRO-01	3.7e-05
CALCI-01	0.00136
SODIU-01	0.00043
WATER	0.99817
Total	1

Figura 26. Ventana de condiciones de operación de la corriente de entrada

Fuente: Aspen Plus (2018)

Se ingresan la longitud y el diámetro de tubería de succión, ASPEN PLUS cuenta con una base limitada con respecto al material de tubería, por tal razón se selecciona al que mejor se asemeja al material elegido.

The screenshot shows the pipe specification window for 'Fluid flow'. The pipe length is 6 meter. The diameter is set to 'Use pipe schedules' with a material of 'STAINLESS', schedule '80S', and nominal diameter '6-IN'. The elevation is set to 'Pipe rise' at 0 meter. The roughness is 4.572e-05 meter and the erosional velocity coefficient is 100.

Figura 27. Ventana de condiciones de operación de la tubería B1

Fuente: Aspen Plus (2018)

Se añaden la longitud y el diámetro de la tubería de descarga.

The screenshot shows the 'Pipe Specification' dialog box in Aspen Plus. It is configured for a 'Fluid flow' pipe. The 'Length' section has 'Pipe length' set to 97 meter. The 'Diameter' section has 'Inner diameter' set to 0.146329 meter, and 'Use pipe schedules' is selected. The 'Pipe schedules' section has 'Material' set to STAINLESS, 'Schedule' set to 80S, and 'Nom diameter' set to 6-IN. The 'Elevation' section has 'Pipe rise' set to 0 meter. The 'Options' section has 'Roughness' set to 4.572e-05 meter and 'Erosional velocity coefficient' set to 100.

Figura 28. Ventana de condiciones de operación de la tubería B2

Fuente: Aspen Plus (2018)

Se ingresan las condiciones a la que opera la bomba, la presión de descarga y la eficiencia.

The screenshot shows the 'Pump Specification' dialog box in Aspen Plus for a pump named 'BOMBA (Pump)'. The 'Model' section has 'Pump' selected. The 'Pump outlet specification' section has 'Discharge pressure' set to 272.1 kPa. The 'Efficiencies' section has 'Pump' efficiency set to 0.268 and 'Driver' efficiency set to an empty field.

Figura 29. Ventana de condiciones de operación de la Bomba

Fuente: Aspen Plus (2018)

Al ingresar todo lo necesario para el sistema, el diagrama de flujo queda de la siguiente manera:

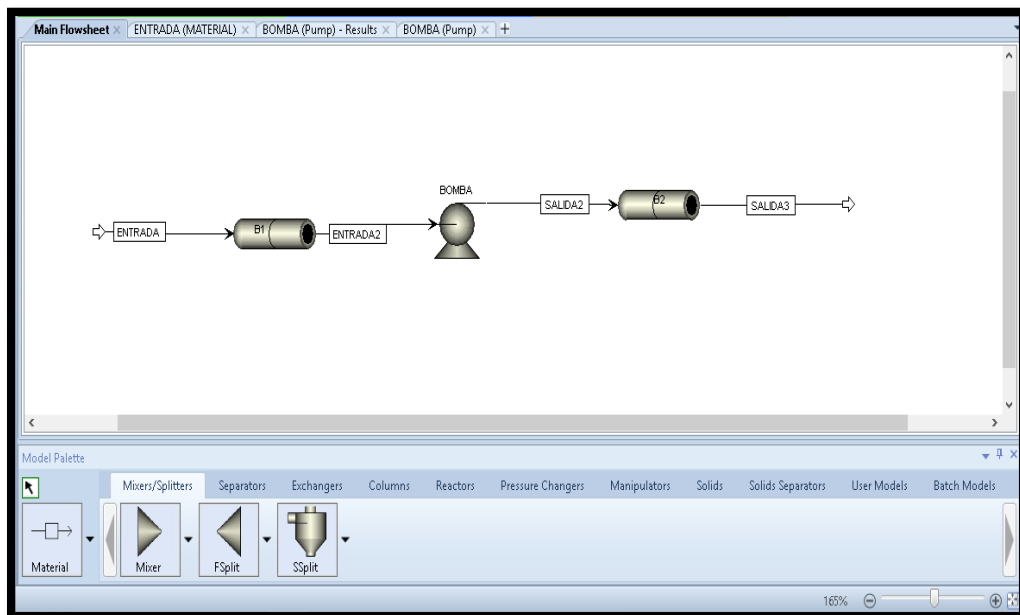


Figura 30. Ventana de simulación

Fuente: Aspen Plus (2018)

El sistema converge, obteniéndose el siguiente resultado:

Summary	Balance	Performance Curve	Utility Usage	Statu
Fluid power	1.17706762	kW		
Brake power	4.39204	kW		
Electricity	4.39204	kW		
Volumetric flow rate	413.333	l/min		
Pressure change	1.6863	atm		
NPSH available	9.35492	m-kgf/kg		
NPSH required				
Head developed	18.0187	m-kgf/kg		
Pump efficiency used	0.268			
Net work required	4.39204	kW		
Outlet pressure	2.68542	atm		
Outlet temperature	323.306	K		

Figura 31. Ventana de resultados del sistema

Fuente: Aspen Plus (2018)

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Discusión

- ✓ En su tesis Franco utiliza las bombas GIW-LCC y Meganor las cuales permiten que trabaje en su punto de operación sin que se presente cavitación. En este caso, se utilizó las bombas GRISWOLD la cual trabaja sin problemas evitando la cavitación.

- ✓ En su tesis Salcedo concluye que no hay pérdidas en los motores eléctricos de las bombas debido a que están ubicados a 147.35 msnm. En este caso, las bombas se ubican a 30 msnm aprox. Por lo cual los motores no presentan problemas de derrateo.

- ✓ En su tesis Gualancañay y Jaguaco seleccionó una bomba centrífuga multietapa que funciona de manera permanente. En este caso, se utilizan las bombas centrífugas ASME/ANSI debido a la naturaleza del fluido y a que no trabajan de manera constante por la capacidad de tanque de almacenamiento.

5.2. Conclusiones

- ✓ Se realizó el dimensionamiento para un caudal de 12.4 m³/h y ADT de 18.5 m, además se seleccionó las bombas ASME/ANSI ya que son las mas idóneas para este sistema de bombeo.

