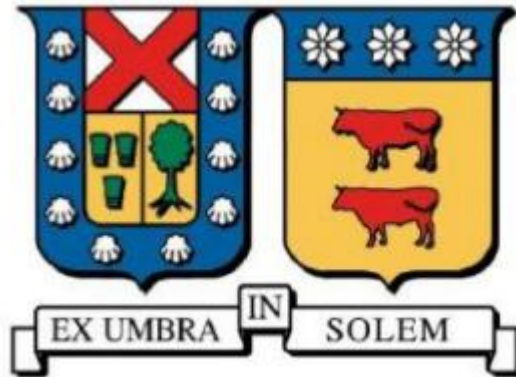


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
VALPARAÍSO-CHILE



**“ANÁLISIS DE LA GESTIÓN EFICIENTE DE PLANTA
DE SUMINISTRO DE AGUA FRESCA EN FAENA
MINERA DE ALTURA”**

JAVIER ELÍAS BUSTOS FLORES

MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL MECÁNICO

PROFESOR GUIA: MG.ING. JAIME ESPINOZA SILVA

PROFESOR CO-REFERENTE: DR.-ING. ROMAIN GERS

DICIEMBRE - 2017

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quiero agradecer a mi familia por el apoyo constante y gran esfuerzo vertido en esta larga etapa de mi vida, a mi madre Giovannina y su constante preocupación por mi bienestar, a mi padre José por su constante apoyo moral y respaldo en mis decisiones en los buenos y malos momentos universitarios, fueron un pilar fundamental. A Silvana por acompañarme en la mayor parte de mi vida universitaria y lo que sigue después de esta, su paciencia y comprensión en todo momento pero principalmente su presencia y amor entregado.

Agradecer profundamente a mis Profesores por ser los principales guías del conocimiento adquirido y lograr moldear a excelentes personas y profesionales, con sus palabras, enseñanzas y motivaciones el trayecto se hace más liviano y mejor.

Agradecer también a todos mis amigos y amigas presentes durante esta etapa y que siguen acompañándome en las etapas seguidas, Chato, Emma, Nicolás, Félix, entre muchos otros que fueron y son amigos de equipo y carrete.

Finalmente agradecer a mis ex compañeros y jefes de trabajo, especialmente a J. Rubiño, por la buena voluntad, disposición y buena onda al momento de solicitar su ayuda, al igual que los trabajadores.

RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo realizado en el Sistema de Agua Fresca de una Faena Minera, consistió en un levantamiento de información de bombas centrífugas, caudales, alturas y configuración de estos elementos, con lo que se pudo obtener la información y puntos de operación de las estaciones. A raíz de esto se obtuvo la energía que ocupa el Sistema completo de Agua Fresca para poder cumplir con los requerimientos que se tienen desde otros sistemas. Siendo la energía y el agua recursos muy importantes dentro de la región, se busca que el uso de estos sea el más eficiente posible ya que son cada vez más caros.

El Sistema de Agua Fresca está compuesto por 6 Estaciones de Impulsión de Agua Fresca y finalmente una Piscina de Agua Fresca por lo que el análisis se centró en la energía que se utiliza para bombear 1600 metros cúbicos por hora y lograr tener un mínimo de agua disponible en la Piscina de Agua Fresca. Para esto se analizó el consumo energético y las curvas características del sistema. En base a esto finalmente se propone un cambio en la configuración de los equipos, para disminuir el gasto energético y los costos por el funcionamiento de las Estaciones.

En todas las Estaciones se identificó una baja eficiencia en el uso de la energía para impulsar el agua, llegando a sumar en total 16.000 MWh extras durante el año que se traducen en US\$ 1.125.000 extras en el año. Por lo que se analizó las curvas de cada Estación como un Sistema obteniendo la Curva del Sistema. Como resultado de este análisis se logró determinar que la distribución de Caudal se puede mejorar en cuanto a Eficiencia y manteniendo la Eficacia del proceso, con una reducción de la cantidad de equipos por Estación. Se propone reducir a 2 la cantidad de bombas de la primera estación y a 3 bombas en las restantes Estaciones. Con lo cambios propuestos se lograría tener un ahorro de 27.000 MWh al año reflejados en US\$ 1.900.000 durante el mismo periodo.

ABSTRACT

The present work carried out in the Freshwater System of a Mining Site, consisted of a survey of information of centrifugal pumps, flows, heights and configuration of these elements, with which the information and operation points of the seasons. As a result of this, the energy occupied by the complete freshwater system was obtained to meet the requirements that are available in other systems. Energy and water are very important resources within the region, its use is intended to be as efficient as possible since they are increasingly expensive.

The freshwater system consists of 6 freshwater stations and finally a freshwater pool, so the analysis focused on the energy used to pump 1600 cubic meters per hour and achieve a minimum of water available in the pool. sweet water. For this, the energy consumption and the characteristic curves of the system were analyzed. Based on this, a change in the configuration of the equipment is finally proposed, in order to reduce the cost of energy and the costs for the operation of the Stations.

In all the stations, a low efficiency in the use of energy was identified to boost water, adding up to an additional 16,000 MWh during the year, which translates into an extra US \$ 1,125,000 in the year. Therefore, the curves of each Station were analyzed as a System obtaining the System Curve. As a result of this analysis it was possible to determine that the distribution of flow can be improved in terms of efficiency, maintaining the efficiency of the process, with a reduction in the number of equipment per station. It is proposed to reduce to 2 the number of pumps of the first station and 3 pumps in the remaining stations. With the proposed changes it would be possible to have a saving of 27,000 MWh per year reflected in US \$ 1,900,000 during the same period.

GLOSARIO

| | |
|-----------------|---|
| P : | Presión [bar]. |
| Z : | Altura de referencia [m]. |
| V : | Velocidad del fluido [m/s]. |
| g : | Aceleración de gravedad [m/s ²]. |
| Δh : | Pérdida de carga [m]. |
| Q : | Caudal [m ³ /hr]. |
| H : | Altura manométrica [m]. |
| η : | Rendimiento de una bomba [-]. |
| h_r : | Altura requerida por un sistema de bombeo [m.c.a]. |
| h_l : | Pérdida total de carga en un sistema [m.c.a]. |
| $I.E$: | Indicador Energético [KWh/m ³]. |
| Z_1 : | Energía Potencial del fluido, a cierta altura [-]. |
| H_j : | Pérdidas de Carga que sufre el fluido [m]. |
| H_b : | Energía inyectada al fluido, en este caso por una bomba [m]. |
| S : | Sección o Área transversal a la dirección del fluido [m ²]. |
| NPSH: | “Net Positive Suction Head” o Altura Neta Positiva de Aspiración [m]. |
| H_{jt} : | Pérdidas de carga [m]. |
| H_A : | Carga total [m]. |
| H_{stat} : | Componente Estático de la Carga total [m]. |
| H_{dyn} : | Componente Dinámico de la Carga total [m]. |
| Pot_{elect} : | Potencia Eléctrica [W]. |

INDICE GENERAL

| | |
|--|----|
| AGRADECIMIENTOS | 3 |
| RESUMEN EJECUTIVO | 4 |
| GLOSARIO | 5 |
| INDICE DE TABLAS | 10 |
| INDICE DE ILUSTRACIONES | 11 |
| 1. INTRODUCCIÓN | 12 |
| 2. OBJETIVOS | 13 |
| 2.1 OBJETIVO GENERAL | 13 |
| 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 13 |
| 3. ESTADO DEL ARTE..... | 14 |
| 3.1 SISTEMAS DE IMPULSIÓN DE AGUA FRESCA..... | 15 |
| 3.1.1 ESTACIONES DE IMPULSIÓN | 16 |
| 3.1.2 MAQUINAS HIDRÁULICAS | 16 |
| 3.1.3 BOMBAS CENTRÍFUGAS | 17 |
| 3.1.3.1 BOMBAS CENTRÍFUGAS HORIZONTALES | 19 |
| 3.1.3.2 BOMBAS CENTRÍFUGAS VERTICALES | 20 |
| 3.1.3.3 BOMBAS CENTRÍFUGAS DE UNA ETAPA | 21 |
| 3.1.3.4 BOMBAS CENTRÍFUGAS DE VARIAS ETAPAS (MULTIETAPAS)..... | 22 |
| 3.1.3.5 CURVASCARACTERÍSTICAS DE UNA BOMBA | 22 |
| 3.1.3.6 CONFIGURACIÓN EN PARALELO Y EN SERIE | 24 |
| 3.1.4 ALTURA TOTAL Y CURVA DE UN SISTEMA DE BOMBEO | 26 |
| 3.1.4.1 CARGA ESTÁTICA | 26 |
| 3.1.4.2 CARGA DINÁMICA | 27 |
| 3.1.4.3 CURVA CARACTERÍSTICA DE UN SISTEMA DE BOMBEO | 27 |
| 3.1.5 CURVA DE LA BOMBA V/S CURVA DEL SISTEMA..... | 29 |
| 3.1.6 ESTANQUES | 30 |
| 3.2 CONSUMO ELÉCTRICO Y COSTOS DE OPERACIÓN..... | 31 |
| 3.2.1 CAUDAL INVOLUCRADO..... | 31 |
| 3.2.2 POTENCIA ELÉCTRICA (BOMBA Y MOTOR) | 32 |
| 3.2.3 TIEMPO DE FUNCIONAMIENTO DE LOS EQUIPOS..... | 33 |
| 3.2.4 COSTOS OPERACIONALES | 33 |

