



UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



**PROPUESTA DE VÍAS ALTERNAS PARA BOMBAS  
CENTRÍFUGAS QUE FUNCIONAN DENTRO DE LA RED DE  
FLUJOS EN UNA PLANTA PRODUCTORA DE PAPEL PARA  
PROYECCIÓN DE EQUIPOS DE REPUESTO Y  
MANTENIMIENTO**

López V. Miguel A.

Roa H. Gerson O.

Valencia, febrero de 2.015



UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



**PROPUESTA DE VÍAS ALTERNAS PARA BOMBAS  
CENTRÍFUGAS QUE FUNCIONAN DENTRO DE LA RED DE  
FLUJOS EN UNA PLANTA PRODUCTORA DE PAPEL PARA  
PROYECCIÓN DE EQUIPOS DE REPUESTO Y  
MANTENIMIENTO**

*Trabajo especial de grado presentado ante la Ilustre Universidad de Carabobo para  
optar al título de Ingeniero Mecánico*

**Tutor académico:**

Ing. Jairo Palacios

López V. Miguel A.

**Tutor industrial:**

Ing. Alexander Cárdenas

Roa H. Gerson O.

Valencia, febrero de 2.015



UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



## CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Quienes suscriben, miembros del jurado designado por el Consejo de la Escuela de Ingeniería Mecánica para examinar la tesis de pregrado titulada “Propuesta de vías alternas que funcionan dentro de la red de flujos en una planta productora de papel para proyección de equipos de repuesto y mantenimiento”, presentada por los bachilleres **López V. Miguel A., y Roa H. Gerson O.**, portadores de las cédulas de identidad N°V-20.030.150 y N° V-20.082.795, respectivamente hacemos constar que hemos revisado y aprobado el mencionado trabajo.

---

Prof. Ing.

*Presidente del jurado*

---

Prof. Ing.

*Miembro del jurado*

---

Prof. Ing.

*Miembro del jurado*

Valencia, Febrero del 2.015

## **AGRADECIMIENTOS**

A nuestras familias por el apoyo y motivación durante la realización de este trabajo, y a lo largo de nuestras vidas, sembrando las bases necesarias para la formación y capacitación de las personas que somos hoy en día.

A la ilustre Universidad de Carabobo, junto con la facultad de Ingeniería mecánica y al gremio de profesores e ingenieros por su aporte en la inducción de conocimientos muy valiosos sobre el área de ingeniería que será en un futuro nuestras herramientas de éxito.

A nuestros compañeros de estudio, que nos acompañaron en todas las situaciones que se trazaron a lo largo de la carrera.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL.....	I
INDICE FIGURAS.....	VII
INDICE TABLAS.....	VIII
Introducción.....	1
Capítulo I.....	4
El Problema.....	4
1.1 Planteamiento del Problema.....	4
1.2 Objetivos.....	11
1.2.1 Objetivo General.....	11
1.2.2 Objetivos Específicos.....	11
1.3 Justificación de la investigación.....	12
1.4 Limitaciones.....	13
1.5 Alcance.....	13
2.1 Antecedentes.....	14
Capítulo II.....	16
Marco Teórico.....	16
2.2 Bases Teóricas.....	16
2.2.1 Redes de distribución.....	16
2.2.2 Sistema de bombeo.....	16

UNIVERSIDAD DE CARABOBO

2.2.3 Pérdidas por fricción en tuberías con pasta. ....17

2.2.4 Ecuación de pérdida por accesorios en tuberías y en tramos. ....26

2.2.5 Disponibilidad en lo nodos y método del camino critico .....26

2.2.6 Leyes de afinidad. ....31

2.2.7 Selección de bombas. ....33

2.2.8 Métodos de regulación.....35

2.2.9 Tipos de fallas en bombas centrifugas. ....38

2.2.10 Mantenimiento de bombas centrífugas. ....42

Capítulo III .....44

Marco Metodológico .....44

3.1 Nivel de Investigación. .... 44

3.2 Tipo de Investigación. .... 44

3.3 Diseño de Investigación ..... 44

3.3.1 Fase I. Levantamiento de la red de flujos de agua y pasta de la maquina papelera 06. ....45

3.3.2 Fase 2. Descripción del arreglo de bombeo actual y clasificarla según las etapas del proceso.....47

3.3.3 Fase 3. Planteamiento de alternativas. ....48

3.3.4 Fase 4. Diseño hidráulico de alternativas. ....50

3.3.5 Fase 5. Realizar inventario de repuesto. ....51

## FACULTAD DE INGENIERÍA

3.4 Aspectos administrativos .....	51
3.4.1 Recursos Materiales.....	51
Capítulo IV .....	52
Desarrollo de la investigación. ....	52
4.1 Levantamiento de la red flujos de agua y pasta de la maquina papelera 06.....	52
4.2 Descripción del arreglo de bombeo actual y clasificarla según las etapas del proceso.....	53
4.2.1 Bomba 007-0028. Pertenece al grupo Warren PL/PH .....	55
4.2.2 Bomba 007-0030. Pertenece al grupo PL/PH.....	56
4.2.3 Bomba 007-0047. Pertenece al grupo Warren DTB/DLB (Bipartida).....	57
4.2.4 Bomba 007-0051. Pertenece al grupo Warren PL/PH .....	58
4.2.5 Bomba 007-0052. Pertenece al grupo Warren PL/PH .....	59
4.2.6 Bomba 007-0053. Pertenece al grupo Warren PL/PH .....	60
4.2.7 Bomba 007-0054. Pertenece al grupo Warren PL/PH .....	61
4.2.8 Bomba 007-0055. Pertenece al grupo Warren DTB/DLB (Bipartida).....	62
4.2.9 Bomba 007-0056. Pertenece al grupo Sulzer.....	63
4.2.10 Bomba 007-0058 pertenece al grupo Warren PL/PH y 007-0060 pertenece al grupo 747 .....	64

UNIVERSIDAD DE CARABOBO

4.2.11 Bomba 007-0059. Perteneciente al grupo Warren 747 .....66

4.2.12 Bomba 007-0061. Perteneciente al grupo Warren DTB/DLB  
(Bipartida).....67

4.2.13 Bomba 007-0062. Perteneciente al grupo Warren DTB/DLB  
(Bipartida).....68

4.2.14 Bomba 007-0063 y 007-0067 perteneciente al grupo Warren  
DTB/DLB (Bipartida), y bomba 007-0064 perteneciente al grupo PH/PL.....69

4.2.15 Bomba 007-0065. Perteneciente al grupo Warren DTB/DLB  
(Bipartida).....71

4.2.16 Bomba 007-0069. Perteneciente al grupo Warren PL/PH.....72

4.2.17 Bomba 007-0070. Perteneciente al grupo Warren PL/PH.....73

4.2.18 Bomba 007- 0075. Perteneciente al grupo Warren DTB/DLB  
(Bipartida).....74

4.2.19 Bomba 007-0080. Perteneciente al grupo Warren PL/PH.....75

4.2.20 Bomba 007-0401. Perteneciente al grupo Worthington .....76

4.3 Planteamiento de alternativas.. .....77

4.3.1 007-0028 (Warren 6-PH-18). .....79

4.3.2 007-0047 (Warren 6-DTB-12). .....80

4.3.3 007-0051 (Warren 4-PL-15).....82

4.3.4 007-0052 (Warren 4-PH-15). .....83

4.3.5 007-0053 (Warren 4-PL-15).....85

## FACULTAD DE INGENIERÍA

4.3.6	007-0054 (Warren 6-PL-18). .....	867
4.3.7	007-0055 (Warren 5-DTB-14).....	88
4.3.8	007-0056 (AZ 125-250 Sulzer).....	89
4.3.9	007-0058 (Warren 6-PL-18) .....	91
4.3.10	007-0059 (Warren 747-A80) .....	92
4.3.11	007-0060 (Warren 747-A70) .....	94
4.3.12	007-0061 (Warren 4-DB-13). .....	96
4.3.13	007-0062 (Ahlstrom 12-DTB-14H).....	97
4.3.14	007-0064 (Warren 747-A70) .....	99
4.3.15	007-0065 (Warren 6-DTB-12).....	100
4.3.16	007-0069 (Warren 6/5-PH-12).....	102
4.3.17	007-0070 (Warren 8-PL-15). .....	104
4.3.18	007-0075 (Warren 16-DTB-20).....	105
4.3.19	007-0080 (Warren 4-PL-12). .....	106
4.3.20	007-0401 (Worthington 5-LR-15). .....	108
4.3.21	By pass. Bomba 007-0047 .....	110
4.3.22	By pass. Bomba 007-0051 .....	119
4.3.23	By pass. Bomba 007-0052 .....	121
4.3.24	By pass. Bomba 007-0053 .....	128
4.3.25	By pass. Bomba 007-0058 .....	137

UNIVERSIDAD DE CARABOBO

4.3.26 By pass. Bomba 007-0065.....144

4.3.27 By pass. Bomba 007-0054.....156

4.4 Inventario de repuesto. .... 157

Conclusiones.....172

Recomendaciones.....177

Referencias Bibliográficas.....176

Anexos.....178



FACULTAD DE INGENIERÍA

UNIVERSIDAD DE CARABOBO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



**PROPUESTA DE VÍAS ALTERNAS PARA BOMBAS  
CENTRIFUGAS QUE FUNCIONAN DENTRO DE LA RED DE  
FLUJOS EN UNA PLANTA PRODUCTORA DE PAPEL PARA  
PROYECCION DE EQUIPOS DE REPUESTO Y  
MANTENIMIENTO**

**Tutor académico:**

Ing. Jairo Palacios

**Autores:**

López V. Miguel A

Roa H. Gerson O.

**Bárbula, Febrero 2.015.**

**RESUMEN**

El presente trabajo especial de grado tiene como objetivo general la propuesta de vías alternas sobre los sistemas de bombeos que desarrollan la dinámica de los fluidos dentro de la maquina papelera 06 en MANPA C.A. Debido a que las bombas representan un gran un numero dentro de la industria, las paradas por mantenimiento son muy repetitivas, y pueden ser duraderas dependiendo de si el mantenimiento incluye la fabricación de alguna pieza desgastada, ocasionando así una disminución brusca sobre la producción.

## INTRODUCCIÓN

Actualmente la planificación de mantenimiento dentro de la industria de la producción ha tenido un crecimiento potencial, debido a que existen más equipos con los cuales el personal facilita la labor a realizar. El personal que labora en el sector de mantenimiento debe manejar un conocimiento estricto de la metodología de funcionamiento que debe seguir un equipo desde que está a punto de fallar, hasta que es ingresado nuevamente a la máquina productora; y más importante aún conservar un registro de las actividades de mantenimiento a realizar, así como las ya realizadas, pues esto contribuirá a la disminución de tiempo sobre programas de mantenimiento, lo que se traduce en menos horas hombre, y menos paradas de máquina.

En la Industria Papelera las bombas centrífugas se encuentran presentes en grandes cantidades para el manejo de agua y pasta; pues son las encargadas de manejar el fluido que después de un proceso de secado y prensado será la hoja de papel; y de estas dependen gran parte de las paradas de la maquina papelera.

El trabajo de grado presenta cuatro (4) capítulos, donde se muestra secuencialmente la información para desarrollar los objetivos planteados y de esta formar generar alternativas para que el mantenimiento de las bombas centrífugas no influyan significativamente en la producción de papel.

En el primer capítulo se da a conocer el planteamiento del problema, los objetivos, alcance, limitaciones y la justificación de la realización de este trabajo.

El segundo capítulo es la base de la investigación, donde se realizó un marco teórico en los que se presentan las leyes y conceptos para la comprensión de la metodología de la investigación.

En el tercer capítulo se explica la metodología usada a lo largo de la investigación donde se abarcan las diferentes fases que originaron opciones a ser evaluadas por el personal para implementar en los sistemas de bombeo de la máquina papelera 06; que a su vez deben mejorar los programas de mantenimiento.

El capítulo cuatro contiene el desarrollo de las fases metodológica, con el uso de los aspectos teóricos que gobiernan el comportamiento del fluido que manejan las bombas centrífugas en la industria papelera.

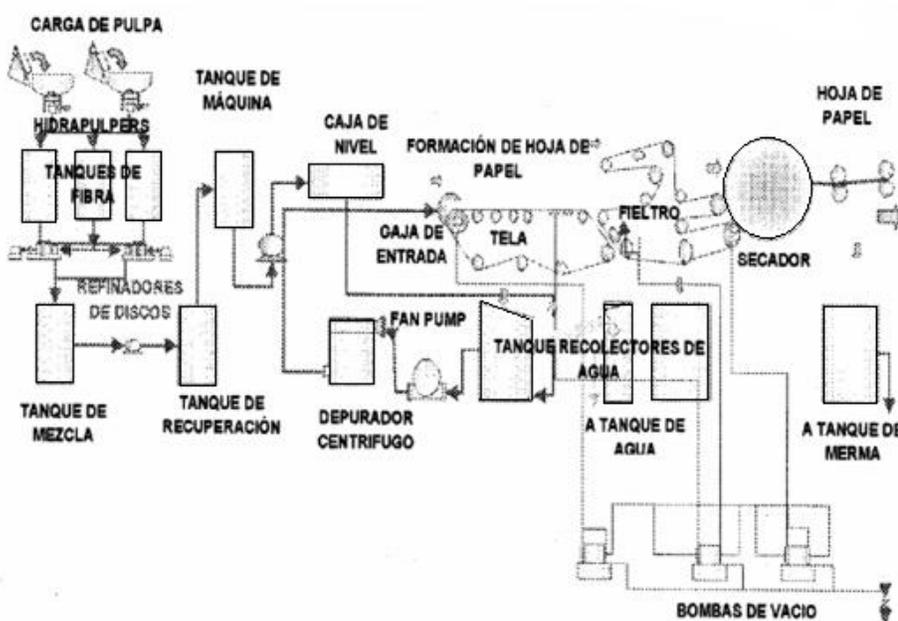
Por último, se muestran las conclusiones de la investigación y las recomendaciones a seguir.

# CAPÍTULO I

## EL PROBLEMA

### 1.1 Planteamiento del Problema.

La producción de papel sanitario se ha convertido a través del tiempo en un proceso de gran importancia en la rutina de cualquier individuo para su uso personal. La empresa manufacturadora de papel C.A. (MANPA) es la productora principal de papel sanitario en el estado Aragua y tiene varias líneas de producción de dicho papel. Abordando el caso del proceso productivo, es de vital importancia indicar que en este se emplean en gran magnitud, el uso de químicos y agua con pulpa (materia prima), cuya composición genera un deterioro bastante rápido para los equipos, principalmente a nivel abrasivo y corrosivo, y más aún cuando la máquina trabaja tiempo completo. En la Figura 1.1 se pueden observar las etapas del proceso productivo, partiendo desde la pulpa como materia prima hasta la obtención de papel.



**Figura 1.1:** Proceso de producción de la máquina papelera 06

## FACULTAD DE INGENIERÍA

La planta opera cuatro trenes independientes de fabricación de papel llamados máquinas papeleras. La máquina papelerera seis (06) consta de las siguientes etapas:

- i. **Preparación de las pastas:** La preparación de la pasta es el primer paso que hay que realizar en el proceso de fabricación de papel. En pocas palabras se condiciona la pasta para que esta adquiera las mejores condiciones, y así el producto final tenga las propiedades que lo caracterizan:
  - Desintegración: Básicamente consiste en deshacer las hojas de pulpa previamente importada (humedad 10%) en agua. Dicha operación se realiza en el pulper (Recipiente en forma cilíndrica) con ayuda de una hélice ubicada en la parte inferior, que cumple la función de mezclador. Por medio del frote continuo de la pasta contra la hélice se consigue separar las fibras, quedando una suspensión en el agua con una consistencia (porcentaje de materia seca) de 4.7%. Cuando la pasta alcanza la consistencia deseada en el pulper, esta pasta es transportada a distintos tanques donde va variando su consistencia mediante el suministro de agua, así la como reestructuración y tamaño de las fibras propias de la mezcla. La máquina papelerera cuenta con cinco (5) tanques de pasta; siendo los tanques n° 1 y n° 3 los principales del proceso y los tanques n° 4 y n° 5 tanques recuperadores de pasta destinados a aumentar la consistencia en caso de que haya una disminución brusca en los tanques

principales, y tanque n° 2, usado en la división de destintado, actualmente no está operativo.

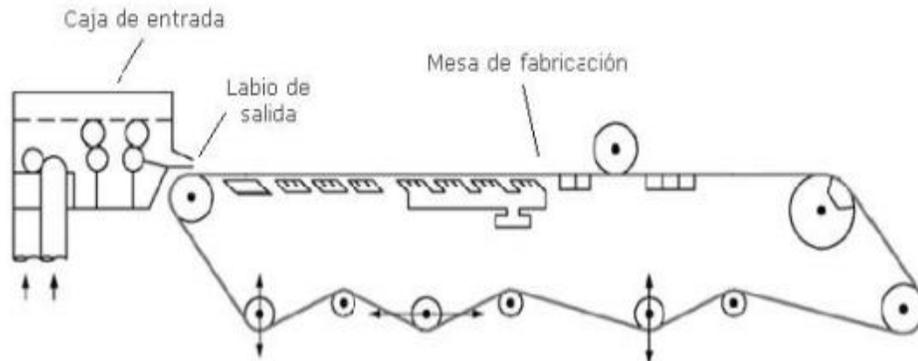
- Refinado: Es la operación en la preparación de la pasta por la cual, mediante la acción de un trabajo mecánico y en presencia de un medio acuoso (agua), se modifica la morfología de las fibras y su estructura físico-química (Fibrilación). El dispositivo donde se realiza el refinado se llama refino, y está basado en un elemento fijo (estator), y otro de rotación (rotor), entre los cuales se hace pasar la pasta. Estos elementos están equipadas con barras o cuchillas que reciben el nombre de guarniciones. En este proceso la fibra se vuelve más sensible y blanda aumentando a la vez su superficie y volumen específico.
  
- Mezcla de los diferentes aditivos: Normalmente, en la fabricación de papel, no es suficiente con utilizar diferentes tipos o mezclas de fibras vegetales para conseguir diferentes productos de las condiciones que se necesitan. Por eso, según sea el tipo de papel que se pretenda obtener, se deben añadir a la fibra una serie de productos no fibrosos que modifican sus propiedades y las del papel obtenido de ellas. Dichos productos le dan opacidad, blancura, y resistencia al papel. Para este proceso de producción de papel sanitario se utilizan específicamente los siguientes aditivos

## FACULTAD DE INGENIERÍA

- Depuración y limpieza: Los objetivos principales de la depuración son, obtener un papel limpio y sin manchas, así como evitar roturas y desgaste durante la fabricación. También se busca eliminar toda la contaminación de elementos metálicos producto de daños internos de bombas, daños en tuberías, etc. Con limpiadores de alta y baja densidad que mediante la acción centrífuga se logra separar la pasta de estos elementos no deseados.
- Recuperación de agua del proceso: Fundamental en el proceso de fabricación de papel, debido a la demanda de agua que se requiere para cumplir las normas de calidad estipuladas para este producto, sobre todo en la mesa de formación; donde el fieltro y la malla están en limpieza constante, por medio de regaderas de alta presión. Por ser el agua un recurso limitado de la empresa (proveniente de pozos subterráneos) es de vital importancia el uso de tanques recuperadores donde se almacena el agua, para su reutilización. La máquina papelera 06 clasifica el agua en cuatro tipos: agua turbia, agua clara, agua regadera y agua fresca, y su clasificación depende del porcentaje de fibra que posee.
- Recuperación de pasta del proceso: La máquina papelera 06 cuenta con dos filtros; el filtro Albany, encargado de procesar agua con alta composición de fibra, y el filtro de vacío que es el responsable de recuperar pasta para su posterior aprovechamiento.

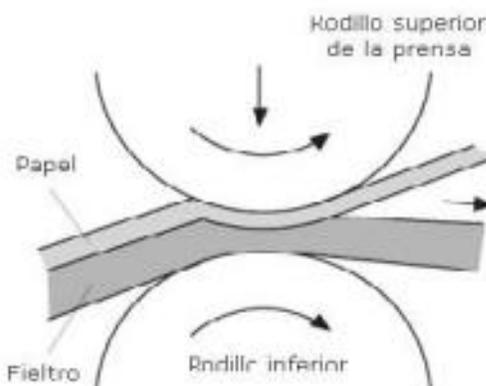
ii. **Formación de la hoja:** En esta etapa se busca transformar un caudal de esa pasta diluida en una lámina delgada, ancha y uniforme, con todos los componentes perfectamente diluidos. Esta lámina constituye lo que luego será la hoja de papel. En la industria papelera, se entiende por formación de la hoja a la disposición mediante la cual las fibras se entrelaza unas con otras (esto se puede observar mirando la hoja a transparencia). Esta formación de la hoja se realiza en dos partes bien diferenciadas de la maquina:

- La caja de entrada: Es la encargada de dar salida a la pasta sobre la mesa de fabricación, y es alimentada por tuberías delgadas denominadas “distribuidores”. Se puede observar en Figura 1.2
- Mesa de fabricación: Tiene la misión de deshidratar la pasta (Eliminando una gran cantidad del agua que contiene) y de formar la hoja de papel. Una mesa de fabricación está formada por una serie de elementos que permiten, realizar el proceso de formación de la hoja convenientemente. La pasta enviada a través del labio de la caja de entrada se deposita sobre una tela la cual se encarga de transportar las fibras con un movimiento longitudinal y transversal denominado traqueo (tiene como finalidad orientar las fibras en todas las direcciones del papel, en pocas palabras le da uniformidad a la hoja a nivel estructural). Se puede observar en Figura 1.2



**Figura 1.2:** Caja de entrada y mesa de fabricación.

iii. **Prensado en húmedo:** La hoja de papel, al salir de la mesa de fabricación, y entrar la sección de prensas, tiene una consistencia aproximada de 20%, es decir, contiene aproximadamente un 80% de agua. Al final de la operación de prensado quedara aproximadamente con 60% de agua. En este proceso la hoja es transportada a través de unos rodillos que la presionan. El prensado húmedo se realiza haciendo pasar la hoja, en contacto con un fieltro, entre dos rodillos. Como se indica en la Figura 1.3.



**Figura 1.3:** Contacto de hoja y fieltro en el prensado húmedo.

- iv. **Secado:** Cuando el papel sale de la sección de prensas, su contenido de agua suele ser de un 60%. Esta operación se realiza en el fieltro al igual que el prensado en húmedo. A partir de aquí no es posible eliminar agua por medios físicos, sino que la manera de hacerlo es mediante la aplicación de calor. En esta etapa el calor hace que el agua de la hoja se evapore dejándola seca. Al final de esta operación, el papel habrá eliminado prácticamente la totalidad del agua que tenía quedando con una humedad relativa de un 5%, la requerida en su composición final para mantener su elasticidad.
  
- v. **Bobinado:** La operación de bobinado tiene la misión de cortar y rebobinar la bobina de a máquina, de gran diámetro (bobina madre), en bobinas de diámetro y anchura más pequeños (bobinas hijas). Este proceso se realiza en una maquina llamada bobinadora.

Durante estas etapas, la concentración de la pulpa es regulada con agua. Todo esto debido a un sistema de bombeo de lechadas (slurry), y de aguas residuales. Se puede entonces observar claramente la importancia que tienen las bombas en el proceso de producción. Es necesario resaltar que entre las etapas del proceso, hay tanques que almacenan la pasta (agua y fibra) con la composición necesaria, donde se debe asegurar un nivel en el tanque constante, para permitir que el proceso maneje el caudal requerido en todo el proceso.

Las bombas se encuentran ubicadas en la base de los tanques donde se almacena la pulpa. El fallo prematuro de los empaques, las fugas en los sellos, el desgaste y ruptura del impulsor, entre otros daños comunes en bombas, conllevan a la necesidad de cambios de partes de las bombas que disminuyen la producción de la maquina papelera 06. Dicha problemática está fuertemente relacionada con las paradas de planta no programadas.

En vista de dichas dificultades, la empresa solicita un estudio sobre las redes de bombeo actuales, con el fin de generar alternativas que permitan disminuir las paradas no programadas. Las alternativas planteadas deben responder al hecho de optimizar el plan de mantenimiento en función del tiempo de parada y minimizar costos de implantación.

### **1.2 Objetivos.**

#### **1.2.1 Objetivo General.**

Propuesta de vías alternas para bombas centrífugas que funcionan dentro de la red de flujos en una planta productora de papel para proyección de equipos de repuesto y mantenimiento.

#### **1.2.2 Objetivos Específicos.**

- Realizar el levantamiento de la red de flujos de agua y pasta presente en la máquina productora de papel.
- Describir el arreglo de bombeo actual en función de las etapas que conforman la máquina papelera.
- Plantear alternativas que aseguren la continuidad del proceso para cada una de las bombas que operan en la maquina papelera.

- Diseñar hidráulicamente la alternativa seleccionada.
- Realizar inventario de repuestos.

### **1.3 Justificación de la investigación.**

El propósito general de este proyecto va enfocado a generar alternativas sobre un sistema de bombeo que funciona en la producción de papel, que permita realizar el mantenimiento de sus equipos de producción sin afectar notoriamente el proceso, es importante señalar que el mismo tiene incidencias significativas en varios campos:

- Académicamente, Influye en el desarrollo y aplicación de los conocimientos adquiridos en la formación profesional, que engloba la técnica de aplicación de los mantenimientos preventivos y correctivos según sea el caso de deterioro del equipo, así como también el manejo de fluidos y los elementos constitutivos (válvulas, bombas, tanques y tuberías) que son de vital importancia en la industria papelera. Así como también la selección de materiales adecuados para garantizar una vida útil de los equipos y del sistema, los cuales pueden ser aplicados directamente a la solución de problemas generados durante proceso de producción de las empresas.
- A nivel de la empresa, la elaboración de este proyecto brindara opciones factibles que optimicen el proceso de mantenimiento sin afectar en gran medida la productividad, y a su vez proporcionar una solución (diseño) lo más simplificada posible en función de los elementos mecánicos que componen la red hidráulica, para minimizar los costos que acarrea dicha inversión.

#### **1.4 Limitaciones.**

El presente proyecto tiene asociadas las siguientes limitaciones:

- El diseño de la red de flujos es dependiente del espacio físico donde se mantiene operativa la máquina productora, así como también la disposición económica y disposición de equipos que tenga la empresa para el instante de construcción e instalación.
- Durante la investigación, dentro del número de bombas que operan en la máquina papelería 06, no se consiguió información suministrada por el fabricante de las bombas 007-0063 y 007-0079 en el registro de la empresa.
- El planteamiento de alternativas sobre las bombas que incluyen By pass, es dependiente de criterios de consistencia, caudal y altura de máquina.

#### **1.5 Alcance.**

La investigación propuesta pasa inicialmente por un levantamiento del Complejo de producción de Papel de MANPA en el que se verán reflejados todos los equipos y tuberías que intervienen en el proceso productivo de dicha máquina. Posteriormente se identificarán las partes del proceso a rediseñar seguido de la presentación, seguido de una selección de alternativas de diseño que cumplan con los fines requeridos con su respectiva estimación y evaluación de costos.

## 2.1 Antecedentes

A continuación se hará referencias sobre antiguos estudios realizados en referencia a los factores que se deben tener en consideración al hora de analizar el sistema y ejecutar la investigación.

**Gunkel (1974).** “Continuous washing apparatus for pulp stock and the like”. Trabajo sobre los sistemas de limpieza continua de pasta, presenta los limpiadores Uniflow entre otros sistemas utilizados en la producción de papel.

**Luthi Oscar, Johnson Donald(1988).** “Pulp centrifugal Pump”. Realizaron un manual referente al diseño y funcionamiento de las partes constitutivas de las bombas para pasta.

**Tutterow Vestal(1999).** “Energy Efficiency in Pumping Systems: Experience and Trends in the Pulp & Paper Industry”. Realizaron un estudio de la demanda energética en sistemas de bombeo de pasta, como disminuir el consumo y presenta análisis estadísticos del consumo en sistema de prueba.

**(Parisher Roy, 2012).** Tercera Edición de “Pipe Drafting and Design”. Un libro cuyos capítulos versan sobre el diseño de sistemas de tuberías abordando en cada capítulo un área en específico de dichas redes, el primer capítulo trata una vista general del procedimiento a seguir a la hora de diseñar un nuevo sistema de tuberías de acuerdo con las necesidades del proceso, posteriormente el libro dedica capítulos a la selección de

válvulas y a la instalación de bridas, también hace referencia a la elaboración de diagramas de flujos y de instrumentos.

**(Plaza Héctor. Mayo 2012).** Presento en su trabajo especial de grado el “**Diseño un sistema de recuperación de Amoniaco ( $NH_3$ ) en una planta de urea**” para el procedimiento de drenaje en las bombas PA-2A/B, con la finalidad de lograr almacenar y calentar el amoníaco remanente dentro de ellas hasta alcanzar una fase gaseosa, y así enviarlo a la chimenea principal de la Planta de Urea, y liberarlo al ambiente, para posteriormente ejecutar el mantenimiento de las bombas, evitando así fallas, fugas de amoníaco y un ambiente tóxico en la planta.

**(Sorensen, Kenneth De Corte, Annelies 2013).** Un paper sobre la “**optimización de diseños de redes de flujo de agua**”; el trabajo ofrece un método para encontrar los diámetros de cada tramo en el diseño, de modo que se obtenga la mínima inversión sin violar los requerimientos hidráulicos del mismo.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.2 Bases Teóricas

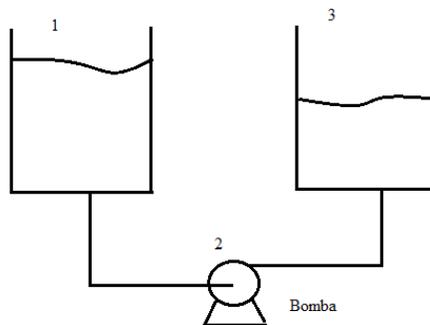
##### 2.2.1 Redes de distribución. [6]

Para el diseño de las redes es impredecible definir la fuente de abastecimiento y la ubicación tentativa del tanque de almacenamiento. La importancia en esta determinación radica en asegurar el suministro eficiente y continuo de pasta (agua + fibra) en cantidad y presión adecuada.

Las presiones en la red deben satisfacer ciertas condiciones mínimas y máximas para las diferentes situaciones de análisis que pueden ocurrir. En tal sentido la red debe mantener las presiones de servicio mínimas, que sean capaces de llevar agua al interior de las instalaciones.

##### 2.2.2 Sistema de bombeo. [1]

El objetivo de tener una bomba es añadir energía al fluido, lo que ocasiona un incremento en la presión de este. Para la determinación y explicación más detallada del punto de bombeo se implementara la Figura 2.1:



**Figura 2.1:** Esquema básico de bombeo.

Aplicando la ecuación de disponibilidad desde el punto 1 hasta el punto 3, se obtiene la ecuación 2.1:

$$H_1 + H_B = H_3 + hf_{1-3} \text{ (Ecuación 2.1)}$$

Desarrollando la ecuación anterior se puede obtener la altura de bombeo generalizada para dicho sistema, se obtiene la ecuación 2.2:

$$H_{B1} = \left[ \left( \frac{V^2}{2g} \right) + \frac{P}{\gamma} + Z \right]_3 - \left[ \left( \frac{V^2}{2g} \right) + \frac{P}{\gamma} + Z \right]_1 + hf_{1-2}(\text{succion}) + hf_{2-3}(\text{descarga}) \text{ (Ecuación 2.2)}$$

Dónde:

$H_{b1}$  = Altura de bombeo (m.c.a)

$H_1$  = Disponiilidad en el punto 1 (m.c.f)

$H_2$  = Disponiilidad en el punto 2 (m.c.f)

$hf_{1-2}$  = Perdidas totales por friccion en el tramo de tuberia 1-2 (m.c.f)

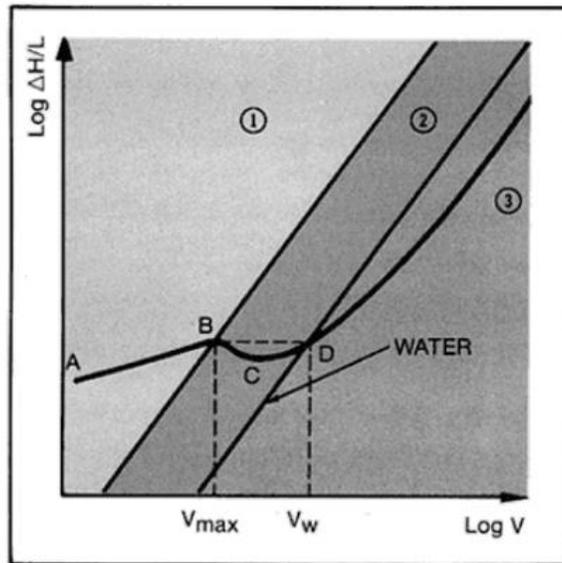
$hf_{2-3}$  = Perdidas totales por friccion en el tramo de tuberia 2-3 (m.c.f)

### 2.2.3 Pérdidas por fricción en tuberías con pasta. [6]

En cualquier sistema de tuberías, la bomba ofrece y desarrolla presión hidráulica para superar el diferencial de carga entre dos puntos. Este diferencial de altura total se compone de la carga de presión, la carga de velocidad y la altura total de fricción producida por la fricción entre la pulpa suspendida y la tubería. Las pérdidas totales por fricción son las más difíciles de calcular, debido a la naturaleza no lineal de la curva de

perdida por fricción. Esta curva puede ser afectada por varios factores. Dicha metodología es aplicable en pasta con consistencia (“Oven-dry”) de 2% a 6%. Normalmente para consistencias (“Oven dry”) de menos de 2% se hacen las mismas consideraciones de pérdidas que para el agua, pero sin embargo este método es bastante efectivo para esos casos.

Las pérdidas por fricción se pueden dividir en tres (3) regiones, como se indica en la Figura 2.2.



**Figura 2.2:** Pérdidas por fricción en regiones según consistencia.

Estas tres regiones pueden ser descritas de la siguiente manera:

**Región 1.** (Curva AB). Es una región lineal donde las pérdidas por fricción para una pulpa dada son en función de la consistencia, velocidad y diámetro de tubería. La velocidad en el límite superior de esta región lineal (Punto B) es designada  $V_{\text{max}}$ .

**Región 2.** (Curva BCD). Muestra el inicio del decrecimiento de las pérdidas por fricción (hasta el punto C) para luego tener un crecimiento de pendiente. La intersección de las pérdidas por fricción de la pulpa y la curva de pérdidas por fricción del agua (Punto D) es denominado el inicio de la “reducción de la resistencia”. La velocidad en este punto es denominada  $V_w$ .

**Región 3.** (Curva DE). Muestra las pérdidas por fricción de la pulpa en suspensión por debajo de la curva del agua. Esto es debido a un fenómeno llamado reducción de la resistencia.

Las regiones 2 y 3 están separadas por las pérdidas por fricción de agua, la cual es una línea recta con una pendiente de dos (2) aproximadamente.

#### ***2.2.3.1 Parámetros de diseño.***

Para determinar los componentes que intervienen en las pérdidas por fricción para un diseño específico (demanda de tasa de flujo másico), se definen los parámetros siguientes:

- Tipo de pulpa: De tipo química o mecánica. Con fibras largas o cortas. Es fundamental para elegir el coeficiente que definirá en cual región se encuentra.
- Consistencia (“Oven dry”): Determina la limitación de diseño en un sistema ya presente.
- Diámetro interno de tubería: Bajar el diámetro reduce la inversión de capital inicial, pero incrementa los costos de operación de las bombas. Una vez que es seleccionado el diámetro, se fija la velocidad para un determinado flujo másico.

- Velocidad mayor: Usualmente basado en una tasa de flujo diaria predeterminada. Es de notar que la velocidad máxima y el diámetro son dependientes de la tasa de flujo másico diario.
- Temperatura de la pasta: Requerido para ajustar efectos de cambios en la viscosidad del agua en las pérdidas por fricción.
- Material de tubería: Importante para especificar la designación de correlaciones y comparar.

### ***2.2.3.2 Procedimiento para la estimación de pérdidas en tuberías.***

La velocidad depende de la tasa de flujo másico diario y el diámetro de tubería seleccionado. El valor final de la velocidad puede ser optimizado para dar una inversión de capital más bajo en costos de operación con la debida consideración de demandas futuras y posible expansión del sistema.

El valor de la velocidad puede caer dentro de una de las regiones previamente discutidas. Una vez determinada cual es esa región de trabajo, las apropiadas correlaciones pueden determinar el valor de esa pérdida por fricción. Estas se presentan a continuación:

**Región 1.** El límite superior de la región 1, según la Figura 2.2(PUNTO B) es designado por  $V_{max}$ . El valor de  $V_{max}$  es determinado usando la ecuación 2.3. La data necesaria es suministrada por la Tabla 1.1 o Tabla 1.2.

FACULTAD DE INGENIERÍA

$$V_{\max} = k' * C^{\sigma} \text{(Ecuación 2.3)}$$

Dónde:

$V_{\max}$ = Velocidad máxima designada en el punto B. (ft/s)

$K'$ =Coeficiente numérico (constante para un tipo de pulpa dado). Según Tabla 1.1 y Tabla 1.2. (Factor adimensional)

$C$ = Consistencia (Oven-dry, expresado como decimal, no porcentual) (g/100ml)

$\sigma$  = Exponente (Constante para el tipo de pulpa). Obtenido en la tabla 1.1 o 1.2

**Tabla 1.1.** Factores  $K'$  y  $\sigma$  según tipo de pulpa y material de tubería.

Pulp Type	Pipe Material	$K'$	$\sigma$
Unbeaten aspen sulfite never dried	Stainless Steel	0.85 (0.26)	1.6
Long fibered kraft never dried CSF = 725 (6)	PVC	0.98 (0.3)	1.85
	Stainless Steel	0.89 (0.27)	1.5
Long fibered kraft never dried CSF = 650 (6)	PVC	0.85 (0.26)	1.9
Long fibered kraft never dried CSF = 550 (6)	PVC	0.75 (0.23)	1.65
Long fibered kraft never dried CSF = 260 (6)	PVC	0.75 (0.23)	1.8
Bleached kraft never dried and reslurried (6)	PVC	0.79 (0.24)	1.5
	Stainless Steel	0.59 (0.18)	1.45
Long fibered kraft dried and reslurried (6)	PVC	0.49 (0.15)	1.8
Kraft birch dried and reslurried (6)	PVC	0.69 (0.21)	1.3
Stone groundwood CSF = 114	PVC	4.0 (1.22)	1.40
Refiner groundwood CSF = 150	PVC	4.0 (1.22)	1.40
Newsprint broke CSF = 75	PVC	4.0 (1.22)	1.40
Refiner groundwood (hardboard)	PVC	4.0 (1.22)	1.40
Refiner groundwood (insulating board)	PVC	4.0 (1.22)	1.40
Hardwood NSSC CSF = 620	PVC	0.59 (0.18)	1.8

**Tabla n° 1.2.** Factores  $K'$  y  $\sigma$  según tipo de pulpa y material de tubería.

Pulp Type (5)	Pipe Material	$K'$	$\sigma$
Unbleached sulphite	Copper	0.98 (0.3)	1.2
Bleached sulphite	Copper	0.98 (0.3)	1.2
Kraft	Copper	0.98 (0.3)	1.2
Bleached straw	Copper	0.98 (0.3)	1.2
Unbleached straw	Copper	0.98 (0.3)	1.2

Nota: Para el sistema internacional (SI) usar el valor de  $K'$  entre paréntesis.

## UNIVERSIDAD DE CARABOBO

Si el valor de la velocidad designada (V) es menor que Vmax, el valor de la resistencia al flujo ( $\Delta H/L$ ) puede ser calculado utilizando la ecuación 2.4, y la data es suministrada por la Tabla 1.3 o 1.4.

$$\frac{H}{L} = F * K * V^{\alpha} * C^{\beta} * D^{\gamma} \text{(Ecuación 2.4)}$$

Dónde:

$\frac{H}{L}$  = Pérdidas de carga dinámica por cada 100 pies de longitud de tubería (ft/100ft).