- ✓ Se realizó la caracterización del sistema de bombeo utilizando material de CPVC para las tuberías, acero al carbono fundido en las válvulas y acero inoxidable 316 en las bombas, las cuales no se ven afectadas por el efluente ácido.

- ✓ La naturaleza del efluente ácido tiene una gran influencia en la selección de la bomba, debido a que tiene un pH demasiado ácido, un porcentaje de sólidos alto entre 4-6% y una temperatura máxima de 50°C, siendo las bombas ASME/ANSI las que cumplen con estas condiciones.

5.3. Recomendaciones

- ✓ Se recomienda no exceder el caudal de 12.4 m³/h en cada bomba, ya que el dimensionamiento se a realizado considerando el caudal máximo del sistema de bombeo.

- ✓ Se recomienda utilizar tubería de 6 pulgadas de CPVC cédula 80, tanto en la succión y descarga del fluido, ya que este material no se ve afectado por la naturaleza del efluente ácido y las condiciones de operación , además es de bajo costo.

- ✓ Se recomienda de acuerdo con las características de la naturaleza del efluente ácido utilizar bombas que no se vean afectados por el pH, la viscosidad, % de sólidos y temperatura, ya que estos parámetros afectan las partes internas de la bomba.

CAPÍTULO V: FUENTES DE INFORMACIÓN

- Branan, C. (2002). *Rules of Thumb for chemical engineers* (3°ed.). EE.UU: El Sevier.
- Córdova, A. (2018). *Sistemas de bombeo*. Perú: Knowmad Academy.
- Coulson, M. J, Richardson, F. J. (1999). *Chemical Engineering* (6°ed.). England: Butterworth – Heinemann.
- Crane. (1992). *Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías*. México: Mc Graw Hill.
- Franco, J. (2015). *Optimización del sistema de bombeo de agua subterránea, para satisfacer su demanda volumétrica, en volcán compañía minera S.A.A. – Unidad Chungar* (tesis de pregrado). Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Perú.
- Hernández, R. (2007). *Metodología de la Investigación* (4°ed.). México: Mc Graw Hill.
- Al-Malah Kamal I.M. (2017). *ASPEN PLUS: Chemical Engineering Applications*. Canada: Wiley.
- Ludwig, E. (2007). *Applied Process Design for chemical and Petrochemical Plants. Vol 1* (4°ed.). EE.UU: El Sevier.
- McNaughton, Kenneth J. (1992). *Bombas: Selección, uso y mantenimiento* (1°ed.). México: Mc Graw Hill.
- Morán, Sean. (2015) *An applied guide to process and plant design* (1°ed.). UK: El Sevier.
- Mott, R. (2006). *Mecánica de Fluidos* (6°ed.). México: Prentice-Hall.
- Perry, R. (1998). *Manual del ingeniero Químico* (6°ed.). España: Mc Graw Hill.
- Quimpac (2018). *Manual QUIMPAC*. Callao: QUIMPAC Oquendo.
- Rojas, D. (2017). *Diseño del sistema de bombeo para el abastecimiento óptimo de agua potable del distrito de Huancán – Huancayo* (tesis de pregrado). Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Perú.
- Viejo Zubicaray, M. (2003). *Bombas: Teoría, Diseño y aplicaciones* (3°ed.). México: Limusa.

ANEXOS

Anexo 1: Resistencia química del ácido fosfórico

CORZAN® (CPVC)								
CHEMICAL RESISTANCE DATA								
Reagent	Maximum Temperature							
	23°C (73°F)	41°C (105°F)	52°C (125°F)	54°C (130°F)	66°C (150°F)	77°C (170°F)	82°C (180°F)	93°C (200°F)
P								
Palm oil	N	N	N	N	N	N	N	N
Paraffin	R	R	R	R	R	R	R	
Peanut oil	N	N	N	N	N	N	N	N
Perchloric acid, 10%	R							-
Phenylhydrazine	N	N	N	N	N	N	N	N
Phosphoric acid	R	R	R	R	R	R	R	
Phosphorus trichloride	N	N	N	N	N	N	N	N
Picric acid	N	N	N	N	N	N	N	N
Pine oil	N	N	N	N	N	N	N	N
Plating solutions	R	R	R	R	R	R	R	
Polyethylene glycol	N	N	N	N	N	N	N	N
Potash	R	R	R	R	R	R	R	R
Potassium acetate	R	R	R	R	R	R	R	R
Potassium bicarbonate	R	R	R	R	R	R	R	R
Potassium bichromate	R	R	R	R	R	R	R	R
Potassium bisulfate	R	R	R	R	R	R	R	R
Potassium borate	R	R	R	R	R	R	R	R

Fuente: CPVC Chemical Resistance Guide (2013)

Anexo 2: Resistencia química del ácido clorhídrico

Reagent	Maximum Temperature							
	23°C (73°F)	41°C (105°F)	52°C (125°F)	54°C (130°F)	66°C (150°F)	77°C (170°F)	82°C (180°F)	93°C (200°F)
Ferric sulfate	R	R	R	R	R	R	R	R
Ferrous chloride	R	R	R	R	R	R	R	R
Ferrous hydroxide	R	R	R	R	R	R	R	R
Ferrous sulfate	R	R	R	R	R	R	R	R
Fluorine gas	N	N	N	N	N	N	N	N
Fluosillicic acid, 30%	R	R	R	R	R	R	R	
Formaldehyde	N	N	N	N	N	N	N	N
Formic acid, up to 25%	R	R	R	R	R	R	R	
Formic acid > 25%	C							N
Freons	C	C	C	C	C	C	C	C
Fructose	R	R	R	R	R	R	R	R
G								
Gasoline	N	N	N	N	N	N	N	N
Glucose	R	R	R	R	R	R	R	R
Glycerine	R	R	R	R	R	R	R	R
Glycol ethers	N	N	N	N	N	N	N	N
Green liquor	R	R	R	R	R	R	R	R
H								
Halocarbon oils	N	N	N	N	N	N	N	N
Heptane	C							-
Hydrazine	N	N	N	N	N	N	N	N
Hydrochloric acid	R	R	R	R	R	R	R	
Hydrochloric acid, 36% concentrated	R	R	R	R	R	R	R	
Hydrofluoric acid, 3%	R							-
Hdrofluoric acid, 48%	C	C	C	C	C	C	C	C
Hydrofluosillicic acid, 30%	R	R	R	R	R	R	R	
Hydrogen peroxide, 50%	R	R	R	R	R	R	R	-
Hydrogen sulfide, aqueous	R	R	R	R	R	R	R	
Hypochlorous acid	C	C	C	C	C	C	C	C