| | |
|---|----|
| 3.2.4.1 COSTOS OPERACIONALES Y DE MANTENIMIENTO | 33 |
| 3.2.4.2 COSTO DEL kWh | 34 |
| 3.2.5 INDICADOR ENERGÉTICO | 34 |
| 3.3 PROYECTO MINERA, GERENCIA DE SUMINISTRO | 35 |
| 4. DESARROLLO DEL ANALISIS DE GESTIÓN EFICIENTE..... | 36 |
| 4.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... | 36 |
| 4.2 LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN | 37 |
| 4.2.1 ESTACIÓN DE IMPULSIÓN N°1..... | 38 |
| 4.2.2 ESTACIÓN DE IMPULSIÓN N°2..... | 40 |
| 4.2.3 ESTACIÓN DE IMPULSIÓN N°3..... | 44 |
| 4.2.4 ESTACIÓN DE IMPULSIÓN N°4..... | 47 |
| 4.2.5 ESTACIÓN DE IMPULSIÓN N°5..... | 50 |
| 4.2.6 ESTACIÓN DE IMPULSIÓN N°6..... | 52 |
| 4.2.7 PISCINA DE AGUA FRESCA (PAF) | 55 |
| 4.3 ANÁLISIS DE DATOS | 56 |
| 4.3.1 ESTACIÓN DE IMPULSIÓN N°1..... | 56 |
| 4.3.2 ESTACIÓN DE IMPULSIÓN N°2..... | 60 |
| 4.3.3 ESTACIÓN DE IMPULSIÓN N°3..... | 62 |
| 4.3.4 ESTACIÓN DE IMPULSIÓN N°4..... | 65 |
| 4.3.5 ESTACIÓN DE IMPULSIÓN N°5..... | 67 |
| 4.3.6 ESTACIÓN DE IMPULSIÓN N°6..... | 70 |
| 4.3.7 COSTOS EXTRAS TOTALES | 73 |
| 4.3.8 RESULTADO ANÁLISIS DE GESTIÓN EFICIENTE | 73 |
| 5. PROPUESTA DE CAMBIO PARA MEJORA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA | 75 |
| 5.1 DISMINUCIÓN DE EQUIPOS DE BOMBEO | 75 |
| 5.1.1 CAMBIOS EN ESTACION DE IMPULSIÓN N°1 | 76 |
| 5.1.2 CAMBIOS EN ESTACION DE IMPULSIÓN N°2 | 77 |
| 5.1.3 CAMBIOS EN ESTACION DE IMPULSIÓN N°3 | 79 |
| 5.1.4 CAMBIOS EN ESTACION DE IMPULSIÓN N°4 | 80 |
| 5.1.5 CAMBIOS EN ESTACION DE IMPULSIÓN N°5 | 82 |
| 5.1.6 CAMBIOS EN ESTACION DE IMPULSIÓN N°6 | 83 |
| 5.2 RESUMEN AHORROS POR CAMBIO PROPUESTO | 85 |
| 5.3 DISEÑO FINAL DEL SISTEMA..... | 86 |

| | |
|--|-----|
| 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 87 |
| 7. REFERENCIAS..... | 89 |
| 8. ANEXOS | 90 |
| 8.1.1 CURVAS CARACTERÍSTICAS BOMBAS E.I. N°1 | 90 |
| 8.1.2 LAYOUT ESTANQUE Y BOMBAS ESTACIÓN DE IMPULSIÓN N°1 | 90 |
| 8.1.3 CURVAS CARACTERÍSTICAS BOMBAS E.I. N°3 | 91 |
| 8.1.4 LAYOUT ESTANQUE Y BOMBAS ESTACIÓN DE IMPULSIÓN N°3 | 91 |
| 8.1.5 CURVAS CARACTERÍSTICAS BOMBAS E.I. N°5 | 92 |
| 8.1.6 LAYOUT ESTANQUE Y BOMBAS ESTACIÓN DE IMPULSIÓN N°5 | 92 |
| 8.1.7 CURVAS CARACTERÍSTICAS BOMBAS E.I. N°6 | 93 |
| 8.1.8 LAYOUT ESTANQUE Y BOMBAS ESTACIÓN DE IMPULSIÓN N°6 | 93 |
| 8.2.1 TABLA DETALLES COSTOS ACTUALES POR BOMBA Y ESTACIÓN | 94 |
| 8.2.2 TABLA DETALLES COSTOS PROPUESTA EN ESTACIONES A INTERVENIR..... | 95 |
| 8.2.3 CURVA DE SISTEMA ESTACION DE IMPULSION N°1 | 96 |
| 8.2.4 CURVA DE SISTEMA ESTACION DE IMPULSION N°2 | 97 |
| 8.2.5 CURVA DE SISTEMA ESTACION DE IMPULSION N°3 | 98 |
| 8.2.6 CURVA DE SISTEMA ESTACION DE IMPULSION N°4 | 99 |
| 8.2.7 CURVA DE SISTEMA ESTACION DE IMPULSION N°5 | 100 |
| 8.2.8 CURVA DE SISTEMA ESTACION DE IMPULSION N°6 | 101 |

INDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1: Caudales EB1 | 56 |
| Tabla 2: Indicador Energético y Costos Extras EB1 | 59 |
| Tabla 3: Caudales EB2 | 60 |
| Tabla 4: Indicador Energético y Costos Extras EB2 | 62 |
| Tabla 5: Caudales EB3 | 63 |
| Tabla 6: Indicador Energético y Costos Extras EB3 | 64 |
| Tabla 7: Caudales EB4 | 65 |
| Tabla 8: Indicador Energético y Costos Extras EB4 | 67 |
| Tabla 9: Caudales EB5 | 68 |
| Tabla 10: Indicador Energético y Costos Extras EB5 | 69 |
| Tabla 11: Caudales EB6 | 70 |
| Tabla 12: Indicador Energético y Costos Extras EB6 | 72 |
| Tabla 13: Costos Totales Extras Sistema Agua Fresca | 73 |
| Tabla 14: Caudales reales Estaciones de Impulsión | 73 |
| Tabla 15: Caudales según diseño Estaciones de Impulsión | 74 |
| Tabla 16: Costos Anuales Propuesta EB1 | 77 |
| Tabla 17: Costos Anuales Propuesta EB2 | 78 |
| Tabla 18: Costos Anuales Propuesta EB3 | 80 |
| Tabla 19: Costos Anuales Propuesta EB4 | 81 |
| Tabla 20: Costos Anuales Propuesta EB5 | 83 |
| Tabla 21: Costos Anuales Propuesta EB6 | 84 |
| Tabla 22: Total Ahorro por cambio propuesto | 85 |
| Tabla 23: Consumos Energéticos y Económicos diseño final Sistema | 86 |