F= Factor de corrección de temperatura, rugosidad de tubería, tipo de pulpa, y factor de seguridad. Indicado en la ecuación 2.5:

$$F = F1 * F2 * F3 * F4 * F5 \text{(Ecuación 2.5)}$$

Dónde:

**F1** = Factor de corrección por temperatura. Los cálculos de pérdidas por fricción se basan normalmente en una referencia sobre la temperatura de la pulpa desde 95 °F (35 °C). La resistencia al flujo puede ser aumentada o disminuida en un 1 % por cada 1.8 °F (1 °C) por debajo o por encima de 95 °F (35 °C) respectivamente. Esto puede expresarse en la ecuación 2.6 para grados °F y ecuación 2.7 para grados °C:

$$F1 = 1,528 - 0,00556 * T. \text{(Ecuación 2.6)}$$

Dónde:

T = temperatura de la pulpa (°F)

$$F1 = 1,35 - 0,01 * T. \text{(Ecuación 2.7)}$$

Donde

## FACULTAD DE INGENIERÍA

$T$  = temperatura de la pulpa ( $^{\circ}\text{C}$ )

**F2** = Factor de corrección para la rugosidad de la tubería. Este factor puede variar debido al proceso de manufactura, rugosidad de la superficie, y el tiempo de la tubería, entre otros. Los valores típicos para PVC y tuberías de acero inoxidable se enumeran a continuación:

$F2 = 1,0$  para tubería de PVC.

$F2 = 1,25$  para tuberías de acero inoxidable.

**F3** = Factor de corrección para el tipo de pasta. Los valores típicos son los siguientes:

$F3 = 1,0$  para pulpas que nunca se han secado y se volvieron a suspender.

$F3 = 0,8$  para las pulpas que se han secado y se volvió a suspender.

**F4** = Factor de corrección según el grado de refino. Representa la medida de velocidad en la que una suspensión diluida de pulpa puede drenar. Para “Kraft pine pulp” un grado de refino de 725 CSF el valor de  $F4=1.0$ , 636 CSF el valor de  $F4=0,96$  y 300 CSF el valor de  $F4=1,37$ .

**F5** = Factor de seguridad en el diseño. Esto por lo general se especifica por política de la empresa en función de una futura ampliación del sistema o una mayor producción motivo de la demanda, entre otras.

UNIVERSIDAD DE CARABOBO

K=Coefficiente numérico (Constante dado por el tipo de pulpa). Obtenidos en la tabla 1.3 y 1.4.

V: Velocidad del fluido. (ft/s). Representado en la ecuación 2.8:

$$V = \frac{0,4085*Q}{D^2} \text{ (ft/s)(Ecuación 2.8)}$$

C= Consistencia (Oven-dry, expresado como decimal, no porcentual) (g/100ml)

D=Diámetro interno de tubería (in)

$\alpha, \beta, \gamma$ =Exponentes (constante por el tipo de pulpa). Obtenidos en la tabla 1.3 y 1.4.

**Tabla 1.3.** Factores K,  $\sigma$ ,  $\beta$  y  $\gamma$  según tipo de pulpa y material de tubería.

Pulp Type	K	a	b	y
Unbeaten aspen sulfite never dried	5.30 (235)	0.36	2.14	-1.04
Long fibered kraft never dried CSF = 725 (5)	11.80 (1301)	0.31	1.81	-1.34
Long fibered kraft never dried CSF = 650 (5)	11.30 (1246)	0.31	1.81	-1.34
Long fibered kraft never dried CSF = 550 (5)	12.10 (1334)	0.31	1.81	-1.34
Long fibered kraft never dried CSF = 260 (5)	17.00 (1874)	0.31	1.81	-1.34
Bleached kraft bleached and reslurred (5)	8.80 (970)	0.31	1.81	-1.34
Long fibered kraft dried and reslurred (5)	9.40 (1036)	0.31	1.81	-1.34
Kraft birch dried and reslurred (5)	5.20 (236)	0.27	1.78	-1.08
Stone groundwood CSF = 114	3.81 (82)	0.27	2.37	-0.85
Refiner groundwood CSF = 150	3.40 (143)	0.18	2.34	-1.09
Newspaper broke CSF = 75	5.19 (113)	0.36	1.91	-0.82
Refiner groundwood CSF (hardboard)	2.30 (196)	0.23	2.21	-1.29
Refiner groundwood CSF (insulating board)	1.40 (87)	0.32	2.19	-1.16
Hardwood NSSF CSF = 620	4.56 (369)	0.43	2.31	-1.20

**Tabla n°1.4.** Factores K,  $\sigma$ ,  $\beta$  y  $\gamma$  según tipo de pulpa y material de tubería.

Pulp Type (5)	K	a	b	y
Unbleached sulfite	12.69 (1438)	0.36	1.89	-1.33
Bleached sulfite	11.40 (1291)	0.36	1.89	-1.33
Kraft	1140 (1291)	0.36	1.89	-1.33
Bleached straw	11.40 (1291)	0.36	1.89	-1.33
Unbleached straw	5.70 (646)	0.36	1.89	-1.33

*Nota: Para sistema internacional (SI) usar el valor de K entre paréntesis.*

**Región 2.** El límite inferior de la región 2 en la Figura 2.3 (PUNTO B) es  $V_{max}$ , y el superior (PUNTO D) es  $V_w$ . Y es representado por la ecuación 2.9:

$$V_w = 4.00 * C^{1.40} \text{ (Ecuación 2.9)}$$

Dónde:

$V_w$  = Velocidad límite de la región 2. (ft/s)

C = Consistencia (Oven-dry, expresado como decimal, no porcentual)

Si  $V$  esta entre  $V_{max}$  y  $V_w$ , la ecuación 2.4 puede ser utilizada para determinar  $\Delta H/L$  en el máximo punto ( $V_{max}$ ). Debido a que el sistema de bombeo deberesponder con la peor condición de fluj. Es decir,  $\Delta H/L$  en el máximo punto ( $V_{max}$ ) puede ser utilizada para todas las velocidades de diseño entre  $V_{max}$  y  $V_w$ .

**Región 3.** Una estimación conservativa de las pérdidas por fricción es obtenida por el uso de las curvas de agua. El valor de  $(\Delta H/L)_w$  puede ser obtenida por un factor de fricción vs Número de Reynolds, o aproximándolo por la ecuación 2.10:

$$(\Delta H/L)_w = 0.58 * V^{1.75} * D^{-1.25} \text{ (Ecuación 2.10)}$$

Dónde:

$(\Delta H/L)_w$  = Pérdidas de carga dinámica por cada 100 pies de longitud de tubería.

V = Velocidad (ft/s)

D = Diámetro interno (in)

**2.2.4 Ecuación de pérdida por accesorios en tuberías y en tramos. [4]**

Los sistemas de tuberías incluyen válvulas, codos, ampliaciones, reducciones, entradas, salidas, flexiones, y otras características que causan pérdidas adicionales. Suelen expresarse según la ecuación 2.11

$$h_{acc} = K * \frac{V^2}{2 * g} \text{ (Ecuación 2.11)}$$

Dónde:

$h_{acc}$  = Pérdida menor generada por el accesorio. (m.c.f)

K = Coeficiente de pérdida del accesorio

V = Velocidad media del fluido dentro de la tubería. (m/s)

g = Aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>)

Q = flujo volumétrico en la tubería. (m<sup>3</sup>/s)

A = Área de sección transversal de la tubería (m<sup>2</sup>)

Para los tramos de tubería las pérdidas son representadas por la ecuación 2.12.

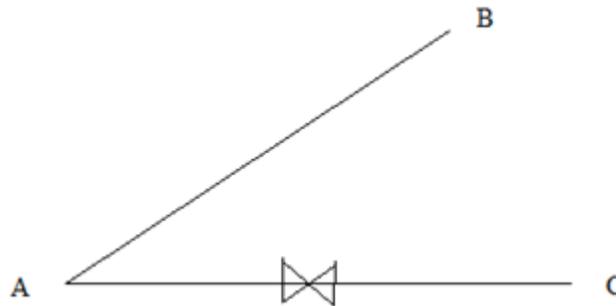
$$H_f \text{ tramo} = \text{Longitud de tramo} * \frac{\Delta h}{100\text{ft de tubería}} \text{ (Ecuación 2.12)}$$

**2.2.5 Disponibilidad en los nodos y método del camino crítico [2]**

Una vez establecida la red, constituida por las tuberías principales y calculadas las pérdidas correspondientes a cada tramo, se procede a determinar en cada nodo la disponibilidad más alta que debe ser suministrada. Para obtener dichas disponibilidades se utiliza el Principio conservación de la energía en los tramos de tuberías y por accesorios.

Al realizar dichos cálculos se debe tomar a consideración cuál es el camino crítico dentro de la red con la que se trabaja. Para ello se calcula la disponibilidad de un nodo a partir de cada uno de los tramos que convergen en dicho punto, de manera de determinar cuál es la mayor disponibilidad requerida.

En los caminos no críticos (donde no se obtiene el mayor valor de disponibilidad) se deben agregar pérdidas de carga adicional de manera de equilibrar todas las disponibilidades, esto normalmente se realiza a través de válvulas que disipan el exceso de disponibilidad debido al valor fijado en el nodo. La pérdida que debe añadir al sistema dicha válvula se calcula como la diferencia entre la disponibilidad crítica y la que se desea obtener. Tal como se muestra en la Figura 2.3:



**Figura 2.3:** Colocación de válvula en un camino no crítico.

$$H_A (A \rightarrow B) > H_A (A \rightarrow C)$$

Entonces bien la pérdida por válvula queda representada por la ecuación 2.13:

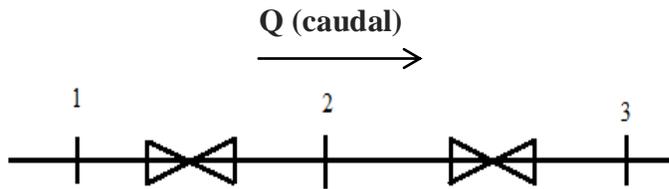
$$h_{fV} = H_A (A \rightarrow B) - H_B(A \rightarrow C) \text{ (Ecuación 2.13)}$$

En donde,  $H_A(A \rightarrow B)$  representa la disponibilidad del nodo A, calculada a partir de la trayectoria A- B, mientras que  $H_A(A \rightarrow C)$  representa la disponibilidad del nodo A,

calculado a partir de la trayectoria A – C y  $h_{fv}$ , representa el exceso de disponibilidad que debe disipar la válvula.

### 2.2.5.1 Resistencia hidráulica acoplada en serie

En un sistema de tuberías en serie, ver figura 2.4, las pérdidas por fricción son iguales a la sumatoria de pérdidas en cada tramo para un caudal constante.



**Figura 2.4:** Sistema de tuberías en serie

Aplicando la definición de disponibilidad en sistemas, se obtiene que:

$$H_1 = H_2 + hf_{1-2}$$

$$H_2 = H_3 + hf_{2-3}$$

La disponibilidad en el punto dos (2) es la misma para el tramo (1-2) como para el tramo (2-3), por lo que se deduce la ecuación 2.14:

$$H_1 = H_3 + hf_{1-2} + hf_{2-3} \text{ (Ecuación 2.14)}$$

Dónde:

$H_1$  = Disponibilidad en el punto 1. (m.c.f)

$H_2$ =Disponibilidad en el punto 2. (m.c.f)

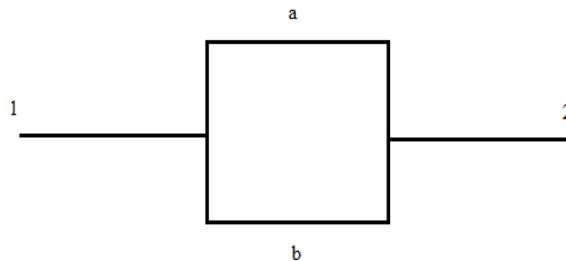
$H_3$ =Disponibilidad en el punto 3. (m.c.f)

$hf_{1-2}$ = Pérdidas totales por fricción en el tramo de tubería (1-2) (m.c.f)

$hf_{2-3}$  =Pérdidas totales por fricción en el tramo de tubería (2-3). (m.c.f)

### 2.2.5.2 Resistencia hidráulica acoplada en paralelo

Cuando dos o más tuberías están en paralelo, el caudal es la suma de los caudales individuales, pero la diferencia de altura entre los extremos es la misma para todos. A continuación se presenta un análisis de un sistema de tuberías en paralelo para demostrar lo antes expuesta. Ver figura 2.5.



**Figura 2.5.** Sistema de tuberías en paralelo

Mediante un balance de masa considerando flujo permanente se tiene que:

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}_a + \dot{m}_b \quad (\text{Ecuación 2.15})$$

Dónde:

$\dot{m}_1$ = Flujo másico en el punto 1. (kg/s)

$\dot{m}_2$ = Flujo másico en el punto 2. (kg/s)

UNIVERSIDAD DE CARABOBO

$m_a$  = Flujo másico en el punto a. (kg/s)

$m_b$  = Flujo másico en el punto b. (kg/s)

Multiplicando por la densidad, considerando flujo incompresible se obtiene que:

$$Q_1 = Q_2 = Q_a + Q_b \text{ (Ecuación 2.16)}$$

Dónde:

$Q_1$  = Flujo volumétrico en el punto 1. ( $m^3/s$ )

$Q_2$  = Flujo volumétrico en el punto 2. ( $m^3/s$ )

$Q_a$  = Flujo volumétrico en el tramo de tubería a. ( $m^3/s$ )

$Q_b$  = Flujo volumétrico en el tramo de tubería b. ( $m^3/s$ )

Aplicando la definición de disponibilidad desde el punto 1 hasta el punto 2 se obtiene:

$$H_1 = H_2 + hf_{1-2a}$$

$$H_1 = H_2 + hf_{1-2b}$$

Dónde:

$H_1$  = Disponibilidad en el punto 1. (m.c.f)

$H_2$  = Disponibilidad en el punto 2. (m.c.f)

$hf_{1-2a}$ = Pérdidas totales por fricción en el tramo de tubería (a). (m.c.f)

$hf_{1-2b}$ = Pérdidas totales por fricción en el tramo de tubería (b). (m.c.f)

### 2.2.6 Leyes de afinidad. [7]

Generalmente el punto de trabajo requerido por el sistema no está ubicado dentro del dominio de la curva característica de la bomba seleccionada, por lo tanto es necesario modificar el funcionamiento de la bomba ya adquirida, esto se hace mediante dos procedimientos, el Cambio de la velocidad de Giro, que se rige por la Leyes de Afinidad y la modificación de Diámetro o Recorte de Rodete.

#### 2.2.6.1 Cambio de velocidad de giro.

Cuando se realizan variaciones en la velocidad de giro de la bomba se pueden obtener nuevos puntos de caudal, altura y potencia a partir de las ecuaciones n° 2.17, 2.18 y 2.19 respectivamente:

$$\frac{Q_x}{Q_c} = \left(\frac{N_x}{N_c}\right) \text{(Ecuación 2.17)}$$

$$\frac{H_x}{H_c} = \left(\frac{N_x}{N_c}\right)^2 \text{(Ecuación 2.18)}$$

$$\frac{P_x}{P_c} = \left(\frac{N_x}{N_c}\right)^3 \text{(Ecuación 2.19)}$$

El subíndice “C” denota el punto conocido y el subíndice “X”, representa el que se desconoce, o que no está sobre la curva de la bomba.

### 2.2.6.2 Cambios de diámetro

El recorte de rodete es un proceso mediante el cual se inducen cambios de funcionamiento a la bomba a través de la variación del diámetro del impulsor lo cual ocasiona un cambio en la interacción de los alabes con el rotor. El recorte de rodete se utiliza para adaptar la bomba a los requerimientos del sistema y no se aconseja recortar más del 10% del rodete. Se pueden obtener varios puntos de caudal del mismo, altura y potencia a partir de las ecuaciones n° 2.20, 2.21 y 2.22, respectivamente:

$$\frac{Q_x}{Q_c} = \left(\frac{D_x}{D_c}\right) \text{ (Ecuación 2.20)}$$

$$\frac{H_x}{H_c} = \left(\frac{D_x}{D_c}\right)^2 \text{ (Ecuación 2.21)}$$

$$\frac{P_x}{P_c} = \left(\frac{D_x}{D_c}\right)^3 \text{ (Ecuación 2.22)}$$

El subíndice “C” denota el punto conocido y el subíndice “X”, representa el que se desconoce, o que no está sobre la curva de la bomba.

De igual manera la relación entre diámetros es proporcional a la relación de caudales, como se representa en la ecuación 2.23:

$$\frac{Q_c}{Q_x} = \frac{D_c}{D_x} \text{ (Ecuación 2.23)}$$

### 2.2.7 Selección de bombas. [7]

Muchos fabricantes publican cartas para la selección de las bombas que ellos producen. Generalmente presentan una gráfica con áreas codificadas, cada una de las cuales cubre un intervalo de altura de máquina y caudal a determinada velocidad de giro. Estas cartas de selección vienen acompañadas de las curvas de operación de cada modelo en particular de la bomba.

Para realizar la selección de una bomba, es necesario conocer las exigencias de altura y caudal requeridos por el sistema en el cual va a ser instalada. Las bombas para pasta suelen ser más grandes que las que trabajan agua. En el interior tienen muchas características que la hacen completamente diferente. El espesor de pared de las piezas del extremo como carcasa e impulsor, es mayor que en las centrifugas. La lengüeta de la voluta, es decir el punto en la carcasa en que la boquilla de descarga diverge de ella, suele ser menos pronunciada para minimizar los efectos de abrasión.

Los conductos para circulación en la carcasa y el impulsor son los bastante grandes para dejar pasar sólidos sin que se obstruya la bomba. Los cojinetes radiales y los de empuje axial en estas bombas son más grandes que en las centrífugas, por las exigencias impuestas por la pasta. Aunque los álabes posteriores del impulsor (que se utilizan para reducir la presión en las estoperas) reducen el empuje axial. Casi todas las bombas para pasta, tienen impulsores de mayor diámetro. El funcionamiento a baja velocidad es una de las características más importantes para reducir el desgaste en las bombas.

**2.2.7.1 Porcentaje consistencia [5]**

La consistencia de la pulpa o fibra con agua en suspensión es el porcentaje de peso de pulpa en la mezcla. “Oven dry” (O.D) consistency” es la cantidad de pulpa que queda en una simple muestra luego de un secado en un horno en 212 °F o por encima. “Air dry (A.D) consistency” es una convención arbitraria usada por los fabricantes de papel, y es la cantidad de pulpa que queda en una simple muestra luego de un secado bajo las condiciones atmosféricas.

Las tradicionales bombas de papel pueden manejar aproximadamente 6 % “O.D consistency”. El límite máximo absoluto va en función de muchos factores; como lo son el largo de fibra, proceso de despulpado, grado de refinación, y carga neta de succión disponible, etc.

Según el ensayo “TAPPI: T 240 om-02 Consistency (concentration) of pulp suspensions”, para pastas con consistencia de 1% o menos, se utiliza la siguiente ecuación 2.24:

$$\%C = \frac{w-f}{g} * 100 \text{ (Ecuación 2.24)}$$

%C = Consistencia

w= Peso del papel de filtro y la pulpa seco (g)

f= Peso de papel de filtro seco (g)

g= Peso inicial de pasta de pulpa (g)

Para pastas de pulpa con consistencia mayor a 1%, se utiliza la ecuación 2.25:

$$\%C = \frac{w-f}{a} * \frac{g+d}{g} * 100 \text{(Ecuación 2.25)}$$

Dónde:

%C = Consistencia

w= Peso del papel de filtro y la pulpa seco (g)

f= Peso de papel de filtro seco (g)

a=Peso de la muestra de pasta diluida

g= peso inicial de pasta de pulpa (g)

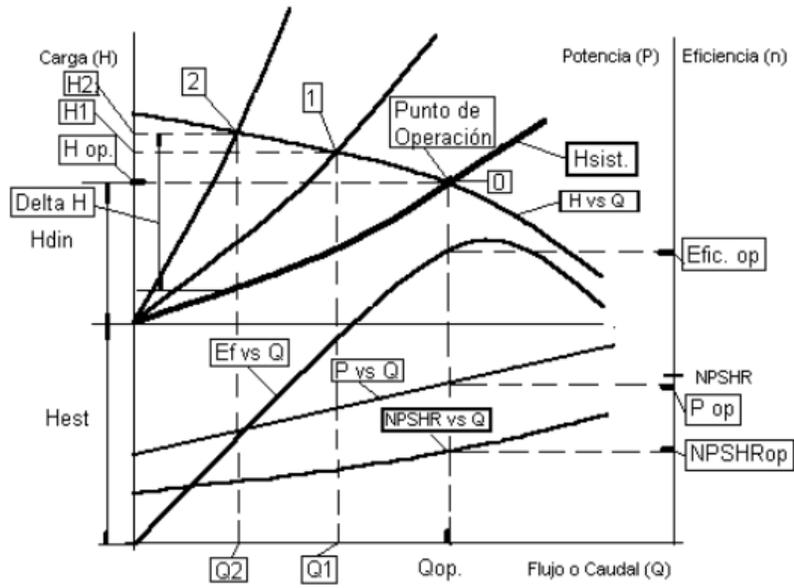
d= Peso del agua de dilución (g)

### 2.2.8 Métodos de regulación. [3]

Los procesos productivos de las empresas papeleras muchas veces requieren condiciones de bombeo diferentes a las de caudal nominal, por tanto es necesario aplicar algún tipo de control o regulación de caudal. Los métodos de regulación de caudal se obtienen mediante:

#### 2.2.8.1 Regulación de caudal por estrangulación de la tubería de descarga

En presencia de máquinas sobredimensionadas o durante la operación de equipos de bombeo que operan a flujo variable, es necesario reducir el flujo de trabajo de la máquina. Como se representa en la figura 2.6.

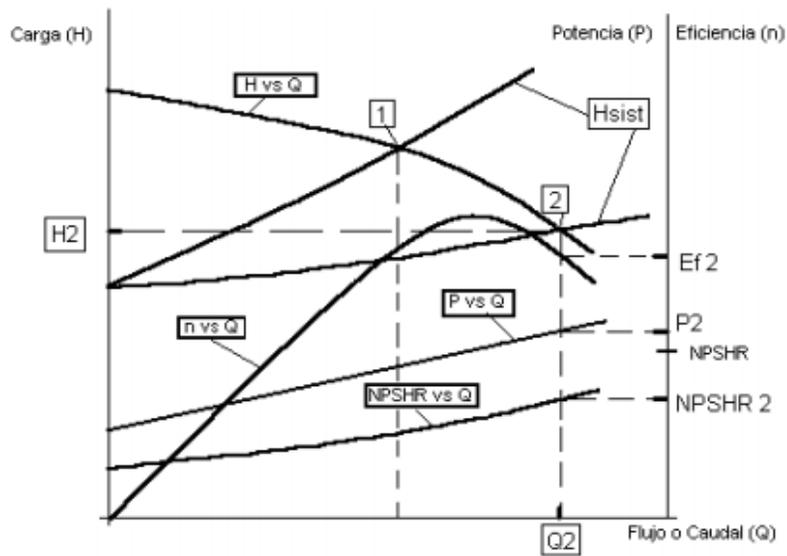


**Figura 2.6.** Curva representativa de regulación de caudal por estrangulación.

Estrangular con una válvula la descarga del sistema de tubería reduce el flujo de operación  $Q_{op}$  a los valores de flujo  $Q_1$  y  $Q_2$  incrementando los valores de carga dinámica (energía en pérdidas) a las magnitudes  $H_1$  y  $H_2$ . Los incrementos  $\Delta H_1$  y  $\Delta H_2$  representan los incrementos productos de las pérdidas. Como se aprecia el consumo de potencia se reduce, pero se incrementa la potencia gastada en pérdida. Una de las restricciones para este método es que dependiendo del caudal y porcentaje de abertura de la válvula, dicho accionamiento puede ocasionar vibraciones sobre la bomba, ocasionando daños en los elementos rodantes bajo los cuales se apoya el eje de rotación.

**2.2.8.2 Regulación de caudal mediante desvío o By/pass**

En presencia de sistemas sobredimensionados u operando procesos de capacidad variable otra solución dada es la colocación de una tubería con un sistema de válvulas que conecte la tubería de descarga con la de succión, o entre la tubería de descarga y el tanque de succión del sistema. El objetivo de dicha instalación es reducir el flujo que va al proceso derivando una parte del flujo a la succión. Como se representa en la figura 2.7.

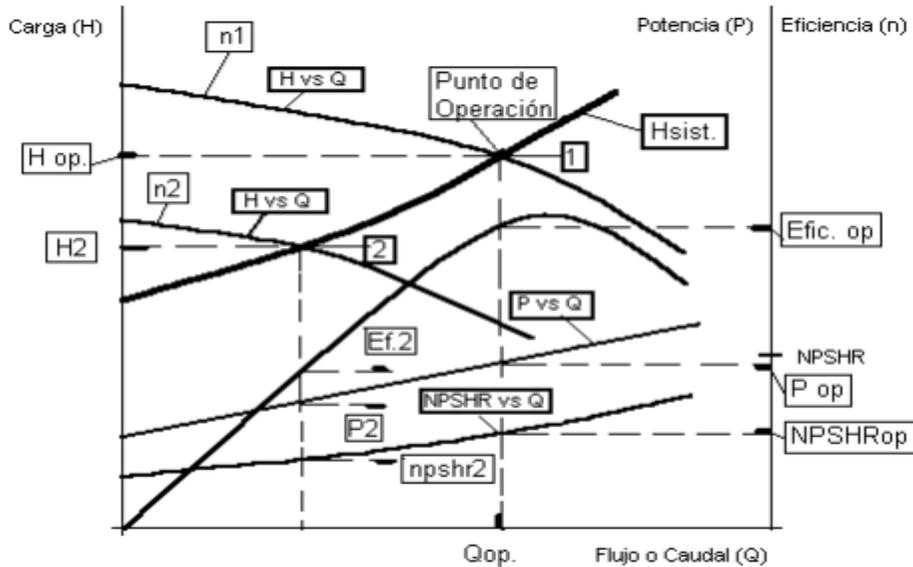


**Figura 2.7.** Curva representativa de regulación de caudal por By pass

**2.2.8.3 Regulación de caudal por variación de la velocidad de la bomba**

En la figura 2.9 se observa que para una velocidad de rotación dada (n) se definen todas las características hidráulicas de la máquina. Para las rpm (n1) se obtiene el punto de intersección de la característica de carga de la máquina, con la característica de carga del sistema de tuberías, al cual se denomina punto de operación 1. A partir de este punto

trazando perpendiculares a los ejes coordenados se obtienen los valores de los parámetros de funcionamiento de la bomba al cortar cada característica. Como lo son la eficiencia, la potencia, NPSH requerido, Caudal y disponibilidad. Representado en figura 2.8:



**Figura 2.8.** Regulación de caudal por variación de la velocidad de la bomba.

Al hacer funcionar la bomba con la nueva velocidad de rotación (n2) se obtiene un nuevo punto de operación, en este caso el punto 2. La figura ofrece las características hidráulicas de una bomba funcionando a diferentes rpm.

### 2.2.9 Tipos de fallas en bombas centrifugas. [1]

Debido a la naturaleza del material de las partes que conforman una bomba suele presentarse desgaste más continuo en sellos, empaquetaduras, O Ring, rodamientos, que en el eje, o impulsor. Por esto la revisión periódica es de vital importancia en el mantenimiento.

**2.2.9.1 Fuga por sello y por empaquetadura según sea el caso**

La abrasividad de las partículas encontradas en un sistema muy contaminado ocasionará un desgaste prematuro del sello o empaquetadura de la bomba centrífuga. La contaminación concentrada es común en sistemas sin el mantenimiento adecuado. Un sistema que no es presurizado correctamente permitirá entrar aire y promover la acumulación de óxido. Si se agrega agua con alto contenido de minerales al sistema y es calentado, empezará a formar depósitos que se acumularán y causarán obstrucciones que pueden dañar el sello. Dichos daños se pueden apreciar en la Figura 2.9 y 2.10.



**Figura 2.9.** Empaquetadura desgastada



**Figura 2.10.** Sello mecánico desgastado

### **2.2.9.2 Eje roto**

El eje falla por una sobrecarga repentina causada por vibración o desbalanceo. Si se presenta decoloración del eje, esto indica que hubo acumulación de calor excesivo antes de que cediera. Esta acumulación de calor puede ser causada por la gran cantidad de fuerzas centrífugas creadas por el desbalanceo. Esta carga se amplifica por la rápida aceleración y la operación a altas Revoluciones por Minuto (RPM). Representado en la figura 2.11



**Figura n° 2.11.** Rotura limpia, indica una fractura “instantánea” causada por la sobrecarga repentina o fuera de balance

### **2.2.9.3 Desgaste del impulsor**

La falla del impulsor puede darse por el manejo de fluidos con sólidos en suspensión de carácter abrasivo. Esta falla es notable cuando la bomba pierde parte de la presión de trabajo. Representado en la figura 2.12.



**Figura n° 2.12. Fractura notable del impulsor, en la zona del eje**

#### ***2.2.9.4 Daño de rodamientos.***

Cada una de las diferentes causas de los fallos en los rodamientos provoca daños característicos. Dichos daños, denominados daños primarios, provocan daños secundarios, que provocan grietas o rupturas. En algunos casos, aunque se trate de daños primarios, es necesario desechar los rodamientos debido a un juego interno excesivo, las vibraciones y el ruido. Los rodamientos en los que se han producido fallos presentan con frecuencia una combinación de daños primarios y secundarios. Los daños en rodamientos se pueden visualizar en la figura 2.13

Daños primarios: Desgaste, adherencias, Deformación superficial, corrosión, deformación superficial.

Daños secundarios: Grietas, danos en la jaula.

La causa de estos daños suelen ser: desgaste causado por partículas abrasivas, por lubricación inadecuada, desgaste provocado por vibraciones.



**Figura 2.13.** Rodamiento en condición crítica de desgaste.

#### **2.2.9.5 Daño en el eje de la bocina**

La bocina del eje cumple la función de proteger al eje de la fricción directa con la empaquetadura. Este desgaste ocasiona que el eje quede en contacto directo con la empaquetadura, lo que acarrea mayores costos de reparación. Este tipo de daños se pueden apreciar en la figura 2.14.



**Figura 2.14.** Desgaste en la bocina de bronce

#### **2.2.10 Mantenimiento de bombas centrífugas. [3]**

En una fábrica de papel son múltiples los procesos en los que interviene el bombeo de un fluido desde un punto de la instalación a otro. Generalmente este fluido podrá ser

agua, pasta de papel, material de rechazo procedente de la depuración y lodos. Es esencial, por tanto, realizar un buen mantenimiento preventivo y predictivo de este tipo de bombas para asegurar la continuidad de la producción.

Para el perfecto trabajo de seguimiento de estos equipos, es esencial la identificación correcta de los mismos para poder asignarles los trabajos a realizar, ya sean planes de mantenimiento preventivo, inspecciones periódicas o trabajos correctivos.

Debe haber un mantenimiento Preventivo planificado sobre este tipo de equipos. Es lo que en la industria se llama rutas de inspección. El objetivo principal consiste en la detección de fallos en fase inicial para solucionarlos de inmediato, si es posible, o en el momento oportuno si no lo es. Estas inspecciones contemplan las siguientes tareas sobre la bomba:

- Inspección visual para detectar fugas en tuberías.
- Inspección visual para la detección de fugas en el sello del eje (reapriete de empaquetadura si es posible).
- Inspección del nivel de aceite en el cuerpo de rodamientos.
- Medida de temperatura en el cuerpo de rodamientos y motor.
- Inspección de ruidos y vibraciones excesivas en el cuerpo de rodamientos, en el acoplamiento de la bomba y en el motor de accionamiento.
- Comprobar el correcto caudal del agua de refrigeración al sello del eje, si existiese.
- Inspección visual del correcto estado general de conexiones eléctricas.

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO**

#### **3.1 NiveldeInvestigación.**

Esta investigación es de carácter descriptivo es decir, permanecerán las alternativas desarrolladas para el funcionamiento de las bombas dentro de la línea de producción dentro de un plan de mantenimiento a ejecutar en caso de falla, pero no se ejecutará su construcción (de ser necesaria construcción) de tramos adicionales calculados hasta el momento de la falla; serán realizados esquemas y cálculos para las alternativas propuestas así como también la determinación de una equivalencia para los distintos modelos de bombas Warren, en la marca Goulds ya que las mencionadas anteriormente han sido descontinuadas en el mercado.

#### **3.2 TipodeInvestigación.**

De acuerdo a la naturaleza del estudio, el tipo de investigación es de campo, ya que el principio de desarrollo y análisis de los criterios a tomar en consideración en la metodología a seguir, nace de la recolección de datos de las variables que inciden sobre el proceso así como la aplicación de los basamentos teóricos que gobiernan el comportamiento hidráulico.

#### **3.3 DiseñodeInvestigación**

Eldiseñodelainvestigaciónesunestudiodecampo,dondeseránecesarioatravésdedistintos métodosdeterminarlosparámetrosindispensablesparadiseñarel sistema.Paralograrporcompl

etocadaunodelosobjetivosespecíficosseránecesariodesarrollarelestudioenvariasetapas, las cuales se presentan a continuación:

**3.3.1 Fase I. Levantamiento de la red de flujos de agua y pasta de la maquina papelera 06.**

***3.3.1.1 Estudio de la línea de producción actual en función del sistema de bombeo, incluye los tanques, bombas, y recorrido de tuberías con sus respectivos accesorios.***

Inicialmente se debe hacer un recorrido sobre la línea de producción etapa por etapa, tomando en consideración las siguientes interrogantes:

¿Número de bombas, y tanques?

Distribución de las diferentes líneas de pasta, agua fresca, agua clara, agua de regaderas y agua turbia que conforman el proceso productivo

¿Cómo interactúan los elementos que operan en las etapas de la máquina papelera?

Función que cumplen los equipos que intervienen en la producción de papel

Luego de planteadas, deben ser respondidas, y a su vez en paralelo realizar un esquema preliminar y sencillo para ayudar a la posterior comprensión. Al ser las bombas y elementos constitutivos del proceso de la red hidráulica, parámetros fundamentales a considerar en esta investigación, es necesario manejar el conocimiento de los catálogos

de dichos productos, principalmente el de las bombas, que proporcionen información suministrada por el proveedor de sus respectivas especificaciones para la realización de la investigación, y estudios pertinentes.

***3.3.1.2 Plasmar y detallar el sistema de bombeo de la máquina papelera 06 en un diagrama de flujo.***

Luego de haber observado el proceso productivo, identificado los elementos que lo conforman, se procede a plasmar detalladamente sobre un plano la información según las etapas, donde se identifique explícitamente el caudal del material (agua y pasta) así como la consistencia (g/100ml), y los equipos involucrados en dicha interacción; esto con el fin de tener una guía del comportamiento del proceso al momento de realizar un estudio detallado sobre las interacciones internas. No es necesario detallar información dimensional del recorrido de las tuberías, pues la finalidad de este apartado es dar conocimiento de las relaciones e interdependencias propias de los sub procesos dentro de la máquina.

***3.3.1.3 Verificar los resultados***

Una vez terminado el diagrama de flujo del proceso sobre el plano, se procede a la comparación y verificación con la documentación previa que se había recolectado de las observaciones y análisis del proceso con otro recorrido en los diferentes pisos operativos, con el fin evaluar la calidad del levantamiento e identificar si algunas modificaciones son necesarias.

### **3.3.2 Fase 2. Descripción del arreglo de bombeo actual y clasificarla según las etapas del proceso**

Una vez desarrollado el diagrama del proceso productivo se deben estudiar con más detalle cada una de sus etapas, identificando modelo de bombas y tanques asociados, las condiciones de operación, según catálogos de selección que ofrecen los fabricantes. Así como también diversificar el desarrollo de la maquina papelera 06 en dependencia de una serie de sub procesos, que en conjunto dan resultado a la máquina de fabricación de papel.

#### ***3.3.2.1 Identificación y clasificación de las bombas centrifugas en el proceso de producción***

Con la información del análisis dimensional suministrada por los fabricantes de las bombas, encontradas en el anexo A. Se clasifican las bombas según modelo. La información sobre el análisis dimensional de las bombas, brinda un conjunto de medidas bajo las cuales están estandarizados los modelos de las bombas. Y así, una vez identificadas las bombas, dentro de la empresa Manufacturas de Papel C.A, hay un departamento llamado “sala técnica”, donde se procede a la búsqueda y recolección de datos de las gráficas respectivas de los modelos de bombas previamente identificadas, y una ficha donde está plasmada la información básica de operación bajo la cual funciona; como punto de operación de las bombas, velocidad y potencia del motor y diámetro del impulsor. Una vez realizada la recolección de datos a través de las diferentes fuentes experimentales y documentales antes mencionadas comienza una fase esencial para la investigación, referida a la clasificación y agrupación de los datos referentes a cada

variable de estudio. Luego, posterior a esta fase de procesamiento, comienza el proceso de análisis de los datos obtenidos.

### ***3.3.2.2 Descripción y clasificación de las etapas del sistema de bombeo.***

Como en todo proceso de producción, hay etapas que son más importantes que otras, donde la importancia es evaluada en función de la continuidad del proceso si alguna de estas etapas dejase de operar y los tiempos de parada que acarrea dicha problemática. Considerando “más críticos” las etapas que manejan pasta, esto debido a que el sistema de recuperación de agua en caso de que no esté operativo, existe una red de tuberías proveniente de la sala de calderas, donde hay un sistema de bombeo que brinda al sistema agua fresca para determinadas operaciones como el control de consistencia. Esta alternativa no es la más deseada por la demanda de agua de una fuente limitada (pozos subterráneos).

### ***3.3.2.3 Realizar esquemas representativos de las etapas que conforman la máquina papelera.***

Básicamente consiste en representar las etapas según lo que entra y lo que sale, con el fin de conocer las interacciones entre las áreas, y dar apoyo al diagrama de flujo de la máquina en la búsqueda de soluciones para reducir las paradas de planta.

### **3.3.3 Fase 3. Planteamiento de alternativas.**

Al trabajar con el diseño de una red hidráulica alterna sobre una línea de producción de gran envergadura en funcionamiento, lo más probable es que se encuentren varias

posibilidades para solucionar los inconvenientes que merman la productividad de dicha línea, y que se pueden ubicar en cualquier sector de la planta.

### ***3.3.3.1 Realizar estudios del comportamiento hidráulico***

Se debe estudiar desde un punto de vista hidráulico cada etapa del proceso, tomando en cuenta las variables, parámetros y leyes que lo gobiernan. Durante el análisis del proceso se deben plantear las siguientes interrogantes que darán base a la posterior investigación, como son:

¿Cuál es el punto de operación de los equipos del proceso?

¿Cuáles son las interdependencias entre las etapas operativas que manejan dichos flujos?

### ***3.3.3.2 Establecer criterios de selección bajo los cuales se regirá el planteamiento de alternativas***

Luego de definir las características hidráulicas se deben identificar cuáles son los criterios a tomar en consideración para las propuestas en instaurar, estas alternativas son:

- a) Consistencia (Concentración de la pasta).
- b) Altura de máquina.
- c) Disponibilidad espacial dentro de la estructura de la planta. Para el recorrido de las tuberías.

### **3.3.3.3 *Plantear alternativas de diseño***

Una vez identificadas dichos criterios se procede a generar alternativas de diseño para solucionar la problemática y lograr los objetivos del proyecto. Estas alternativas planteadas deben responder y tener coherencia con el funcionamiento hidráulico previo que venía desarrollando la máquina.

### **3.3.4 Fase 4. Diseño hidráulico de alternativas.**

En base a las alternativas planteadas y a las variables de interés, los criterios de selección deben satisfacer diferentes condiciones o políticas a las cuales esté condicionada la planta.