Fuente: CPVC Chemical Resistance Guide (2013)

Anexo 3: Resistencia química del cloruro de calcio

Reagent	Maximum Temperature							
	23°C (73°F)	41°C (105°F)	52°C (125°F)	54°C (130°F)	66°C (150°F)	77°C (170°F)	82°C (180°F)	93°C (200°F)
Bromotoluene	N	N	N	N	N	N	N	N
Butanol	C	C	C	C	C	C	C	C
Butyl acetate	N	N	N	N	N	N	N	N
Butyl carbitol	N	N	N	N	N	N	N	N
Butyl cellosolve	N	N	N	N	N	N	N	N
Butyric acid, up to 1%	R	R	R	R	R	R	R	
Butyric acid, > 1%	C	C	C	C	C	C	C	C
Butyric acid, pure	N	N	N	N	N	N	N	N
C								
Cadmium acetate	R	R	R	R	R	R	R	R
Cadmium chloride	R	R	R	R	R	R	R	R
Cadmium sulfate	R	R	R	R	R	R	R	R
Calcium acetate	R	R	R	R	R	R	R	R
Calcium bisulfide	R	R	R	R	R	R	R	R
Calcium bisulfite	R	R	R	R	R	R	R	R
Calcium carbonate	R	R	R	R	R	R	R	R
Calcium chlorate	R	R	R	R	R	R	R	R
Calcium chloride	R	R	R	R	R	R	R	R
Calcium hydroxide	R	R	R	R	R	R	R	R
Calcium hypochlorite	R	R	R	R	R	R	R	R

Fuente: CPVC Chemical Resistance Guide (2013)

Anexo 4: Resistencia química del cloruro sodio

Chemical	23°C (73°F)	60°C (140°F)
S		
Salicylic acid	R	R
Salicylaldehyde	N	N
Selenic acid, aq.	R	R
Silicic acid	R	R
Silicone oil	R	N
Silver salts	R	R
Soaps	R	R
Sodium salts, aq	R	R
except Sodium chlorite	N	N
except Sodium chlorate	R	N
except Sodium hypochlorite	R	N
Stannic chloride	R	R
Stannous chloride	R	R
Starch	R	R
Stearic acid	R	R
Stoddard solvent	N	N
Succinic acid	R	R
Sulfamic acid	N	N
Sulfate & Sulfite liquors	R	R

Fuente: CPVC Chemical Resistance Guide (2013)

Anexo 5: Válvula de pie tipo canastilla

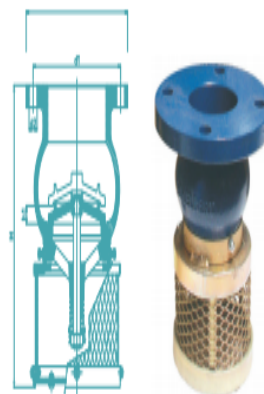
Tipo HECG Serie 130

Características

- Cuerpo en hierro fundido
- Canastilla en acero bricromatizado
- Brida ASA-150
- Sello de Bronce
- Resorte y tuerca en acero inoxidable

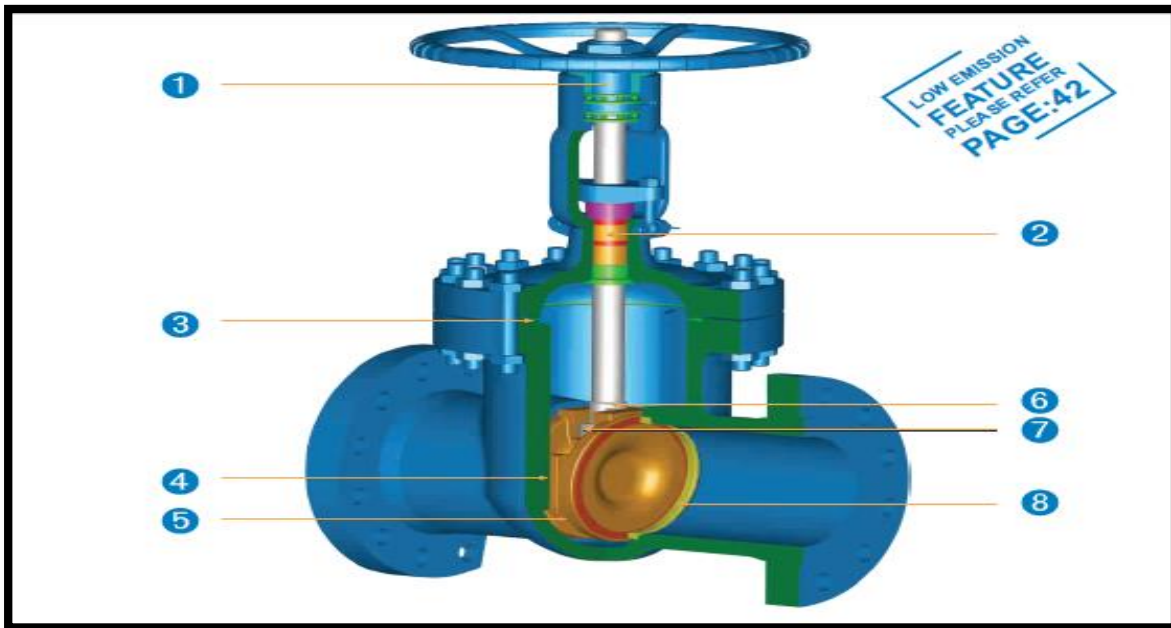
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS Y CONDICIONES DE OPERACIÓN

Modelo	Tamaño	D mm	H mm	H1 mm	Presión de trabajo PSI	Peso Kg.	Distancia centro d1	Diámetro tornillos d2	Número tornillos
HECG075	3"	7/2"	192	14	150	6.8	6"	3/4"	4
HECG100	4"	9"	266	22	150	14	7-1/2"	3/4"	8
HECG150	6"	11"	368	30	150	26	9-1/2"	7/8"	8