INDICE DE ILUSTRACIONES

| | |
|---|----|
| Ilustración 1: Tipos de Bombas..... | 17 |
| Ilustración 2: Ejemplo de Bomba Centrífuga horizontal multietapas..... | 18 |
| Ilustración 3: Corte en 90° Bomba Centrífuga horizontal multietapas..... | 18 |
| Ilustración 4: Curva estable Altura/Caudal..... | 22 |
| Ilustración 5: Otras curvas características..... | 23 |
| Ilustración 6: Bombas en paralelo..... | 24 |
| Ilustración 7: Bombas en serie..... | 25 |
| Ilustración 8: Cargas estáticas de un sistema de bombeo..... | 26 |
| Ilustración 9: Curva característica de sistema de bombeo sin elevación..... | 28 |
| Ilustración 10: Curva característica de sistema de bombeo con elevación..... | 28 |
| Ilustración 11: Representación de intersección de curvas..... | 30 |
| Ilustración 12: Consumo eléctrico sector minero 2016-2027. Fte: Cochilco..... | 36 |
| Ilustración 13: Configuración bombas PP020 a PP022, EB1..... | 38 |
| Ilustración 14: Bombas PP025 a PP029, EB2..... | 40 |
| Ilustración 15: Configuración bombas PP071 a PP075..... | 53 |
| Ilustración 16: Curvas características bombas PP020..... | 57 |
| Ilustración 17: Curvas características bombas PP021, PP022..... | 57 |
| Ilustración 18: Curvas características bombas PP025, PP026, PP027, PP028..... | 61 |
| Ilustración 19: Curvas características bombas PP031, PP032, PP033, PP034..... | 63 |
| Ilustración 20: Curvas características bombas PP060, PP061, PP063, PP064..... | 66 |
| Ilustración 21: Curvas características bombas PP065, PP066, PP067, PP068..... | 68 |
| Ilustración 22: características bombas PP071, PP072, PP073, PP074..... | 71 |
| Ilustración 23: Curvas características propuesta Bombas EB1..... | 76 |
| Ilustración 24: Curvas características propuesta Bombas EB2..... | 78 |
| Ilustración 25: Curvas características propuesta Bombas EB3..... | 79 |
| Ilustración 26: Curvas características propuesta Bombas EB4..... | 81 |
| Ilustración 27: Curvas características propuesta Bombas EB5..... | 82 |
| Ilustración 28: Curvas características propuesta Bombas EB6..... | 84 |

1. INTRODUCCIÓN

En los Sistemas de Agua Fresca se involucran varios parámetros físicos, dentro de los cuales están el bombeo del recurso agua y la energía utilizada para este fin. Por lo que para poder hacer un sistema más eficiente en cuanto al uso de estos dos recursos se deben analizar las operaciones de los equipos y determinar si son eficientes y eficaces o si se pueden mejorar de alguna manera.

El análisis realizado a continuación comienza con el levantamiento de información de equipos, caudales y energías utilizadas para el bombeo de agua fresca. Luego se realiza un análisis por estación, del comportamiento de los equipos y comparación de requerimientos reales con los requerimientos de diseño. Obteniendo de esto el gasto de energía real que conlleva el bombeo de agua en cada estación y comparándolo con el gasto que se debería tener por diseño se tiene como resultado una ineficiencia por parte de los equipos de bombeo estudiados.

En base a lo anterior se realizan cotizaciones de equipos para los requerimientos reales que se detectaron en el levantamiento de información y así proponer una configuración más eficiente y que siga cumpliendo con los requerimientos que se le hacen al Sistema de Agua Fresca.

Para los cambios que se propongan se realizará un análisis económico para tener la certeza de que los cambios realmente generarán un ahorro a largo plazo en cuanto al costo que se tiene por el uso de energía. Y finalmente se propondrá una configuración más eficiente para el bombeo de Agua Fresca.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la eficiencia y eficacia de la propuesta de configuración del conjunto de bombas del suministro de agua fresca del en faena minera de altura, que una vez terminadas las instalaciones, debiesen estar funcionando. Esto con la finalidad de determinar si hay una configuración más eficiente en términos económicos y prácticos.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar y comprender una red de Estaciones de Impulsión de suministro de agua fresca.
- Recopilar y estudiar la información y configuración actual de bombas entre la Estación de Impulsión N°1 y la descarga de la Estación de Impulsión N°6.
- Estudiar y plantear cambios a la configuración actual de manera que se mejore la eficiencia y eficacia de la misma.
- Plantear la configuración que arroje los mayores beneficios al Sistema.

3. ESTADO DEL ARTE

- Conceptos fundamentales:

Altura: Diferencia de altitud entre un punto de referencia y el punto considerado. Se mide en metros (m).

Altura total (H): Trabajo mecánico transferido por la bomba al líquido bombeado.

Caudal: Volumen de líquido impulsado por unidad de tiempo.

Cavitación: Formación de burbujas de vapor al descender la presión estática por debajo de la tensión de vapor del líquido y su posterior desaparición (Implosión). Estas burbujas producen graves daños a superficies cercanas al momento de la Implosión.

- Ecuaciones básicas:

Las siguientes ecuaciones básicas se utilizan principalmente para entender y generar las curvas características de una bomba o de un sistema de impulsión.

$$\text{Ecuación de continuidad: } \rho_1 * S_1 * V_1 = \rho_2 * S_2 * V_2 \quad (1.1)$$

La ecuación de continuidad, entre dos puntos, se aplica con ciertas simplificaciones. Una de estas es considerar la velocidad uniforme en la sección transversal y una velocidad media, junto con un flujo estacionario para efectos de cálculos. Si el fluido es incompresible la ecuación (1) se reduce a:

$$S_1 * V_1 = S_2 * V_2 = Q \quad (1.2)$$

Ecuación de Energía (derivada de la Ecuación de Bernoulli):

Ésta ecuación se deriva de la Ecuación de Bernoulli, considerando de forma anexa las energías de pérdidas de carga y las aportadas al fluido por un agente externo (bomba, turbina, etc.). Con lo que la energía entre dos puntos se debería mantener constante.

$$\frac{P_1}{\rho * g} + \frac{V_1^2}{2 * g} + Z_1 - H_j + H_B = \frac{P_2}{\rho * g} + \frac{V_2^2}{2 * g} + Z_2 \quad (1.3)$$

La ecuación de la energía es la principal al momento de generar y analizar las curvas características de bombas y sistemas. Cada uno de los términos que componen la ecuación es influyente en el resultado de una curva característica.

Nomenclatura:

$\frac{P_1}{\rho * g}$: Término que representa la Energía debido a la Presión sobre el fluido.

$\frac{V_1^2}{2 * g}$: Término que representa la Energía Cinética del fluido.

La ecuación finalmente se expresa en términos de longitud, por lo tanto sirve para representar la energía en las curvas características de Altura (H) en función del Caudal (Q).

3.1 SISTEMAS DE IMPULSIÓN DE AGUA FRESCA

Un sistema de impulsión de agua consiste en captar agua desde un determinado lugar (pozos, estanques, etc.) e impulsarla o elevarla a otro punto, encontrándose generalmente éste punto en un nivel más alto respecto del punto de captación.

Al momento de analizar sistemas de impulsión se debe tener en consideración distintos componentes o subsistemas dentro de éstos, como son estaciones de impulsión o bombeo (subsistema), bombas, motores, estanques y pozos (componentes), teniendo presente datos técnicos de cada uno de éstos (por ejemplo: Bombas).

3.1.1 ESTACIONES DE IMPULSIÓN

Una estación de impulsión es un sistema de impulsión pequeño que está compuesta por uno o más estanques y un conjunto de bombas que impulsan el agua desde este estanque a otro punto de acumulación o utilización de agua, como una piscina u otro estanque de igual o mayor capacidad ubicado en un punto de mayor altura. Así, un conjunto de estaciones de impulsión, llegan a formar un sistema de impulsión de mayor envergadura. Dentro de la estación de impulsión las bombas pueden estar en una configuración en paralelo entre ellas o también en serie dependiendo de lo que se requiera. Las estaciones de impulsión también pueden estar en una configuración en paralelo o en serie entre ellas dependiendo de los requerimientos de utilización.

La cantidad y la configuración de las estaciones de impulsión depende de varios factores: ubicación geográfica del recurso a impulsar (agua de pozo), la distancia a la última utilización del recurso, caudal del recurso a utilizar, entre otros.

3.1.2 MAQUINAS HIDRÁULICAS

Una Máquina es un dispositivo que transforma un tipo de energía en otro, ya sea Energía Eléctrica en Energía Mecánica, Energía Mecánica en Energía Hidráulica o un sinnúmero de aplicaciones que se le puede dar dependiendo del tipo de Máquina, esto a través de distintos métodos y formas desarrollados cada uno para una aplicación diferente.