#### ***3.3.4.1 Aplicar leyes y ecuaciones hidráulicas a alternativas para adecuarlo a criterios nominales bajo los cuales opera la máquina papelera.***

Los criterios de comparación están sujetos a muchas dependencias como la disposición económica de la empresa, la disponibilidad de los elementos mecánicos constitutivos de la alternativa a presentar, bien sea en el mercado o en el almacén de mantenimiento de la planta, incluyendo bombas y tuberías, según los criterios de consistencia, altura de máquina y caudal de espacio. Para el caso de alternativas que requieran una bomba en paralelo considerar aplicar leyes de afinidad si es necesario. Y para las alternativas que implican un By pass, es necesario considerar la instauración de un nuevo tramo de tubería donde el criterio económico sea el que prevalezca.

**3.3.4.2 *Seleccionar las alternativas más adecuadas, según requerimientos de la empresa***

Una vez atribuido la ponderación a cada alternativa la escogencia de esta viene dada por la que se incline más hacia los requerimientos de la empresa según criterios previamente establecidos.

**3.3.5 Fase 5. Realizar inventario de repuesto.**

El inventario de repuesto es uno de los requisitos fundamentales en el mantenimiento de equipos debido a que contribuyen en la eficiencia del mismo. MANPA C.A división higiénicos tiene una metodología para el registro de los planes de mantenimiento aplicado a bombas, donde se archivan planos, curvas, etc. Durante los mantenimientos queda evidencia de las partes cambiadas y modelos de forma escrita. La recolección de esta información dio resultado a una lista de repuestos pertenecientes a las bombas que operan en la maquina papelera 06.

**3.4 Aspectos administrativos**

**3.4.1 Recursos Materiales**

- Una computadora capaz de correr Autocad y Microsoft Word.
- Medidores de distancia.
- Botas de Seguridad
- Protectores Supra-auriculares.

## CAPÍTULO IV

### DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.

#### 4.1 Levantamiento de la red flujos de agua y pasta de la máquina papelera 06.

En el desarrollo de esta fase, se realizaron todas las investigaciones y estudios referentes a la máquina papelera número 06, englobando las etapas del proceso y la interacción de las mismas, así como los equipos involucrados. Para el entendimiento de la interacción entre las etapas, se necesitó de previos recorridos sobre la máquina papelera y la realización de interrogantes y consultas a los operadores de máquinas, que adicionalmente brindaron información sobre el alcance de la línea de producción así como las bombas, tanques y otros equipos que aportan a la fabricación de papel.

En el diagrama de flujos se identifica el número correlativo con el que está registrada cada una de las bombas pertenecientes a la empresa MANPA C.A división higiénicos Sector “Máquina papelera 06”, así como los equipos involucrados en el proceso productivo. También proporciona información mediante una leyenda, sobre el tipo de flujo que se maneja en esa red de tuberías con su respectiva numeración. Esto facilita el la búsqueda de datos como el caudal y la consistencia con la que interactúan dichas bombas.

#### **4.2 Descripción del arreglo de bombeo actual y clasificarla según las etapas del proceso**

Esta parte de la investigación consiste en la descripción teórica y gráfica del funcionamiento actual de los arreglos de bombeo, conlleva una representación esquemática de cada uno de los sectores en los cuales hay una bomba en funcionamiento, así como el punto de operación de la bomba en cuestión.

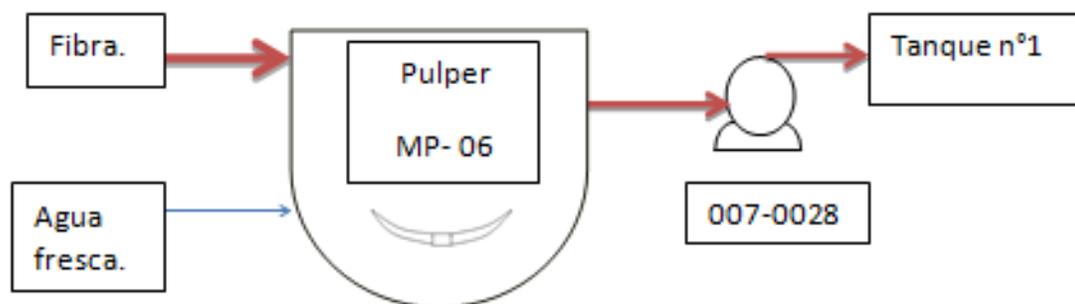
Una vez conocidos los modelos y número de bombas de la maquina 06, hay una metodología para la recopilación de datos previamente establecida por el personal de almacén de la empresa. La información disponible de los equipos está por el medio transcrito, distribuida en carpetas ubicadas en archivadores dentro de un sector llamado “Sala Técnica”, estas carpetas reciben el nombre de “ficha técnica”. El proceso de recopilación de información comienza con la identificación de la “ubicación Técnica” del equipo, por medio de una placa que está adherida a las volutas de los impulsores de las bombas; luego de identificado el número del equipo se procede a revisar los archivadores de la sala técnica y tomar la carpeta correspondiente a dicho equipo para posteriormente revisar la información que se tiene disponible y cuál se necesita determinar. Por ejemplo suponiéndose observa un equipo de bombeo y su placa tiene el número 007 – 0047, el “007” se refiere a arreglos de bombeos y el “0047” es un número complementario. Después de haber identificado dicho número se busca la carpeta en el archivador de “arreglos de bombeo” donde se refleja datos del punto de operación y motor acoplado (rpm). Ya conocido el punto de operación de las bombas y el tipo de fluido que maneja según su consistencia se procedió a realizar un diagrama de flujo mediante la

Herramienta AutoCAD que refleja la mayor cantidad de información posible acerca del funcionamiento actual del proceso.

A continuación una lista de Arreglos de Bombeo dentro de la línea de producción con su actual función y punto de operación.

4.2.1 Bomba 007-0028. Perteneciente al grupo Warren PL/PH

La bomba 007-0028 se encuentra ubicada en la base del pulper (Desintegrador de fibra previamente importada). La cual se encarga de enviar la pasta al tanque n° 1, y así iniciar el proceso productivo con todas a consideraciones necesarias. La función de la bomba se representa en la Figura 4.1 y los datos de operación en la tabla 4.1.



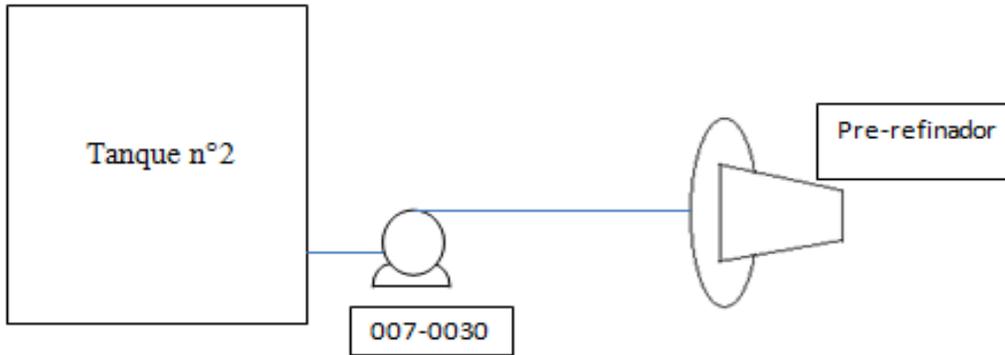
**Figura 4.1.** Etapa de la MP-06 que maneja pasta a través de la bomba 007-0028.

**Tabla 4.1.** Punto de operación de bomba 007-0028 y consistencia de pasta

Modelo	H máquina	Caudal	Consistencia	Rpm	HP motor	Diámetro impulsor
6-PH-18	202 ft	1080 gpm	4.7 g/100ml	1780	125 HP	15 1/2"

4.2.2 Bomba 007-0030. Perteneciente al grupo PL/PH

Bomba asociada al tanque n°2, actualmente no operativa. Encargada de mandar agua al pre refinador. La función de la bomba se representa en la Figura 4.2y los datos de operación en la tabla 4.2.



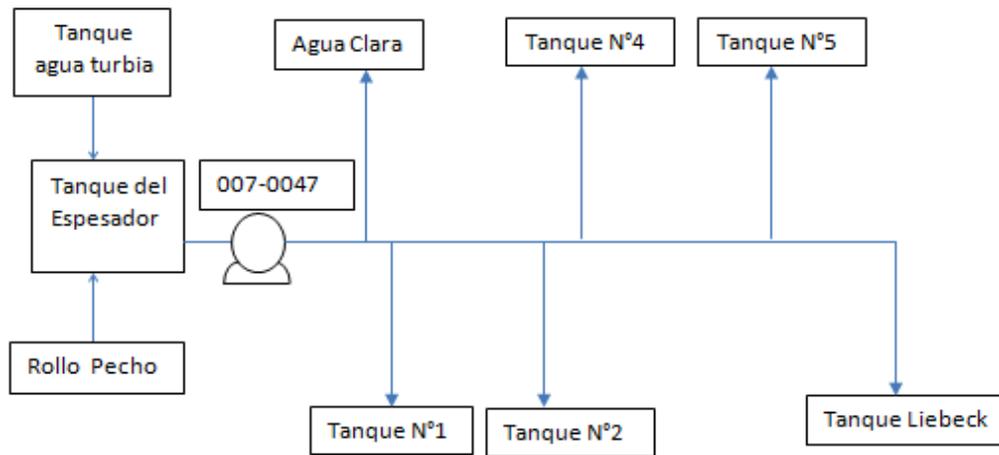
**Figura 4.2.** Etapa de la MP-06 que maneja pasta del destintado a través de la bomba 007-0030.

**Tabla 4.2.** Punto de operación de la bomba 007-0030 y consistencia de pasta

Modelo	H máquina	Caudal	Consistencia	Rpm	HP motor	Diámetro impulsor
4-PH-15	150 ft	420gpm	4.7 g/100ml	1750	40 HP	13 1/2"

4.2.3 Bomba 007-0047. Perteneciente al grupo Warren DTB/DLB (Bipartida)

La Bomba 007-0047 trabaja con el fluido que se encuentra en el “Tanque Recuperado del Espesador”, el cual contiene Agua Turbia que es principalmente utilizada para la regulación de consistencia de los tanques de pasta, efectuando dicha tarea a través de tramos que se conectan a la succión de las bombas asociadas a cada uno; la bomba 007-0047 también se encarga de mantener el nivel del Tanque de Agua Clara, el cuál almacena el agua que será recuperada en el Filtro Albany. La función de la bomba se representa en la Figura 4.3 y los datos de operación en la tabla 4.3



**Figura 4.3.** Etapa de la MP-06 que maneja agua turbia a través de la bomba 007-0047.

**Tabla 4.3.** Punto de operación de la bomba 007-0047 y consistencia de agua turbia.

Modelo	H máquina	Caudal	Consistencia	Rpm	HP motor	Diámetro impulsor
6-DTB-12	137.5 ft	1400 gpm	0.036 g/100ml	1750	60 HP	11 ½"

4.2.4 Bomba 007-0051. Perteneciente al grupo Warren PL/PH

La Bomba 007-0051 trabaja con el fluido contenido en el Tanque de Pasta n°5, el cual se encarga de almacenar una mezcla de la pasta recuperada proveniente del Filtro de vacío y la pasta recuperada del Tanque Liebeck, para posteriormente suministrar dicha mezcla directamente al Tanque de pasta n°3 (Tanque de Máquina), esto con la finalidad de aumentar la consistencia en caso de que descienda; el Tanque de Pasta n°5 recibe la pasta recuperada del Filtro de Vacío a través de la descarga de la bomba 007-0080 o bomba del Tanque de Pasta n°4 y recibe la Pasta Recuperada del Liebeck a través de la bomba 007-0069 o bomba del Tanque Liebeck. La función de la bomba se representa en la Figura 4.4 y los datos de operación en la tabla 4.4

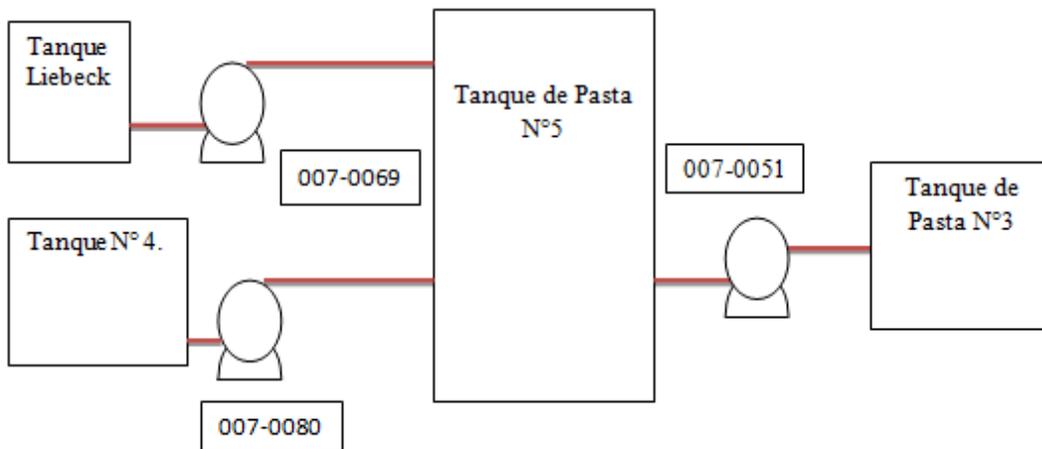


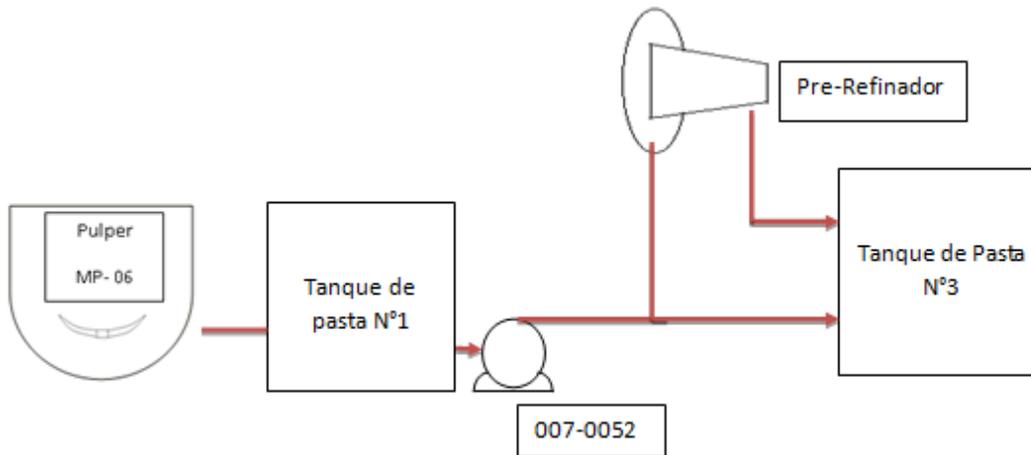
Figura 4.4. Etapa de la MP-06 que maneja pasta a través de la bomba 007-0051.

Tabla 4.4. Punto de operación de la bomba 007-0051 y consistencia de pasta.

Modelo	H máquina	Caudal	Consistencia	Rpm	HP motor	Diámetro impulsor
4-PL-15	80 ft	400 gpm	3.5 g/100ml	1150	7.5 HP	13 1/2"

4.2.5 **Bomba 007-0052. Perteneciente al grupo Warren PL/PH**

La Bomba 007-0052 trabaja con el fluido contenido en el Tanque de Pasta n°1, el cual almacena la pasta proveniente del Pulper, dicha pasta es enviada al Tanque de Pasta n°3. También una parte de la descarga del Tanque n°1 es enviada a un proceso de pre-refinación y posteriormente al Tanque n°3, es decir, el Tanque de Pasta n°1 manda pasta al Tanque n°3 por dos caminos, uno con pre-refinación y otro directo. La función de la bomba se representa en la Figura 4.5 y los datos de operación en la tabla 4.5.



**Figura 4.5.** Etapa de la MP-06 que maneja pasta a través de la bomba 007-0052.

**Tabla 4.5.** Punto de operación de la bomba 007-0052 y consistencia de pasta.

Modelo	H máquina	Caudal	Consistencia	Rpm	HP motor	Diámetro impulsor
4-PH-15	130 ft	700 gpm	4.7 g/100ml	1775	40 HP	14"

4.2.6 Bomba 007-0053. Perteneciente al grupo Warren PL/PH

La Bomba 007-0053 trabaja con el fluido contenido en el Tanque de Pasta n°3, el cual almacena la pasta que será enviada al proceso de refinación y posteriormente a la formación del papel, la bomba 007-0053 o bomba Sweetener succiona bajo caudal de pasta del Tanque n°3 para enviarla a la succión de la bomba 007-0070 o bomba del Tanque Cucha, con el fin de aumentar la consistencia de la corriente proveniente de dicho tanque y así enviar ese caudal al Filtro de Vacío con la consistencia adecuada para recuperar pasta y agua. La función de la bomba se representa en la Figura 4.6 y los datos de operación en la tabla 4.6.

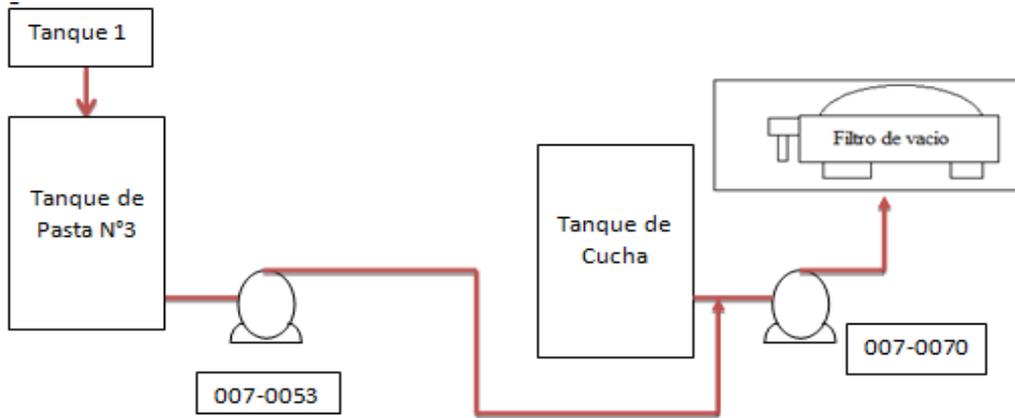


Figura 4.6. Etapa de la MP-06 que maneja pasta a través de la bomba 007-0053.

Tabla 4.6. Punto de operación de la bomba 007-0053 y consistencia de pasta

Modelo	H máquina	Caudal	Consistencia	Rpm	HP motor	Diámetro impulsor
4-PL-15	63 ft	225 gpm	3.8 g/100ml	1150	7.5 Hp	12 3/4"

4.2.7 Bomba 007-0054. Perteneciente al grupo Warren PL/PH

La bomba 007-0054 trabaja con el fluido contenido en el Tanque de Pasta N°3, el cual almacena la pasta que será enviada al proceso de refinación y posteriormente a la formación del papel, dicha bomba manda la mayoría de la pasta del tanque al proceso de refinación que luego va a la Caja de Pasta y finalmente a la mesa de formación donde comienza la producción de las bobinas de papel. La consistencia del tanque de Pasta n°3 debe mantenerse a cierto nivel para el proceso de refinación por lo cual en la succión de la bomba 007-0054 existen entradas de pasta recuperada y de agua provenientes de otras etapas del proceso. La función de la bomba se representa en la Figura 4.7 y los datos de operación en la tabla 4.7.

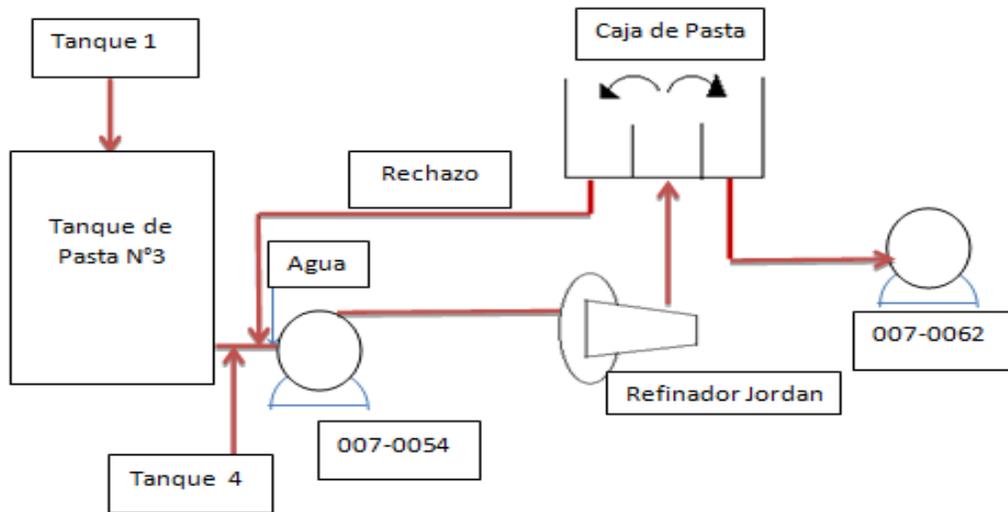


Figura 4.7. Etapa de la MP-06 que maneja pasta a través de la bomba 007-0054.

Tabla 4.7. Punto de operación de la bomba 007-0054 y consistencia de pasta.

Modelo	H máquina	Caudal	Consistencia	Rpm	HP motor	Diámetro impulsor
6-PL-18	130 ft	785 gpm	4.7 g/100 ml	1150	40 Hp	16 3/4"

4.2.8 Bomba 007-0055. Perteneciente al grupo Warren DTB/DLB (Bipartida)

La bomba 007-0055 trabaja con el fluido proveniente del rechazo de los Limpiadores Primarios y lo comunica a los limpiadores secundarios para continuar con el proceso de limpieza de pasta. La función de la bomba se representa en la Figura 4.8 y los datos de operación en la tabla 4.8.

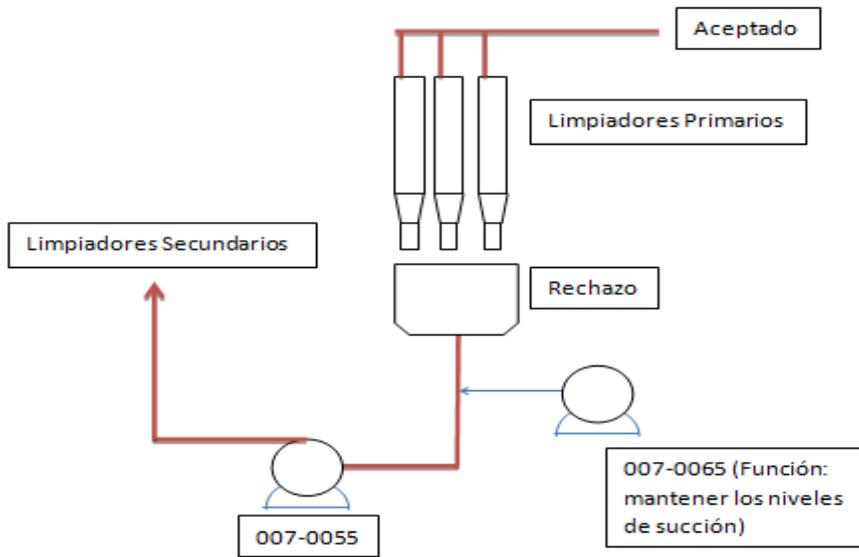


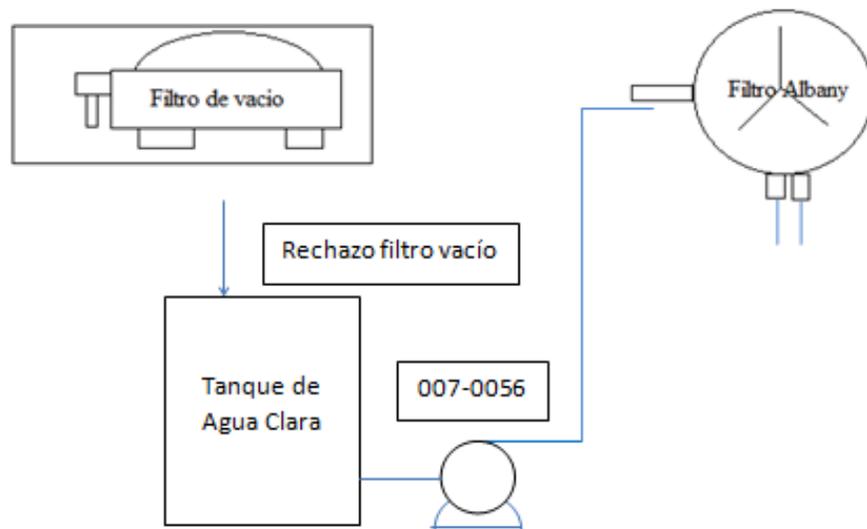
Figura 4.8. Etapa de la MP-06 que maneja pasta a través de la bomba 007-0055.

Tabla 4.8. Punto de operación de la bomba 007-0055 y consistencia de pasta.

Modelo	H máquina	Caudal	Consistencia	Rpm	HP motor	Diámetro impulsor
6-DTB-12	182ft	550 gpm	0.7670 g/100ml	1150	40 HP	13 1/2"

4.2.9 Bomba 007-0056. Perteneciente al grupo Sulzer

La Bomba 007-0056 trabaja con el fluido contenido en el Tanque de Agua Clara, dicho tanque recibe agua recuperada del Filtro de Vacío y del Tanque del Espesador. La bomba 007-0056 se encarga de mandar el flujo hacia el filtro Albany para la recuperación de agua de proceso y su transformación a agua de regadera. La función de la bomba se representa en la Figura 4.9 y los datos de operación en la tabla 4.9



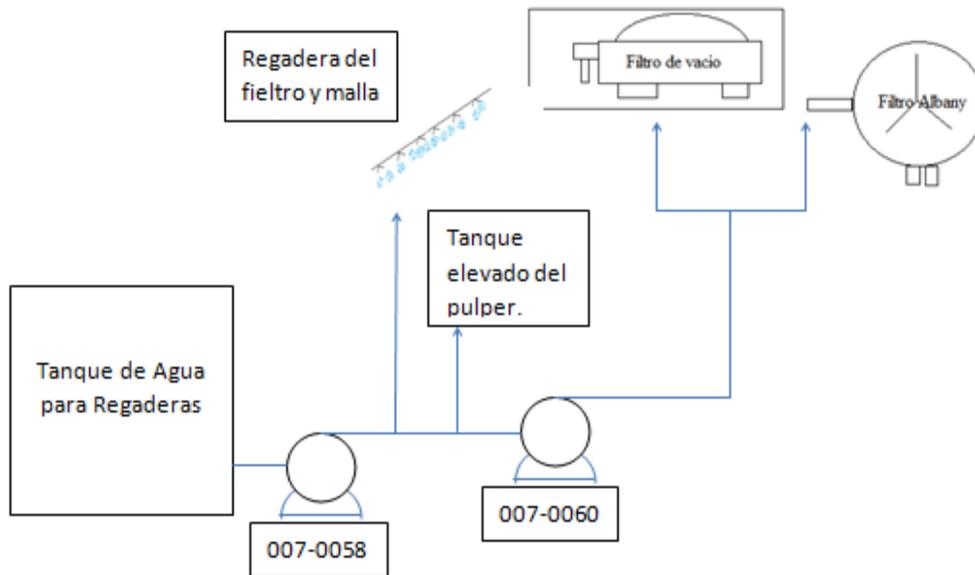
**Figura 4.9.** Etapa de la MP-06 que maneja agua de proceso a través de la bomba 007-0056.

**Tabla 4.9.** Punto de operación de la bomba 007-0056 y consistencia de agua de proceso.

Modelo	H máquina	Caudal	Consistencia	Rpm	HP motor	Diámetro impulsor
AZ 125-250	104 ft	1150 gpm	0,011 g/100ml	1750	35 HP	10"

**4.2.10 Bomba 007-0058 perteneciente al grupo Warren PL/PH y 007-0060 perteneciente al grupo 747**

Las bombas 007-0058 y 007-0060 trabajan con agua proveniente del Tanque de Agua para Regaderas, estas bombas se encargan de suministrar agua limpia a las regaderas de la maquina papelera 06. La bomba 007-0058 le manda agua de regaderas al tanque elevado del pulper y a la bomba 007-0060 (Conexión en serie) que se encarga de mandar el agua a las regaderas de los filtros albany y de vacío para que se pueda efectuar del proceso de filtrado y recuperación de manera óptima. Simultáneamente la bomba 007-0058 tiene una vía de alimentación a las regaderas de la mesa de formación (fieltro y malla); se puede observar una representación gráfica de la etapa del proceso en la figura 4.10 y los datos de operación en la tabla 4.10 (007-0058) y 4.11 (007-0060).



**Figura 4.10.** Etapa de la MP-06 que maneja agua de regaderas a través de la bomba 007-0058 y 007-0060.

**Tabla 4.10.** Punto de operación de la bomba 007-0058 y consistencia de agua de regaderas

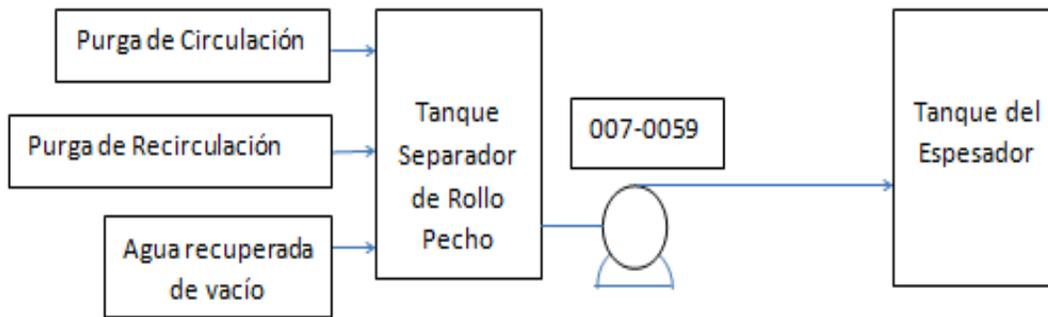
Modelo	H máquina	Caudal	Consistencia	Rpm	HP motor	Diámetro impulsor
6-PL-18	140 ft	850 gpm	0.0046 g/100ml	1150	50 HP	18"

**Tabla 4.11.** Punto de operación de la bomba 007-0060 y consistencia de agua de regaderas

Modelo	H máquina	Caudal	Consistencia	Rpm	HP motor	Diámetro impulsor
747-A70	280 ft	350 gpm	0.0046 g/100ml	3500	75 HP	8 ½"

4.2.11 Bomba 007-0059. Pertenece al grupo Warren 747

La bomba 007-0059 trabaja con el agua contenida en el Tanque Separador de Rollo de Pecho, dicha agua proviene de las purgas de las bombas de circulación y recirculación, también recibe agua recuperada por las bombas de vacío (secado en la mesa de formación) y la envía al Tanque del Espesador para su reutilización. La función de la bomba se representa en la Figura 4.11. y los datos de operación en la tabla 4.12.



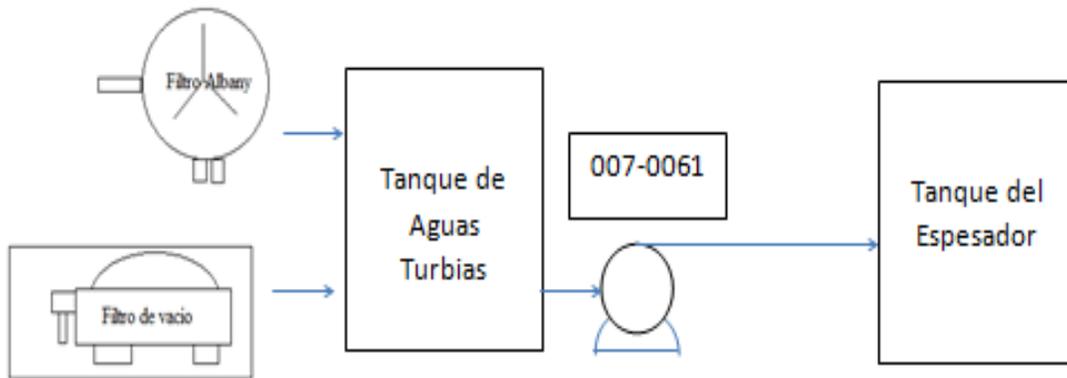
**Figura 4.11.** Etapa de la MP-06 que maneja agua de proceso a través de la bomba 007-0059

**Tabla 4.12.** Punto de operación de la bomba 007-0059 y consistencia de agua de proceso

Modelo	H máquina	Caudal	Consistencia	Rpm	HP motor	Diámetro impulsor
747-A80	85 ft	500gpm	0.06 g/100ml	1775	25 Hp	10 1/16"

4.2.12 **Bomba 007-0061. Perteneciente al grupo Warren DTB/DLB (Bipartida)**

La bomba 007-0061 trabaja con el fluido contenido en el Tanque de Aguas Turbias y forma parte del proceso de recuperación de agua de la línea. El Tanque de Aguas Turbias recibe el rechazo del Filtro Albany y el rechazo del Filtro de Vacío que posteriormente van al Tanque del Espesador, con el fin de reutilizar esa agua. La función de la bomba se representa en la Figura 4.12 y los datos de operación en la tabla 4.13.



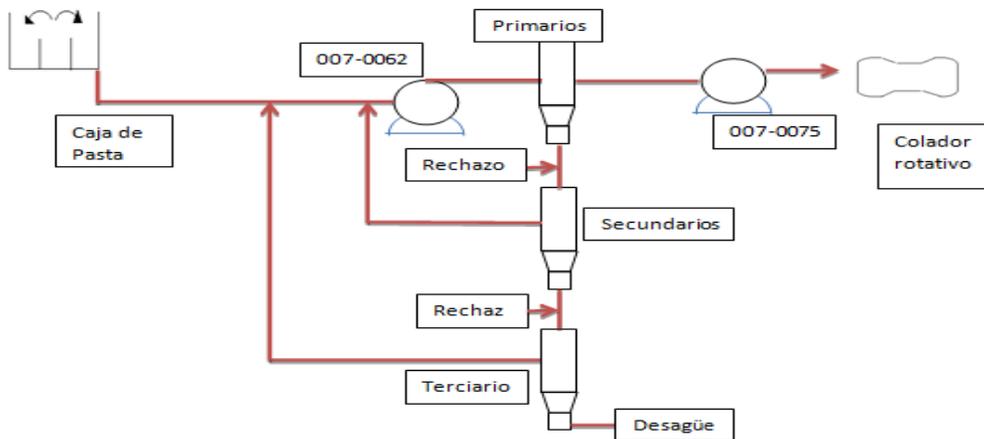
**Figura 4.12.** Etapa de la MP-06 que maneja agua turbia a través de la bomba 007-0061

**Tabla 4.13.** Punto de operación de la bomba 007-0061 y consistencia de agua turbia

Modelo	H máquina	Caudal	Consistencia	Rpm	HP motor	Diámetro impulsor
4-DTB-13	155 ft	540 gpm	0.0295 g/100ml	1775	30 HP	11"

4.2.13 Bomba 007-0062. Perteneciente al grupo Warren DTB/DLB (Bipartida)

A la bomba 007-0062 se le hace referencia dentro del proceso como Bomba de Recirculación, el funcionamiento de esta bomba es vital para el proceso productivo, ella recibe inicialmente pasta proveniente de la Caja de Pasta y lo manda hacia los limpiadores, Hay tres (3) etapas de limpieza en los cuales se elimina del fluido la presencia de metales mediante la acción centrífuga, que hayan podido obtener por el desgaste de tuberías o piezas internas de la bomba. El flujo aceptado de los limpiadores primarios va al proceso de colado (colador rotativo) y posteriormente a la mesa de formación, el rechazado va al segundo proceso de limpieza el cual devuelve el fluido aceptado a la bomba de Recirculación y el rechazo a la tercera y última limpieza. La función de la bomba se representa en la Figura 4.13 y los datos de operación en la tabla 4.14.



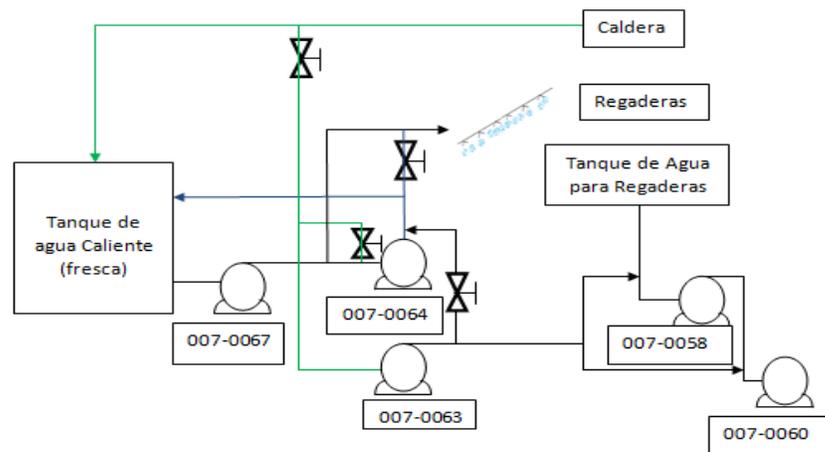
**Figura 4.13.** Etapa de la MP-06 que maneja pasta a través de la bomba 007-0062

**Tabla 4.14.** Punto de operación de la bomba 007-0062 y consistencia pasta.

Modelo	H máquina	Caudal	Consistencia	Rpm	HP motor	Diámetro impulsor
12-DTB-14	156	5580 gpm	0.2710 g/100ml	175	250 HP	12"

4.2.14 **Bomba 007-0063 y 007-0067 perteneciente al grupo Warren DTB/DLB (Bipartida), y bomba 007-0064 perteneciente al grupo PH/PL**

Las bombas 007-0063, 007-0064 y 007-0067 se encargan de auxiliar el sistema de regaderas de la Máquina Papelera 06, trabajan con agua fresca contenida en el Tanque de Agua Caliente. La succión de la bomba 007-0067 está conectada directamente al Tanque de Agua Caliente, después de succionar de dicho tanque manda agua al sistema de regaderas, y a la succión de la bomba 007-0064, la cual también está conectada al sistema de regaderas y tiene otra vía de recirculación al tanque de agua caliente. Conectada a la descarga de la bomba 007-0064 se encuentra la bomba 007-0063, la cual también tiene dos caminos en su descarga, uno para alimentar las succiones de las bombas 007-0058 y 007-0060 (Bombas de regaderas de los filtros) y otra para auxiliar la descarga de la bomba 007-0064, en caso que la demanda de las regaderas aumente o que la bomba 007-0064 falle. La succión de la bomba 007-0063 viene desde la tubería de agua fresca de la caldera. La representación del sistema de bombeo se representa en la Figura 4.14 y los datos de operación en la tabla 4.15 (007-0063) 4.16 (007-0064) y 4.17 (007-0067).