Fuente: Bombasa (2018)

Anexo 6: Válvula de compuerta



Class 150 Cast Carbon Steel Gate Valve

API 600 Design,
Bolted Bonnet, OS&Y,
Screwed-in Back seat, Rising Stem,
Non-rising Handwheel,
Flexible Wedge

Figure NO.:
G1R,WCB/NO.8
G1B,WCB/NO.8

YOKE of 14" & Larger

BW End

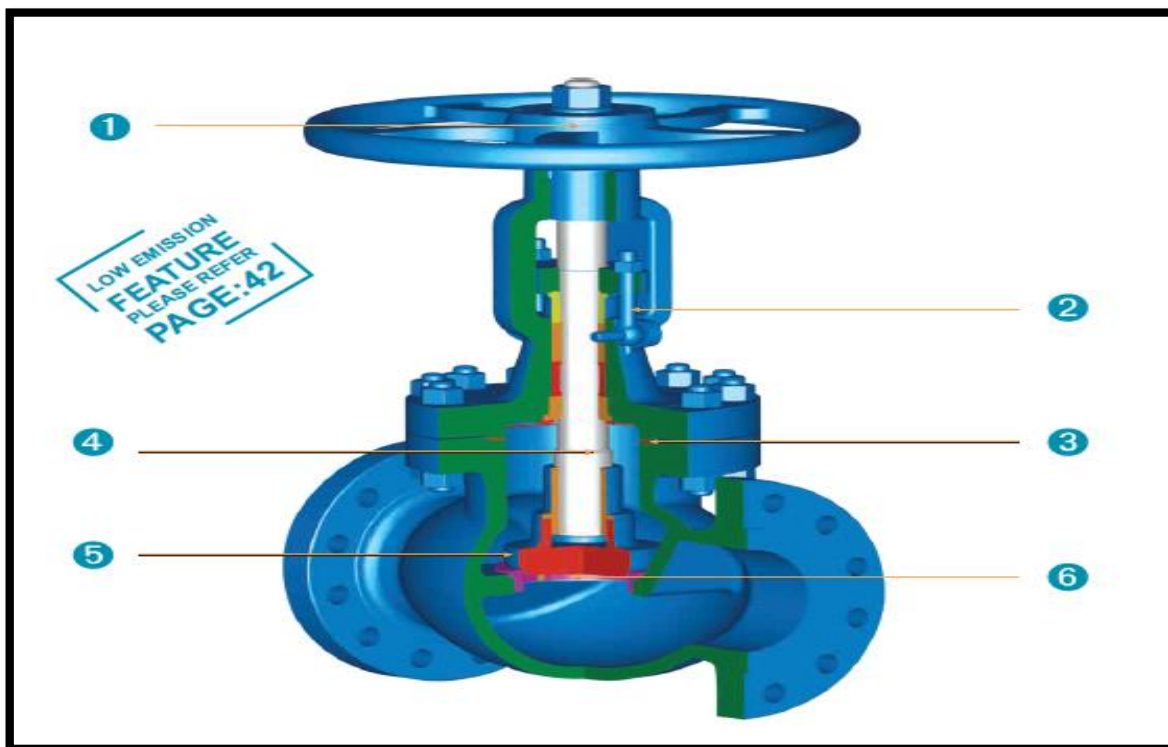
Gear Operator

Optional	Standard
8" to 24"	26" & Larger

NPS	in	2"	2-1/2"	3"	4"	5"	6"	8"	10"	12"	14"	16"	18"	20"	24"	26"	28"	30"	32"	36"	40"	42"	48"
DN	mm	50	65	80	100	125	150	200	250	300	350	400	450	500	600	650	700	750	800	900	1000	1050	1200
L(RF)	in	7	7.5	8	9	10	10.5	11.5	13	14	15	16	17	18	20	22	24	24	26	28	30	31	34
	mm	178	191	203	229	254	267	292	330	356	381	406	432	457	508	559	610	610	660	711	762	787	864
L1(BW)	in	8.5	9.5	11.12	12	15	15.88	16.5	18	19.75	22.5	24	26	28	32	34	36	38	38	40	42	43	46
	mm	216	241	283	305	381	403	419	457	502	572	610	660	711	813	864	914	914	965	1016	1067	1092	1168
W	in	8	8	10	12	12	12	14	16	18	20	22	24	27	30	24	24	24	24	24	24	32	32
	mm	200	200	250	300	300	300	350	400	450	500	550	600	680	760	610	610	610	610	610	610	610	610
H	in	15.2	17.1	18.9	23	26.8	30.1	37.6	45.2	53.2	59.4	67	74.5	83.4	98.4	110	117	124	129	146	157	190	233
	mm	386.5	434.5	480.5	584.5	681	765	956	1149	1350.5	1508	1703	1892	2119	2500	2806	2960	3148	3281	3721	3980	4820	5920
WT(RF)	Kg	19	26	35	49	64	81	127	204	291	400	486	610	788	1144	1570	1900	2540	2958	3380	4815	5300	7110
WT(BW)	Kg	15	18	26	41	58	69	108	156	248	365	482	587	752	1178	1521	1838	2261	2490	3310	4840	5275	7050

Fuente: Neway (2016)