Así, las Máquinas Hidráulicas, están en el grupo de Maquinas que transforman Energía Mecánica en Energía Hidráulica o viceversa. En éste tipo de máquinas hay un intercambio entre energía del fluido y energía mecánica sin que se vea afectado de forma sensible la densidad del fluido. Dentro de este grupo de máquinas se encuentran las Bombas Centrífugas.

3.1.3 BOMBAS CENTRÍFUGAS

Las Bombas son máquinas que transforman Energía Mecánica en Energía Hidráulica, es decir, realizan trabajo para mantener un líquido en movimiento y aumentar la energía cinética del fluido. Este fluido o líquido puede ser agua, aceite, combustibles, relaves, entre otros.

Las Bombas se pueden clasificar en dos tipos: Rotodinámicas (Centrífugas) y de Desplazamiento positivo. Y dentro de esta clasificación también se puede dividir de acuerdo a diferentes parámetros. Las rotodinámicas se clasifican según dirección del flujo, posición del eje o presión de trabajo. Las de desplazamiento positivo se clasifican según sean rotatorias o reciprocantes.

Dentro de esta clasificación solo se abordará lo que refiere a bombas centrífugas por el tipo de bombas presentes en el Sistema de Impulsión a analizar. Dentro de las bombas centrífugas se abordaran las bombas horizontales y verticales de acuerdo a la posición del eje y las bombas de una etapa y multietapas de acuerdo a su construcción.

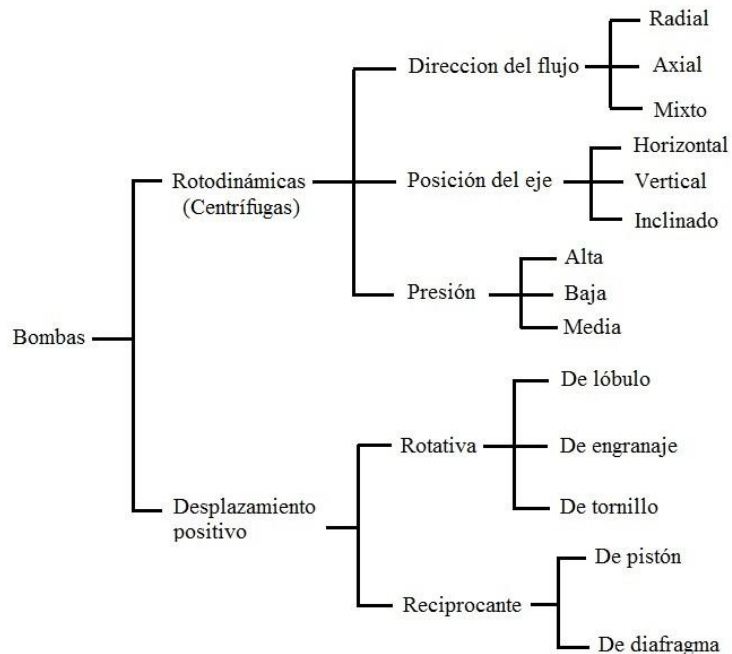


Ilustración 1: Tipos de Bombas

Las bombas centrífugas, hoy en día, son las bombas más utilizadas en el rubro industrial, desplazando a otro tipo de bombas por ser más económicas y por ser más prácticas en términos de mantenimiento y maniobrabilidad.

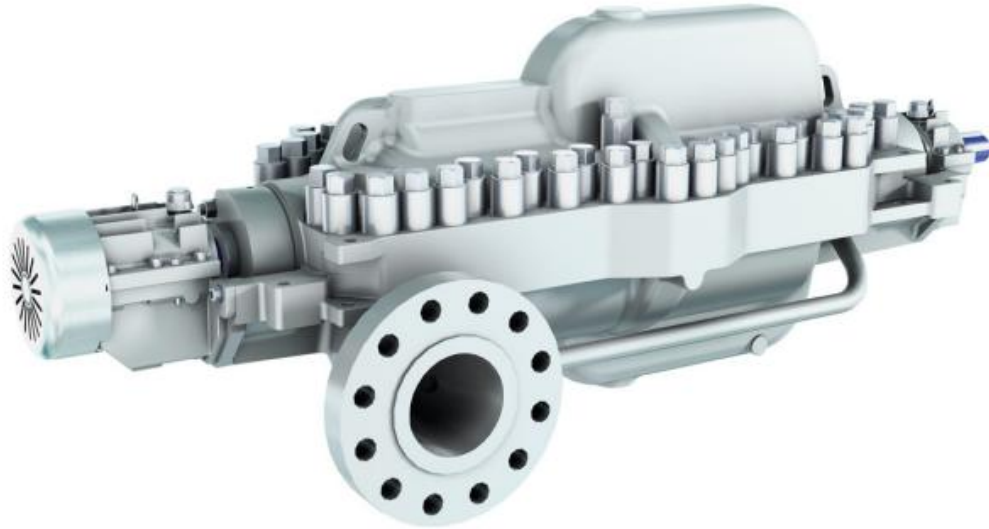


Ilustración 2: Ejemplo de Bomba Centrífuga horizontal multietapas

En éste tipo de bombas, es el rodete (principal componente de una bomba centrífuga), el que transmite la energía cinética al fluido a través de sus álabes en rotación, para que luego los alabes directrices, que se ubican a continuación del rodete en una corona fija, transformen ésta energía cinética en energía de presión hacia el fluido y así lograr elevar o impulsar el fluido hasta el punto que se requiera.



Ilustración 3: Corte en 90° Bomba Centrífuga horizontal multietapas

Como se puede apreciar en la *Ilustración 3*, señalado con el número 1, se indica uno de los rodetes de una de las etapas de la bomba.

De acuerdo a su utilización y posición del eje se clasifican en bombas horizontales y verticales. De acuerdo a su construcción se pueden clasificar en Bombas centrífugas de una etapa o Bombas centrífugas de varias etapas. Esta clasificación dependerá de la altura que se desee lograr o el caudal que se requiera mover de un determinado fluido y de las condiciones geográficas que se tenga en terreno.

El medio más común de accionamiento de las bombas centrífugas son los motores eléctricos, que por su economía y velocidades adecuadas para las bombas son los preferidos a la hora de elegir como accionar una bomba. Estos motores pueden trabajar a distintas velocidades o r.p.m. (revoluciones por minuto) y se adaptan a las velocidades requeridas por las bombas, también los hay de distintas potencias y depende de la frecuencia a la que se trabaje en la red las distintas velocidades a las que trabajará el conjunto motor-bomba.

3.1.3.1 BOMBAS CENTRÍFUGAS HORIZONTALES

En este tipo de bombas el eje del motor (o medio de accionamiento) está a la misma altura que el eje de la bomba. Éstas bombas por el hecho de no ser auto-transpirantes deben pasar por el proceso de cebado previo a la puesta en marcha, esto es que deben ser rellenadas con líquido a bombear previo a su operación, ya que el mismo líquido bombeado es el que hace de lubricante entre las partes internas de la bomba. Este problema se presenta frecuentemente en bombas horizontales pero se soluciona de forma sencilla, instalando algún sistema de cebado en la aspiración de la bomba con una conexión en T.

Algunas ventajas de las bombas centrífugas horizontales son:

- Son sencillas de instalar.
- Son más económicas que las verticales (constructivamente).
- El mantenimiento y reparación también son más económicos.

- Se puede hacer mantenimiento independiente al motor y a la bomba, ya que se desmontan de forma independiente.

3.1.3.2 BOMBAS CENTRÍFUGAS VERTICALES

En este tipo de bombas el eje es vertical y generalmente el motor está encima de la bomba. Por el tipo de utilización que se le da a estas bombas siempre están rodeadas por el líquido a bombear, por lo que al contrario de las horizontales, no es necesario que se realice el proceso de cebado previo a la puesta en marcha, pero se debe tener en consideración que el cuerpo de la bomba o gran parte de este debe estar sumergido al momento de la operación. Junto con esta consideración también se debe tener especial cuidado de proteger la aspiración para evitar el ingreso de cuerpos extraños a la bomba. Son bombas que se utilizan en la industria generalmente para bombear agua de pozos (bombas de pozo profundo), riego, abastecimiento de agua, minería entre otros.

Dentro de las bombas verticales cabe mencionar algunas variantes existentes:

1. Bombas verticales no sumergibles:

En estas bombas el motor puede estar inmediatamente por encima de la bomba o muy por encima de la bomba a objeto de protegerlo de una posible inundación o para tener un acceso fácil y expedito en el caso que se utilice para un pozo. La aspiración del líquido generalmente es lateral, y si no lo es, se adapta con un codo.