**Figura 4.14.** Etapa de la MP-06 que maneja agua fresca. A través de las bombas 007-0067, 007-0064 y 007-0063

**Tabla 4.15.** Punto de operación de la bomba 007-0063 y consistencia agua fresca.

Modelo	H máquina	Caudal	Consistencia	Rpm	HP motor	Diámetro impulsor
3-DTB-9	Desconocido	N/C	0.0003 g/100 ml	3500	40 HP	N/C

**Tabla 4.16.** Punto de operación de la bomba 007-0064 y consistencia agua fresca.

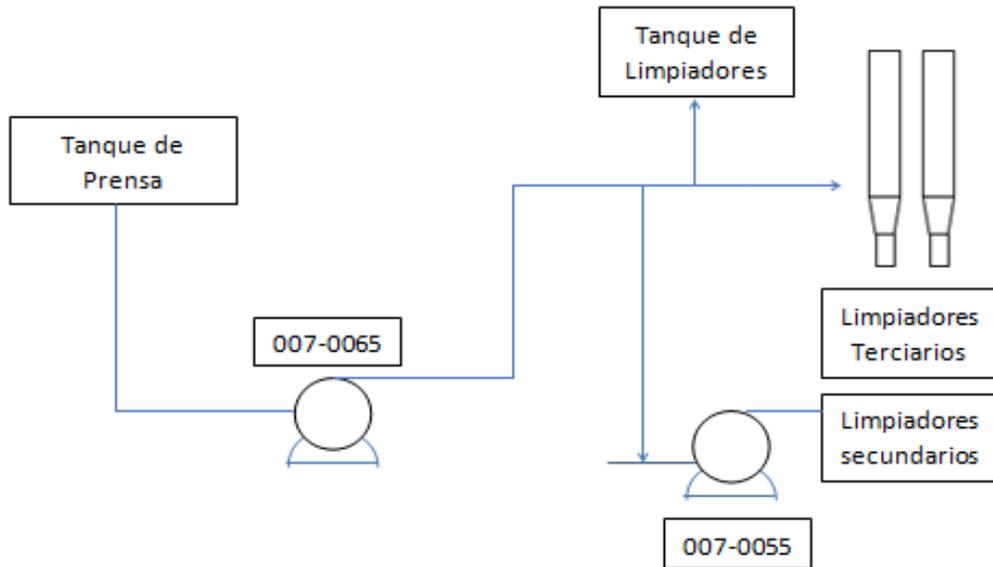
Modelo	H máquina	Caudal	Consistencia	Rpm	HP motor	Diámetro impulsor
747-A60	460 ft	39 gpm	0.0003 g/100 ml	3500	40 HP	10"

**Tabla 4.17.** Punto de operación de la bomba 007-0067 y consistencia agua fresca.

Modelo	H máquina	Caudal	Consistencia	Rpm	HP motor	Diámetro impulsor
5-DTB-14	175 ft	630 gpm	0.0003 g/100 ml	1775	40 HP	10 1/8"

4.2.15 Bomba 007-0065. Perteneciente al grupo Warren DTB/DLB (Bipartida)

La Bomba 007-0065 trabaja con el fluido contenido en el Tanque de Prensas, el cual mantiene su nivel por el rebose del Tanque de Cucha y almacena agua utilizada para mantener el nivel del sistema de limpieza (mantener nivel de los limpiadores) de pasta proveniente de la Bomba de Recirculación. La función de la bomba se representa en la Figura 4.15 y los datos de operación en la tabla 4.18



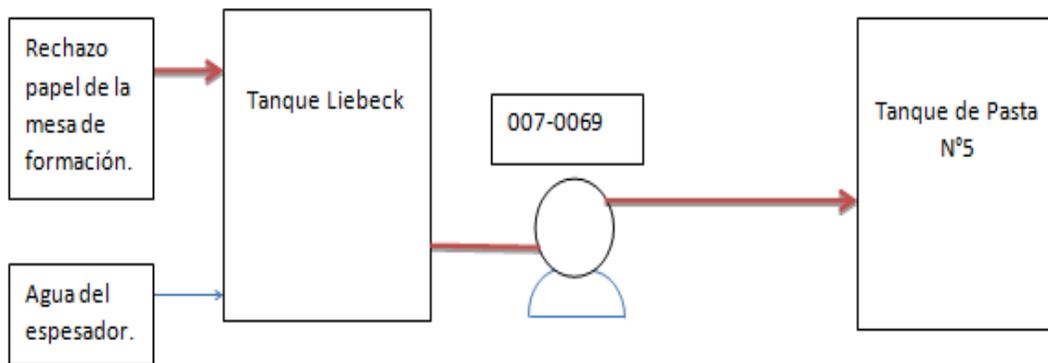
**Figura 4.15.** Etapa de la MP-06 que maneja agua proceso para limpiadores. A través de la bomba 007-0065

**Tabla 4.18.** Punto de operación de la bomba 007-0065 y consistencia agua fresca.

Modelo	H máquina	Caudal	Consistencia	Rpm	HP motor	Diámetro impulsor
6-DTB-12	45 ft	1100 gpm	0.7670 g/100 ml	1150	15 HP	11"

4.2.16 Bomba 007-0069. Pertenece al grupo Warren PL/PH

La Bomba 007-0069 trabaja con la pasta contenida en el Tanque Liebeck, forma parte del proceso de recuperación de papel que no cumple con las condiciones de calidad. Esta bomba se encarga de mandar la pasta proveniente del Liebeck al Tanque de Pasta n°5 donde se mezcla con la pasta recuperada que viene del Tanque de Pasta n° 4. La función de la bomba se representa en la Figura 4.16 y los datos de operación en la tabla 4.19



**Figura 4.16.** Etapa de la MP-06 que maneja pasta recuperada. A través de la bomba 007-0069

**Tabla 4.19.** Punto de operación de la bomba 007-0069 y consistencia pasta

Modelo	H máquina	Caudal	Consistencia	Rpm	HP motor	Diámetro impulsor
6/5-PH-12	128 ft	620 gpm	3.5g/100 ml	1750	30 HP	10 1/3"

4.2.17 Bomba 007-0070. Perteneciente al grupo Warren PL/PH

La Bomba 007-0070 trabaja con el fluido contenido en el Tanque de Cucha y se encarga de alimentar la succión del Filtro de Vacío, forma parte del proceso de recuperación de Pasta y agua de la línea. Después de pasar por el Filtro de Vacío la pasta recuperada es depositada en el tanque de Pasta n°4, por acción de un tornillo de potencia, donde su consistencia es regulada a un cierto valor, según el punto de operación de funcionamiento del filtro de vacío. La función de la bomba se representa en la Figura 4.17 y los datos de operación en la tabla 4.20.

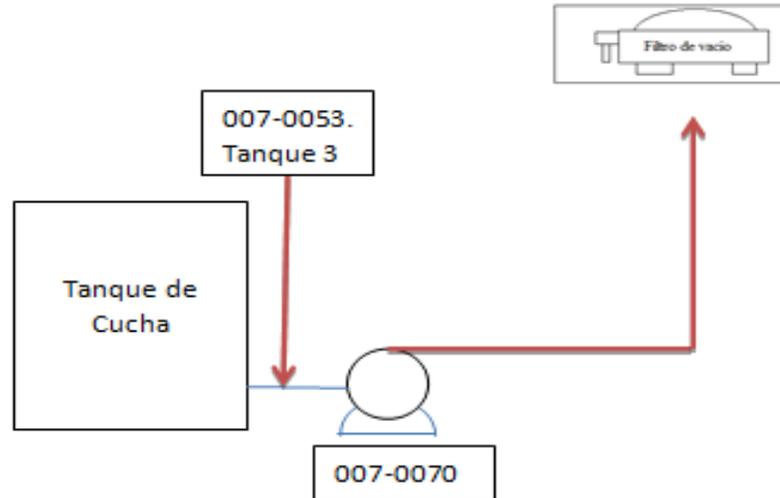


Figura 4.17. Etapa de la MP-06 que maneja pasta. A través de la bomba 007-0070

Tabla 4.20. Punto de operación de la bomba 007-0070 y consistencia pasta

Modelo	H máquina	Caudal	Consistencia	Rpm	HP motor	Diámetro impulsor
8-PL-15	90 ft	1102 gpm	1.12 g/100 ml	1150	40 HP	15"

4.2.18 Bomba 007- 0075. Perteneciente al grupo Warren DTB/DLB (Bipartida)

A la Bomba 007-0075 se le hace referencia como Bomba de Circulación o “Fan Pump”. Tiene la Función de recibir el Fluido proveniente de la aceptación de los Limpiadores Primarios y mandarlos al Colador Rotativo, el funcionamiento de ésta bomba también es vital para la producción de la línea. El rechazo del Colador Rotativo va al colador plano y luego al Tanque Pit, encargado de regresar la pasta a la Bomba de Circulación y así comienza el ciclo de la pasta. La función de la bomba se representa en la Figura 4.18 y los datos de operación en la tabla 4.21.

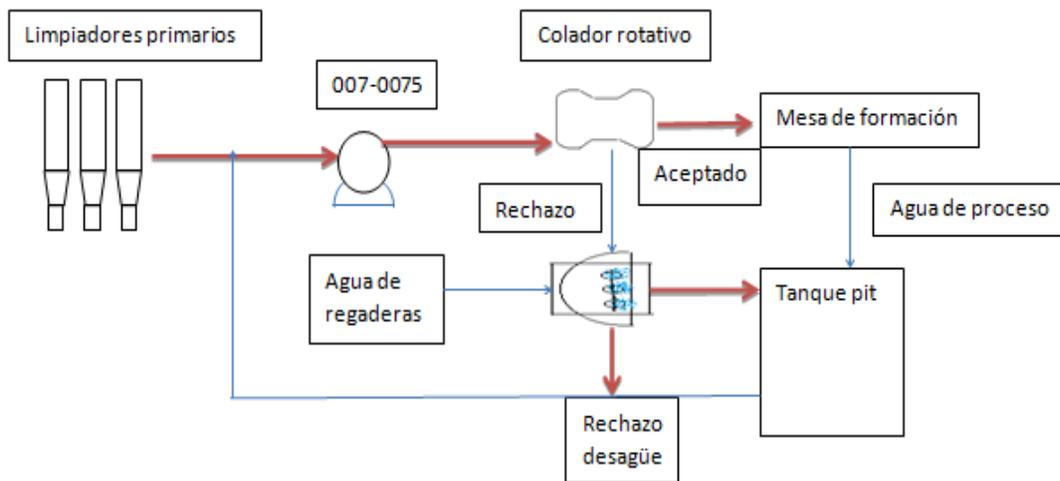


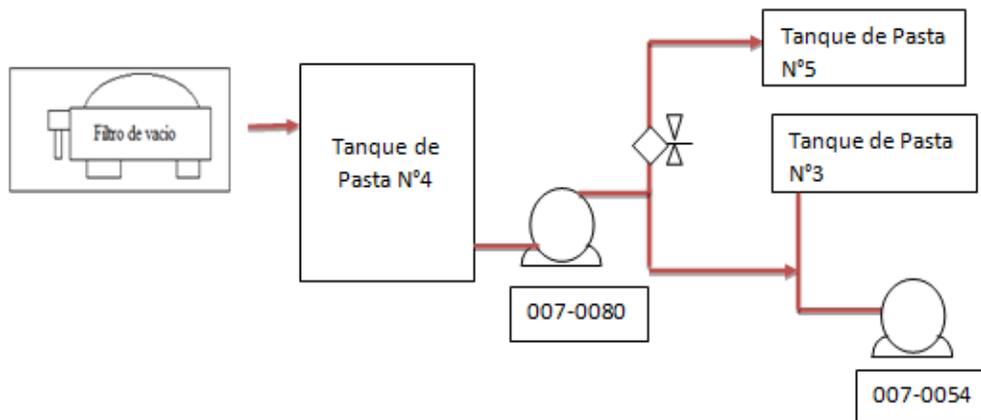
Figura 4.18. Etapa de la MP-06 que maneja pasta a través de la bomba 007-0075

Tabla 4.21. Punto de operación de la bomba 007-0075 y consistencia de pasta

Modelo	H máquina	Caudal	Consistencia	Rpm	HP motor	Diámetro impulsor
16-DLB-20	150 ft	13338.5gpm	0.2652 g/100 ml	1175	500 HP	22"

4.2.19 **Bomba 007-0080. Perteneciente al grupo Warren PL/PH**

La Bomba 007-0080 trabaja con el fluido del Tanque de Pasta n°4, pertenece al sector de recuperación de pasta, el tanque recibe la pasta recuperada del Filtro de Vacío la cuál es enviada al tanque de Pasta n° 5 donde se mezcla con la pasta recuperada del Liebeck. El tanque n°4, tanque n°5 y el tanque liebeck son los encargados de almacenar la pasta que va a ser utilizada para incrementar los niveles de consistencia según sea necesario. Los niveles de consistencia son controlados por indicadores que se encuentran en las líneas de descarga de las bombas. La función de la bomba se representa en la Figura 4.19 y los datos de operación en la tabla 4.22



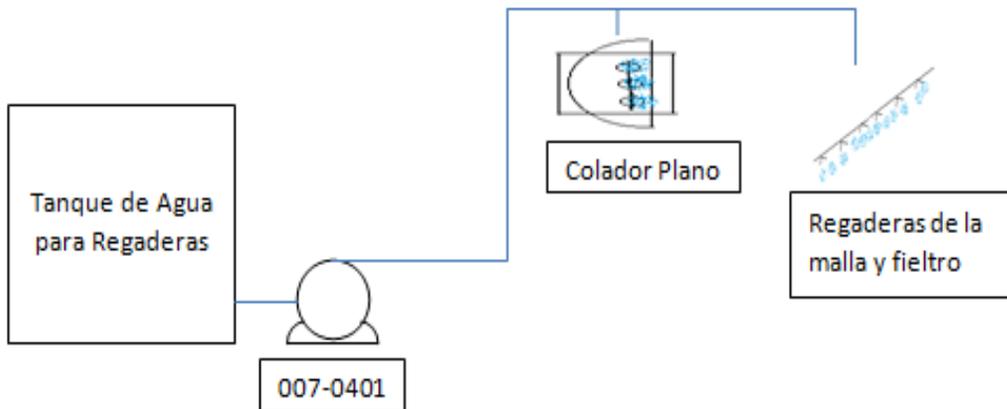
**Figura 4.19.** Etapa de la MP-06 que maneja pasta recuperada a través de la Bomba 007-0080

**Tabla 4.22.** Punto de operación de la bomba 007-0080 y consistencia de pasta

Modelo	H máquina	Caudal	Consistencia	Rpm	HP motor	Diámetro impulsor
4-PL-12	63 ft	371	4.1 g/100 ml	1150	10 HP	12"

4.2.20 Bomba 007-0401. Perteneciente al grupo Worthington

La bomba 007-0401 trabaja con fluido del Tanque de Agua de las Regaderas, su función es alimentar a las regaderas de las prensas en la mesa de formación utilizando agua de consistencia cercana a 0,0046 g/100ml. El funcionamiento de esta bomba es vital para la producción de la línea debido a que mantiene la limpieza del fieltro; este debe estar en limpieza constante para que no se adhiera ningún elemento a la lámina de fluido que se desplaza sobre la misma, y que posterior al secado y al prensado representara lo que será la hoja de papel. La función de la bomba se representa en la Figura 4.20 y los datos de operación en la tabla 4.23



**Figura 4.20.** Etapa de la MP-06 que maneja agua de regaderas a través de la bomba 007-00401

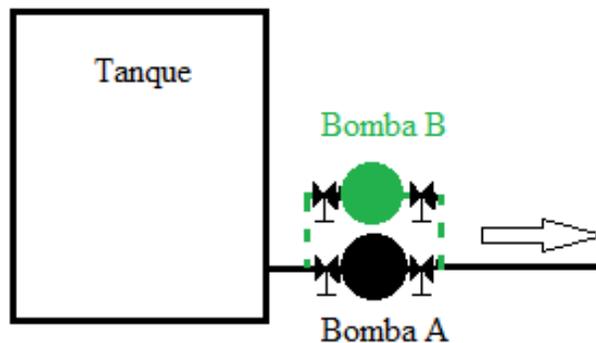
**Tabla 4.23.** Punto de operación de la bomba 007-0401 y consistencia agua de regaderas

Modelo	H máquina	Caudal	Consistencia	Rpm	HP motor	Diámetro impulsor
5 LR-15	231 ft	800 gpm	0.0046 g/100 ml	1750	60 HP	14 3/4"

### 4.3 Planteamiento de alternativas

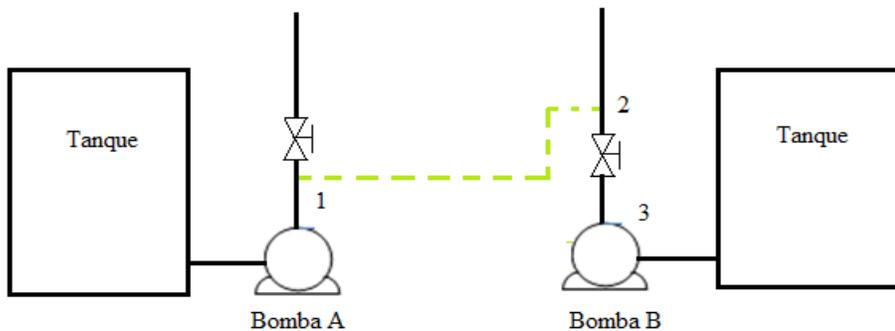
A continuación se presentan dos (2) tipos de alternativas que brindaran al sistema hidráulico de la máquina papelera 06 opciones que optimicen el mantenimiento de las bombas tanto para las que trabajan con pasta, como las que trabajan con agua.

**Alternativa 1:** Estas alternativas responden a la puesta en funcionamiento de bombas equivalentes Goulds en paralelo con las bombas operativas actualmente. Es de vital importancia que se hagan las consideraciones necesarias para que estas bombas equivalentes trabajen en el mismo punto de operación, con sus respectivas válvulas en succión y descargan que permitirán el uso de la bomba auxiliar en paralelo (Goulds), en caso de requerirse un mantenimiento. La representación de esta alternativa se puede observar en la Figura 4.21, donde la bomba A es la operativa actual y la bomba B es la bomba Goulds a conectar en paralelo con sus respectivas válvulas.



**Figura 4.21.** Representación bomba Goulds en paralelo

**Alternativa 2:** Como segunda propuesta se plantea la incorporación de tramos de tuberías y válvulas, entre las tuberías de descarga y succión de 2 bombas que cumplen distintas funciones dentro del proceso (By-pass), pero que según los criterios de consistencia cumplen los requerimientos de bombeo. Así mismo, estas alternativas deben responder a la demanda de presión o altura de maquina requerida y en algunos casos de caudal. La alternativa es válida cuando la bomba a utilizar en suplencia (bomba A) posee las características necesarias de presión para alcanzar la misma disponibilidad en el punto (2) a conectar (sobre la descarga de la bomba B). Esta metodología se representa según la Figura 4.22, y para cuestiones de diseño la tubería a instalar (trazado verde) debe considerarse del menor diámetro posible para disminuir costos.



**Figura 4.22.** Representación de la metodología para generar alternativas de By-pass.

$$\text{Donde se debe asegurar que: } H_2(1 \rightarrow 2) = H(3 \rightarrow 2)$$

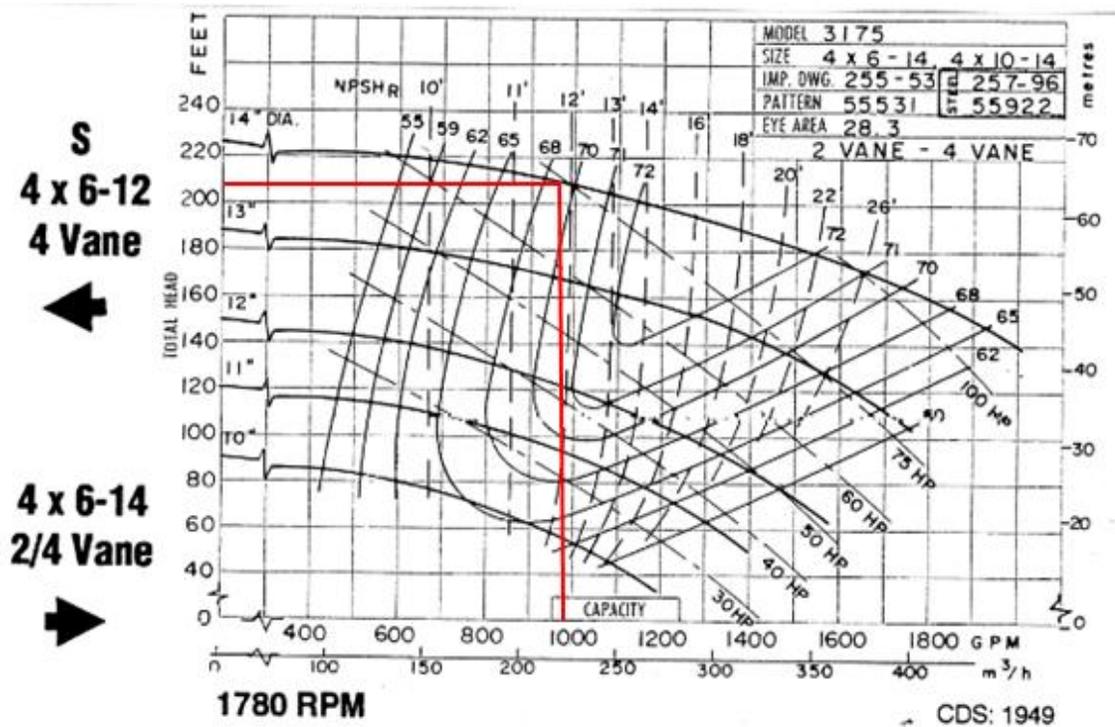
**Desarrollo de alternativa 1. Bombas equivalentes GOULDS.**

4.3.1 007-0028 (Warren 6-PH-18).

Selección Figura 4.36. (Apéndice B) Familia de curvas.

**Tabla 4.24** Modelo y punto de operación de bomba equivalente Goulds 007-0028

Modelo	Clase	Potencia	GPM	H maquina	RPM
S 4X6-14	3180	125 Hp	1080	208ft	1780



**Grafica 4.1.** Grafica Bomba Goulds S 4X6-142/4 Vane closed

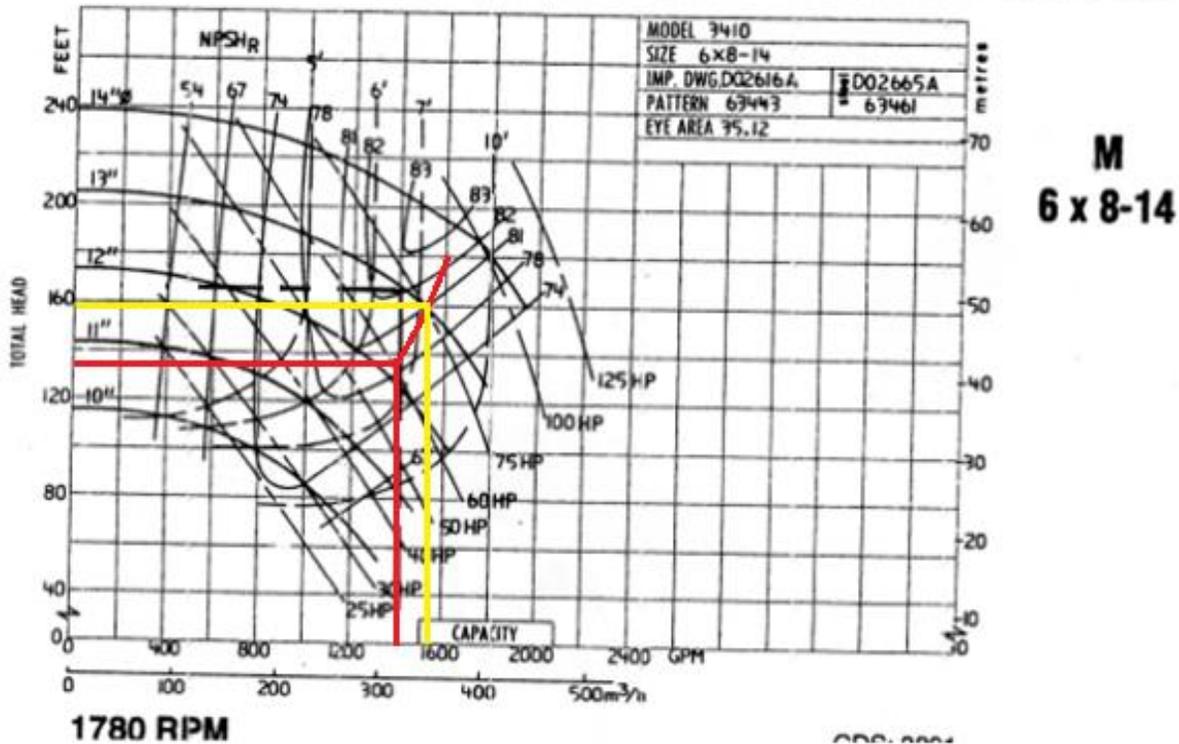
Para la bomba equivalente Goulds L 6X10-22, no es necesario hacer recorte de rodete, debido a que satisface las condiciones de operación representados en la tabla 4.1 de la bomba Warren 007-0028.

4.3.2 007-0047 (Warren 6-DTB-12).

Selección Figura 4.30. (Apéndice B) Familia de curvas

**Tabla 4.25** Modelo y punto de operación de bomba equivalente Goulds 007-0047

Modelo	Clase	Potencia	GPM	H maquina	RPM
M 8 X10-12	3410	75 Hp	1400	137.5ft	1780



**Grafica 4.2.** Grafica Bomba Goulds M 8X10-12

Para realizar recorte de rodete y que la bomba trabaje en los puntos de operación indicados en la tabla 4.25, es necesario construir la parábola de isoeficiencia.

Con la ecuación 2.21, se formula el comportamiento de la curva:

$$H_x = \frac{137.5 \text{ ft}}{1400 \text{ gpm}^2} * Q_x^2$$

Y asignando valores a  $Q_x$ , se obtuvo la tabla 4.26 donde se reflejan los puntos de la parábola:

**Tabla 4.26.** Puntos de parábola isoeficiencia bomba 007-0047.

$Q_x$	$H_x$
1450 gpm	147.49 ft
1500 gpm	157.84 ft
1600 gpm	179.59 ft

Ya conocido  $Q_x = 1500$  gpm para diámetro de impulsor = 13". Con la ecuación 2.23, se calcula la medida del nuevo diámetro con el punto de operación indicado en la tabla 4.25.

Diámetro de rodete = 12.13 mm

El porcentaje de recorte de rodete no debe exceder el 10 %

$$\% \text{Recorte} = \frac{13\text{mm} - 12.13\text{mm}}{12.13\text{mm}} = 5.38 \%$$

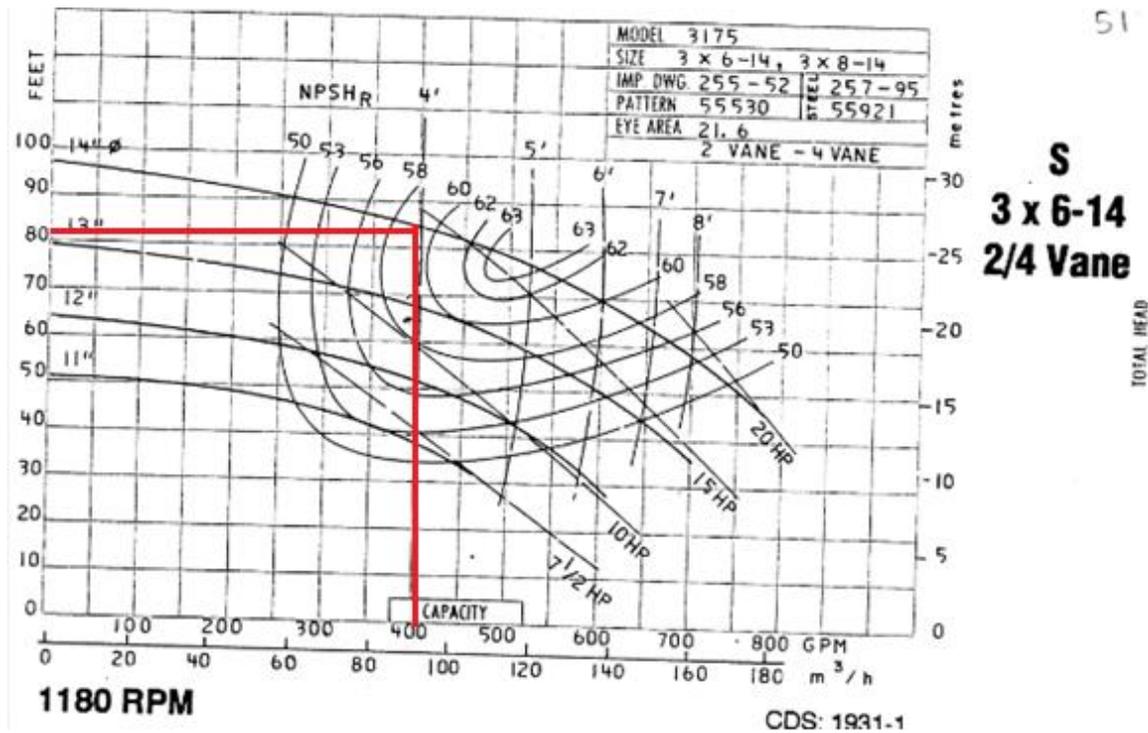
Con el recorte de rodete realizado se satisfacen las condiciones de operación indicados en la tabla 4.4 de la bomba Warren 007-0051.

4.3.3 007-0051 (Warren 4-PL-15).

Selección Figura 4.37.(Apéndice B). Familia de curvas

**Tabla 4.27** Modelo y punto de operación de bomba equivalente Goulds 007-0051

Modelo	Clase	Potencia	GPM	H maquina	RPM
S 3X6-14	3180	7.5HP	400	82 ft	1180



**Grafica 4.3.** Grafica Bomba Goulds S 3X6-14 2/4 Vane

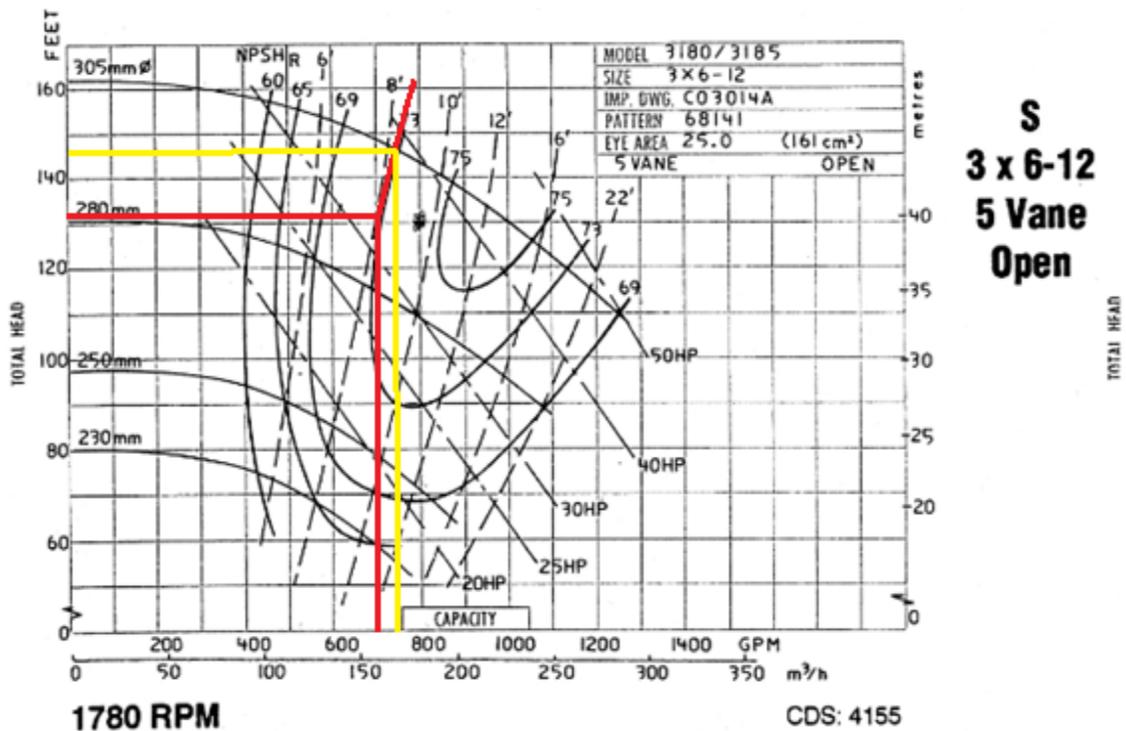
Para la bomba equivalente Goulds S 3X6-14, no es necesario hacer recorte de rodete, debido a que satisface las condiciones de operación representados en la tabla 4.4 de la bomba Warren 007-0028.

4.3.4 007-0052 (Warren 4-PH-15).

Selección Figura 4.38.(Apéndice B). Familia de curvas

**Tabla 4.28** Modelo y punto de operación de bomba equivalente Goulds 007-0052

Modelo	Clase	Potencia	GPM	H maquina	RPM
S 4X6-12	3180	40HP	700	131ft	1780



**Grafica 4.4.** Grafica Bomba Goulds 3X6-12 Vane open.

Para realizar recorte de rodete y que la bomba trabaje en los puntos de operación indicados en la tabla 4.28, es necesario construir la parábola de isoeficiencia.

Con la ecuación 2.21, se formula el comportamiento de la curva:

$$H_x = \frac{131 \text{ ft}}{700 \text{ gpm}^2} * Q_x^2$$

Y asignando valores a  $Q_x$ , se obtuvo la tabla 4.29 donde se reflejan los puntos de la parábola:

**Tabla 4.29.** Puntos de parábola isoeficiencia bomba 007-0052.

$Q_x$	$H_x$
720 gpm	138.59 ft
750 gpm	150.40 ft
800 gpm	171.10 ft

Ya conocido  $Q_x = 740$  gpm para diámetro de impulsor = 305 mm. Con la ecuación 2.23, se calcula la medida del nuevo diámetro con el punto de operación indicado en la tabla 4.28.

$$\text{Diámetro de rodete} = 288.51 \text{ mm}$$

El porcentaje de recorte de rodete no debe exceder el 10 %

$$\% \text{Recorte} = \frac{305 \text{ mm} - 288.51 \text{ mm}}{305 \text{ mm}} = 5.4\%$$

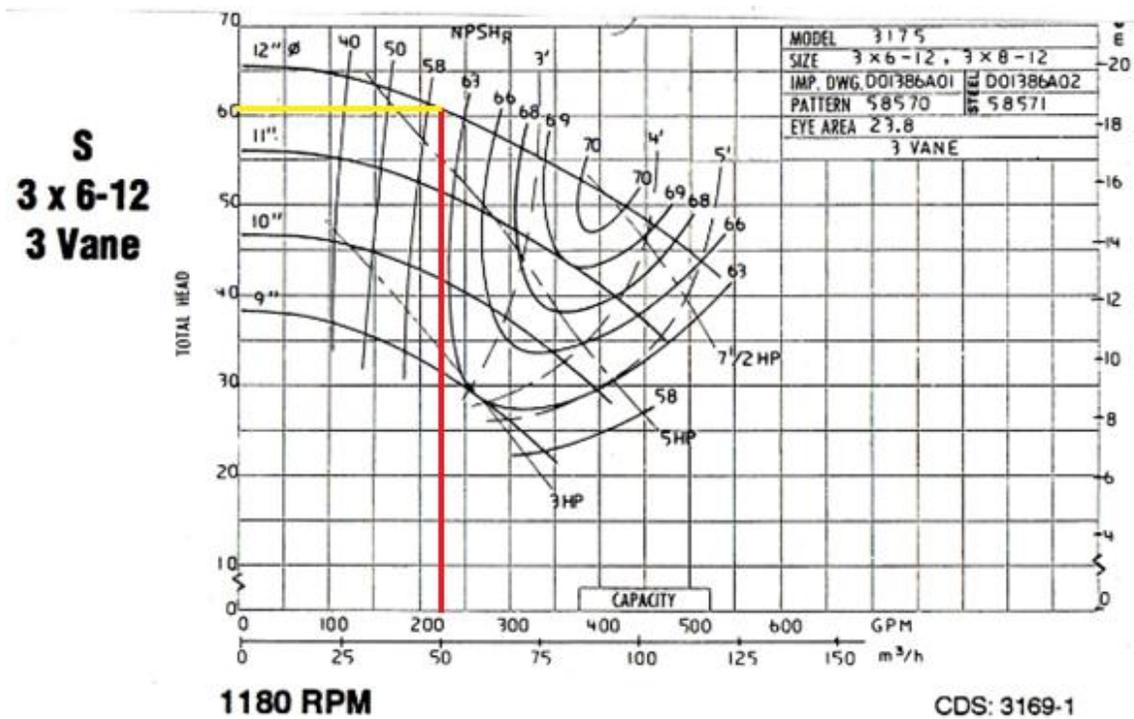
Con el recorte de rodete realizado se satisfacen las condiciones de operación indicados en la tabla 4.5 de la bomba Warren 007-0051.

4.3.5 007-0053 (Warren 4-PL-15).

Selección Figura 4.37.(Apéndice B).Familia de curvas

**Tabla 4.30** Modelo y punto de operación de bomba equivalente Goulds 007-0053

Modelo	Clase	Potencia	GPM	H maquina	RPM
S 3X6-12	3180	7.5	225	61ft	1150



**Grafica 4.5.** Grafica Bomba Goulds S 3X6-12 3 Vane closed

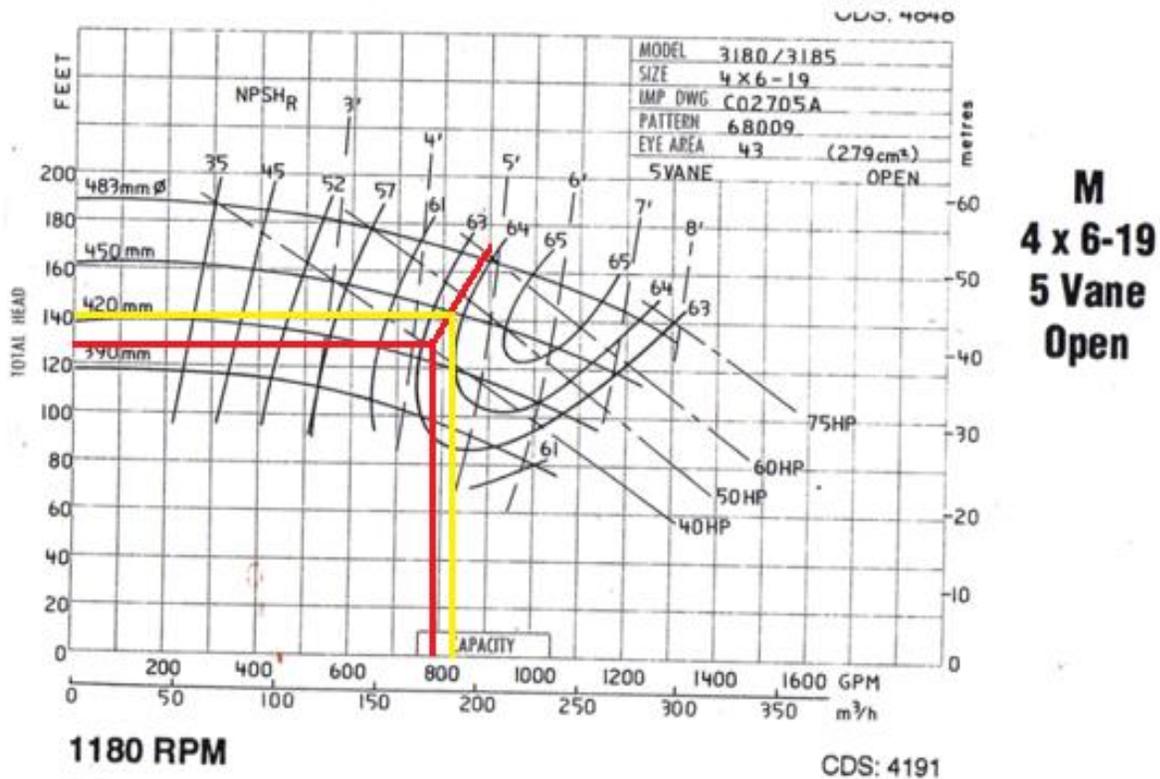
Para la bomba equivalente Goulds S 3X6-12, no es necesario hacer recorte de rodete, debido a que satisface las condiciones de operación representados en la tabla 4.6 de la bomba Warren 007-0053.

4.3.6 007-0054 (Warren 6-PL-18).

Selección Figura 4.37.(Apéndice B).Familia de curvas.

**Tabla 4.31** Modelo y punto de operación de bomba equivalente Goulds 007-0054

Modelo	Clase	Potencia	GPM	H maquina	RPM
M 4X6-19	3180	40HP	785	130ft	1180



**Grafica 4.6.** Grafica Bomba Goulds M 4X6-19 5 Vane open

Para realizar recorte de rodete y que la bomba trabaje en los puntos de operación indicados en la tabla 4.31, es necesario construir la parábola de isoeficiencia.