Anexo 7: Válvula de globo



Class 150 Cast Carbon Steel Globe Valve

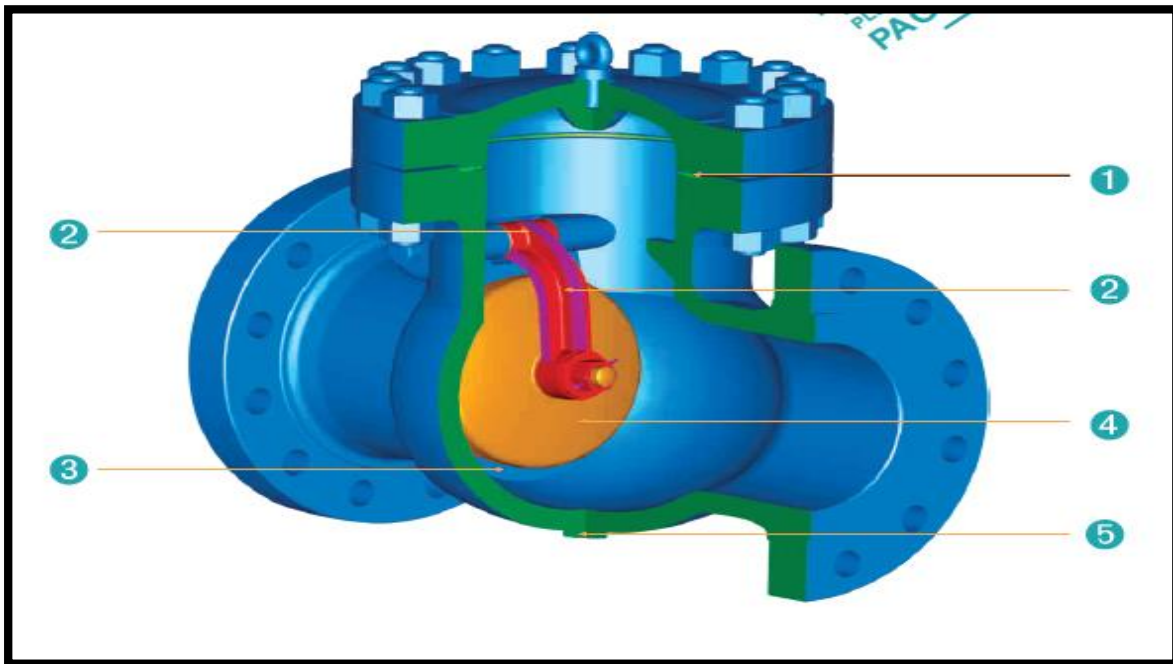
BS 1873 Design,
Bolted Bonnet, OS&Y,
Screwed-in Back Seat,
Rising Stem and Handwheel,
Swivel Disc

Figure NO.:
GL1R,WCB/NO.8
GL1B,WCB/NO.8

NPS	in	2"	2-1/2"	3"	4"	5"	6"	8"	10"	12"	14"	16"	18"	20"	24"
DN	mm	50	65	80	100	125	150	200	250	300	350	400	450	500	600
L-L1 (RF-BW)	in	8	8.5	9.5	11.5	14	16	19.5	24.5	27.5	31	36	38.5	38.5	51
	mm	203	216	241	292	356	406	495	622	699	787	914	978	978	1295
W	in	8	10	10	12	14	14	16	20	20	22	26	24	24	31.9
	mm	200	250	250	300	350	350	400	500	500	560	650	610	610	810
H	in	13.3	14.7	15.6	18.7	19.6	20.6	23.1	29.1	33.9	37.4	39.2	44.9	49.7	60
	mm	338	373	396	476	497	524	588	738	862	950	994	1140	1262	1524
WT(RF)	Kg	21	29	35	58	78	104	162	289	485	550	724	1400	2600	3700
WT(BW)	Kg	17	20	30	47	71	86	138	219	362	491	650	1250	2300	3250

Fuente: Neway (2016)

Anexo 8: Válvula check swing



Class 150 Cast Carbon Steel Check Valve

BS 1868 Design, Bolted Cover, Swing Type Disc

Figure NO.:
S1R,WCB/NO.8
S1B,WCB/NO.8

NPS	in	2"	2-1/2"	3"	4"	5"	6"	8"	10"	12"	14"	16"	18"	20"	24"	26"	28"	30"	32"	36"	40"	42"	48"
DN	mm	50	65	80	100	125	150	200	250	300	350	400	450	500	600	650	700	750	800	900	1000	1050	1200
L-L1 (RF-BW)	in	8	8.5	9.5	11.5	13	14	19.5	24.5	27.5	31	34	38.5	38.5	51	51	57	60	68	77	85	89	101
	mm	203	216	241	292	330	356	495	622	699	787	864	978	978	1295	1295	1448	1524	1727	1956	2159	2261	2566
H	in	5.9	6.6	6.7	8	9.1	11.7	13.8	15.3	17.2	18.8	20.7	22.9	24.7	34.6	35.8	36.8	38.2	49.2	54.2	55.5	57.8	64.6
	mm	150.5	168	171	204	230	296.5	351.5	389.5	437.5	476.5	525	582	627	880	910	935	970	1250	1377	1410	1468	1642
WT(RF)	Kg	15	22	28	42	57	79	131	177	282	380	542	632	855	970	1276	1600	2020	2430	3130	4230	5030	6680
WT(BW)	Kg	10	12	17	29	45	57	96	143	227	294	468	552	755	831	1120	1420	1760	2130	2930	3730	4430	5680

Fuente: Neway (2016)

Anexo 9: Válvula ventosa

VÁLVULA VENTOSA 2", 3", 4", 6", 8" TRIFUNCIONAL

Las válvulas ventosa trifuncionales A.R.I., fabricadas en hierro, son dispositivos que garantizan la eliminación del aire en tuberías, consiguiendo la protección contra roturas de las mismas y manteniendo el flujo hidráulico en condiciones óptimas.

El aire en tuberías principales es causa de muchos problemas, como el fenómeno de cavitación, golpe de ariete, descenso de caudal de agua, incremento de corrosión y posible rotura de las mismas.

Trifuncional

El funcionamiento trifuncional consiste, por una parte, en la eliminación de forma automática del aire en presión que se encuentra en el interior de la misma conducción, por otra, el efecto cinético elimina grandes cantidades de aire en el llenado de tuberías y evita que, durante el vaciado, éstas se destruyan por el efecto del vacío, permitiendo entonces la entrada de aire en la conducción.