2. Bombas verticales sumergibles:

El hecho de que sea sumergible elimina el problema del cebado previo a la puesta en marcha. Por lo que solo se necesita accionar la puesta en marcha del motor de accionamiento. La aspiración en estas bombas siempre es por abajo, por lo que se debe cuidar que la profundidad de la aspiración sea por lo menos 2 o 3 veces el diámetro del orificio de la misma y así evitar la formación de

vórtices o remolinos. Pueden o no tener el motor sumergido junto con la bomba, de ser así el motor va debajo de la bomba y son motores adaptados para trabajar en condiciones de inundación y son ventajosas para profundidades de 30 metros o más. Dentro de esta clasificación se encuentran las *bombas verticales sumergiblestipo turbina*.

3. Bombas verticales sumergibles tipo turbina (sin motor sumergido):

Estas bombas tienen el eje en el interior de la tubería de impulsión desnudo o protegido dependiendo del tipo de lubricación. Son utilizadas para grandes piscinas o pozos de poca profundidad. Ya que para grandes profundidades se prefieren las de tipo turbina con motor sumergido.

Algunas ventajas de las bombas verticales son:

- Requieren un espacio horizontal reducido, excepto en el lado superior para la instalación del motor.
- Instalación sencilla
- No precisa tubería de aspiración
- No tienen problemas con la aspiración y el cebado.

3.1.3.3 BOMBAS CENTRÍFUGAS DE UNA ETAPA

Esta es una bomba de una sola etapa, con un rodete radial, una corona de álabes directrices y carcasa circular. Entendiéndose por etapa al conjunto Rotor-Estator. Esta es la construcción más sencilla de una bomba centrífuga y representa todo el proceso del agua desde que entra a la bomba (sin energía cinética) hasta que sale de la bomba con energía de presión. El fluido pasa desde el ducto de aspiración hasta el rodete, por efecto de vacío que se produce al desplazarse el líquido (de cebado) que se introdujo previamente, y adquiere la energía cinética que le proporcionan los álabes aumentando su velocidad de manera instantánea para luego entrar en la corona de álabes directrices donde la energía cinética se transforma en energía de presión y se descarga el líquido a la carcasa circular y luego a la tubería.

3.1.3.4 BOMBAS CENTRÍFUGAS DE VARIAS ETAPAS (MULTIETAPAS)

Este tipo de bombas se utiliza cuando se quiere lograr mover una mayor cantidad de caudal o se requiere obtener una mayor presión de elevación. En este tipo de bombas el fluido pasa por varios conjuntos de Rotor-Estatorsucesivos y a cada una de éstas etapas le sigue una corona de álabes de retorno, que tiene por objeto redireccionar el fluido hacia la siguiente etapa obteniendo las menores pérdidas posibles de presión. Luego de la última etapa el fluido pasa por una caja de espiral que comunica con la tubería de descarga.

3.1.3.5 CURVAS CARACTERÍSTICAS DE UNA BOMBA

Una bomba posee varias curvas características que representa cada una un parámetro distinto, la curva característica más representativa es la Curva altura (H) / Caudal (Q), $H(Q)$, también conocida como curva de regulación y representa la relación entre la altura de una bomba centrífuga y su caudal. Las otras curvas características son las de Potencia consumida por la bomba para entregar dicha energía al fluido $P(Q)$, Rendimiento $\eta(Q)$ y $NPSHr(Q)$, todas ellas en función del Caudal Q.

- Curva Altura / Caudal $H(Q)$: Representa la relación entre la Altura (H) de una bomba y su Caudal (Q). En general la curva disminuye al aumentar el caudal, estas se llaman curvas estables.

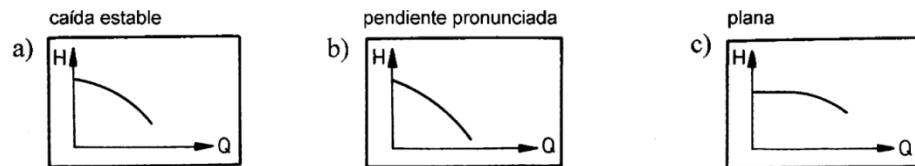


Ilustración 4: Curva estable Altura/Caudal

- Curva Potencia / Caudal $P(Q)$: En las bombas centrífugas de flujo radial la Potencia aumenta a medida que aumenta en Caudal, por lo que a un caudal

nulo la potencia es mínima. Pero esto dependerá del tipo de flujo que se tenga (Radial, mixto o axial).

- Curva de Rendimiento $\eta(Q)$: Ésta curva aumenta inicialmente desde cero al aumentar el caudal y llega a un punto de rendimiento óptimo η_{opt} , luego de este punto comienza a decaer a medida que sigue aumentando el caudal. Se debe tratar de trabajar en el punto óptimo a menos que se deban hacer otras consideraciones.
- Curva NPSHr / Caudal: NPSH “Net Positive Suction Head” o “Altura Neta Positiva de Aspiración” se define como la energía neta en la boca de aspiración de la bomba. El NPSHr (requerido) lo da el fabricante y está directamente relacionado con la Cavitación. Para evitar la cavitación el NPSHr debe ser siempre menor al NPSHd (disponible).

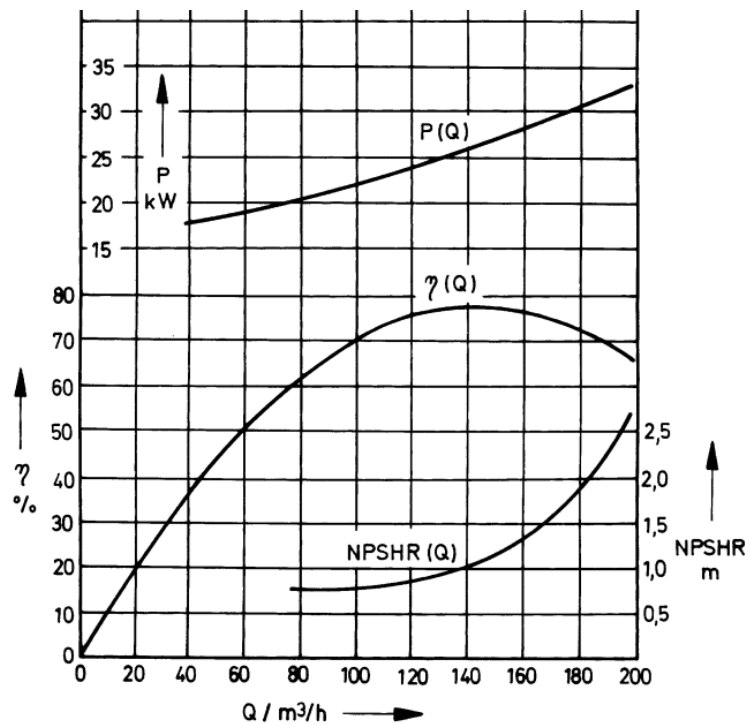


Ilustración 5: Otras curvas características

3.1.3.6 CONFIGURACIÓN EN PARALELO Y EN SERIE

Dependiendo de la ocasión se pueden encontrar varias bombas trabajando al mismo tiempo en la misma utilización, ya sea en serie o en paralelo. Esto dependerá de lo que se requiera, si se necesita trabajar o impulsar mas caudal a una misma altura se dispondrán bombas en paralelo y si se necesita elevar el mismo caudal a mayor altura se dispondrán bombas en serie. Generalmente y por el bien de la estabilidad del sistema y de los equipos que lo componen, las bombas que se ordenen en una u otra configuración deben ser de las mismas características para evitar que alguna de éstas trabaje en una zona fuera de la curva del conjunto de bombas. El hecho de realizar este tipo de configuraciones también sirve como medio de regulación cuando se tienen requerimiento variables en un mismo sistema de bombeo.

- Configuración en paralelo: Esta configuración se utiliza para impulsar un mayor caudal del fluido a una misma altura de destino. Por precaución cuando se utiliza este tipo de configuración se deja en “stand-by” una bomba igual a las operativas, por si falla una, sea reemplazada por la que está espera.