Con la ecuación 2.21, se formula el comportamiento de la curva:

$$H_x = \frac{130 \text{ ft}}{785 \text{ gpm}^2} * Q_x^2$$

Y asignando valores a  $Q_x$ , se obtuvo la tabla 4.32 donde se reflejan los puntos de la parábola:

**Tabla 4.32.** Puntos de parábola isoeficiencia bomba 007-0054.

$Q_x$	$H_x$
800 gpm	135.01 ft
850 gpm	152.42 ft
900 gpm	170.87ft

Ya conocido  $Q_x = 820$  gpm para diámetro de impulsor = 450 mm. Con la ecuación 2.23, se calcula la medida del nuevo diámetro con el punto de operación indicado en la tabla 4.31.

$$\text{Diámetro de rodete} = 430.793 \text{ mm}$$

El porcentaje de recorte de rodete no debe exceder el 10 %

$$\% \text{Recorte} = \frac{450\text{mm} - 432.793\text{mm}}{450\text{mm}} = 3.82\%$$

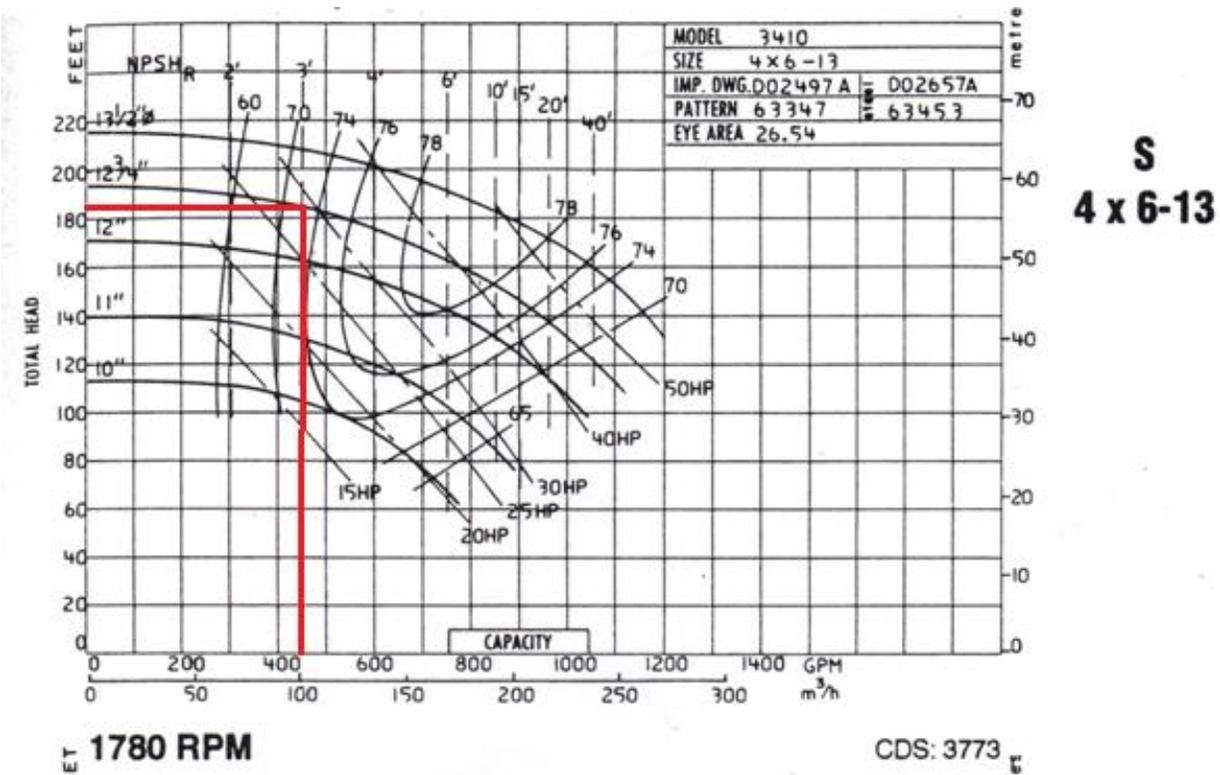
Con el recorte de rodete realizado se satisfacen las condiciones de operación indicados en la tabla 4.7 de la bomba Warren 007-0054.

4.3.7 007-0055 (Warren 5-DTB-14).

Selección Figura 4.31(Apéndice B). Familia de curvas.

**Tabla 4.33.** Modelo y punto de operación de bomba equivalente Goulds 007-0055

Modelo	Clase	Potencia	GPM	H maquina	RPM
S 4X6-13	3410	40HP	550	182ft	1780



**Grafica4.7.** Grafica Bomba Goulds S 4X6-13

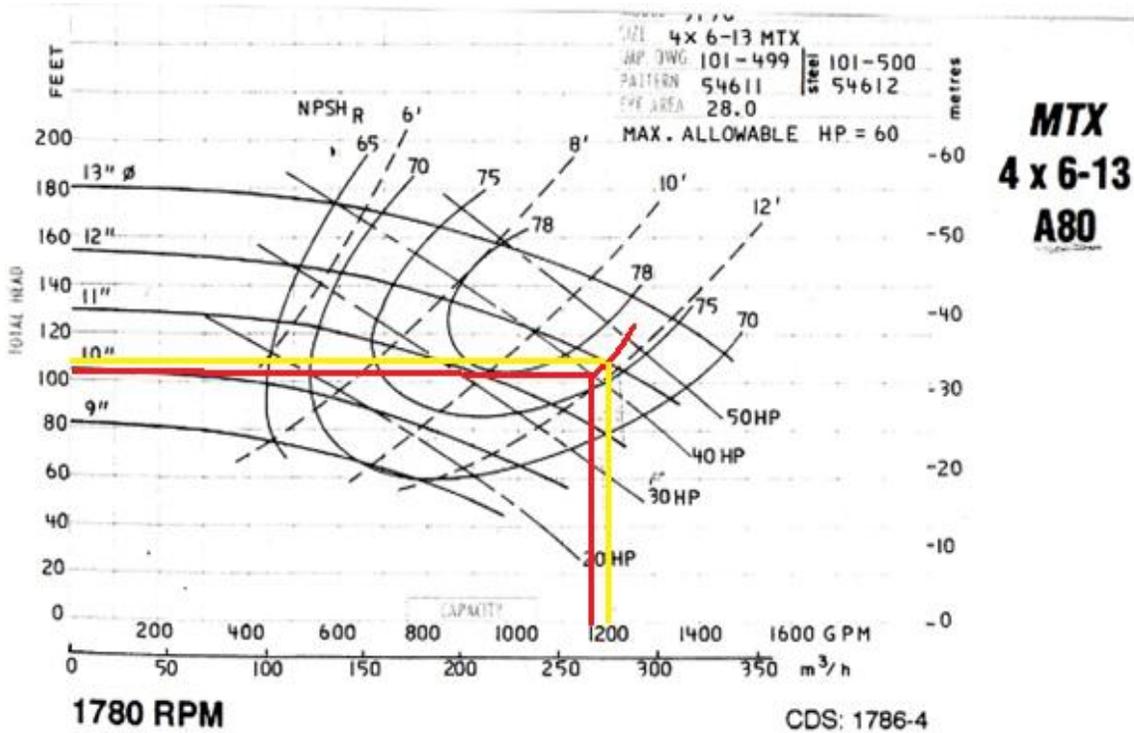
Para la bomba equivalente Goulds S 4X6-13, no es necesario hacer recorte de rodete, debido a que satisface las condiciones de operación representados en la tabla 4.8 de la bomba Warren 007-0055.

4.3.8 007-0056 (AZ 125-250 Sulzer)

Selección Figura 4.35(Apéndice B). Familia de curvas

**Tabla 4.34** Modelo y punto de operación de bomba equivalente Goulds 007-0056

Modelo	Clase	Potencia	GPM	H maquina	RPM
MTX 4X6-13 A80	3196	50HP	1150	104ft	1180



**Gráfica 4.8.** Grafica Bomba Goulds MTX 4X6-13 A80

Para realizar recorte de rodete y que la bomba trabaje en los puntos de operación indicados en la tabla 4.34, es necesario construir la parábola de isoeficiencia.

Con la ecuación 2.21, se formula el comportamiento de la curva:

$$H_x = \frac{104 \text{ ft}}{1150 \text{ gpm}^2} * Q_x^2$$

Y asignando valores a  $Q_x$ , se obtuvo la tabla 4.35 donde se reflejan los puntos de la parábola:

**Tabla 4.35.** Puntos de parábola isoeficiencia bomba 007-0056.

$Q_x$	$H_x$
1200 gpm	113.24 ft
1220 gpm	117.04 ft
1250 gpm	122.87 ft

Ya conocido  $Q_x = 1150$  gpm para diámetro de impulsor = 12". Con la ecuación 2.23, se calcula la medida del nuevo diámetro con el punto de operación indicado en la tabla 4.34.

$$\text{Diámetro de rodete} = 11 \frac{1}{2}''$$

El porcentaje de recorte de rodete no debe exceder el 10 %

$$\% \text{Recorte} = \frac{12 - 11 \frac{1}{2}}{11 \frac{1}{2}''} = 4.16 \%$$

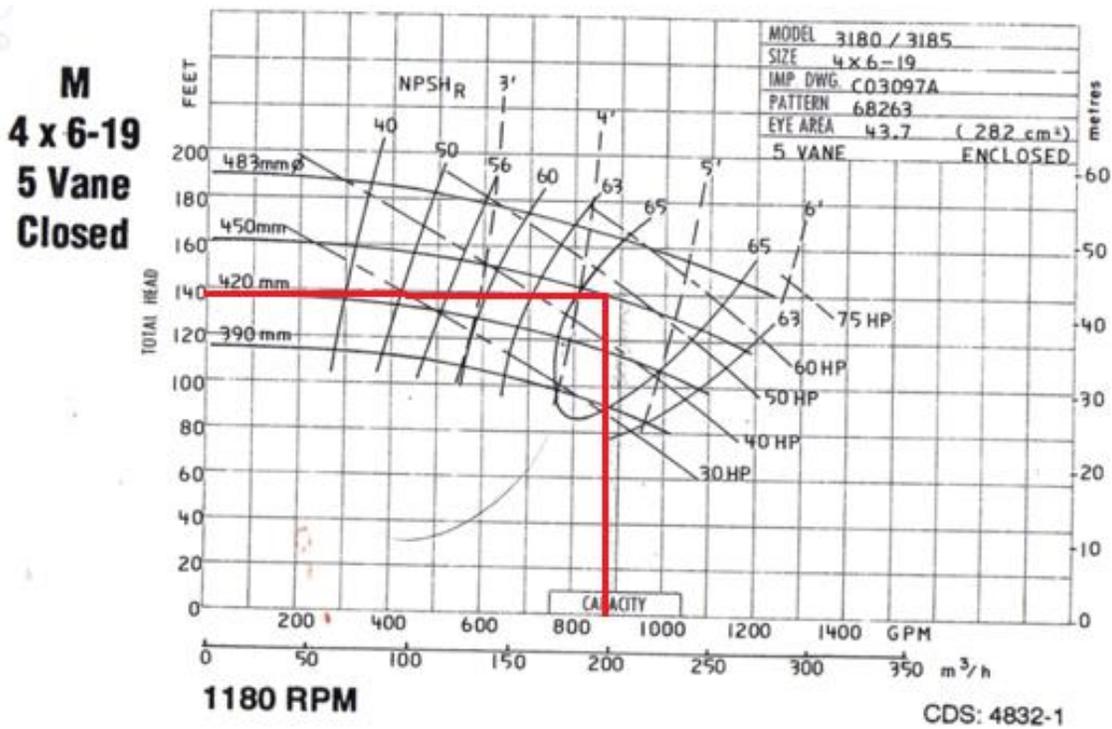
Con el recorte de rodete realizado se satisfacen las condiciones de operación indicados en la tabla 4.9 de la bomba Warren 007-0056.

4.3.9 007-0058 (Warren 6-PL-18)

Selección Figura 4.38(Apéndice B).Familia de curvas.

**Tabla 4.36** Modelo y punto de operación de bomba equivalente Goulds 007-0058

Modelo	Clase	Potencia	GPM	H maquina	RPM
M 4X6-19	3180	50HP	880	140ft	1180



**Grafica 4.9.** Grafica Bomba Goulds M 4X6-19 5 Vane Closed

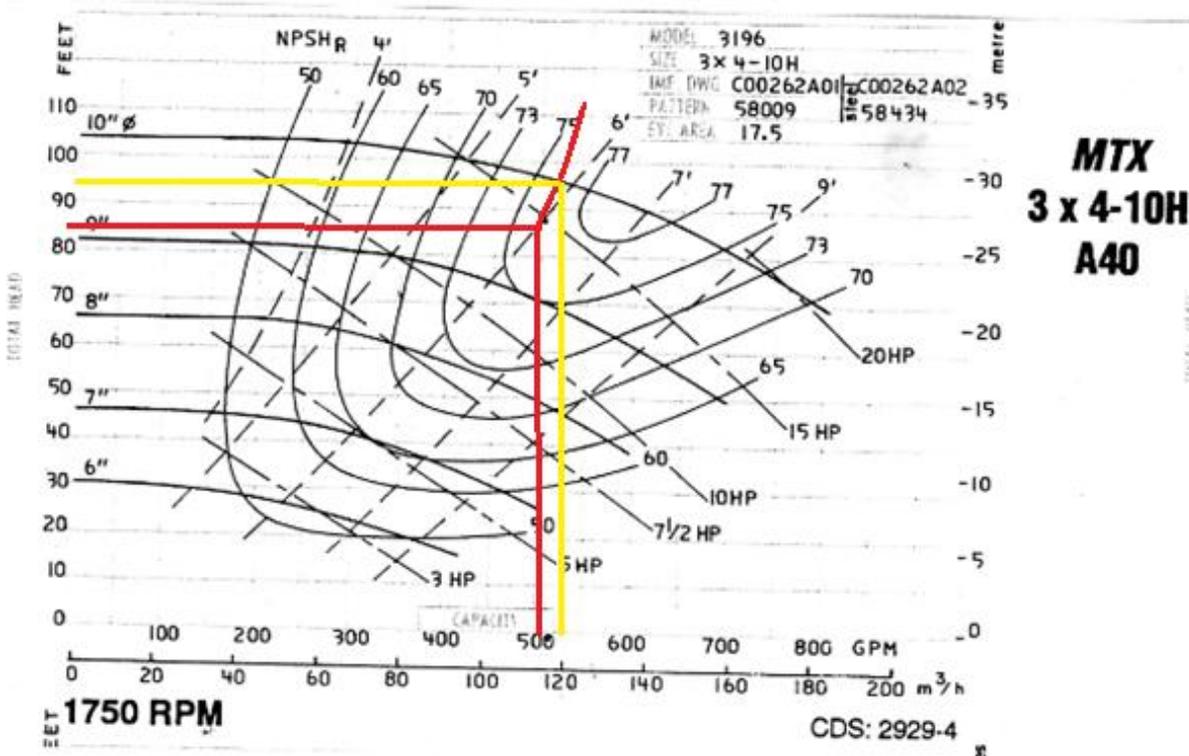
Para la bomba equivalente Goulds M 4X6-19, no es necesario hacer recorte de rodete, debido a que satisface las condiciones de operación representados en la tabla 4.10 de la bomba Warren 007-0058.

4.3.10 007-0059 (Warren 747-A80)

Selección Figura 4.38(Apéndice B). Familia de curvas

**Tabla 4.37** Modelo y punto de operación de bomba equivalente Goulds 007-0059

Modelo	Clase	Potencia	GPM	H maquina	RPM
MTX 3X4-10H A40	3180	15HP	500	80ft	1780



**Grafica 4.10.** Grafica Bomba Goulds MTX 3X4-10H A40

Para realizar recorte de rodete y que la bomba trabaje en los puntos de operación indicados en la tabla 4.37, es necesario construir la parábola de isoeficiencia.

Con la ecuación 2.21, se formula el comportamiento de la curva:

$$H_x = \frac{85 \text{ ft}}{500 \text{ gpm}^2} * Q_x^2$$

Y asignando valores a  $Q_x$ , se obtuvo la tabla 4.38 donde se reflejan los puntos de la parábola:

**Tabla 4.38.** Puntos de parábola isoeficiencia bomba 007-0059.

$Q_x$	$H_x$
520 gpm	91.93 ft
550 gpm	102.85 ft
580 gpm	114.37 ft

Ya conocido  $Q_x = 530$  gpm para diámetro de impulsor = 10". Con la ecuación 2.23, se calcula la medida del nuevo diámetro con el punto de operación indicado en la tabla 4.37.

$$\text{Diámetro de rodete} = 9 \frac{1}{2}''$$

El porcentaje de recorte de rodete no debe exceder el 10 %

$$\% \text{Recorte} = \frac{10'' - 9 \frac{1}{2}''}{10''} = 5 \%$$

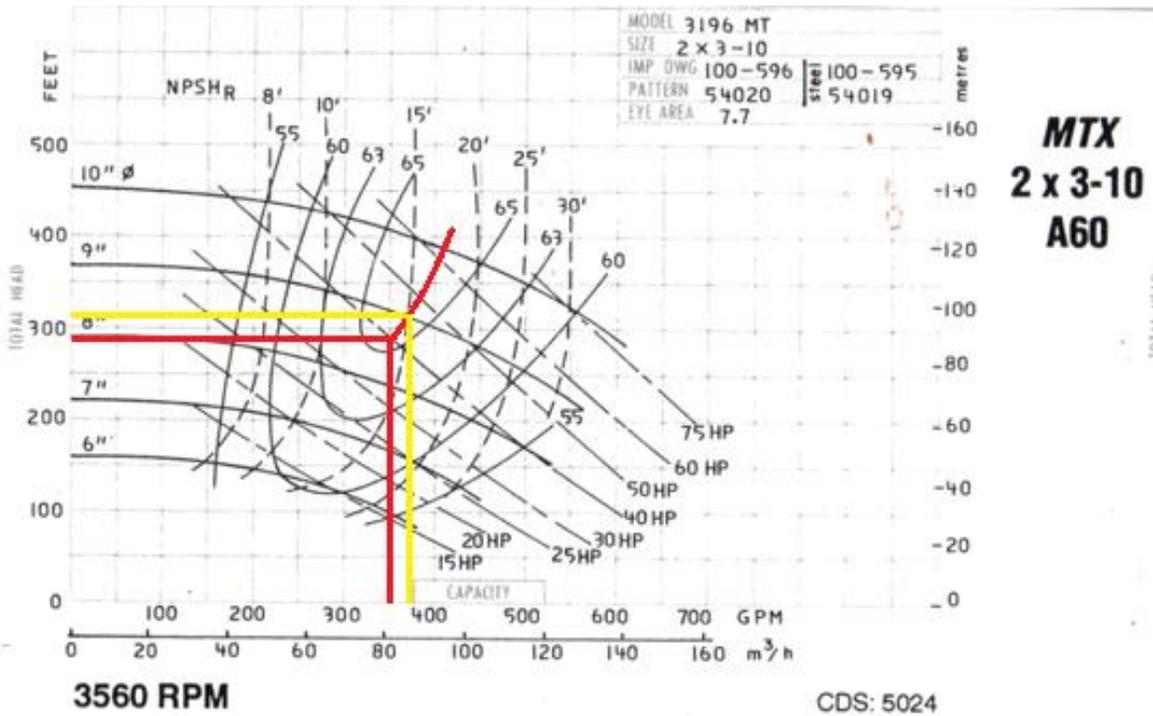
Con el recorte de rodete realizado se satisfacen las condiciones de operación indicados en la tabla 4.12 de la bomba Warren 007-0059.

4.3.11 007-0060 (Warren 747-A70)

Selección Figura 4.33(Apéndice B). Familia de curvas

**Tabla 4.39** Modelo y punto de operación de bomba equivalente Goulds 007-0060

Modelo	Clase	Potencia	GPM	H maquina	RPM
MTX 2X3-10 A60	3196	40HP	350	280ft	3500



**Grafica 4.11** Grafica Bomba Goulds MTX 2X3-10 A60

Para realizar recorte de rodete y que la bomba trabaje en los puntos de operación indicados en la tabla 4.39, es necesario construir la parábola de isoeficiencia.

Con la ecuación 2.21, se formula el comportamiento de la curva:

$$H_x = \frac{280 \text{ ft}}{350 \text{ gpm}^2} * Q_x^2$$

Y asignando valores a  $Q_x$ , se obtuvo la tabla 4.40 donde se reflejan los puntos de la parábola:

**Tabla 4.40.** Puntos de parábola isoeficiencia bomba 007-0060.

$Q_x$	$H_x$
380 gpm	330.05 ft
400 gpm	365.71 ft
420 gpm	403.20 ft

Ya conocido  $Q_x = 370$  gpm para diámetro de impulsor = 9". Con la ecuación 2.23, se calcula la medida del nuevo diámetro con el punto de operación indicado en la tabla 4.39.

$$\text{Diámetro de rodete} = 8 \frac{1}{2}''$$

El porcentaje de recorte de rodete no debe exceder el 10 %

$$\% \text{Recorte} = \frac{9'' - 8 \frac{1}{2}''}{9''} = 5.55 \%$$

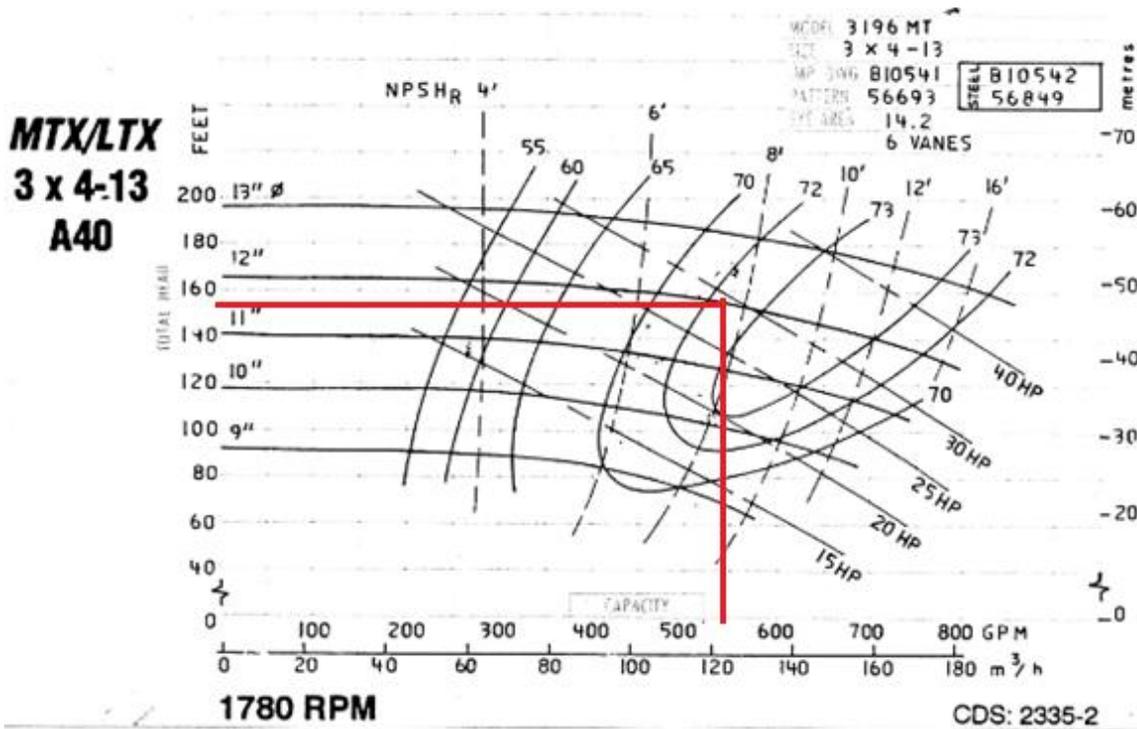
Con el recorte de rodete realizado se satisfacen las condiciones de operación indicados en la tabla 4.11 de la bomba Warren 007-0060.

4.3.12 007-0061 (Warren 4-DB-13).

Selección Figura 4.37(Apéndice B). Familia de curvas

**Tabla 4.41** Modelo y punto de operación de bomba equivalente Goulds 007-0061

Modelo	Clase	Potencia	GPM	H maquina	RPM
MTX/LTX 3X4-13	3180	40HP	540	155ft	1780



**Grafica 4.12** Grafica Bomba Goulds MTX/LTX 3X4-13 A40

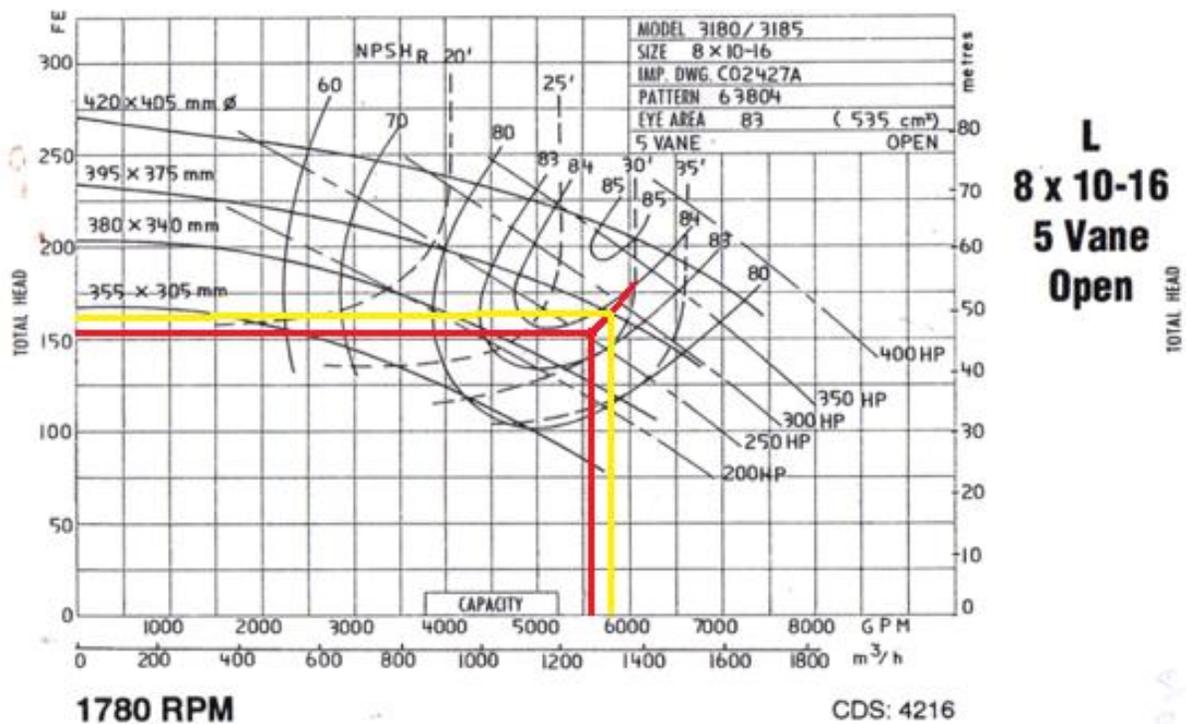
Para la bomba equivalente Goulds MTX/LTX 3X4-13 A40, no es necesario hacer recorte de rodete, debido a que satisface las condiciones de operación representados en la tabla 4.13 de la bomba Warren 007-0061.

4.3.13 007-0062 (Ahlstrom 12-DTB-14H).

Selección Figura 4.37(Apéndice B). Familia de curvas.

**Tabla 4.42** Modelo y punto de operación de bomba equivalente Goulds 007-0062

Modelo	Clase	Potencia	GPM	H maquina	RPM
L 8X10-16	3180	250HP	5580	150ft	1780



**Grafica 4.13** Grafica Bomba Goulds L 8X10-16

Para realizar recorte de rodete y que la bomba trabaje en los puntos de operación indicados en la tabla 4.42, es necesario construir la parábola de isoeficiencia.

Con la ecuación 2.21, se formula el comportamiento de la curva:

$$H_x = \frac{156 \text{ ft}}{5580 \text{ gpm}^2} * Q_x^2$$

Y asignando valores a  $Q_x$ , se obtuvo la tabla 4.43 donde se reflejan los puntos de la parábola:

**Tabla 4.43.** Puntos de parábola isoeficiencia bomba 007-0062.

$Q_x$	$H_x$
5800gpm	168.54ft
5900 gpm	174.40ft
6000 gpm	180.36ft

Ya conocido  $Q_x = 5800$  gpm para diámetro de impulsor = 395mm x 375mm. Con la ecuación 2.23, se calcula la medida del nuevo diámetro con el punto de operación indicado en la tabla 4.42.

$$\text{Diámetro de rodete} = 380 \text{ mm} \times 361 \text{ mm}$$

El porcentaje de recorte de rodete no debe exceder el 10 %

$$\% \text{Recorte} = \frac{395 \text{ mm} - 380 \text{ mm}}{395 \text{ mm}} = 3.73 \%$$

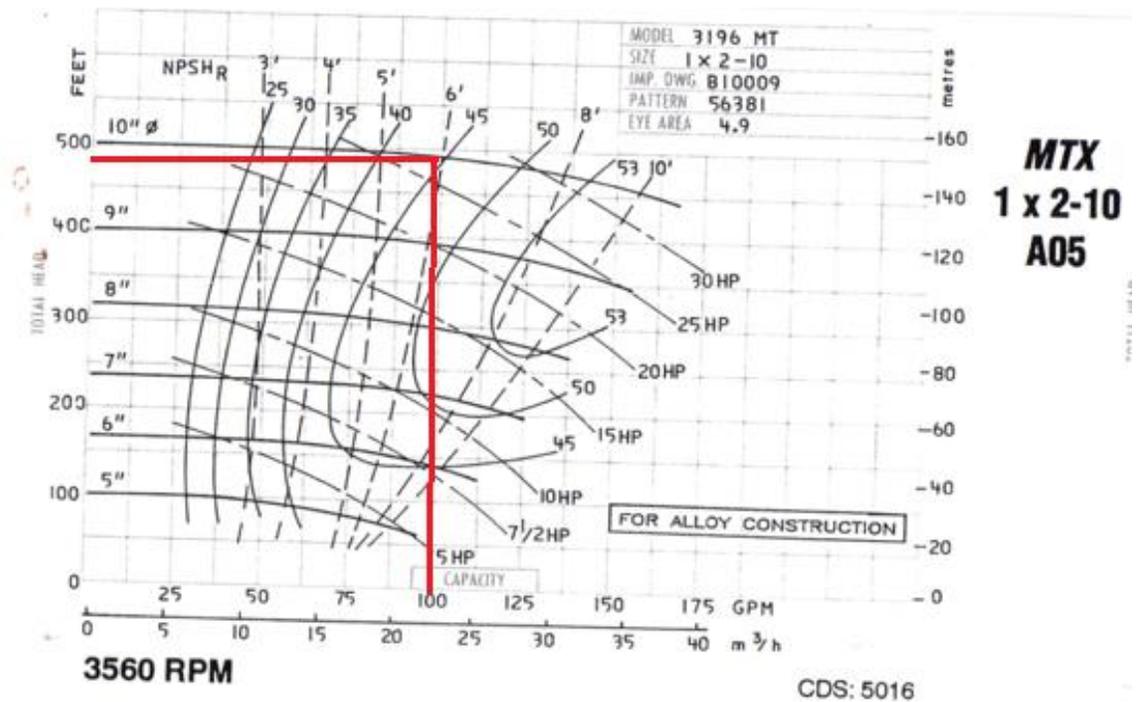
Con el recorte de rodete realizado se satisfacen las condiciones de operación indicados en la tabla 4.14 de la bomba Warren 007-0062.

4.3.14 007-0064 (Warren 747-A70)

Selección Figura 4.33(Apéndice B). Familia de curvas

**Tabla 4.44** Modelo y punto de operación de bomba equivalente Goulds 007-0064

Modelo	Clase	Potencia	GPM	H maquina	RPM
MTX 1x2-10 A05	3196	25HP	100	490 ft	3500



**Grafica 4.14** Grafica Bomba Goulds MTX 1X2-10 A05

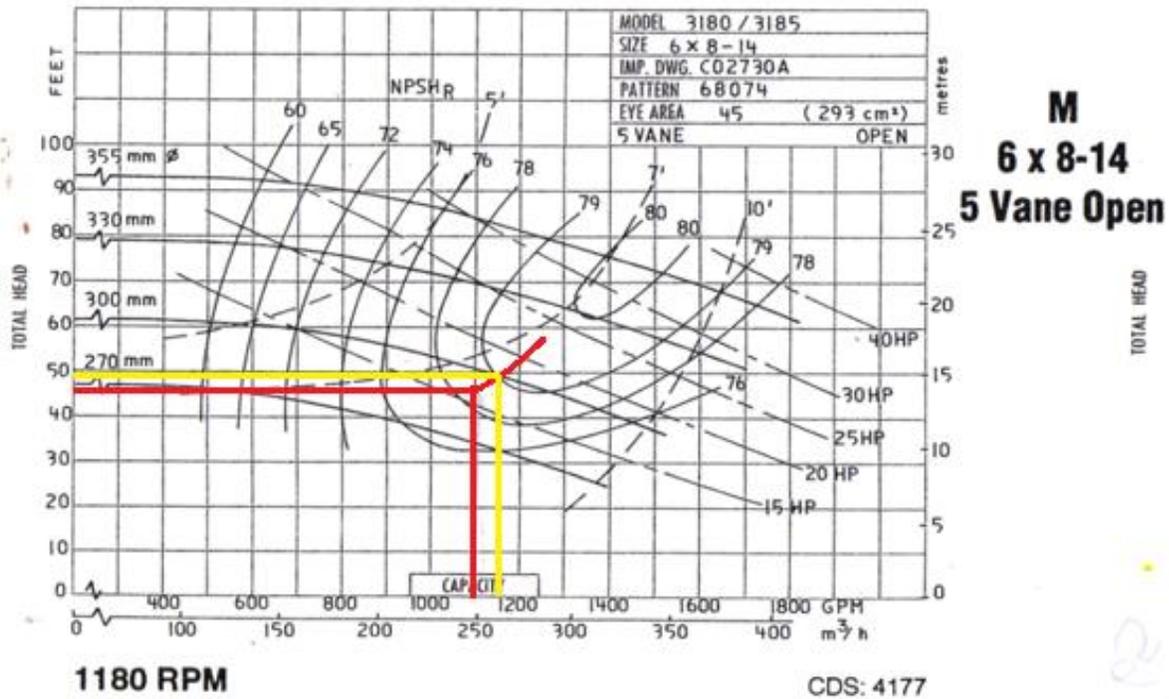
Para la bomba equivalente Goulds MTX 1x2-10 A05, encargada de auxiliar el sistema de regaderas. Se propone aumentar el caudal a 100 gpm, y recircular 61 gpm al tanque de agua caliente, esto con la finalidad de trabajar con el punto de eficiencia lo más cercano al óptimo.

4.3.15 007-0065 (Warren 6-DTB-12).

Selección Figura 4.38(Apéndice B). Familia de curvas

**Tabla 4.45** Modelo y punto de operación de bomba equivalente Goulds 007-0065

Modelo	Clase	Potencia	GPM	H maquina	RPM
M 6X8-14	3180	20HP	1100	45ft	1180



**Grafica 4.15** Grafica Bomba Goulds M 6X8-14 5 Vane open

Para realizar recorte de rodete y que la bomba trabaje en los puntos de operación indicados en la tabla 4.45, es necesario construir la parábola de isoeficiencia.

Con la ecuación 2.21, se formula el comportamiento de la curva:

$$H_x = \frac{45 \text{ ft}}{1100 \text{ gpm}^2} * Q_x^2$$

Y asignando valores a  $Q_x$ , se obtuvo la tabla 4.46 donde se reflejan los puntos de la parábola:

**Tabla 4.46.** Puntos de parábola isoeficiencia bomba 007-0065.

$Q_x$	$H_x$
1150gpm	49.18ft
1200gpm	53.55ft
1250gpm	58.10ft

Ya conocido  $Q_x = 1150$  gpm para diámetro de impulsor=300 mm. Con la ecuación 2.23, se calcula la medida del nuevo diámetro con el punto de operación indicado en la tabla 4.45.

$$\text{Diámetro de rodete} = 286.95 \text{ mm}$$

El porcentaje de recorte de rodete no debe exceder el 10 %

$$\% \text{Recorte} = \frac{300 \text{ mm} - 286.95 \text{ mm}}{300 \text{ mm}} = 4.35 \%$$

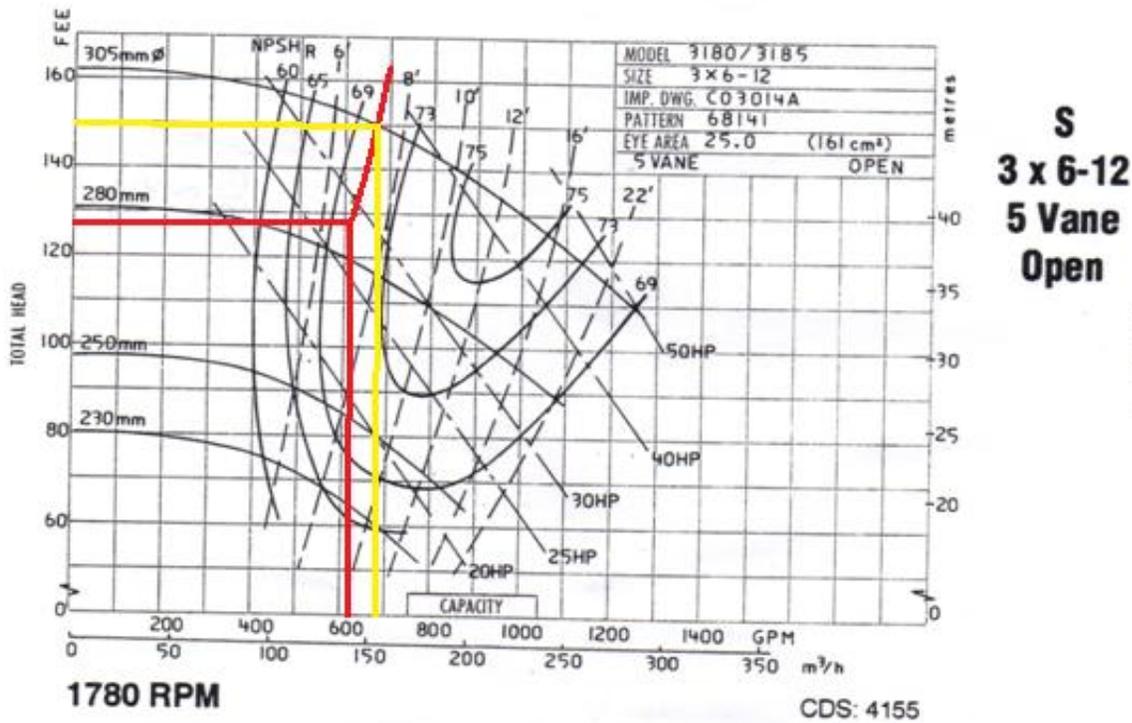
Con el recorte de rodete realizado se satisfacen las condiciones de operación indicados en la tabla 4.18 de la bomba Warren 007-0065.

4.3.16 007-0069 (Warren 6/5-PH-12).

Selección Figura 3.37(Apéndice B). Familia de curvas.

**Tabla 4.47** Modelo y punto de operación de bomba equivalente Goulds 007-0069

Modelo	Clase	Potencia	GPM	H maquina	RPM
S 3X6-12	3180	30HP	620	128ft	1750



**Grafica 4.16** Grafica Bomba Goulds S 3X6-12 5 Vane open

Para realizar recorte de rodete y que la bomba trabaje en los puntos de operación indicados en la tabla 4.47, es necesario construir la parábola de isoeficiencia.