Datos técnicos Modelo D-050C

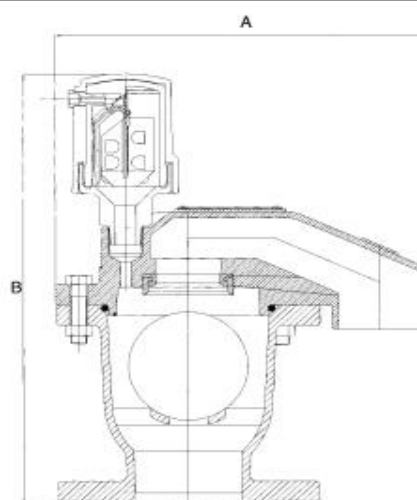
Diámetro Nominal	A mm	B mm	Peso kg
2"	173	340	10,0
3"	286	368	19,3
4"	342	393	27,4
6"	553	557	79,0
8"	553	564	87,0

Instalación

- La válvula ventosa debe instalarse en los puntos elevados de la línea.
- El flujo de la válvula ventosa se debe calcular independientemente para cada punto elevado.
- Se recomienda instalar una válvula en la parte inferior de la ventosa, a efectos de mantenimiento y de regulación.
- En condiciones de helada, la válvula ventosa debe drenarse.

Consultar para diámetros y presiones superiores.

También disponible el modelo Shelef con válvula superior (segev) de efecto automático.



Fuente: A.R.I. (2018)

Anexo 10: Tipos de Bombas

Bombas Rotodinámicas:



Figura 32. Horizontal de succión axial

Fuente: Sistemas de bombeo (Córdova, 2018)



Figura 33. Horizontal de carcasa partida

Fuente: Sistemas de bombeo (Córdova, 2018)



Figura 34. Vertical multietápica

Fuente: Sistemas de bombeo (Córdova, 2018)



Figura 35. Tipo turbina vertical

Fuente: Sistemas de bombeo (Córdova, 2018)



Figura 36. Para sumidero / achique

Fuente: Sistemas de bombeo (Córdova, 2018)



Figura 37. Eyector

Fuente: Sistemas de bombeo (Córdova, 2018)

Bombas de desplazamiento positivo:



Figura 38. Bomba de pistón-émbolo

Fuente: Sistemas de bombeo (Córdova, 2018)



Figura 39. Bomba de doble diafragma

Fuente: Sistemas de bombeo (Córdova, 2018)



Figura 40. Bomba de paletas

Fuente: Sistemas de bombeo (Córdova, 2018)



Figura 41. Bomba peristáltica

Fuente: Sistemas de bombeo (Córdova, 2018)



Figura 42. Bomba de engranajes internos


Fuente: Sistemas de bombeo (Córdova, 2018)

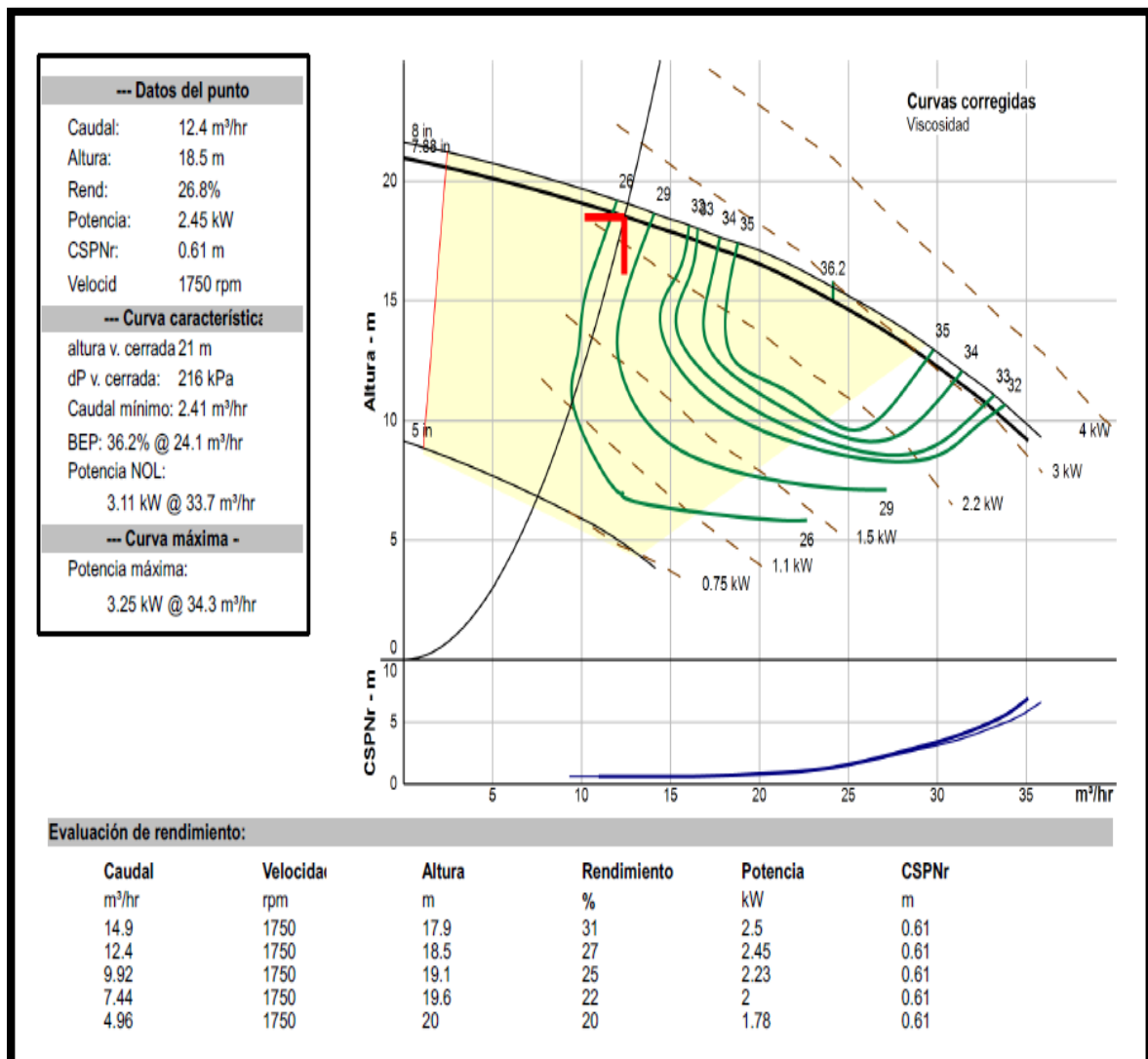


Figura 43. Bomba de triple tornillo

Fuente: Sistemas de bombeo (Córdova, 2018)