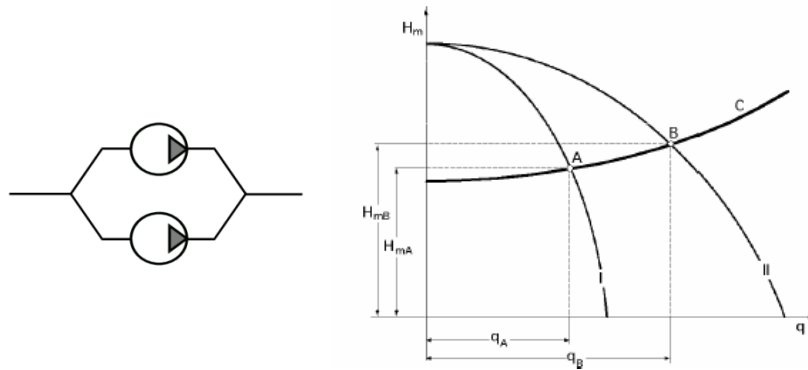


Ilustración 6: Bombas en paralelo

Cabe destacar que el caudal total a impulsar no será exactamente la suma de los caudales de cada una de las bombas de la configuración, por el contrario será menor al caudal total de todas las bombas sumadas. Si son dos bombas idénticas el caudal no será el doble.

- Configuración en serie: Ésta configuración se utiliza para lograr mayores alturas para un mismo caudal a impulsar, y se da cuando la descarga de una bomba se introduce en la succión de la otra, por lo tanto cada bomba le adiciona energía al fluido y con esto se puede ganar una mayor altura.

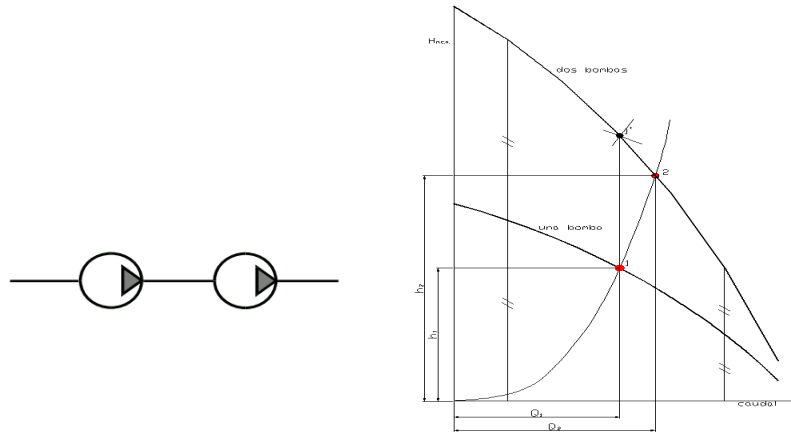


Ilustración 7: Bombas en serie

Al igual que en la configuración en paralelo, el establecer una configuración en serie no tiene como resultado una altura igual a la suma de las alturas individuales de cada bomba.

Para formar sistemas de impulsión se utilizan ambas configuraciones y también combinaciones de subsistemas para lograr la impulsión del fluido en las cantidades y a las alturas que se requiera, por ejemplo, se acomodan bombas en paralelo dentro de una estación de impulsión (subsistema) y este arreglo en serie con otro arreglo de bombas en paralelo dentro de otra estación de impulsión. De esta manera se logra elevar a gran altura una cantidad importante de fluido sin necesidad de hacer trabajar a las bombas en forma independiente. Para poder lograr acumular o juntar el fluido dentro de una estación de impulsión, que muchas veces proviene de fuentes distantes o diferentes, se utilizan los llamados estanque de acumulación, los que hacen las veces de acumuladores de fluido para que las bombas eleven un caudal determinado y constante a otro estanque y así sucesivamente. Estos estanques recolectan el agua que proviene de otros estanques y de fuentes directas del recurso hídrico.

3.1.4 ALTURA TOTAL Y CURVA DE UN SISTEMA DE BOMBEO

En un sistema de bombeo existen dos tipos de cargas (alturas) involucradas en lo que respecta a la carga total del sistema. Una de estas cargas es la Carga Estática que posee el sistema, que se puede desglosar en Carga Estática de Succión y Carga Estática de Elevación, y la otra es la Carga Dinámica, que está compuesta por varias cargas más pequeñas que sumadas hacen un conjunto importante de cargas a considerar, además es la que genera el comportamiento de la curva del sistema. Por lo tanto la carga total se resume a lo siguiente:

$$H_A = H_{stat} + H_{dyn}$$

3.1.4.1 CARGA ESTÁTICA

La Carga Estática (o Altura Estática) es la diferencia entre el punto de toma de agua y el punto de entrega de agua. Se divide en Carga estática de aspiración y Carga estática de elevación. Se puede ver representado en la siguiente figura.

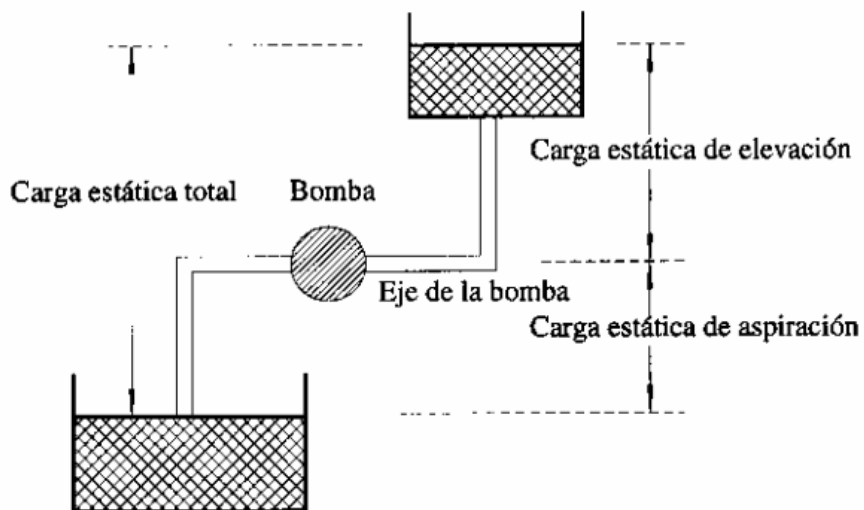


Ilustración 8: Cargas estáticas de un sistema de bombeo

La carga estática es la base desde donde se parte determinando la curva del sistema ya que no varía dependiendo de los elementos del sistema, sino que se mantendrá mientras se trabaje entre los mismos puntos de succión y descarga. La carga estática no depende del caudal y las energías que la componen son la Energía Estática y la Energía de Presión entre dos puntos (1 y 2):

$$H_{stat} = (z_2 - z_1) + \frac{p_2 - p_1}{\rho * g}$$

3.1.4.2 CARGA DINÁMICA

La Carga Dinámica (o Altura Dinámica) está compuesta por la Altura por velocidad y las Pérdidas de carga, éstas últimas compuestas por pérdidas por fricción (también llamadas pérdidas primarias), pérdidas por singularidades y pérdidas por presión de trabajo de accesorios o instrumentos pertenecientes a la red de impulsión (también llamadas pérdidas secundarias). La carga dinámica del sistema es la que genera la curva de un sistema de bombeo y a diferencia de la carga estática si depende del caudal. Está representada de la siguiente forma:

$$H_{dyn} = \frac{V_2^2 - V_1^2}{2 * g} + H_{jt}$$

3.1.4.3 CURVA CARACTERÍSTICA DE UN SISTEMA DE BOMBEO

La curva característica de un sistema de bombeo $H_A(Q)$ representa la altura total requerida de un sistema en función del caudal y a velocidad de giro constante. Como se menciona anteriormente en el punto 3.1.4, la altura total del sistema se compone en altura estática, independiente del caudal, y la altura dinámica, que depende del caudal. En casos especiales en que sólo se quiere hacer recircular el fluido o desplazarlo sin elevarlo, la altura estática es cero.

Una de las formas de obtener la curva característica del sistema es variar el caudal a bombear controlando esta variación con la válvula de la línea de descarga. En este caso se debe calcular la altura total requerida para caudal utilizado en la medición,

considerando tanto la altura de elevación que se le quiere dar al fluido como las pérdidas totales del sistema.