Con la ecuación 2.21, se formula el comportamiento de la curva:

$$H_x = \frac{128 \text{ ft}}{620 \text{ gpm}^2} * Q_x^2$$

Y asignando valores a  $Q_x$ , se obtuvo la tabla 4.48 donde se reflejan los puntos de la parábola:

**Tabla 4.48.** Puntos de parábola isoeficiencia bomba 007-0069.

$Q_x$	$H_x$
650 gpm	140.68 ft
700 gpm	163.16 ft
750 gpm	187.30 ft

Ya conocido  $Q_x = 675$  gpm para diámetro de impulsor = 305 mm. Con la ecuación 2.23, se calcula la medida del nuevo diámetro con el punto de operación indicado en la tabla 4.47.

$$\text{Diámetro de rodete} = 280.14 \text{ mm}$$

El porcentaje de recorte de rodete no debe exceder el 10 %

$$\% \text{Recorte} = \frac{305 \text{ mm} - 280.14 \text{ mm}}{305 \text{ mm}} = 8.15 \%$$

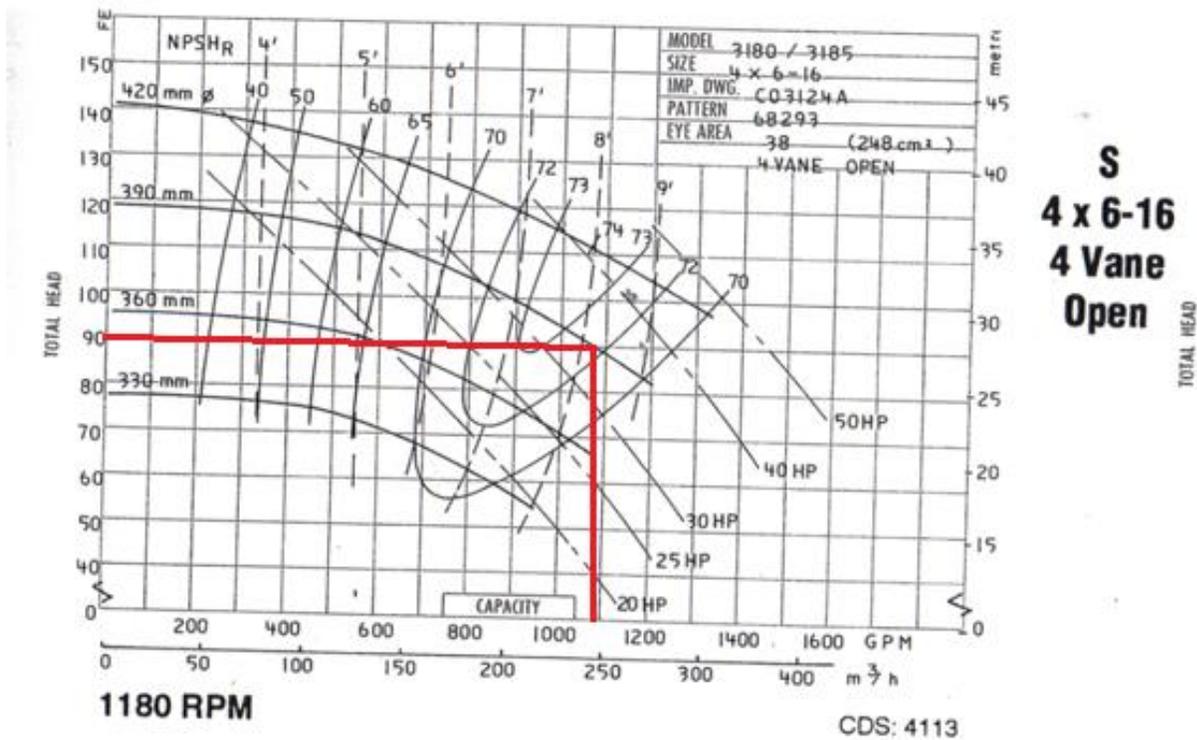
Con el recorte de rodete realizado se satisfacen las condiciones de operación indicados en la tabla 4.19 de la bomba Warren 007-0069.

4.3.17 007-0070 (Warren 8-PL-15).

Selección Figura 4.37(Apéndice B). Familia de curvas

**Tabla 4.49** Modelo y punto de operación de bomba equivalente Goulds 007-0070

Modelo	Clase	Potencia	GPM	H maquina	RPM
S 4X6-16	3180	40HP	1100	90ft	1180



**Grafica 4.17** Grafica Bomba Goulds S 4X6-16 4 Vane open

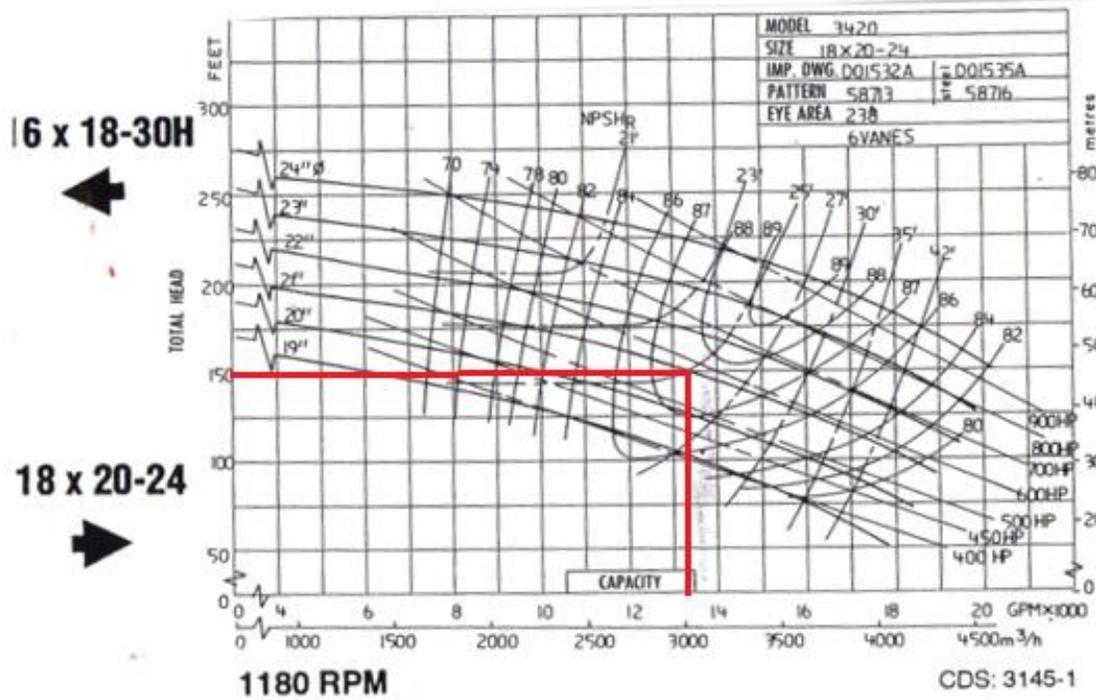
Para la bomba equivalente Goulds S 4X6-16, no es necesario hacer recorte de rodete, debido a que satisface las condiciones de operación representados en la tabla 4.20 de la bomba Warren 007-0070.

4.3.18 007-0075 (Warren 16-DTB-20).

Selección Figura 4.30(Apéndice B). Familia de curvas.

**Tabla 4.50** Modelo y punto de operación de bomba equivalente Goulds 007-0075

Modelo	Clase	Potencia	GPM	H maquina	RPM
18X20-24	3410	600HP	13338	154ft	1150



**Grafica 4.18** Grafica Bomba Goulds 18 X 20-24

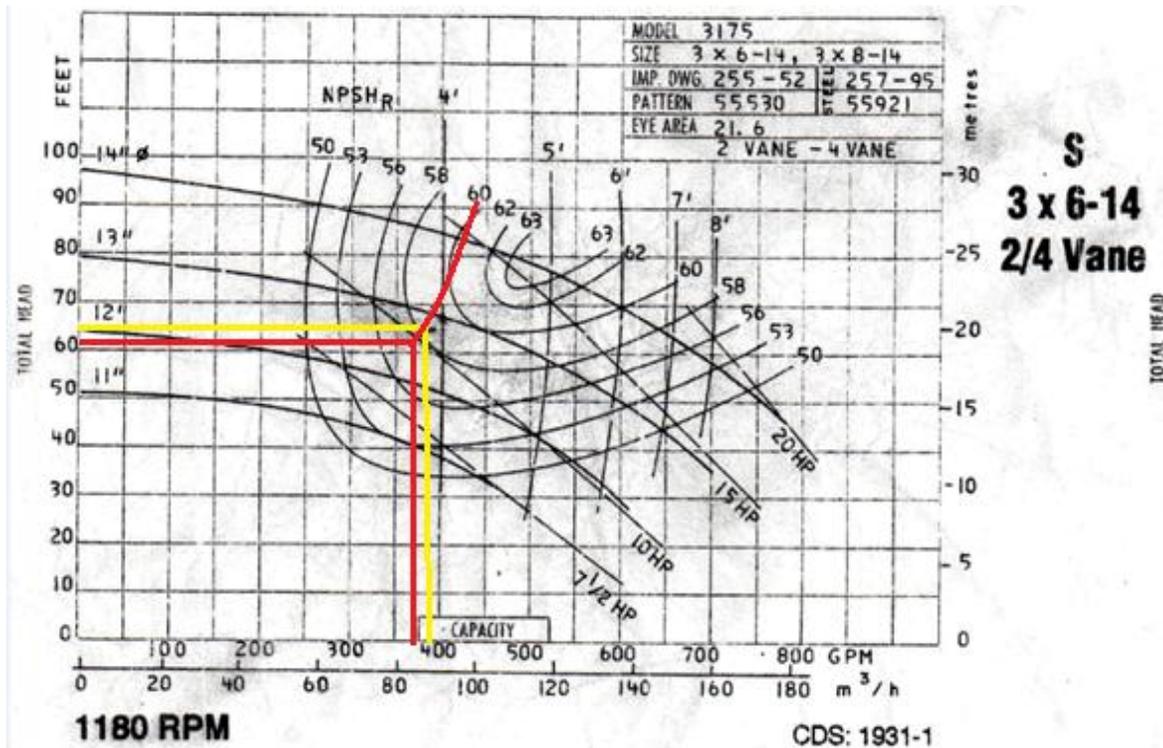
Para la bomba equivalente Goulds 18X20-24no es necesario hacer recorte de rodete, debido a que satisface las condiciones de operación representados en la tabla 4.21 de la bomba Warren 007-0075.

4.3.19 007-0080 (Warren 4-PL-12).

Selección Figura 4.37(Apéndice B). Familia de curvas

**Tabla 4.51** Modelo y punto de operación de bomba equivalente Goulds 007-0080

Modelo	Clase	Potencia	GPM	H maquina	RPM
S 3X6-12	3180	10HP	371	63ft	1150



**Grafica 4.19** Grafica Bomba Goulds S 3X6-12 2/4 Vane open

Para realizar recorte de rodete y que la bomba trabaje en los puntos de operación indicados en la tabla 4.51, es necesario construir la parábola de isoeficiencia.

Con la ecuación 2.21, se formula el comportamiento de la curva:

$$H_x = \frac{63 \text{ ft}}{371 \text{ gpm}^2} * Q_x^2$$

Y asignando valores a  $Q_x$ , se obtuvo la tabla 4.52 donde se reflejan los puntos de la parábola:

**Tabla 4.52.** Puntos de parábola isoeficiencia bomba 007-0080.

$Q_x$	$H_x$
400 gpm	73.23 ft
420 gpm	80.74 ft
450 gpm	92.68 ft

Ya conocido  $Q_x = 380$  gpm para diámetro de impulsor = 13". Con la ecuación 2.23, se calcula la medida del nuevo diámetro con el punto de operación indicado en la tabla 4.50.

$$\text{Diámetro de rodete} = 12 \frac{1}{2}''$$

El porcentaje de recorte de rodete no debe exceder el 10 %

$$\% \text{Recorte} = \frac{13'' - 12 \frac{1}{2}''}{13''} = 3.84 \%$$

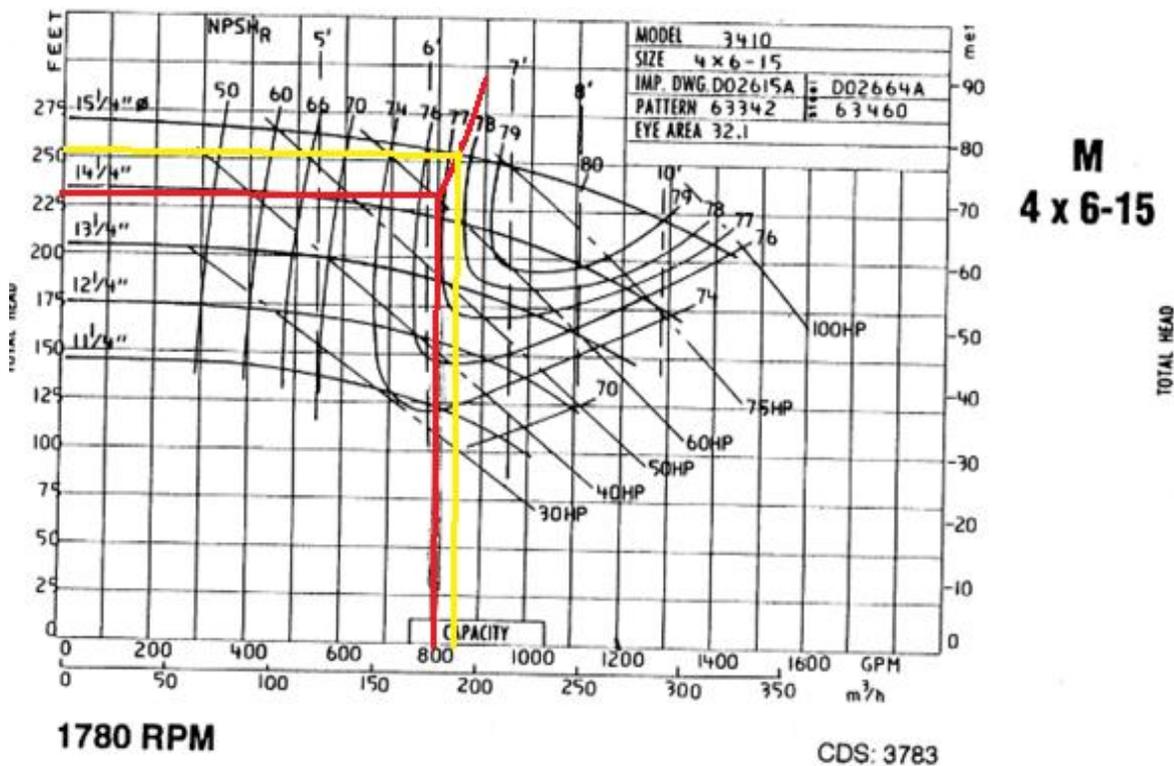
Con el recorte de rodete realizado se satisfacen las condiciones de operación indicados en la tabla 4.22 de la bomba Warren 007-0080.

4.3.20 007-0401 (Worthington 5-LR-15).

Selección Figura 4.37(Apéndice B). Familia de curvas

**Tabla 4.53** Modelo y punto de operación de bomba equivalente Goulds 007-0401

Modelo	Clase	Potencia	GPM	H maquina	RPM
S 4x6-16	3180	75HP	800	231ft	1780



**Grafica 4.42** Grafica Bomba Goulds S 4X6-14 5 Vane closed

Para realizar recorte de rodete y que la bomba trabaje en los puntos de operación indicados en la tabla 4.53, es necesario construir la parábola de isoeficiencia. Con la ecuación 2.21, se formula el comportamiento de la curva:

$$H_x = \frac{231 \text{ ft}}{800 \text{ gpm}^2} * Q_x^2$$

Y asignando valores a  $Q_x$ , se obtuvo la tabla 4.54 donde se reflejan los puntos de la parábola:

**Tabla 4.54.** Puntos de parábola isoeficiencia bomba 007-0401.

$Q_x$	$H_x$
850 gpm	260.77 ft
900 gpm	292.32 ft
950 gpm	325.74 ft

Ya conocido  $Q_x = 840$  gpm para diámetro de impulsor = 15 ¼" ". Con la ecuación 2.23, se calcula la medida del nuevo diámetro con el punto de operación indicado en la tabla 4.40.

$$\text{Diámetro de rodete} = 11 \frac{1}{2} \text{''}$$

El porcentaje de recorte de rodete no debe exceder el 10 %

$$\% \text{Recorte} = \frac{12 \frac{1}{4} \text{''} - 11 \frac{1}{2} \text{''mm}}{12 \frac{1}{4} \text{''mm}} = 6.12 \%$$

Con el recorte de rodete realizado se satisfacen las condiciones de operación indicados en la tabla 4.23 de la bomba Warren 007-0401.

## **Alternativa 2. Diseño hidráulico para la incorporación de tuberías requeridas para el By pass**

### **4.3.21 By pass. Bomba 007-0047**

La alternativa propuesta para la bomba 007-0047 (bomba del tanque del espesador) consiste en utilizar la bomba 007-0061 o bomba asociada al tanque de aguas turbias y así cumplir el trabajo efectuado por la misma, dicha tarea implica la instalación de una red de tuberías con sus respectivas válvulas, que definirán el nuevo camino que tomara el flujo, en caso de una parada de la bomba 007-0047. La alternativa propuesta consiste en conectar la descarga de la Bomba 007-0061, directamente a la descarga de la bomba 007-0047 y controlar la consistencia de los tanques de pasta a través de las aguas turbias que vienen del rechazo de los Filtros recuperadores de agua y pasta. Así como también alimentar el tanque Liebeck con agua para generar la consistencia adecuada y así bombear los rechazos de papel obtenidos del proceso que no cumplen los parámetros de calidad y reutilizarlo. Para dicha propuesta según los operadores de máquina, no es necesario considerar la demanda de caudal, más si es imprescindible considerar que la bomba mande dicho flujo con la disponibilidad o presión adecuada para surtir las necesidades de variación en la consistencia. Esta representación se puede observar en la figura 4.23.

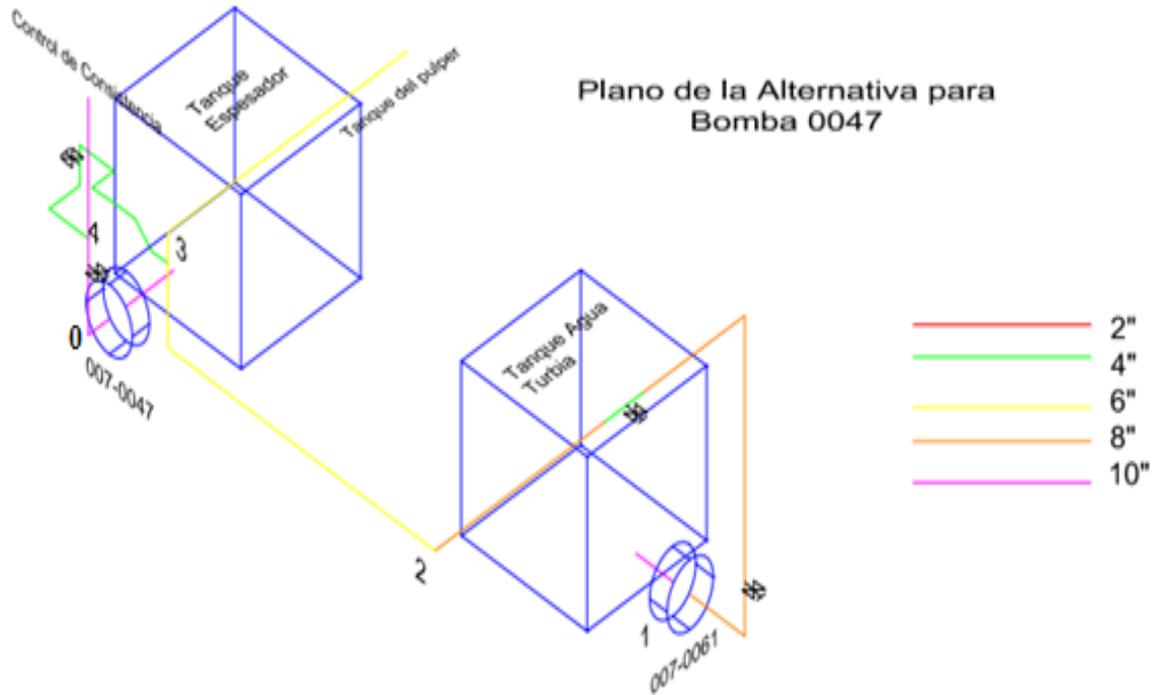


Figura 4.23 Alternativa bomba 007-0047

i. Cálculo alternativa 007-0047

Igualando las disponibilidades en el punto cinco (5), es decir del tramo 1-5 y del tramo 0-

5. Aplicando la ecuación 2.1:

$$\begin{aligned}
 H_{\text{tanque agua turbia}} + H_{\text{maquina 007-0061}} - h_{f\text{accesorio 1-4}} - h_{f\text{tramo 1-4}} \\
 = H_{\text{tanque espesador}} + H_{\text{maquina 007-0047}} - h_{f\text{accesorio 0-4}} \\
 - h_{f\text{tramo 0-4}}
 \end{aligned}$$

Como la disponibilidad del tanque de agua turbia y el tanque del espesador es la misma la ecuación se resume a:

$$H_{maquina\ 007-0061} - hf_{accesorio\ 1-4} - hf_{tramo\ 1-4}$$

$$= H_{maquina\ 007-0047} - hf_{accesorio\ 0-4} - hf_{tramo\ 0-4}$$

**Tramo 1-2.**

Sustituyendo los siguientes valores: Q= 540gpm y Diámetro interno de tubería= 7.981” en la Ecuación 2.8, se obtiene:

$$V = \frac{0.4085*(540\text{gpm})}{7.981^2} = 3.46\ \text{ft/s}$$

Se procede a calcular Vmax con la Ecuación 2.3, o Vw con la ecuación 2.9 para determinar la región de trabajo según la Figura 2.2. Con los siguientes valores obtenidos en la tabla 1.1:

$$K' = 0.59$$

$$C = 0.0295\ \text{g/100ml (Consistencia)}$$

$$\sigma = 1.45$$

$$V_{max} = 0.59 * 0.0295^{1.45}$$

$$V_{max} = 0.003565\ \text{ft/s}$$

Como  $V_{max} < V$ , se procede al cálculo de Vw, según ecuación 2.9. Con los mismos valores de K', C y  $\sigma$ .

$$V_w = 4 * 0.02295^{1.45}$$

$$V_w = 0.0241\ \text{ft/s}$$

Como  $V_w < V$ , entonces el área de trabajo se encuentra en la región 3.

Según la figura 2.2, la ecuación 2.10 se utiliza para el cálculo de pérdidas en la región 3.

Con los siguientes valores:

FACULTAD DE INGENIERÍA

$$V = 3.46 \text{ ft/s}$$

$$D = 7.981''$$

$$(\Delta H/L)_w = 0.58 * 3.46^{1.75} * 7.981^{-1.25}$$

$$(\Delta H/L)_w = 0.3795 \frac{\text{ft}}{100\text{ft}} = 0.003795 \text{ ft/1ft}$$

Longitud de tramo 1-2= 56''= 4.66ft

Perdida en tramo 1-2= 4.66 ft \* 0.003795 Ecuación 2.13

Perdida en tramo 1-2= 0.017685 ft
-----------------------------------

**Accesorios tramo 1-2.** Metodología aplicada según cartas Crane.[8](Ecuación 2.11)

$$1. \quad 2 \text{ hf codo } 90^\circ = 0.196 * \left( \frac{3.46^2}{2 * 32.2} \right) = 0.1858 \text{ ft}$$

$$\text{Donde } K = 14 * \text{ft} \rightarrow r/D = 1.5 \rightarrow \text{ft} = 0.014 \rightarrow k = 0.196$$

$$2. \quad 1 \text{ Válvula tipo compuerta. } B \square 1 \text{ y } \Theta \square 45^\circ \quad K_2 = \text{Formula 5}$$

$$K_2 = \frac{K_1 + \text{sen} \left( \frac{\Theta}{2} \right) * [0.8 * (1 - \beta^2) + 2.6 * (1 - \beta^2)^2]}{\beta^4}$$

Dónde:

$$\beta = D_1/D_2 = 8''/4'' = 0.5$$

$$\Theta = 20^\circ$$

$$K_1 = 8 * \text{ft} \rightarrow \text{ft} = 0.014$$

$$K_2 = 7.5214$$

$$h_f \text{ válvula} = 7.5214 * \frac{3.46^2}{2 * 32.2} = 1.39819 \text{ ft}$$

Perdida por accesorio 1-2 = 1.7697 ft
---------------------------------------

### Tramo 2-3

Sustituyendo los siguientes valores: Q= 540gpm y Diámetro interno de tubería= 6.065”

en la ecuación 2.8, se obtiene:

$$V = \frac{0.4085 * (540 \text{ gpm})}{6.065^2} = 6 \text{ ft/s}$$

$V_w$  y  $V_{max}$  mantienen los mismos valores, pues se mantiene la consistencia y material de tubería.

$$V_{max} = 0.003565 \text{ ft/s}$$

$$V_w = 0.0241 \text{ ft/s}$$

Como  $V_w < V$ , entonces el área de trabajo se encuentra en la región 3.

Según la figura 2.2, la ecuación 2.10 se utiliza para el cálculo de pérdidas en la región 3.

Con los siguientes valores:

$$V = 6 \text{ ft/s}$$

$$D = 6.065''$$

$$(\Delta H/L)_w = 0.58 * 6^{1.75} * 6.065^{-1.25}$$

$$(\Delta H/L)_w = 1.40 \frac{\text{ft}}{100\text{ft}} = 0.014 \text{ ft/1ft}$$

Longitud de tramo 2-3=135''+690'' = 825''=68.75 ft

Perdida en tramo 2-3= 68.75 ft \* 0.014 (Ecuación 2.13)

Perdida en tramo 2-3= 0.9625 ft
---------------------------------

**Accesorios tramo 2-3.** Metodología aplicada según cartas Crane.[8] (Ecuación 2.11)

$$1. \quad 2 \text{ hf codo } 90^\circ = 0.21 * \left( \frac{6^2}{2*32.2} \right) = 0.1173 * 2 \text{ ft} = 0.2347 \text{ ft}$$

$$\text{Donde } K = 14 * \text{ft} \rightarrow r/D = 1.5 \rightarrow \text{ft} = 0.015 \rightarrow k = 0.21$$

$$2. \quad \text{hf ramal} = 60 * \text{ft} \rightarrow \text{ft} = 0.015 \rightarrow \text{hf ramal} = 0.9 \text{ ft}$$

Perdida por accesorio 2-3= 1.2347 ft
--------------------------------------

### Tramo 3-4

Sustituyendo los siguientes valores: Q= 540gpm y Diámetro interno de tubería= 4.026''

en la ecuación 2.8, se obtiene:

$$V = \frac{0.4085 * 540 \text{gpm}}{4.026^2} = 13.609 \text{ ft/s}$$

Vw y V max mantienen los mismos valores, pues se mantiene la consistencia y material de tubería

$$V_{\text{max}} = 0.003565 \text{ ft/s}$$

$$V_w = 0.0241 \text{ ft/s}$$

Como  $V_w \ll V$ , entonces el área de trabajo se encuentra en la región 3.

Según la figura 2.2, la ecuación 2.10 se utiliza para el cálculo de pérdidas en la región 3.

Con los siguientes valores:

$$V = 13.609 \text{ ft/s}$$

$$D = 4.026''$$

$$(\Delta H/L)_w = 0.58 * 13.609^{1.75} * 4.026^{-1.25}$$

$$(\Delta H/L)_w = 9.806 \frac{\text{ft}}{100\text{ft}} = 0.09806 \text{ ft/100ft}$$

Longitud de tramo 3-4 = 30'' + 60'' + 12'' + 60'' + 58'' + 12'' = 232'' = 19.33 ft

Perdida en tramo 3-4 = 19.33 \* 0.09806 (Ecuación 2.13)

Perdida en tramo 3-4 = 1.8955 ft
----------------------------------

**Accesorios tramo 3-4.** Metodología aplicada según cartas Crane.[8](Ecuación 2.11)

$$1. \quad 5 \text{ hf codo } 90^\circ = 0.238 * \left( \frac{13.609^2}{2 * 32.2} \right) = 0.6844 * 4 \text{ ft} = 2.7378 \text{ ft}$$

$$\text{Donde } K = 14 * \text{ft} \rightarrow r/D = 1.5 \rightarrow \text{ft} = 0.017 \rightarrow k = 0.238$$

$$2. \quad 2 \text{ hf codo } 45^\circ = 0.272 * \left( \frac{13.609^2}{2 * 32.2} \right) = 0.7822 * 2 \text{ ft} = 1.5644$$

$$\text{Donde } K = 16 * \text{ft} \rightarrow \text{ft} = 0.017$$

$$3. \quad \text{Válvula compuerta (conserva diámetro). } \beta = 1 \text{ y } \Theta = 0$$

$$K_1 = 8 \text{ ft} = 8 * (0.017) = 0.136 \text{ (ft} = 0.017)$$

$$hf \text{ valvula compuerta} = 0.136 * \frac{13.609^2}{2 * 32.2} = 0.3911 \text{ ft}$$

Perdida por accesorio tramo 3-4 = 4.6933 ft
---

### Tramo 0-4

Sustituyendo los siguientes valores: Q= 1400gpm y Diámetro interno de tubería= 10.02”  
 en la ecuación 2.8, se obtiene:

$$V = \frac{0.4085 * 1400 \text{ gpm}}{10.02^2} = 5.69 \text{ ft/s}$$

Se procede a calcular Vmax con la ecuación 2.3, o Vw con la ecuación 2.9 para determinar la región de trabajo según la figura 2.3. Con los siguientes valores obtenidos en la tabla 1.1:

$$K' = 0.59$$

$$C = 0.036 \text{ g/100ml (Consistencia)}$$

$$\sigma = 1.45$$

$$V_{\max} = 0.004759 \text{ ft/s}$$

Como  $V_{\max} \ll V$ , se procede al cálculo de Vw, según ecuación 2.9. Con los mismos valores de K', C y  $\sigma$ .

$$V_w = 0.032263 \text{ ft/s}$$

Como  $V_w \ll V$ , entonces el área de trabajo se encuentra en la región 3.

Según la figura 2.2, la ecuación 2.10 se utiliza para el cálculo de pérdidas en la región 3.

Con los siguientes valores:

$$V = 5.69 \text{ ft/s}$$

$$D = 10.02''$$

$$(\Delta H/L)_w = 0.58 * 5.69^{1.75} * 10.02^{-1.25}$$

$$(\Delta H/L)_w = 1.0533 \frac{\text{ft}}{100\text{ft}} = 0.010533 \text{ ft/100ft}$$

Longitud de tramo 5-4=67''=5.58 ft

Perdida en tramo 5-4= 5.58 ft \* 0.010533 (Ecuación 2.13)

Perdida en tramo 0-4 = 0.058793 ft
------------------------------------

**Accesorios tramo 0-4.** Metodología aplicada según cartas Crane.[8] (Ecuación 2.11)

1. Válvula compuerta (conserva diámetro).  $\beta=1$  y  $\Theta = 0$

$$K1 = 8ft = 8 * (0.014) = 0.112 \quad (ft=0.014)$$

$$hf_{\text{valvula compuerta}} = 0.112 * \frac{5.69^2}{2 * 32.2} = 0.0563 \text{ ft}$$

Perdida por accesorio tramo 0-5 = 0.0563 ft
---

Sustituyendo y despejando H maquina requerido 007-0061 de la ecuación:

$$\begin{aligned} H_{\text{maquina } 007-0061} &= hf_{\text{accesorio } 1-4} + hf_{\text{tramo } 1-4} \\ &= H_{\text{maquina } 007-0047} + hf_{\text{accesorio } 0-4} + hf_{\text{tramo } 0-4} \end{aligned}$$

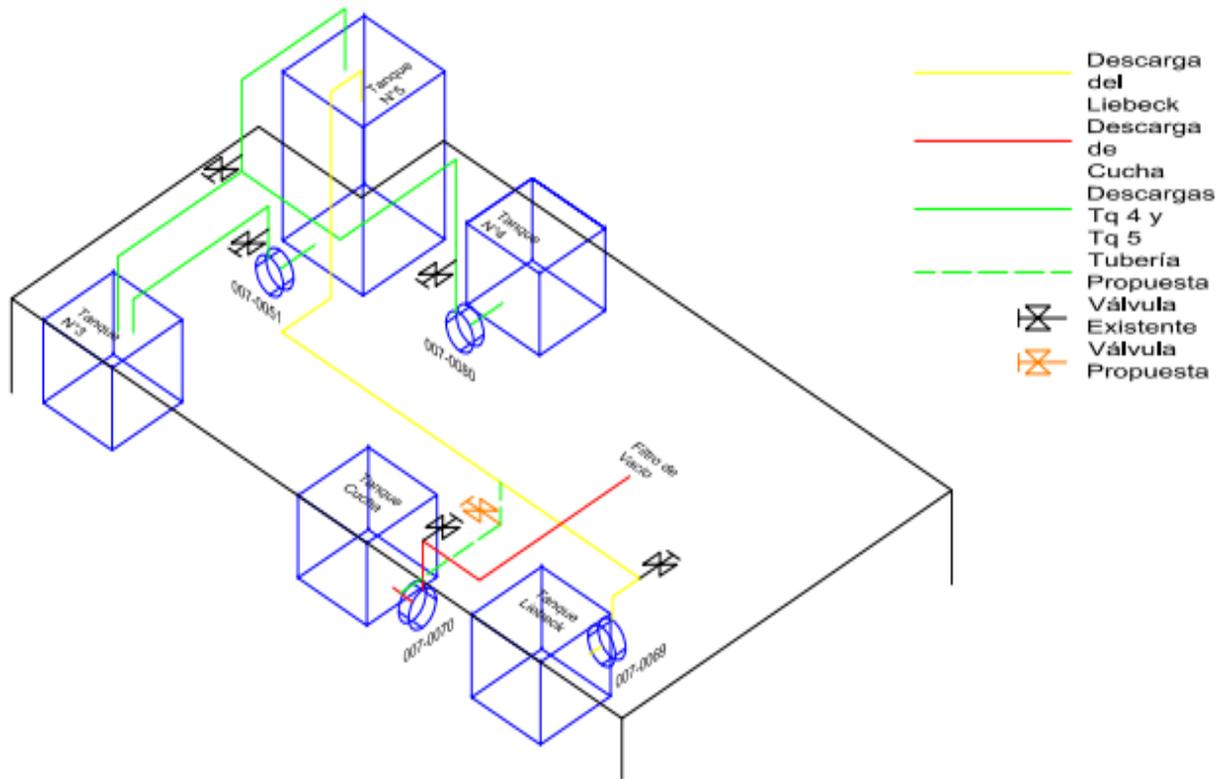
H maquina requerido 007-0061= 137.5 ft – 0.05879 ft – 0.0563 ft + 0.01769 ft + 1.3981 ft + 0.9625 ft + 1.1347 ft + 1.8955 ft + 4.6933 ft

H maquina requerido 007-0061= 144.7255 ft
---

#### 4.3.22 **By pass. Bomba 007-0051**

La alternativa propuesta para la bomba 007-0051 consiste en desviar los flujos que llegan al Tanque n° 5 y utilizarlas para otros fines. Particularmente en la descarga de la bomba 007-0080 (bomba asociada al tanque n°4) existe la posibilidad de desviar el flujo directamente hacia la succión de la bomba del Tanque de Pasta n°3, con la apertura y cierre de las válvula representadas en el plano anexo, esto con el fin de regular la consistencia de la pasta enviada a los refinadores multidisco. Es importante destacar que dicha corriente sólo puede ser utilizada para aumentar la consistencia de la pasta, por lo que de ser muy alta la consistencia en el tanque n°3, será necesario desviar nuevamente la pasta al Tanque de Pasta n°5 y abrir el drenaje de dicho tanque. La otra línea que tiene entrada al tanque n°5 (bomba 007-0051) es la pasta enviada desde el liebeck; En el caso de la bomba 007-0069 (Bomba del liebeck) la alternativa consiste en utilizar dicha pasta recuperada para regular la consistencia de la pasta en el tanque de Cucha, enviándola directamente a la succión de la bomba 007-0070 y posteriormente descargar al Filtro de Vacío. Para éste caso es necesario cerrar la válvula en la descarga de la bomba 007-0053 la cual originalmente se encarga de regular la consistencia del Tanque de Cucha utilizando pasta del Tanque n°3; de ésta forma se pueden aprovechar las corrientes de

pasta recuperada sin necesidad de pasar por el Tanque de Pasta n°5; se puede observar una representación gráfica de la alternativa en el esquema anexo. Esta representación se puede observar en la figura 4.24



**Figura 4.24** Alternativa Bomba 007-0051

#### 4.3.23 By pass. Bomba 007-0052

Existen varias alternativas para el funcionamiento de la bomba 007-0052 (Bomba del tanque n°1), empezando por la recuperación de la bomba 007-0030.