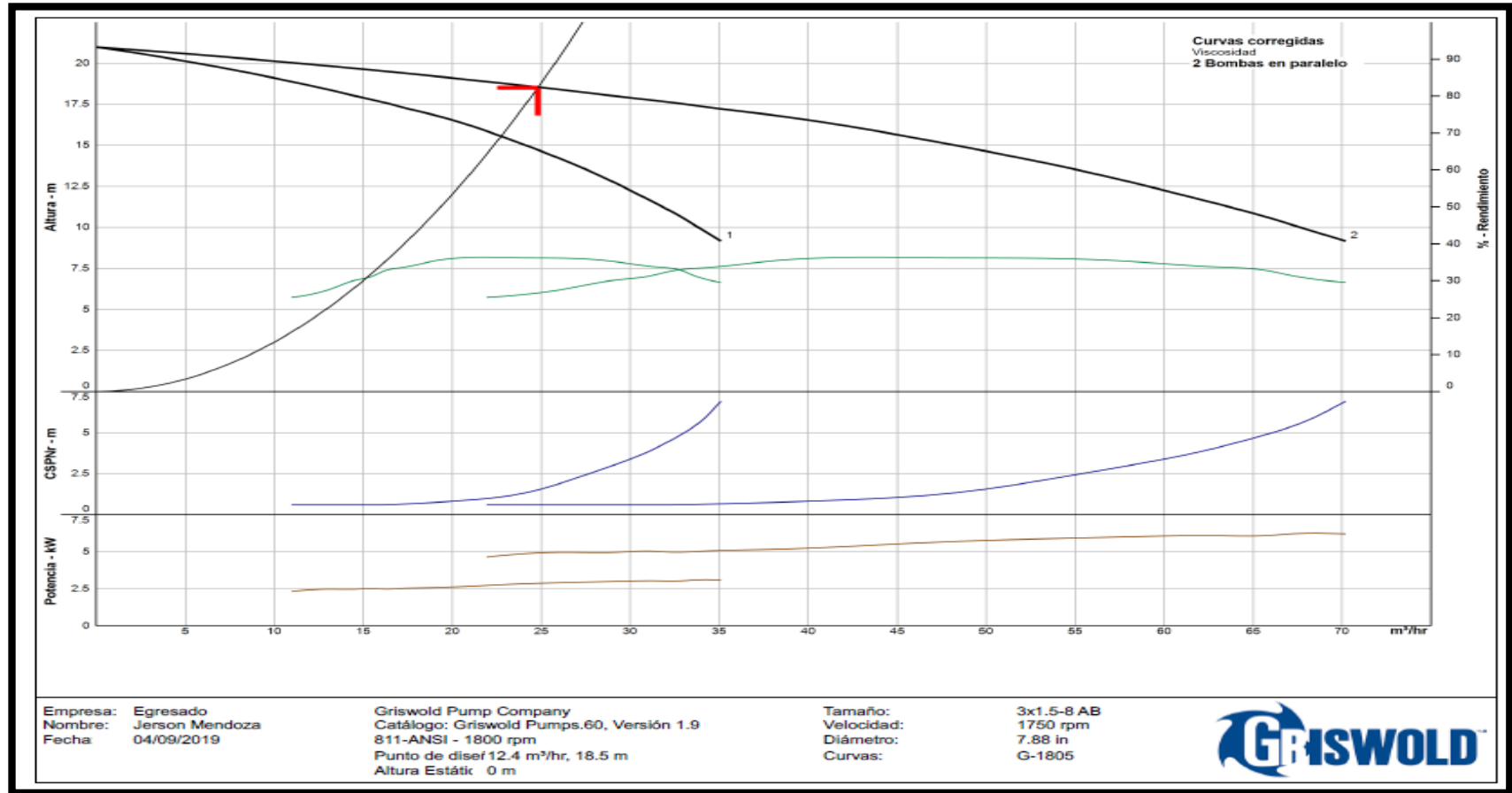
Anexo 11: Curva de performance Bomba ASME/ANSI 3x1.5-8 AB

Hoja de datos de la bomba - Griswold Pump Compa			
Empresa: Egresado			
Nombre: Jerson Mendoza			
Fecha: 04/09/2019			
			
Bomba:			
Tamaño:	3x1.5-8 AB	Dimensiones:	Aspiración ---
Tipo:	811-ANSI		Descarga: ---
Velocidad de ϵ :	1800 rpm		
Diámetro:	7.88 in		
Curvas:	G-1805		
Velocidades espenq:	17.9		
S:	137		
Criterios de búsqueda			
Caudal:	12.4 m ³ /hr	Casi un fallo:	---
Altura:	18.5 m	Altura Estática:	0 m
Advertencias para la selección de bomba			
None			
Fluido:			
Nombre:	Efluentes ácidos		
SG:	1.05	Presión de vapor:	12.3 kPa a
Densidad:	1048 kg/m ³	Presión atm:	101 kPa a
Viscosidad:	120 cP		
Temperatura:	50 °C		
Corrección de viscosidad: Caudal x 0.862 / Altura en BEP x 0.862 / Rend x 0.5			
Límites de la bomba:			
Temperatura:	---	Tamaño de la esfera:	11.1 mm
Wkg Pressure:	---		
Motor:			
Estándar:	IEC	Potencia:	4 kW
Caja:	TEFC	Velocidad:	1800 rpm
Tamaño motor:	112M		
Criterios de medición: Potencia máxima en la curva característica			



Fuente: Griswold (2019)

Anexo 12: Curva de performance de bombas en paralelo




Fuente: Griswold (2019)

Anexo 13: Curva de performance de bombas ASME/ANSI 3x2-8 A60

Hoja de datos de la bomba - Griswold Pump Compa

Empresa: Egresado
Nombre: Jerson Mendoza
Fecha: 04/09/2019



Bomba:

Tamaño: 3x2-8 A60 Dimensiones Aspiración: ---
 Tipo: 811-ANSI Descarga: ---
 Velocidad de eje: 1800 rpm
 Diámetro: 7.77 in
 Curvas: G-1807

Velocidades espeng: 16.9
 S: 162

Fluido:

Nombre: Efluentes ácidos
 SG: 1.05 Presión de vapor: 12.3 kPa a
 Densidad: 1048 kg/m³ Presión atm: 101 kPa a
 Viscosidad: 120 cP
 Temperatura: 50 °C
 Corrección de viscosidad: Caudal x 0.865 / Altura en BEP x 0.865 / Rend x 0.5

Criterios de búsqueda

Caudal: 12.4 m³/hr Casi un fallo: ---
 Altura: 18.5 m Altura Estática: 0 m

Límites de la bomba:

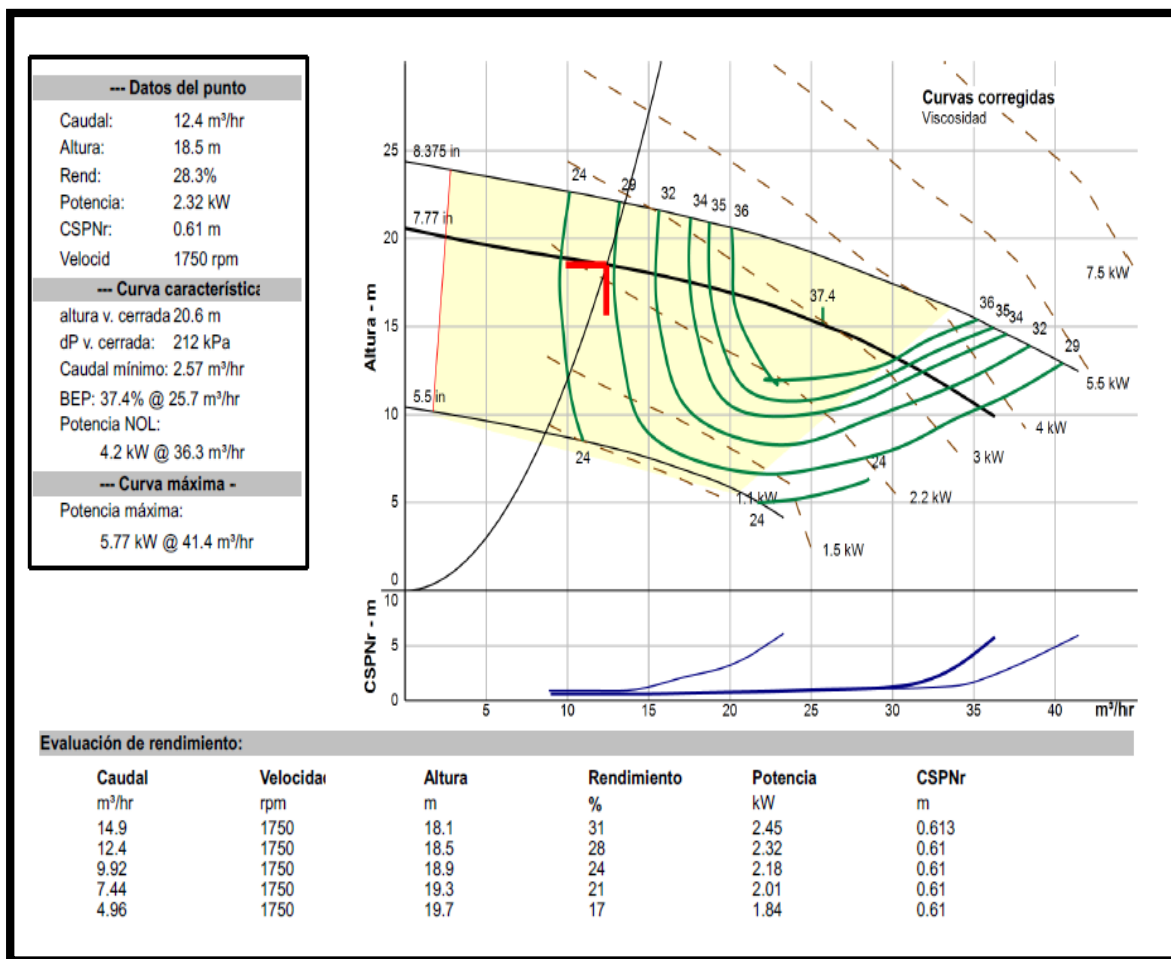
Temperatura: --- Tamaño de la esfera: 12.7 mm
 Wkg Pressure: ---

Advertencias para la selección de bomba

None

Motor:

Estándar: IEC Potencia: 5.5 kW
 Caja: TEFC Velocidad: 1800 rpm
 Tamaño mc: 132S
 Criterios de medición: Potencia máxima en la curva característica



Fuente: Griswold (2019)

Anexo 14: Cuestionario a experto

1) ¿Qué tipos de bombas recomendaría para el transporte de efluentes ácidos?

Dependiendo del caudal y del ADT del sistema. Se podrían usar bombas centrífugas de acople magnético, bombas neumáticas, bombas peristálticas, bombas de pistón y bombas ASME / ANSI.

2) ¿Por qué no es conveniente sobredimensionar una bomba?

Porque el sobredimensionar una bomba, si es por presión, lleva a operar en flujo nulo y recircula el fluido, y si es por caudal, lleva a falla por cavitación (mucho NPSH).

3) ¿Qué criterios tomaría usted para seleccionar una bomba?

Naturaleza del fluido, caudal, ADT, accionamiento, y ubicación de funcionamiento

4) ¿Qué pasa si la descarga de la bomba se cierra?

Dependiendo el tipo de bomba. Si es rotodinámica el fluido solo recircula. Si es de desplazamiento positivo el fluido aumenta la presión en la válvula de corte, y podría hacer que la válvula colapse y la tubería se dañe incluso.

5) ¿Qué accesorios serían necesarios colocar aguas arriba y aguas abajo de la bomba?

Se recomienda como buena práctica:

En la línea de succión: válvula de corte de succión, filtro, manovacúmetro de succión, junta de dilatación. En la línea de descarga: junta de dilatación, manómetro de descarga, válvula check, válvula de corte de descarga.

Adrián Córdova M. | Senior Project Engineer

Mobile: +51 945-851-887

Phone: +51 1 5101150

Calle Alfredo Maldonado 654, Pueblo Libre, Lima - Perú

E-mail: acordova@phi-eng.com



**PHI
ENGINEERING**

Confiablez en procesos

www.phi-engr.com