Una curva característica de un sistema de bombeo donde la elevación es cero se ve representada en la siguiente figura:

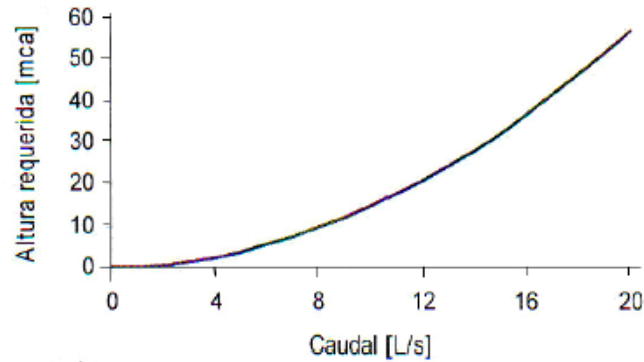


Ilustración 9: Curva característica de sistema de bombeo sin elevación

Por otro lado, cuando se requiere elevar el fluido, la curva característica de un sistema con elevación comienza en la altura a la cual se desea elevar el fluido y como se puede apreciar en la imagen anterior la curva característica aumenta a medida que aumenta el caudal. La curva de altura del sistema en éste caso queda de la siguiente forma:

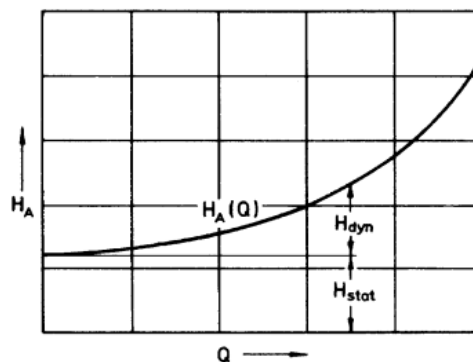


Ilustración 10: Curva característica de sistema de bombeo con elevación

En la *Ilustración 10* se puede apreciar claramente la diferencia entre la altura estática, base de la curva e independiente del caudal, y la altura dinámica compuesta por las distintas pérdidas y dependiente del caudal.

3.1.5 CURVA DE LA BOMBA V/S CURVA DEL SISTEMA

La intersección entre la curva $H(Q)$ de la bomba y la curva $H_A(Q)$ del sistema nos dará el punto de trabajo de la bomba. El punto de trabajo es aquel donde la altura generada por la bomba es igual a la altura requerida en la instalación. Con esto se determina el caudal Q que puede efectivamente suministrar la bomba y también los valores de potencia, rendimiento y NPSHr. Como se menciona en el punto 3.1.3.5, algo importante a considerar es que el NPSH disponible (NPSHd) debe ser mayor al NPSH requerido (NPSHr) por la bomba.

El caudal requerido es el parámetro principal al momento de seleccionar una bomba, y la altura total del sistema se calcula después considerando en este cálculo el caudal requerido y las otras condiciones mencionadas anteriormente.

El punto de trabajo real puede llegar a cambiar un porcentaje respecto del punto de trabajo calculado teóricamente si es que para calcular las alturas y la curva de alturas se realizan suposiciones en cualquiera de los elementos que las componen, por ejemplo, en las pérdidas de carga de válvulas o en la rugosidad de tuberías.

La siguiente figura representa la intersección de ambas curvas mencionadas y también representa los distintos tópicos abordados en este capítulo como son: Curva de la Bomba, Altura Estática, Altura Dinámica o de Pérdidas, Curva del sistema y Punto de intersección y de trabajo de la bomba.

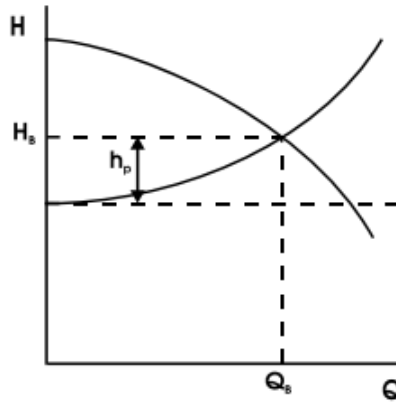


Ilustración 11: Representación de intersección de curvas

3.1.6 ESTANQUES

Los estanques, sin ser los principales equipos en estudio, no dejan de tener importancia, ya que son éstos los equipos que acumulan el fluido en cada subsistema o estación de impulsión, recibiendo agua desde otros estanques previos y también desde la fuente directa del fluido. Los estanques muchas veces también se usan para evitar desastres mayores en el caso de falla de bombas o suministro de flujo.

Dependiendo del tamaño, los estanques pueden ser prefabricados e instalados posteriormente en terreno como también pueden ser armados con algunas piezas prefabricadas y otras fabricadas directamente en terreno. Generalmente en la industria, el tamaño de los estanques es considerable, por lo que es opta por fabricarlos y armarlos en su mayoría en terreno.

La mayoría de los estanques que se usan en la industria tienen forma cilíndrica para evitar concentraciones de esfuerzo ya que los líquidos en grandes cantidades generan presiones elevadas sobre las paredes y bases, por lo que se trata de que tanto esquinas como mantos sean lo más curvos posibles y así evitar fallas que puedan comprometer el buen funcionamiento del sistema completo.

3.2 CONSUMO ELÉCTRICO Y COSTOS DE OPERACIÓN

El consumo eléctrico es sumamente importante al momento de realizar análisis de gestión eficiente en sistemas de impulsión, ya que la mayoría de las veces las bombas que se utilizan son accionadas por motores eléctricos. Por lo tanto dependiendo de la configuración de bombas que se tenga es cuanto consumo eléctrico se generará por el impulso de un fluido. Respecto de esto cabe mencionar que cuando lo motores son de potencias mayores a 2,2 kW (3 HP) se debe considerar que la instalación tiene una red trifásica de alimentación, esto debido al gran consumo de energía que se produce durante el arranque o partida de la bomba.

Dicho consumo eléctrico está directamente relacionado con los Costos de Operación y es una parte importante al momento de obtener los costos asociados a un sistema de bombeo, de cualquier magnitud. Para realizar el análisis de los costos de operación es necesario considerar varios parámetros importantes: Caudal involucrado (m^3/h), Potencia de los motores (kW), Tiempo de funcionamiento (en un periodo establecido) y el costo de la Potencia por el tiempo de funcionamiento (kWh).

3.2.1 CAUDAL INVOLUCRADO

El caudal es un parámetro importante al momento de considerar las variables involucradas en un sistema de impulsión de agua, ya que como lo dice el nombre, se impulsa agua a través de bombas, por tanto la cantidad de fluido que se impulse afectara en la cantidad de bombas que se utilicen y en su configuración, y junto con ello la cantidad de motores involucrados en la impulsión. Como generalmente los motores de accionamiento en la industria son motores eléctricos, la cantidad de motores repercute en el consumo eléctrico que se deberá efectuar.

3.2.2 POTENCIA ELÉCTRICA (BOMBA Y MOTOR)

La potencia de una bomba y la de su motor están directamente relacionadas, pero al momento de considerar la potencia en términos de consumo eléctrico e índices de consumo y rendimiento se debe considerar la potencia última utilizada desde el suministro eléctrico, y ésta es la potencia eléctrica del motor que se usa como accionamiento de la bomba. Dentro de esta potencia se deben considerar todas las potencias involucradas en el funcionamiento de una bomba así como sus rendimientos respectivos, para poder tener la estimación final que consumo que se tendrá en el sistema completo. A esta estimación final se le dará el nombre de Potencia Eléctrica Pot_{elec} y deberá considerar los rendimientos de los equipos involucrados en la impulsión.

Dentro de los rendimientos se deben considerar el rendimiento del motor (η_m), el rendimiento de la bomba (η_b) y el rendimiento mecánico (η_{mec}). Y los parámetros que se utilizan para determinar la Potencia eléctrica son principalmente el Caudal (Q) y la Altura total de elevación (H_{TDH}) requerida. La multiplicación de todos los rendimientos nos arrojará un Rendimiento Total (η_{TOT}) del conjunto motor-bomba incluido el rendimiento mecánico. Para llevar todos estos parámetros a Potencia se utilizan la densidad del fluido (ρ) y la gravedad (g). Finalmente la fórmula de Potencia Eléctrica queda de la siguiente forma:

$$Pot_{elect} = \frac{Q \times \rho \times g \times H_{tdh}}{\eta_{mec} \times \eta_{bom} \times \eta_{motor}} [W] \quad (1.4)$$

Ésta es la fórmula teórica y la base desde la cual se pueden calcular distintos parámetros involucrados en la impulsión. Desde ésta fórmula también se puede desprender el Caudal teórico que podría elevarse o impulsar a partir de la Potencia eléctrica y la Altura total a la que se requiere elevar el caudal. Así mismo si se tiene el consumo eléctrico del conjunto de impulsión y el caudal que se eleva a cierta altura, se puede tener el rendimiento total del conjunto motor-bomba.