**1era Alternativa:** La Bomba 007-0030 es la bomba asociada al Tanque de Pasta n°2, previamente utilizado para almacenar la pasta proveniente del proceso de destintado, actualmente la bomba se encuentra fuera de servicio. Utilizando la bomba 007-0030 (bomba del tanque n°2) se presenta la siguiente propuesta, la cual radica en desviar la pasta proveniente del pulper, hacia el tanque n°2 (que originalmente va al tanque n°1) es decir, el tanque n°2, utilizarlo como tanque n° 1. En el área operativa existe una tubería que une la descarga de la bomba 007-0030 (tanque n°2) con la descarga de la bomba 007-0052 (bomba tanque n°1). Por esta razón para la instauración de dicha propuesta en caso de ocurrir algún daño en el tanque n°1 o en la bomba 007-0052, es importante la manipulación de cierre y apertura de las válvulas ubicadas en las descargas de las bombas que conforman la alternativa. Esta representación se puede observar en la figura 4.25

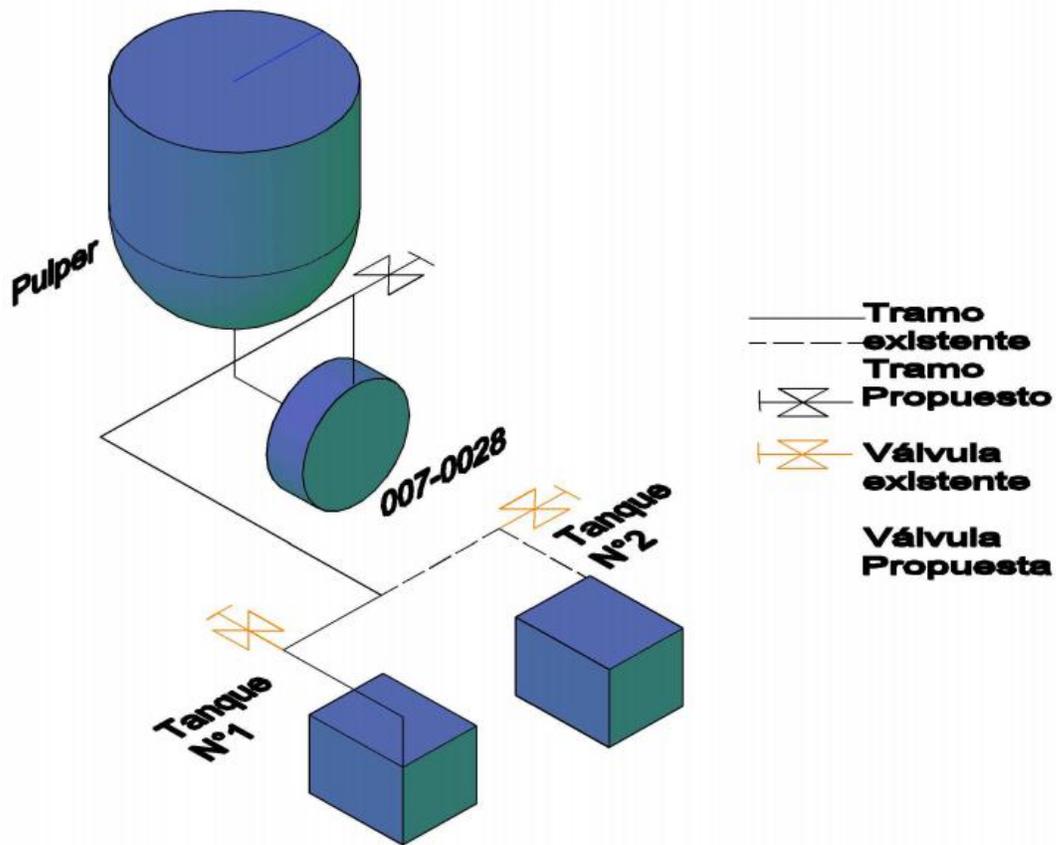
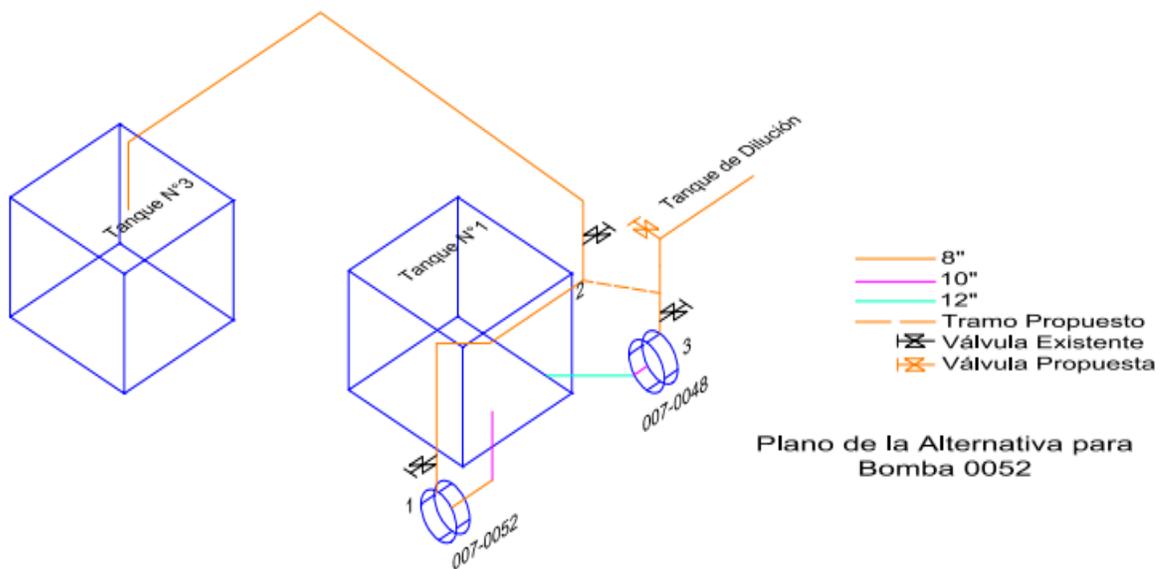


Figura 4.25. Alternativa bomba 007-0052

**2da alternativa:** se propone alimentar el Tanque de Pasta n°3 directamente desde el Tanque de Pasta n°1 de la Máquina 7, que es equivalente al Tanque de Pasta n°1 de la Máquina 06, por lo cual se utilizaría la pasta proveniente del Pulper de Máquina 7 para alimentar la Máquina 06, esto se realiza a través de un by-pass ya existente de la descarga de la Bomba asociada al Tanque n°1 de la Máquina 07, al Tanque n°3 de Máquina.

**3ra alternativa:** se plantea la recuperación de la Bomba 007-0048 (bomba tanque n°1, pero para diferente destino), originalmente utilizada para enviar pasta del Tanque n°1 a un proceso llamado disolución donde se mezclaba pasta proveniente del Pulper con pasta proveniente del proceso destintado. La bomba 007-0048 fue desarmada para aprovechamiento de repuestos en otros sectores de la planta, por lo cual sería necesario instalar una nueva bomba en la base que quedó cementada en el sitio, así como también instalarle un motor, también sería necesario conectar la descarga de la bomba 007-0048 a la descarga de la bomba 007-0052 (bomba tanque n°1) a través de tramos complementario. Esta representación se puede encontrar en la figura 4.26.



**Figura 4.26.** Alternativa bomba 007-0052

- i. Calculo alternativa 007-0052 ( $H_{\text{maquina } 007-0052} = 130 \text{ ft}$ ), con la recuperación de la bomba 007-0048. (3ra alternativa)

Igualando las disponibilidades en el punto dos (2), es decir del tramo 1-2 y del tramo 2-3.

Y aplicando la ecuación 2.1 se obtiene:

$$H_{tanque\ 1} + H_{maquina\ 007-0052} - h_{f\ accesorio} - h_{f\ tramo\ 1-2}$$

$$= H_{tanque\ 1} + H_{maquina\ 007-0048} - h_{f\ accesorio} - h_{f\ tramo\ 2-3}$$

Como la disponibilidad del tanque n°1 es la misma la ecuación se resume a:

$$H_{maquina\ 007-0052} - h_{f\ accesorio} - h_{f\ tramo\ 1-2}$$

$$= H_{maquina\ 007-0048} - h_{f\ accesorio} - h_{f\ tramo\ 2-3}$$

### Tramo 1-2.

Sustituyendo los siguientes valores: Q=700 gpm y Diámetro interno de tubería= 7.981”

en la ecuación 2.8, se obtiene:

$$V = \frac{0.4085 * 700 \text{ gpm}}{7.981^2} = 4.48 \text{ ft/s}$$

Se procede a calcular Vmax con ecuación 2.3, o Vw con la ecuación 2.9 para determinar la región de trabajo según la figura 2.2.

$$V_{max} = k' * C^\sigma ; \text{ Dónde: } K'=0.59; \sigma=1.45 \text{ (datos obtenidos de la tabla 1.1)}$$

$$V_{max} = 5.5640 \text{ ft/s}$$

Por ende  $V < V_{max}$ , entonces el área de trabajo se encuentra en la **Región 1. Entonces el cálculo de pérdidas por tramo de tubería viene definido por la ecuación 2.4, con los siguientes valores:**

## FACULTAD DE INGENIERÍA

- $F = F1 * F2 * F3 * F4 * F5$ . Obtenido de la ecuación 2.5

Dónde:  $F1 = 1.35^{-0.01*35}$  (ecuación 2.6)

$F1 = 0.99$

$F2 = 1.25$  (para acero inoxidable)

$F3 = 0.8$

$F4 = 1$

$F5 = 1.2$

Siendo entonces  $F = 0.99 * 1.25 * 0.8 * 1 * 1.2 = 1.1088$

- $K = 8.80$  (Dato obtenido de la tabla 1.3).
- $V = 4.48$  (obtenido de la ecuación 2.8) y  $\alpha = 0.31$  (obtenido de la tabla 1.3)
- $C = 4.7$  (consistencia) y  $\beta = 1.81$  (obtenido de la tabla 1.3)
- $D = 7.981$  (diámetro de la tubería) y  $\gamma = -1.34$  (obtenido de la tabla 1.3)

$$\frac{\Delta H}{L} = 1.1088 * 8.80 * 4.48^{0.31} * 4.7^{1.81} * 7.981^{-1.34}$$

$$\frac{\Delta H}{L} = 17.119 \text{ ft}/100\text{ft} = 0.17119 \text{ ft}/1\text{ft}$$

Longitud de tramo de tubería 1-2 = 200 cm + 50 cm + 304.5 cm = 554.5 cm

$$554.5 \text{ cm} * \frac{1 \text{ in}}{2.54 \text{ cm}} * \frac{1 \text{ plg}}{12 \text{ in}} = 18.187 \text{ ft}$$

Perdidas por tramo de tubería 1-2 = 18.187 ft \* 0.17119 (Ecuación 2.13)

Perdida por tramo 1-2 = 3.1122 ft

**Accesorios tramo 1-2.** Metodología aplicada según cartas Crane.[8] (Ecuación 2.11)

$$1. \text{ hf codo } 90^\circ = 0.25 * \left( \frac{4.48^2}{2*32.2} \right) = 0.0779 \text{ ft}$$

$$2. \text{ hf codo } 45^\circ = 0.12 * \left( \frac{4.48^2}{2*32.2} \right) = 0.0373 \text{ ft}$$

$$3. \text{ hf ramal} = 0.55 * \left( \frac{4.48^2}{2*32.2} \right) = 0.1714 \text{ ft}$$

$$4. \text{ hf válvula de compuerta (nueva)} = K_1 = 8 * \text{ft} = 8 * 0.014 = 0.112 \text{ ft}$$

$$\text{hf accesorios} = \text{hf codo } 90^\circ + \text{hf codo } 45^\circ + \text{hf ramal} + \text{hf válvula}$$

$\text{Perdidas por accesorio 1-2} = 0.3986 \text{ ft}$
---

### **Tramo 3-2**

Para el caso de la bomba 007-0048 (opera en el tramo 3-2 según plano anexo), actualmente no posee gran parte de los elementos que la conforman, así como el motor. Por lo que se recomienda la instalación de una nueva bomba. Bajo las siguientes consideraciones:

- La bomba debe manejar el mismo caudal para cumplir los requerimientos del sistema. Así mismo va a manejar el mismo fluido, debido a que la succión está conectada al mismo tanque.
- El Diámetro de tubería se conserva.

Entonces, según la ecuación 2.10.

$$\frac{\Delta H}{L} = 17.119 \text{ ft}/100\text{ft} = 0.17119 \text{ ft}/1\text{ft}$$

$$\text{Longitud de tramo 3-2: } 200 \text{ cm} + 50 \text{ cm} = 250 \text{ cm} * \frac{1 \text{ plg}}{2.54 \text{ cm}} = 98.43 \text{ plg} = 8.2 \text{ ft}$$

$$\text{Perdidas en tramo 3-2} = 0.17119 \text{ ft/1ft} * 8.2 \text{ ft} \text{ (Ecuación 2.13)}$$

Perdidas por tramo 3-2= 1.40 ft
---------------------------------

**Accesorios tramo 3-2.** Metodología aplicada según cartas Crane.[8] (Ecuación 2.11)

$$1. \text{ hf codo } 45^\circ = 0.12 * \left( \frac{4.48^2}{2 * 32.2} \right) = 0.0373 \text{ ft} * 2 = 0.0746 \text{ ft}$$

$$2. \text{ hf codo } 90^\circ = 0.25 * \left( \frac{4.48^2}{2 * 32.2} \right) = 0.0779 \text{ ft}$$

$$3. \text{ hf lineal} = 1 * \left( \frac{4.48^2}{2 * 32.2} \right) = 0.311 \text{ ft}$$

$$\text{hf accesorio 3-2} = \text{hf codo } 45^\circ + \text{hf codo } 90^\circ + \text{hf lineal}$$

Perdidas por accesorio 3-2= 0.4635 ft
---------------------------------------

**Sustituyendo y despejando H maquina 007-0048 en:**

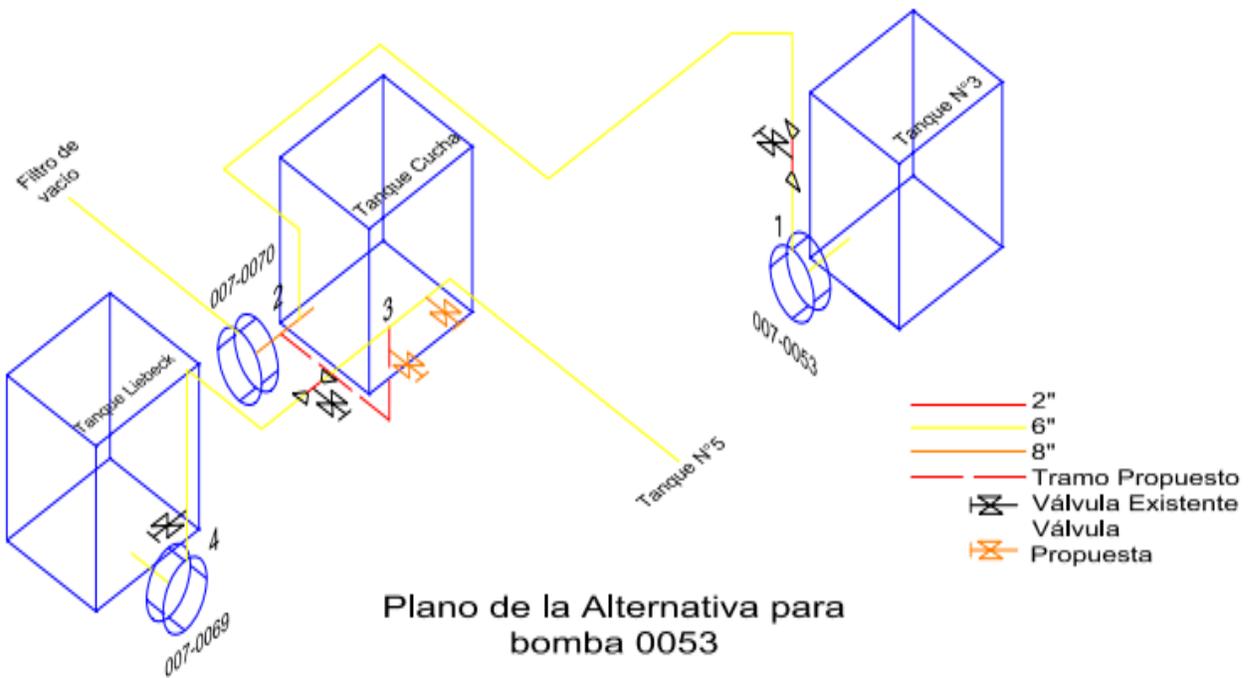
$$\begin{aligned} H_{\text{maquina } 007-0052} - hf_{\text{accesorio } 1-2} - hf_{\text{tramo } 1-2} \\ = H_{\text{maquina } 007-0048} - hf_{\text{accesorio } 2-3} - hf_{\text{tramo } 2-3} \end{aligned}$$

H maquina requerido 007-0048= 131.6473 ft
---

4.3.24 **By pass. Bomba 007-0053**

La Alternativa propuesta para el funcionamiento de la bomba 007-0053 (bomba Swtenner tanque N°3), es utilizar la bomba 007-0069 o bomba del Liebeck, para alimentar la succión de la bomba 007-0070 (bomba tanque cucha) y de esta forma controlar la consistencia de la pasta que va a Filtro de Vacío, y seguir recuperando pasta; se puede observar una representación gráfica de la alternativa en el esquema anexo.

Esta representación se puede observar en la figura 4.27.



**Figura 4.27** Alternativa bomba 007-0053

i. Cálculos 007- 0053

Se debe determinar el flujo que debe suministrar la bomba 007-0069 debido a que dicha alternativa debe responder al control de consistencia en la descarga del tanque de

cucha (dicha bomba maneja un caudal de 620 gpm para su operación original), que a su vez con el apoyo de la bomba 007-0070 se encargara de mandar pasta con determina consistencia al filtro de vacío, con el objetivo de recuperar pasta y agua del proceso. Debido a que el filtro de vacío tiene un punto de operación específico no es recomendable trabajar con diferente consistencia a la nominal y así poder conservar su eficiencia.

**Consistencia requerida= 1.12%**

$$\frac{225 \text{ gpm}}{875} \rightarrow \frac{3.8 \%}{?}$$

$$1.12\% = \frac{225 \text{ gpm} * (3.8\%) + 875 \text{ gpm} * (\text{Porcentaje consistencia cucha})}{1100 \text{ gpm}}$$

% Consistencia Cucha = 0.43%
------------------------------

Ahora bien para determinar el caudal que debe manejar la bomba 007-0069:

$$1.12\% = \frac{Q(007 - 0069) * (3.5\%) + 875 \text{ gmp} * (\% \text{Consistencia cucha})}{875 \text{ gpm} + Q(007 - 0069)}$$

Q 007-0069 = 246.32 gpm
-------------------------

Igualando las disponibilidades en el punto 2 (2), es decir desde el tramo 1-2 y del tramo 3-2, con la ecuación 2.1 se obtiene:

$$\begin{aligned} H_{\text{tanque 3}} + H_{\text{maquina 007-0053}} - hf_{\text{accesorio 1-2}} - hf_{\text{tramo 1-2}} \\ = H_{\text{liebeck}} + H_{\text{maquina 007-0069}} - hf_{\text{accesorios 3-2}} - hf_{\text{tramo 3-2}} \end{aligned}$$

**Tramo 1-2.**

Sustituyendo los siguientes valores:  $Q=225$  gpm y Diámetro interno de tubería= 6.065” en la ecuación 2.8, se obtiene:

$$V_{1-2}=2.5 \text{ ft/s}$$

Se procede a calcular  $V_{max}$  con la ecuación 2.3, o  $V_w$  con la ecuación 2.9 para determinar la región de trabajo según la figura 2.2. Con los siguientes valores obtenidos en la tabla 1.1:

$$K' = 0.59$$

$$C = 3.8 \text{ g/100ml (Consistencia)}$$

$$\sigma = 1.45$$

$$V_{max}=4.088 \text{ ft/s}$$

Como  $V_{max} > V$ , entonces el área de trabajo se encuentra en la región 1.

**Entonces el cálculo de pérdidas por tramo de tubería viene definido por la ecuación**

**2.4:**

Dónde:

- $F = F_1 * F_2 * F_3 * F_4 * F_5$

Dónde:  $F_1 = 1.35^{-0.01 * 35}$  (ecuación 2.7)

$$F_1 = 0.99$$

$$F_2 = 1.25 \text{ (para acero inoxidable)}$$

$$F_3 = 0.8$$

$$F_4 = 1$$

$$F5=1.2$$

Siendo entonces:  $F = 0.99 * 1.25 * 0.8 * 1 * 1.2 = 1.1088$

- $K = 8.80$  (Dato obtenido de la tabla 1.3).
- $V = 2.5$  (obtenido de la ecuación 2.8) y  $\alpha = 0.31$  (obtenido de la tabla 1.3)
- $C = 3.8$  (consistencia) y  $\beta=1.81$  (obtenido de la tabla 1.3)
- $D = 6.065$  (diámetro de la tubería) y  $\gamma=-1.34$  (obtenido de la tabla 1.3)

$$\frac{\Delta H}{L} = 1.1088 * 8.80 * 2.5^{0.31} * 3.8^{1.81} * 6.065^{-1.34}$$

$$\frac{\Delta H}{L} = 11.7 \text{ ft}/100\text{ft} = 0.117 \text{ ft}/1\text{ft}$$

Longitud de tramo de tubería 1-2= 32''+48''+36''+417''+48''+120''+103''+116''=920''

Perdidas por tramo 1-2= 0.117 ft/1 ft \* 76.66 ft (920'') = 8.9692 ft (Ecuación 2.13)

Perdida por tramo 1-2 = 8.9692 ft

**Accesorios tramo 1-2.** Metodología aplicada según cartas Crane.[8] (Ecuación 2.11)

1 Válvula compuerta (cambio diámetro)  $\beta \square 1$  y  $\Theta \square 45^\circ$

$$K2 = \frac{K1 * \text{sen}\left(\frac{\Theta}{2}\right) * [0.8 * (1 - \beta^2)] + 1.6 * (1 - \beta^2)^2}{\beta^4}$$

Dónde:

$$\Theta = 40^\circ.$$

$$\beta = 2/6 = 0.333$$

$$K1 = 8 * (0.015) = 0.12$$

$$K2 = 87.0125$$

$$hf \text{ valvula} = 87.0125 * \frac{2.5^2}{2 * 32.2}$$

$$hf \text{ valvula} = 8.44 \text{ ft}$$

$$2 \quad 1 \text{ Codos } 45^\circ \rightarrow K=16 \text{ ft} \rightarrow K=16*(0.015) = 0.24 \rightarrow$$

$$hf \text{ codo } 45^\circ = 0.24 * \frac{2.5^2}{2 * 32.2} = 0.023 \text{ ft}$$

$$3 \quad 5 \text{ Codos } 90^\circ \rightarrow r/D= 1.5 \rightarrow K=14 * \text{ft} \rightarrow K=14*0.015 = 0.21 * 5=1.05 \text{ ft}$$

$$hf \text{ codo } 90^\circ = 1.05 * \frac{2.5^2}{2*32.2} = 0.1019 \text{ ft}$$

Perdida por accesorio 1-2 = 8.5765ft
--------------------------------------

### Tramo 4-3

Sustituyendo los siguientes valores: Q=246 gpm y Diámetro interno de tubería= 6.065” en la ecuación 2.8, se obtiene:

$$V_{3-2} = 23.52 \text{ ft/s}$$

Se procede a calcular Vmax con la ecuación 2.4, o Vw con la ecuación 2.9 para determinar la región de trabajo según la figura 2.2. Con los siguientes valores obtenidos en la tabla 1.1:

$$K' = 0.59$$

$$C = 3.8 \text{ g/100ml (Consistencia)}$$

$$\sigma = 1.45$$

$$V_{\max} = 3.62 \text{ ft/s}$$

**Entonces el cálculo de pérdidas por tramo de tubería viene definido por la ecuación**

**2.4:**

Dónde:

## FACULTAD DE INGENIERÍA

- $F = F1 * F2 * F3 * F4 * F5$

Dónde:  $F1 = 1.35 - 0.01 * 35$  (ecuación 2.7)

Siendo entonces  $F = 0.99 * 1.25 * 0.8 * 1 * 1.2 = 1.188$

- $K = 8.80$  (Dato obtenido de la tabla 1.3).
- $V = 2.73$  (obtenido de la ecuación 2.8) y  $\alpha = 0.31$  (obtenido de la tabla 1.3)
- $C = 3.5$  (consistencia) y  $\beta = 1.81$  (obtenido de la tabla 1.3)
- $D = 6.065$  (diámetro de la tubería) y  $\gamma = -1.34$  (obtenido de la tabla 1.3)

$$\frac{\Delta H}{L} = 1.188 * 8.80 * 2.73^{0.31} * 3.5^{1.81} * 6.065^{-1.34}$$

$$\frac{\Delta H}{L} = 10.35 \text{ ft}/100 \text{ ft} = 0.1035 \text{ ft}/1 \text{ ft}$$

Longitud de tramo de tubería 1-2 =  $268'' + 43'' + 110'' + 16'' = 437''$

Perdidas por tramo 4-3 =  $0.1035 \text{ ft}/1 \text{ ft} * 36.41 \text{ ft} (437'')$  (ecuación 2.13)

Perdida por tramo 4-3 = 3.768 ft

**Accesorios tramo 4-3.** Metodología aplicada según cartas Crane.[8] (Ecuación 2.11)

1. 1 Ramal  $\rightarrow K = 60 * ft \rightarrow k = 60 * (0.015) \rightarrow K = 0.9$

$$hf_{\text{ramal}} = 0.9 * \frac{3.62^2}{2 * 32.2} = 0.1831 \text{ ft}$$

2. 2 Codo 90°  $\rightarrow K = 14 * ft \rightarrow r/D = 1.5 \rightarrow K = 14 * 0.015 = 0.42$

$$hf_{\text{codo}} = 0.42 * \frac{3.62^2}{2 * 32.2} = 0.0427 \text{ ft}$$

3. Válvula compuerta (conserva diámetro).  $\beta=1$  y  $\Theta = 0$

$$K1 = 8ft = 8 * (0.015) = 0.12 \quad (ft=0.015)$$

$$hf \text{ valvula compuerta} = 0.12 * \frac{3.62^2}{2 * 32.2} = 0.0024 \text{ ft}$$

4. Válvula compuerta (cambio diámetro)  $\beta \neq 1$  y  $\Theta \neq 45^\circ$

$$K2 = \frac{K1 * \sin\left(\frac{\Theta}{2}\right) * [0.8 * (1 - \beta^2)] + 1.6 * (1 - \beta^2)^2}{\beta^4}$$

Dónde:

$$\Theta = 40^\circ.$$

$$\beta = 2/6 = 0.333$$

$$K1 = 8 * (0.015) = 0.12$$

$$K2 = 87.0125$$

$$hf \text{ valvula} = 87.0125 * \frac{2.5^2}{2 * 32.2}$$

$$hf \text{ valvula} = 8.44 \text{ ft}$$

Perdida por accesorio 4-3 = 8.66 ft

### Tramo 3-2 (2" diámetro)

Sustituyendo los siguientes valores: Q=246 gpm y Diámetro interno de tubería= 2.067"

en la ecuación 2.8, se obtiene:

$$V_{3-2} = 23.52 \text{ ft/s}$$

## FACULTAD DE INGENIERÍA

Se procede a calcular  $V_{max}$  con la ecuación 2.3, o  $V_w$  con la ecuación 2.9 para determinar la región de trabajo según la figura 2.2. Con los siguientes valores obtenidos en la tabla 1.1:

$$K' = 0.59$$

$$C = 3.8 \text{ (Consistencia)}$$

$$\sigma = 1.45$$

$$V_{max} = 3.62 \text{ ft/s}$$

Como  $V_{max} < V$ , se procede al cálculo de  $V_w$ , según ecuación 2.9. Con los mismos valores de  $K'$ ,  $C$  y  $\sigma$ .

$$V_w = 23.10 \text{ ft/s}$$

Como  $V_w < V$ , entonces el área de trabajo se encuentra en la región 3.

Según la figura 2.2, la ecuación 2.10 se utiliza para el cálculo de pérdidas en la región 3.

Con los siguientes valores:

$$V = 23.52 \text{ ft/s}$$

$$D = 2.067 \text{ plg}$$

$$(\Delta H/L)_w = 0.58 * 23.52^{1.75} * 2.067^{-1.25}$$

$$(\Delta H/L)_w = 58.78 \frac{\text{ft}}{100\text{ft}} = 0.5878 \text{ ft/100ft}$$

$$\text{Longitud de tramo} = 110'' + 43'' = 421'' = 12.75 \text{ ft}$$

$$\text{Pérdida en tramo 3-2} = 12.75 \text{ ft} * 0.5878$$

$\text{Pérdida en tramo 3-2} = 7.49 \text{ ft}$
---

**Accesorios tramo 3-2.** Metodología aplicada según cartas Crane.[8] (Ecuación 2.12)

1. 1 T Ramal  $\rightarrow K = 60 \cdot ft \rightarrow k = 60 \cdot (0.019) \rightarrow K = 1.14$

$$hf_{ramal} = 1.14 \cdot \frac{23.52^2}{2 \cdot 32.2} = 9.72 \text{ ft}$$

2. Codo 90°  $\rightarrow K = 14 \cdot ft \rightarrow r/D = 1.5 \rightarrow K = 14 \cdot 0.019 = 0.266$

$$hf_{codo\ 90^\circ} = 0.21 \cdot \frac{23.52^2}{2 \cdot 32.2} = 2.285 \text{ ft}$$

3. Válvula compuerta (conserva diámetro).  $\beta = 1$  y  $\Theta = 0$

$$K_1 = 8 \cdot ft = 8 \cdot (0.019) = 0.152 \quad (ft = 0.019)$$

$$hf_{valvula\ compuerta} = 0.152 \cdot \frac{3.62^2}{2 \cdot 32.2} = 0.030 \text{ ft}$$

Perdida por accesorio 3-2 = 12 ft
-----------------------------------

Sustituyendo y despejando H maquina 007-0069

$$\begin{aligned} H_{tanque\ 3} + H_{maquina\ 007-0053} - hf_{accesorio\ 1-2} - hf_{tramo\ 1-2} \\ = H_{liebeck} + H_{maquina\ 007-0069} - hf_{accesorios\ 4-3} - hf_{tramo\ 4-3} \\ - hf_{tramo\ 3-2} - hf_{accesorio\ 3-2} \end{aligned}$$

Dónde:

$$H_{tanque\ 3} = 14.76 \text{ ft} = 4.5 \text{ m}$$

$$H_{tanque\ liebeck} = 8.20 \text{ ft} = 2.5 \text{ m}$$

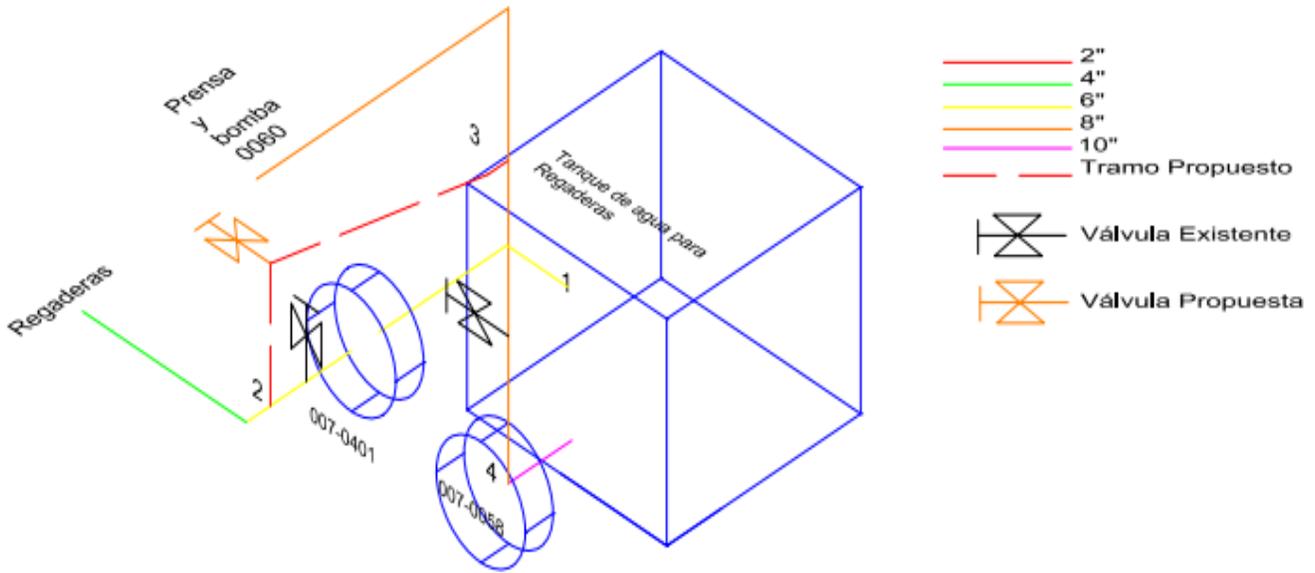
$$\begin{aligned} H_{maquina\ requerido\ 007-0069} = & 14.76 \text{ ft} + 63 \text{ ft} - 8.9692 \text{ ft} - 8.777 \text{ ft} - 8.20 \text{ ft} + 3.768 \text{ ft} \\ & + 8.66 \text{ ft.} + 12 \text{ ft} + 7.4 \end{aligned}$$

$$H \text{ maquina requerido } 007-0069 = 83.74 \text{ ft}$$

#### 4.3.25 By pass. Bomba 007-0058

La alternativa propuesta para la bomba 007-0058 es realizar una conexión directa desde la descarga de la bomba 007-0401, que al igual que la bomba 007-0058, también está conectada al Tanque de las Regaderas, a la descarga de la bomba 007-0058. La bomba 007-0058 originalmente manda agua a la bomba 007-0060 (350 gpm), a la regadera de la prensa primaria (100 gpm) y al Tanque elevado del Pulper (400 gpm): el Tanque Elevado del Pulper tiene la ventaja de tener una vía de agua fresca que puede mantener su nivel de ser necesario, por lo que se propone aumentar el caudal de la bomba 007-0401 solo para la alimentación de la bomba 007-0060 y de la regadera de la prensa, lo cual genera una demanda extra de 450 gpm: es posible realizar dicho aumento sin variar la altura de máquina de la bomba a través de un cambio de motor, aumentando la potencia de 60 Hp a 100 Hp, de esta manera la bomba manejará la demanda extra requerida manteniendo constante H máquina. Esta representación se puede observar en la figura 4.28

### Plano de la Alternativa para Bomba 0058



**Figura 4.28** Alternativa bomba 007-0058

i. Cálculo 007-0058

Cambio de motor de la bomba 007-0401 a 100 HP, con el fin de aumentar el caudal, debido a que la demanda de flujo condiciona esta alternativa. Para esta condición el punto de operación de la bomba 007-0401 queda definido por:

$$H_{\text{maquina 007-0401}} = 231 \text{ ft}$$

$$Q_{\text{007-0401}} = 1250 \text{ gpm}$$

Igualando las disponibilidades en el punto tres (3), es decir desde el tramo 1-3 y del tramo 5-3, y con la ecuación 2.1 se obtiene:

$$\begin{aligned}
 & H_{\text{tanque de regaderas}} + H_{\text{maquina 007-0401}} - hf_{\text{accesorio 1-3}} - hf_{\text{tramo 1-3}} \\
 & = H_{\text{tanque de regaderas}} + H_{\text{maquina 007-0058}} - hf_{\text{accesorios 4-3}} \\
 & \quad - hf_{\text{tramo 4-3}}
 \end{aligned}$$

Debido a que el tanque suministro es el mismo, la ecuación se simplifica a:

$$\begin{aligned}
 & H_{\text{maquina 007-0401}} - hf_{\text{accesorio 1-3}} - hf_{\text{tramo 1-3}} \\
 & = H_{\text{maquina 007-0058}} - hf_{\text{accesorios 5-3}} - hf_{\text{tramo 5-3}}
 \end{aligned}$$

### **Tramo 1-2.**

Sustituyendo los siguientes valores: Q=1250 gpm y Diámetro interno de tubería= 6.065” en la ecuación 2.8, se obtiene:

$$V_{1-2} = 13.88 \text{ ft/s}$$

Se procede a calcular Vmax con la ecuación 2.4, o Vw con la ecuación 2.9 para determinar la región de trabajo según la figura 2.2. Con los siguientes valores obtenidos en la tabla 1.1:

$$K' = 0.59$$

$$C = 0.0046 \text{ g/100 ml (Consistencia)}$$

$$\sigma = 1.45$$

$$V_{\text{max}} = 2.41 * 10^{-4} \text{ ft/s}$$

$$V_w = 2.1376 * 10^{-3} \text{ ft/s}$$

Como  $V_w \ll V$ , entonces el área de trabajo se encuentra en la región 3.

Según la figura 2.2, la ecuación 2.10 se utiliza para el cálculo de pérdidas en la región 3.

Con los siguientes valores:

$$V = 13.88 \text{ ft/s}$$

$$D = 6.065''$$

$$(\Delta H/L)_w = 0.58 * 13.88^{1.75} * 6.065^{-1.25}$$

$$(\Delta H/L)_w = 6.08235 \frac{\text{ft}}{100\text{ft}} = 0.0608 \text{ ft/100ft}$$

Longitud de tramo 1-2= 8.66 ft (tramo de succión de la bomba)

Perdidas en tramo 1-2= 8.66\* 0.0608 (Ecuación 2.31)

Perdida en tramo 1-2= 0.5269 ft
---------------------------------

**Accesorios tramo 1-2.** Metodología aplicada según cartas Crane.[8] (Ecuación 2.11)

1. 2 Válvula compuerta (conserva diámetro).  $\beta=1$  y  $\Theta = 0$

$$K1 = 8ft = 8 * (0.015) = 0.12 \quad (ft=0.015)$$

$$hf \text{ valvula compuerta} = 0.12 * \frac{13.88^2}{2 * 32.2} = 0.3589 \text{ ft} * 2$$

Perdida por accesorio 1-2= 0.7178 ft
--------------------------------------

### Tramo 2-3

Sustituyendo los siguientes valores: Q=450 gpm y Diámetro interno de tubería= 6.065''

en la ecuación 2.8, se obtiene:

$$V_{1-2} = 5 \text{ ft/s}$$

$V_{max}$  y  $V_w$  mantienen sus valores, debido a que no son dependientes de parámetros como la velocidad y el diámetro.

$$V_{max} = 2.41 * 10^{-4} \text{ ft/s}$$

FACULTAD DE INGENIERÍA

$$V_w = 2.1376 \cdot 10^{-3} \text{ ft/s}$$

Se encuentra en la Región 3. Según la figura 2.2, la ecuación 2.10 se utiliza para el cálculo de pérdidas en la región 3. Con los siguientes valores:

$$V = 5 \text{ ft/s}$$

$$D = 6.065''$$

$$(\Delta H/L)_w = 0.58 * 5^{1.75} * 6.065^{-1.25}$$

$$(\Delta H/L)_w = 1.0188 \frac{\text{ft}}{100\text{ft}} = 0.010188 \text{ ft/1ft}$$

$$\text{Longitud de tramo 2-3} = 56'' + 60'' = 116'' = 9.66 \text{ ft}$$

$$\text{Pérdidas en tramo 2-3} = 9.66 \text{ ft} * 0.010188$$

<b>Perdidas en tramo 2-3 = 0.098 ft</b>
---

**Accesorios tramo 2-3.** Metodología aplicada según cartas Crane.[8] (Ecuación 2.11)

$$1. \text{ hf T ramal} = 0.9 * \left( \frac{5^2}{2 * 32.2} \right) = 0.3493 \text{ ft}$$

$$\text{Dónde: } K = 60 * \text{ft} = 0.9 \rightarrow (\text{ft} = 0.015)$$

$$2. \text{ 1 hf codo } 45^\circ = 0.24 * \left( \frac{5^2}{2 * 32.2} \right) = 0.0931 \text{ ft}$$

$$\text{Dónde: } K = 16 * \text{ft} = 0.24 \rightarrow (\text{ft} = 0.015)$$

$$3. \text{ Válvula compuerta (conserva diámetro). } \beta = 1 \text{ y } \Theta = 0$$

$$K_1 = 8 \text{ ft} = 8 * (0.019) = 0.152 \text{ (ft} = 0.019)$$

$$\text{hf valvula compuerta} = 0.152 * \frac{5^2}{2 * 32.2} = 0.030 \text{ ft}$$

$$\text{Perdidas por accesorio tramo 2-3} = 0.4424 \text{ ft}$$

**Tramo 4-3**

Sustituyendo los siguientes valores:  $Q=880$  gpm y Diámetro interno de tubería= 7.981” en la ecuación 2.8, se obtiene:

$$V_{4-3} = 5.64 \text{ ft/s}$$

**Se encuentra en la Región 3.** Según la figura 2.2, la ecuación 2.10 se utiliza para el cálculo de pérdidas en la región 3. Con los siguientes valores:

$$V = 5.64 \text{ ft/s}$$

$$D = 7.981''$$

$$(\Delta H/L)_w = 0.58 * 5.64^{1.75} * 7.981^{-1.25}$$

$$(\Delta H/L)_w = 0.8924 \frac{\text{ft}}{100\text{ft}} = 0.008924 \text{ ft/100ft}$$

Longitud de tramo 4-3= 30” = 2 ft

Perdida en tramo 4-3= 2ft \* 0.008924 (Ecuación 2.13)

$$\text{Perdida en tramo 4-3} = 0.0178 \text{ ft}$$

**Accesorios tramo 4-3.** Metodología aplicada según cartas Crane.[8] (Ecuación 2.11)

1. 2 Válvula compuerta (conserva diámetro).  $\beta=1$  y  $\Theta = 0$

$$K_1 = 8f t = 8 * (0.014) = 0.112 \quad (f=0.014)$$

$$hf_{\text{valvula compuerta}} = 0.112 * \frac{5.64^2}{2 * 32.2} * 2 = 1.10\text{ft}$$

$$\text{Perdida por accesorio 4-3} = 1.10 \text{ ft}$$

Sustituyendo y despejando H maquina requerido 007-0401 se tiene:

$$H \text{ maquina requerido } 007-0401 = 140 \text{ ft} - (0.007675 \text{ ft} + 0.04506 \text{ ft} + 0.0178 \text{ ft} + 0.10 \text{ ft} + 0.5269 \text{ ft} + 0.3589 \text{ ft} + 0.098 \text{ ft} + 0.4424 \text{ ft})$$

$H \text{ maquina requerido } 007-0401 = 141.8 \text{ ft}$
--

**Ahora bien como H maquina disponible 007-0401  $\square$  H maquina requerido 007-0401, se propone que la tubería a instalar para la alternativa (2-3) sea de un diámetro mucho menor (2")**

**Tramo 2-3 (2 pulgadas)**

Sustituyendo los siguientes valores: Q=450 gpm y Diámetro interno de tubería= 2.067" en la ecuación 2.8, se obtiene:

$$V_{1-2} = 43 \text{ ft/s}$$

**Se encuentra en la Región 3.** Según la figura 2.2, la ecuación 2.10 se utiliza para el cálculo de pérdidas en la región 3. Con los siguientes valores:

$$V = 43 \text{ ft/s}$$

$$D = 2.067''$$

$$(\Delta H/L)_w = 0.58 * 43^{1.75} * 2.067^{-1.25}$$

$$(\Delta H/L)_w = 168.975 \frac{\text{ft}}{100\text{ft}} = 1.689 \text{ ft/100ft}$$

$$\text{Longitud de tramo } 2-3 = 56'' + 60'' = 116'' = 9.66 \text{ ft}$$

$$\text{Pérdidas en tramo } 2-3 = 9.66 \text{ ft} * 1.689$$

$$\text{Perdidas en tramo 2-3} = 16.31 \text{ ft}$$

**Accesorios tramo 2-3.** Metodología aplicada según cartas Crane.[8] (Ecuación 2.11)

$$1. \text{ hf T ramal} = 1.14 * \left( \frac{43^2}{2 * 32.2} \right) = 32.73 \text{ ft}$$

$$\text{Dónde: } K = 60 * \text{ft} = 1.14 \rightarrow (\text{ft} = 0.019)$$

$$2. \text{ 1 hf codo } 45^\circ = 0.304 * \left( \frac{43^2}{2 * 32.2} \right) = 8.72 \text{ ft}$$

$$\text{Dónde: } K = 16 * \text{ft} = 0.304 \rightarrow (\text{ft} = 0.019)$$

$$\text{Perdidas por accesorio tramo 2-3} = 41.45 \text{ ft}$$

Sustituyendo y despejando H maquina requerido 007-0401 se tiene:

$$\begin{aligned} \text{H maquina requerido 007-0401} &= 140 \text{ ft} - (0.007675 \text{ ft} + 0.04506 \text{ ft} + 0.0178 \text{ ft} + 0.05532 \\ &\text{ft}) + 0.5269 \text{ ft} + 0.7178 \text{ ft} + 41.45 + 16.31 \end{aligned}$$

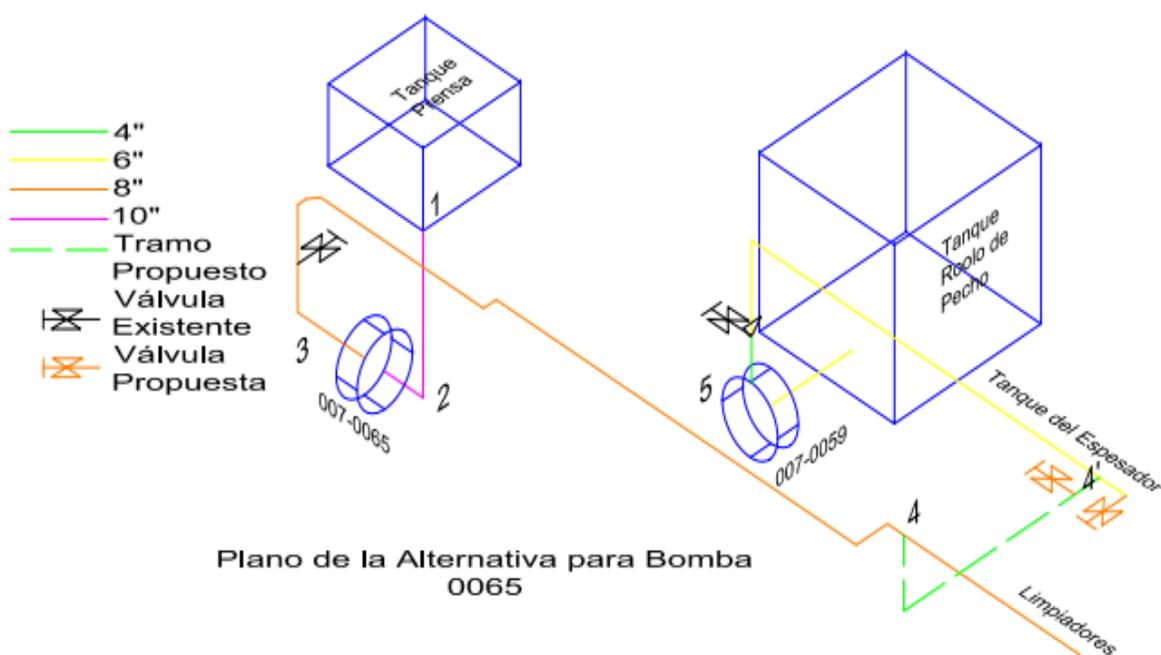
$$\text{H maquina requerido 007-0401} = 198.88 \text{ ft}$$

#### 4.3.26 By pass. Bomba 007-0065

La bomba 007-0065 trabaja con el fluido contenido en el Tanque de Agua para Sellos, el cual se llena por rebose del Tanque de Cucha y es utilizado para mantener el nivel de los limpiadores secundarios y terciarios. La descarga de la bomba 007-0065 se

conecta directamente a la succión la bomba 007-0055 y también suministra agua al Tanque de los Limpiadores Terciarios.

La alternativa propuesta para la bomba 007-0065 es conectar la descarga de la bomba 007-0059 o bomba del Tanque de rollo de pecho, a la succión de la Bomba 007-0055, de ésta manera se puede asegurar mantener el nivel de los limpiadores; se puede observar una representación gráfica en la figura 4.29.



**Figura 4.29.** Alternativa bomba 007-0065

i. Cálculos 007- 0065

Igualando las disponibilidades en el punto cuatro (4), es decir desde el tramo 1-4 y del tramo 5-4:

$$\begin{aligned}
 &H_{\text{tanque de prensa}} + H_{\text{maquina 007-0065}} - h_{f_{\text{accesorio 1-4}}} - h_{f_{\text{tramo 1-4}}} \\
 &= H_{\text{rollo de pecho}} + H_{\text{maquina 007-0059}} - h_{f_{\text{accesorios 6-4}}} \\
 &- h_{f_{\text{tramo 6-4}}}
 \end{aligned}$$

**Tramo 1-2.**

Sustituyendo los siguientes valores: Q=1100 gpm y Diámetro interno de tubería= 10.02” en la ecuación 2.8, se obtiene:

$$V_{1-2}=4.476 \text{ ft/s}$$

Se procede a calcular Vmax con la ecuación 2.4, o Vw con la ecuación 2.9 para determinar la región de trabajo según la figura 2.3. Con los siguientes valores obtenidos en la tabla 1.1:

$$K' = 0.59$$

$$C = 0.7670 \text{ (Consistencia)}$$

$$\sigma = 1.45$$

$$V_{\text{max}}=0.4016 \text{ ft/s}$$

Como  $V_{\text{max}} < V$ , se procede al cálculo de Vw, según ecuación 2.9. Con los mismos valores de K', C y  $\sigma$ .

$$V_w=2.7227 \text{ ft/s}$$

Como  $V_w < V$ , entonces el área de trabajo se encuentra en la región 3.

Según la figura 2.2, la ecuación 2.10 se utiliza para el cálculo de pérdidas en la región 3.

Con los siguientes valores:

$$V = 4.476 \text{ ft/s}$$

$$D = 10.02''$$

$$(\Delta H/L)_w = 0.58 * 4.476^{1.75} * 10.02^{-1.25}$$

$$(\Delta H/L)_w = 0.448 \frac{\text{ft}}{100\text{ft}} = 0.00448 \text{ ft/1ft}$$

Longitud de tramo 1-2= 12.4672 ft (Altura del tanque de prensas)

Perdidas en tramo 1-2= 12.4672 ft \* 0.00448 (Ecuación 2.13)

<p>Perdida en tramo 1-2= 0.056 ft</p>
---------------------------------------

### Tramo 3-4

Sustituyendo los siguientes valores: Q=1100 gpm y Diámetro interno de tubería= 7.981''

en la ecuación 2.8, se obtiene:

$$V_{3-4} = 7.05 \text{ ft/s}$$

$V_{\text{max}}$  y  $V_w$  conserva el mismo valor, debido a que esta formulación matemática es dependiente de la consistencia (C),  $K'$ , y  $\sigma$ , los cuales no varían.

$$V_{\text{max}} = 0.4016 \text{ ft/s}$$

$$V_w = 2.7227 \text{ ft/s}$$

Como  $V_w$  y  $V_{\text{max}} \ll V$ , entonces el área de trabajo se encuentra en la región 3.

Según la figura 2.2, la ecuación 2.11 se utiliza para el cálculo de pérdidas en la región 3.

Con los siguientes valores:

$$V = 7.05 \text{ ft/s}$$

$$D = 7.981''$$

$$(\Delta H/L)_w = 0.58 * 7.05^{1.75} * 7.981^{-1.25}$$

$$(\Delta H/L)_w = 1.32 \frac{\text{ft}}{100\text{ft}} = 0.0132 \text{ ft/1ft}$$

Longitud de tramo 3-4= 89 plg+ 165 plg+110plg+15 plg = 439 plg = 36.58 ft

Perdidas en tramo 3-4 = 36.58 ft \* 0.0132

Perdida en tramo 3-4= 0.483 ft
--------------------------------

**Accesorios tramo 3-4.** Metodología aplicada según cartas Crane. [8] (Ecuación 2.11)

1.  $4 \text{ hf codo } 90^\circ = 0.196 * \frac{7.0210^2}{2^{*32.2}} = 0.15\text{ft} * 4 = 0.6 \text{ ft}$

Donde  $K = 14 * \text{ft} \rightarrow (r/D) = 1.5$

$K = 14 * (0.014) = 0.196$

2.  $\text{hf codo } 45^\circ = 0.224 * \frac{7.0210^2}{2^{*32.2}} = 0.174 \text{ ft} * 4 = 0.696 \text{ ft}$

Donde  $K = 16 * \text{ft} \rightarrow \text{ft} = 0.224$

$K = 16 * (0.014) = 0.224$

Perdidas por accesorio tramo 3-4 = 1.296 ft
---

### Tramo 6-5

Sustituyendo los siguientes valores:  $Q = 500 \text{ gpm}$  y Diámetro interno de tubería= 4.026” en la ecuación 2.8, se obtiene:

$$V_{6-5} = 12.6 \text{ ft/s}$$

Se procede a calcular  $V_{\text{max}}$  con la ecuación 2.4, o  $V_w$  con la ecuación 2.9 para determinar la región de trabajo según la figura 2.2. Con los siguientes valores:

$K' = 0.59$

$$C=0.06 \text{ (Consistencia)}$$

$$\sigma = 1.45$$

$$V_{\max}=0.0354 \text{ ft/s}$$

$$V_w=0.07788 \text{ ft/s}$$

Según la figura 2.2, la ecuación 2.10 se utiliza para el cálculo de pérdidas en la región

3. Con los siguientes valores:

$$D= 4.026''$$

$$V=12.6 \text{ ft/s}$$

$$(\Delta H/L)_w = 0.58 * 12.6^{1.75} * 4.026^{-1.25}$$

$$(\Delta H/L)_w = 8.57 \frac{\text{ft}}{100\text{ft}} = 0.0857 \text{ ft/1ft}$$

Longitud de tramo 6-5 = 13'' = 1.08 ft

Pérdidas en tramo 6-5 = 1.08 ft \* 0.0857 (Ecuación 2.13)

Perdida en tramo 6-5 = 0.09255 ft
-----------------------------------

**Accesorios tramo 6-5.** Metodología aplicada según cartas Crane. [8] (Ecuación 2.11)

1. 1 Válvula tipo compuerta.  $B \square 1$  y  $\Theta \square 45^\circ$   $K_2 = \text{Formula 5}$

$$K_2 = \frac{K_1 + \text{sen} \left( \frac{\Theta}{2} \right) * [0.8 * (1 - \beta^2) + 2.6 * (1 - \beta^2)^2]}{\beta^4}$$

Dónde:

$$\beta = D_1/D_2 = 4''/6'' = 0.66$$

$$\Theta = 20^\circ$$

$$K_2=1.8035$$

$$h_f \text{ válvula} = 1.8035 * \frac{12.6^2}{2 * 32.2} = 4.44 \text{ ft}$$

Perdida por accesorio 6-5 = 4.44 ft
-------------------------------------

### Tramo 5-4

Sustituyendo los siguientes valores: Q=500 gpm y Diámetro interno de tubería= 6.065” en la ecuación 2.8, se obtiene:

$$V=5.55 \text{ ft/s}$$

V<sub>max</sub> y V<sub>w</sub>, siguen manteniendo el valor previamente calculado para el diámetro de 4”.

$$V_{\max}=0.0354 \text{ ft/s}$$

$$V_w=0.07788 \text{ ft/s}$$

La ecuación 2.10 se utiliza para el cálculo de pérdidas en la región, según la figura 2.2:

$$D= 6.065''$$

$$V=5.5 \text{ ft/s}$$

$$(\Delta H/L)_w = 0.58 * 5.5^{1.75} * 6.065^{-1.25}$$

$$(\Delta H/L)_w = 1.22 \frac{\text{ft}}{100\text{ft}} = 0.0122 \text{ ft/100ft}$$

$$\text{Longitud de tramo 5-4} = 129'' = 10.75 \text{ ft}$$

$$\text{Pérdidas en tramo 5-4} = 10.75 \text{ ft} * 0.0122$$

Perdida en tramo 5-4= 0.1311 ft
---------------------------------

**Accesorios tramo 5-4.** Metodología aplicada según cartas Crane.[8] (Ecuación 2.11)

$$1. \text{ hf ramal} = 0.9 * \left( \frac{5.55^2}{2 * 32.2} \right) = 0.4304 \text{ ft}$$

FACULTAD DE INGENIERÍA

Dónde:  $K=60 \cdot ft = 0.9 \rightarrow (ft=0.015)$

$$2. \text{ Codo } 90^\circ = 0.45 \cdot \left( \frac{5.55^2}{2 \cdot 32.2} \right) = 0.2152 \text{ ft}$$

Donde  $K=30 \cdot ft = 0.45 \rightarrow (ft=0.015)$

$$3. \text{ 2 Codo } 45^\circ = 0.21 \cdot \left( \frac{5.55^2}{2 \cdot 32.2} \right) = 0.100 \text{ ft} \cdot 2 = 0.2 \text{ ft}$$

Donde  $K= 14 \cdot ft = 0.21 \rightarrow (r/D=1.5) \rightarrow (ft=0.015)$

Perdida por accesorio 5-4= 0.8456 ft

Sustituyendo y despejando H maquina 007-0059 en:

$$\begin{aligned} H_{\text{tanque de prensa}} + H_{\text{maquina 007-0065}} - h_{f_{\text{accesorio 1-4}}} - h_{f_{\text{tramo 1-4}}} \\ = H_{\text{rollo de pecho}} + H_{\text{maquina 007-0059}} - h_{f_{\text{accesorios 5-4}}} \\ - h_{f_{\text{tramo 5-4}}} \end{aligned}$$

Dónde:

H tanque de prensa= 12.4672 ft

H maquina 007-0065= 45 ft

H rollo de pecho: 6 ft

$$\begin{aligned} H_{\text{maquina 007-0059}} = 12.4672 \text{ ft} + 45 \text{ ft} - 0.056 \text{ ft} - 0.483 \text{ ft} - 1.296 \text{ ft} + 0.09255 \text{ ft} + \\ 4.44 \text{ ft} + 0.1311 \text{ ft} + 0.8465 \text{ ft} \end{aligned}$$

H maquina requerido 007-0059= 61.1414 ft

**Como H maquina disponible 007-0059  $\square$  H maquina requerido 007-0059, entonces se puede considerar asignar un diámetro menor (4") al tramo de tubería a**

instalar (4'-4) para cumplir con alternativa propuesta y así minimizar los costos, esta consideración aumentara las perdidas, por lo cual el H maquina requerido aumentara proporcionalmente.

Para tramo de tubería 4"

Red de tubería de la bomba 007-0065.

**Tramo 1-2**

Perdida en tramo 1-2= 0.056 ft

**Tramo 3-4**

Perdida en tramo 3-4= 0.483 ft

Perdidas por accesorio tramo 3-4 = 1.296 ft

Red de tubería asociada a la bomba 007-0059.

**Tramo 6-5**

Perdida en tramo 6-5= 0.09255 ft

Perdida por accesorio 6-5 = 4.44 ft

**Tramo 5-4'**

Ahora bien, las pérdidas para el tramo de 6" se calculan con la ecuacion 2.10

$$(\Delta H/L)_w = 1.22 \frac{\text{ft}}{100\text{ft}} = 0.0122 \text{ ft/1ft}$$

Tramo de tubería 5-4' = 49''+50'' = 99'' = 8.25 ft

Perdidas en tramo 5-4' = 8.25 ft \* 0.0122

Perdida en tramo 5-4' = 0.1006 ft

**Perdida por accesorio tramo 5-4'. Metodología Cartas crane. [8]**

$$1. \text{ Codo } 90^\circ = K * \frac{V^2}{2 * g} = 0.45 * \left( \frac{5.55^2}{2 * 32.2} \right) = 0.2152 \text{ ft}$$

Donde  $K=30 * f = 0.45 \rightarrow (f=0.015)$

Perdida por accesorio tramo 5-4' = 0.2152 ft

### Tramo 4'-4 (tubería 4'')

Ahora bien, las pérdidas para el tramo 4'-4 con tubería de 4''.

Sustituyendo los siguientes valores: Q=500 gpm y Diámetro interno de tubería= 4.026''

en la ecuación 2.8, se obtiene:

$$V = 12.6 \text{ ft/s}$$

La ecuación 2.10 se utiliza para el cálculo de pérdidas en la región 3. Según la figura

2.2. Con los siguientes valores

$$D = 4.026''$$

$$V = 12.6 \text{ ft/s}$$

$$(\Delta H/L)_w = 0.58 * 12.6^{1.75} * 4.026^{-1.25}$$

$$(\Delta H/L)_w = 8.57 \frac{\text{ft}}{100\text{ft}} = 0.0857 \text{ ft/1ft}$$

Longitud de tramo 4'-4 = 15'' + 15'' = 30'' = 2.5 ft

Perdidas en tramo 4'-4 = 2.5 ft \* 0.0857

$$\text{Perdida en tramo } 4'-4 = 0.2142 \text{ ft}$$

**Accesorios tramo 4'-4.** Metodología aplicada según cartas Crane.[8] (Ecuación 2.11)

$$1. \text{ hf ramal} = 1.02 * \left( \frac{12.66^2}{2 * 32.2} \right) = 2.5385 \text{ ft}$$

$$\text{Dónde: } K = 60 * \text{ft} = 1.02 \rightarrow (\text{ft} = 0.017)$$

$$2. \text{ Válvula compuerta (conserva diámetro). } \beta = 1 \text{ y } \Theta = 0$$

$$K_1 = 8 \text{ ft} = 8 * (0.017) = 0.136 \quad (\text{ft} = 0.017)$$

$$\text{hf valvula compuerta} = 0.136 * \frac{12.66^2}{2 * 32.2} = 0.3384 \text{ ft ft}$$

$$\text{Perdida por accesorios } 4'-4 = 2.8684 \text{ ft}$$

Ahora con la ecuación:

$$\begin{aligned} H_{\text{tanque de prensa}} + H_{\text{maquina } 007-0065} - hf_{\text{accesorio } 1-4'} - hf_{\text{tramo } 1-4'} \\ = H_{\text{rollo de pecho}} + H_{\text{maquina } 007-0059} - hf_{\text{accesorios } 6-4} \\ - hf_{\text{tramo } 6-4} \end{aligned}$$

Se procede a despejar H maquina 007-0059.

$$\begin{aligned} H_{\text{maquina requerido } 007-0059} = 12.467 \text{ ft} + 45 \text{ ft} - 0.056 \text{ ft} - 1.296 + 0.09255 \text{ ft} + 4.44 \\ \text{ft} + 0.1 \text{ ft} + 0.2152 \text{ ft} + 0.2142 \text{ ft} + 2.8684 \text{ ft} \end{aligned}$$

$$H_{\text{maquina requerido } 007-0059} = 63.30 \text{ ft}$$

Como H maquina disponible 007-0059 □ H maquina requerido 007-0059, entonces se puede considerar asignar un diámetro menor (2") al tramo de tubería a instalar (4'-4)

### Tramo 4'-4 (tubería 2")

Ahora bien, las pérdidas para el tramo 4'-4 con tubería de 2".

Sustituyendo los siguientes valores: Q=500 gpm y Diámetro interno de tubería= 2.067" en la ecuación 2.8, se obtiene:

$$V=47.8\text{ft/s}$$

La ecuación 2.10 se utiliza para el cálculo de pérdidas en la región 3. Según la figura 2.2. Con los siguientes valores

$$D= 2.067''$$

$$V=47.8 \text{ ft/s}$$

$$(\Delta H/L)_w = 0.58 * 47.8^{1.75} * 2.067^{-1.25}$$

$$(\Delta H/L)_w = 203.35 \frac{\text{ft}}{100\text{ft}} = 2.0335 \text{ft/1ft}$$

$$\text{Longitud de tramo } 4'-4 = 15'' + 15'' = 30'' = 2.5 \text{ ft}$$

$$\text{Perdidas en tramo } 4'-4 = 2.5 \text{ ft} * 2.0335$$

Perdida en tramo 4'-4= 5.0837ft
---------------------------------

**Accesorios tramo 4'-4.** Metodología aplicada según cartas Crane.[8] (Ecuación 2.11)

$$1. \text{ hf ramal} = 1.14 * \left( \frac{47.8^2}{2 * 32.2} \right) = 40.44 \text{ ft}$$

$$\text{Dónde: } K=60 * \text{ft} = 1.14 \rightarrow (\text{ft}=0.019)$$

$$3. \text{ Válvula compuerta (conserva diámetro). } \beta=1 \text{ y } \Theta = 0$$

$$K1 = 8ft = 8 * (0.019) = 0.152 \quad (ft=0.019)$$

$$hf \text{ valvula compuerta} = 0.152 * \frac{47.8^2}{2 * 32.2} = 5.39 \text{ ft ft}$$

Perdida por accesorios 4'-4= 45.83 ft
---------------------------------------

Ahora con la ecuación:

$$\begin{aligned}
 H_{\text{tanque de prensa}} + H_{\text{maquina 007-0065}} - hf_{\text{accesorio 1-4'}} - hf_{\text{tramo 1-4'}} \\
 = H_{\text{rollo de pecho}} + H_{\text{maquina 007-0059}} - hf_{\text{accesorios 6-4}} \\
 - hf_{\text{tramo 6-4}}
 \end{aligned}$$

Dónde:

Se procede a despejar H maquina 007-0059.

$$\begin{aligned}
 H \text{ maquina requerido 007-0059} = & 12.467 \text{ ft} + 45 \text{ ft} - 0.056 \text{ ft} - 1.296 \text{ ft} + 0.09255 \text{ ft} + \\
 & 4.44 \text{ ft} + 0.1 \text{ ft} + 0.2152 \text{ ft} + 5.08 \text{ ft} + 45.83 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

H maquina requerido 007-0059= 125.35ft
--

**Como H maquina disponible 007-0059  $\square$  H maquina requerido 007-0059, no es recomendable utilizar diámetro de tubería = 2", para el tramo 4'-4(tramo a instalar para la alternativa propuesta).**

#### 4.3.27 By pass. Bomba 007-0054

La bomba 007-0054, o bomba de tanque máquina, es una de las bombas más importantes del proceso operativo, debido a que en dicho tanque se alcanza la

consistencia adecuada para continuar el proceso, en pocas palabras es el último tanque en donde es posible realizar variaciones de consistencia de la pasta con la adición de agua. Por esta considerable razón, dicho tanque cuenta con una bomba auxiliar, que por razones desconocidas fue retirada de su base. Lo cual implica que una parada de esta bomba o tanque maquina ocasionaría una parada de la máquina papelera.

De esta manera se puede acotar que la bomba 007-0058 ubicada en el tanque de regaderas, es del mismo modelo que la bomba 007-0054 del tanque máquina. Así mismo, como se pudo observar previamente la bomba 007-0058 ya posee una alternativa bajo la cual el proceso puede seguir operando de manera satisfactoria. Debido a esto, la propuesta para la bomba 007-0054 parte desde el hecho de colocar la bomba 007-0058 en la base de la bomba auxiliar realizando las respectivas modificaciones de tubería de succión y descarga para su respectivo acople. Así como conectar la descarga de la tubería de descarga de la bomba 007-0401 con la tubería de descarga de la boba 007-0058 **(alternativa 007-0058)**

#### **4.4 Inventario de repuesto.**

El inventario de repuesto para las bombas operativas actualmente en la maquina papelera 06, sigue la metodología de búsqueda en los registros de mantenimiento realizado durante el tiempo que ha estado operativa la bomba en el proceso. Dicha información se encuentra explícita en las “fichas técnicas”, y especifica los trabajos realizados así como piezas o elementos cambiadas y modelos

**4.4.1 Bomba 007-0028 (6-PH-18)**

**Tabla 4.55 .Inventario repuesto bomba 007-0028**

Repuesto	Información adicional
2 Rodamientos SKF 7413 BG	Rodamiento lado acople
Rodamiento SKF 6316	Rodamiento opuesto
Tuerca de seguridad	Tuerca AN-13
Arandela	Arandela W-13
Empacadura	5/8" = 15,875 mm
Bocina	D int: 2 7/8" = 2,875" = 73,025 MM D ext: 3 1/2" X 5 5/32"
Impulsor	15 1/2"
Estopera 24263 (L.A.)	D.I. = 2,439" = 61,95 MM
Estopera 355305 (L.O.A.)	D.I. = 3,5" = 3 1/2" = 88,9 MM
Anillo de enfriamiento	Anillo 661 /4-PH-15
O' Ring	Diámetro 8" #264 1/8" Espesor

**4.4.2 Bomba 007-0052 (4-PH-15)**

**Tabla 4.56.** Inventario repuesto bomba 007-0052

Repuesto	Información adicional
2 Rodamientos SKF 7413 BG	Rodamiento lado acople
Rodamiento SKF 6316	Rodamiento opuesto
Tuerca de seguridad	Tuerca AN-13
Arandela	Arandela W-13
Empaquetadura	MM-5320 D ext: 5/8" (sq 4 3/4 X 3 1/2)
Bocina (Bocina Bronce Warren 6-PH-15)	D int: 2 7/8" = 2,875" = 73,025 MM D ext: 3 1/2" X 5 5/32"
Impulsor	14"
Estopera 24263 (L.A.)	D.I. = 2,439" = 61,95 MM
Estopera 355305 (L.O.A.)	D.I. = 3,5" = 3 1/2" = 88,9 MM
Anillo de enfriamiento	Anillo 661 / 4-PH-15

#### 4.4.3 Bomba 007-0047 y Bomba 007-0065 (6-DTB-12)

**Tabla 4.57.** Inventario repuesto bomba 007-0047 y 007-0065

Repuesto	Información adicional
Rodamiento Z 9608	Rodamiento lado acople
Rodamiento SKF 5608	Rodamiento opuesto
Rodamiento SKF 4205	N/A
2 Rodamientos 7304	N/A
4 estoperas	1 9/16 x 2 1/2 x 1/2"
Empaquetadura 3255	3/8"
Bocina	1/8" x 2 3/4" x 6 7/8"

**4.4.4 Bomba 007-0051, bomba 007-0053 y bomba 007-0030 (4-PL-15)**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Tabla 4.58.** Inventario repuesto bomba 007-0051, 007-0053 y 007-0030

Repuesto	Información adicional
2 Rodamientos 7410 BG	Rodamiento lado acople
Rodamiento SKF 6313	Rodamiento opuesto
Empaquetadura	MM-5320 DE 1/2"
Estopera 3188 (L.A.)	I.D = 1 7/8" = 47,63MM
Estopera 455006-N (L.O.A)	I.D = 2 7/8" = 73,03MM
Estopera	1 7/16" x 2 1/4" x 3/8"
Impulsor	3/4" (007-0053) 13 1/2" (007-0051) 13/1/2" (007-0030)
Bocina	Tipo (IV). 2 1/4" x 2 7/8" x 3 5/8"
Arandela	Arandela W-10
Tuerca lado acople	Tuerca N 10
O' Ring	1/8" x 6"

**4.4.5 Bomba 007-0054 y Bomba 007-0058 (6-PL-18)**

**Tabla 4.59.** Inventario repuesto bomba 007-0054 y 007-0058

UNIVERSIDAD DE CARABOBO

Repuesto	Información Adicional
2 Rodamientos SKF 7413 BG	Rodamiento lado acople
Rodamiento SKF 6316	Rodamiento opuesto
Eje	Plano anexo
Arandela	Arandela W-13
Empaquetadura	5/8"
Bocina bronce	D int 2 7/8" x D ext 3 1/2" x 5 1/4"
Impulsor	16 3/4" (007-0054) 18" (007-0058)
Estopera 24263 (L.A.)	D.I. = 2,439" = 2 7/16" x 3 1/8" x 3/8"
Estopera 355305 (L.O.A.)	D.I. = 3,5" = 3 1/2" x 4 3/8" x 1/2"
O' Ring	PR264
Bocina bronce	D int 2 7/8" x D ext 3 1/2" x 5 1/4"

**4.4.6 Bomba 007-0070 (8-PL-15)**

**Tabla 4.60.** Inventario repuesto bomba 007-0070

Repuesto	Información adicional

FACULTAD DE INGENIERÍA

Bocina bronce	2.250" x 2.875" x 4 3/8"
Rodamiento SKF 740 BG	Lado acople
Rodamiento Nd 3313	Lado opuesto acople
Empaquetadura 5320	1/2"
Estopera	1 7/8" x 2 7/8" x 5/16"
Estopera	7/8" x 4" x 3/8"

**4.4.7 Bomba 007-0060 y Bomba 007-0064 (747-A70)**

**Tabla 4.61.** Inventario repuesto bomba 007-0060 y 007-0064

Repuesto	Información adicional
----------	-----------------------

UNIVERSIDAD DE CARABOBO

Rodamiento FAFNIR P – 5310 WG	Rodamiento lado acople
Rodamiento FAFNIR P – 310 K	Rodamiento opuesto
Impulsor	10”
Rodamiento 6310 SKF	Rodamiento 3310
Empaquetadura 3255	½”
Estopera	7/8” x 2 5/8” x 3/8”

**4.4.8 Bomba 007-0059 (747-A80)**

**Tabla 4.62.** Inventario repuesto bomba 007-0059

Repuesto	Información adicional
----------	-----------------------

FACULTAD DE INGENIERÍA

Rodamiento FAFNIR P- 530 WG	Rodamiento lado acople
Rodamiento FAFNIR P – 310 K = 3310 = 6310	Rodamiento opuesto
Impulsor	10 1/16"
Estopera 473238	1 7/8" x 2 7/8" x 5/16"
Sello de aceite (INT)	187-262-12
Sello aceite (EXT)	125-200-12
Empaquetadura 3255	½"

**4.4.9 Bomba 007-0061 (4-DTB-13)**

**Tabla 4.63.** Inventario repuesto bomba 007-0061

Repuesto	Información adicional
----------	-----------------------

UNIVERSIDAD DE CARABOBO

Rodamiento ND 5607	Rodamiento lado acople
Rodamiento Z 9607	Rodamiento opuesto
Rodamiento	6307 SKF
Estopera	1 ½ x 2 ¼ x ¼
Estopera	1 ¼ x 1 7/8 x ¼
Bocina Tipo II	2 ½" x 2 15/64" x 5"
Rodamiento	5307-2Z
Empaquetadura 5320	3/8"

**4.4.10 Bomba 007-0062 (12-DTB-14)**

**Tabla 4.64.** Inventario repuesto bomba 007-0062

Repuesto	Información adicional
Rodamiento ND 5610	Rodamiento lado acople

FACULTAD DE INGENIERÍA

Rodamiento Z 9610	Rodamiento opuesto
Rodamiento	3310 B
Rodamiento	6310 ZZ
Estopera	470898

**4.4.11 Bomba 007-0067 y Bomba 007-0055 (5-DTB-14)**

**Tabla 4.65.** Inventario repuesto bomba 007-0067 y bomba 007-0055

Repuesto	Información adicional
----------	-----------------------

UNIVERSIDAD DE CARABOBO

Impulsor	13 1/8" (007-0067) 13 1/2" (007-0055)
Rodamiento ND 5608	Rodamiento lado acople
Rodamiento Z 9608	Rodamiento opuesto
Rodamiento	6308
Rodamiento	3308B
Empaquetadura GARLOCK	1/2"
Estopera	45 mm x 60 mm x 10 mm
Bocina tipo I	2 3/4" x 1 15/16" x 6 17/16"

**4.4.12 Bomba 007-0069 (6/5-PH-12)**

**Tabla 4.66.** Inventario repuesto bomba 007-0069

FACULTAD DE INGENIERÍA

Repuesto	Información adicional
Rodamiento SKF 7410	Rodamiento lado acople
Rodamiento ND 3313	Rodamiento opuesto
Estopera 3188 (L.A.)	1 7/8" x 2 7/8" x 1/2"
Estopera455006-N (L.O.A)	2 7/8" x 3 3/4" x 1/2"
Empaquetadura	MM-5320 DE 1/2"

**4.4.13 Bomba 007-0075 (16-DLB-20)**

**Tabla 4.67.** Inventario repuesto bomba 007-0075

UNIVERSIDAD DE CARABOBO

Repuesto	Información adicional
Rodamiento HYATT (1) A-5218 1218 TS	Rodamiento lado acople
Rodamiento SKF (1) 5315 = 3315	Rodamiento opuesto
Empaquetadura encebada	5/8"
Bocina tipo IV	11 9/16" x 3 5/8" Dext= 4 13/16
Rodamiento	MA 5218 BONER O 3218

**4.4.14 Bomba 007-0080 (4-PL-12)**

**Tabla 4.68.** Inventario repuesto bomba 007-0080

Repuesto	Información adicional
----------	-----------------------

FACULTAD DE INGENIERÍA

Estopera	1 7/8" x 2 5/8" x 3/8"
Junta expansión	8" x 12 1/2"
Tornillo de acople	3/8" x 1"
Rodamiento ND 3313	Rodamiento opuesto
Rodamiento 7410 = 7410 BG	Rodamiento lado acople
Empaquetadura	5320
Estopera	45 x 53 x 55

**4.4.15 Bomba 007-0056 (Sulzer A2 125-250)**

**Tabla 4.69.** Inventario repuesto bomba 007-0056

Repuesto	Información adicional
Rodamiento 6308 ZZ	Rodamiento lado acople y opuesto

## UNIVERSIDAD DE CARABOBO

Sello mecánico	1 ½"
Bocina	1 5/16" x 1 ½" x 2 3/8"
O' ring	PR2-370
Tuerca hexagonal	7/8" NF

### **CONCLUSIONES.**

- Dentro del proceso productivo de la maquina papelera 06 es imprescindible para su apropiado funcionamiento mantener un nivel estricto de caudal en la caja de entrada sobre la mesa de formación, debido a que este caudal sobre la malla y

fieltro representa el espesor de lo que será la hoja de papel. Asegurando el caudal también se asegura la consistencia (0.21 g/100ml) del fluido que ingresa a la mesa de formación.

- La optimización de un programa de mantenimiento influye notablemente sobre la productividad y el rendimiento de una empresa. Es importante acotar que un programa de mantenimiento debe regirse bajo una secuencia de actividades, que inicia con la evaluación del equipo, donde de haber algún problema se continua con la organización del tipo de mantenimiento a realizar dependiendo del elemento averiado (donde se refleje lo que se tiene que hacer, y lo que se necesita para realizarlo) y por último la puesta en funcionamiento del equipo. Todas estas actividades deben ser notificadas al personal de la empresa.
- Los problemas de desgaste más comunes de las bombas centrífugas que manejan pasta, se dan en las empaquetaduras, o sellos mecánico, bocina del eje, rodamientos, siendo eventos estos los que ocurren con más frecuencia, y los menos complejos al momento de resolverlos. Pero que a su vez son los más influyentes por la continuidad de sus apariciones. De igual manera siguen el eje y el impulsor, con más tiempo de vida útil pero que conllevan más tiempo debido a la fabricación de cualquiera de estos dos elementos.

- Dentro del proceso de producción de papel, la consistencia inicial de la pasta pasa por constantes cambios, esto se monitorea a través de indicadores de consistencia, que simultáneamente son controladores automáticos; el control de la consistencia se logra a través de aperturas de válvulas que traen “agua fresca” desde la caldera y alimentan la succión de las bombas asociadas a los tanques de pasta, dependiendo del producto que se vaya a generar, se debe trabajar con una consistencia específica.
- Existe la posibilidad de utilizar como vía alterna una bomba que se encuentre dentro de la misma línea de producción y no sea indispensable para la misma, por ejemplo en el caso de la bomba asociada al Tanque de Pasta n°3 (007-0054), se trata de una bomba Warren 6-PL-18, de no funcionar esta bomba no se podría bombear pasta a la mesa de formación por lo que la producción se detendría. Existe una bomba del mismo modelo dentro de la línea de producción en el Tanque de las Regaderas, la bomba 007-0058 se puede utilizar como bomba auxiliar paralelo de la bomba 007-0054, de esta manera no se detendría la producción y se pondrían alimentar las regaderas con “Agua Fresca”. O con la bomba 007-0401 que representa una alternativa en la cláusula **4.3.27**.
- Las alternativas propuestas garantizan la continuidad del proceso productivo, disminuyendo el tiempo perdido por paradas no programadas, asegurando el compromiso riguroso de la Norma ISO 4119 método numérico TAPPI T240 , así como la demanda de caudal y presión requerida

**RECOMENDACIONES.**

- Se debe guardar registro de planos, de cada una de las piezas que forman el sistema hidráulico las bombas centrifugas, bien sean proporcionados por el

fabricante o que se realizaron durante la primera parada, de igual manera deben ser archivados con su respectiva identificación.

- Monitorear la consistencia al momento de proponer alternativas de flujo dentro del proceso es de vital importancia, si se propone utilizar un flujo de una etapa distinta del proceso para alimentar una vía alterna, es necesario cerciorarse de que la consistencia se mantenga o de lo contrario determinar de ser posible, una caudal nuevo que permita mantener la consistencia al juntarse con la vía que este siendo alimentada. Esto se presenta en el flujo que manejan los equipos de recuperación de pasta y agua (filtro Albany y filtro de vacío) cuya consistencia debe presentarse dentro de unos rangos pre establecidos por el fabricante. Como es el caso de la alternativa de la bomba 007-0053 que es la encargada de enviar pasta con altos niveles de consistencia (3.8 g/100ml) a la bomba 007-0070 para controlar la consistencia que debe enviarse al filtro de vacío., y así recuperar pasta.
- Debido a los diferentes caudales y consistencias que deben mantenerse en un valor designado en la operatividad de la maquina papelera 06 puede dificultarse la búsquedas de alternativas entre etapas de bombeo, que la opción de tener una bomba en paralelo que se maneje bajo las mismas condiciones de operación, u otra bomba lista en almacén para ser instalada.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

## FACULTAD DE INGENIERÍA

- [http://books.google.co.ve/books?id=DS\\_AkW9uiUgC&printsec=frontcover&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](http://books.google.co.ve/books?id=DS_AkW9uiUgC&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false). [1]
- <http://intellectum.unisabana.edu.co:8080/jspui/handle/10818/4956>. [2]
- <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221712008983>. [3]
- <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0098135405001985XXXXXX>  
X. [4]
- TAPPI: T 240 om-02 Consistency (concentration) of pulp suspensions. [5]
- GOULDS PUMPS, INC. Industrial products group. Seneca Falls New York  
13148. [6]
- Handbook of PULPING AND PAPERMARKING. Publicacion Julio 1996.  
Elsevier Science & Technology books. [7]
- Hidraulic Institute Pipe Friction Manual. [8]