3.2.3 TIEMPO DE FUNCIONAMIENTO DE LOS EQUIPOS

El tiempo de funcionamiento, especialmente del motor eléctrico, es también una parte importante del consumo eléctrico. Esto porque cuando se tienen sistemas de suministro de agua fresca en industrias o faenas, los equipos no están funcionando constantemente y tampoco funcionan todos al mismo tiempo. Por lo que se debe tener en consideración los tiempos y periodos de funcionamiento para cada subsistema de impulsión o incluso para cada equipo involucrado. Teniendo en consideración estas observaciones se puede llegar a estimar el consumo eléctrico de la instalación o sistema completo y acotarlo a un rango de periodo estándar de referencia y con el que se pueda estimar y comparar costos. Generalmente el rango de periodo que se usa es un año, ya que los cierres contables de los estados financieros en una empresa se hacen de forma anual.

3.2.4 COSTOS OPERACIONALES

Dentro de los costos operacionales hay tres parámetros involucrados, estos son: Potencia Eléctrica, Tiempo de funcionamiento y el Costo de la Potencia eléctrica por el tiempo de funcionamiento (kWh). La Potencia y el tiempo ya antes mencionados dependen de los parámetros requeridos y de las necesidades en terreno que pueden ser muy variadas pero tienen un régimen de funcionamiento base establecido, pero el costo de esta potencia por un tiempo determinado de funcionamiento es fijo y está definido para cada lugar y rubro. Con el costo del kWh y un indicador energético representativo se pueden establecer eficiencias y mejoras o cambios a los sistemas que se estén sometiendo a análisis.

3.2.4.1 COSTOS OPERACIONALES Y DE MANTENIMIENTO

Otro de los costos a tener en cuenta son los costos de mantenimiento, que tienen un rol importante a la hora de establecer costos relacionados con la operación, ya que sin un buen mantenimiento de los equipos e instalaciones, nunca se llegará a operar de forma óptima un sistema. A pesar de que son importantes a la hora de hacer

análisis, muchas veces estos costos son un porcentaje menor y casi despreciable comparativamente con los costos operacionales.

3.2.4.2 COSTO DEL kWh

El kWh es una unidad de Potencia por un determinado tiempo y con el costo del kWh se pueden hacer comparaciones entre variadas configuraciones de equipos de manera que se pueda establecer cuál es la más económica y que al mismo tiempo cumpla con los parámetros requeridos de operación y cumplimiento de requerimientos físicos y de abastecimiento.

Por lo tanto si se quiere llegar a establecer que configuración de equipos es la de mayor eficiencia en términos económicos y físicos se debe tener en cuenta el costo del kWh y además considerar algún indicador energético representativo.

3.2.5 INDICADOR ENERGÉTICO

Para poder relacionar eficiencias y gastos energéticos de las distintas configuraciones posibles de equipos se utilizará un Indicador Energético, que relaciona la Potencia eléctrica consumida por el motor y el volumen de agua que impulsa la bomba durante un determinado tiempo.

$$\text{Indicador Energético} = \frac{\text{Energía eléctrica consumida por el motor}}{\text{Volumen de agua impulsado por la bomba}} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^3} \right] \quad (1.5)$$

En resumen este indicador refleja cuanta energía se consume durante cierto tiempo para impulsar una determinada cantidad de agua.

3.3 PROYECTO MINERA, GERENCIA DE SUMINISTRO

La Gerencia de Suministro del proyecto de la Minera tiene bajo su responsabilidad el Sistema de Suministro de Agua Fresca (SAF) y el Sistema Eléctrico y de Distribución (SED). El agua que se suministra a la planta contempla el abastecimiento de agua para procesos industriales donde se necesite, red de incendio y para otras utilidades como son el campamento, el refugio y la planta piloto.

Para lograr el abastecimiento de agua fresca en todas las instalaciones necesarias se diseñaron y construyeron seis Estaciones de Impulsión (EI), Estación de Impulsión N°1 hasta la Estación de Impulsión N°6, de las cuales la N°4 solamente está compuesta por una Piscina de Agua Fresca y sus Bombas de impulsión respectivas, y las otras cinco estaciones están compuestas por un Estanque de Traspaso y sus respectivas Bombas de impulsión. También se encuentra, luego de la última Estación de Impulsión N°6, otra Piscina de Agua Fresca que es abastecida solamente por la EI N°6 que la precede, y de la cual se alimentan las distintas instalaciones que se encuentran por sobre la altura de la Piscina de Agua Fresca recién mencionada.

El abastecimiento primario de agua, esto es, desde el Estanque de la EI N°1 a la Piscina de Agua Fresca de la EI N°4 se obtiene de pozos y de estanques anteriores si es que existen estanques precedentes. La cantidad de pozos considerada para el abastecimiento del agua fresca es de dieciocho (18) y de acuerdo a la distribución geográfica es a que EI alimentan entre la N°1 y la N°4.

Las Estaciones de Impulsión se encuentran entre los 1084 m.s.n.m. y los 3400 m.s.n.m., la Piscina de Agua Fresca posterior a la EI N°6 se encuentra a los 4005 m.s.n.m. y el resto de las instalaciones por sobre los 4000 m.s.n.m.

El mantenimiento de los equipos tanto del SAF como del SED están a cargo de la empresa EMELAT Minería.

4. DESARROLLO DEL ANALISIS DE GESTIÓN EFICIENTE

4.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La energía es de vital importancia para todo proceso productivo y está involucrada en toda actividad en la que se necesite realizar un trabajo a un fluido, a un equipo, a algún tipo de material o materia prima. Las faenas mineras son los principales consumidores a nivel país de energía eléctrica.

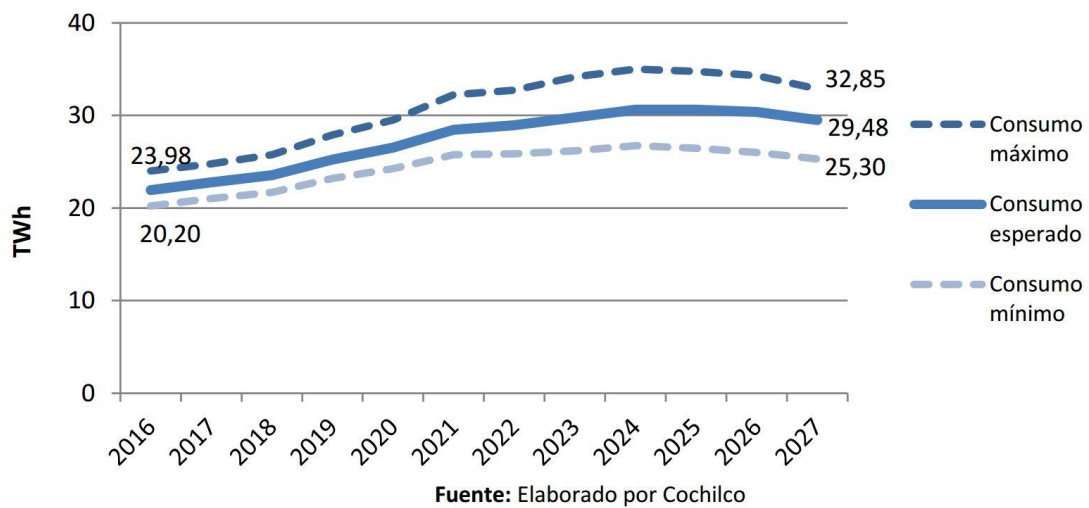


Ilustración 12: Consumo eléctrico sector minero 2016-2027. Fte: Cochilco

En la minería del cobre el consumo que se proyectó para el año 2016 fue de 22.000 GWh. Y respecto del país representó un 12% del consumo eléctrico.

Para el año 2027 la proyección de consumo eléctrico, sólo para la minería del cobre, es de 29.500 GWh.

Por lo tanto el consumo de energía seguirá siendo un tema a tratar y evaluar, para lograr la forma de disminuir los costos de energía eléctrica, que dentro de los costos operacionales representan el 20% del total.

Es por esto que hay una necesidad de abordar el tema y evaluar las posibilidades que existen de aumentar la eficiencia en el uso de la energía eléctrica, que como se puede apreciar será cada vez más demandada. Además se debe tener en

consideración que no solamente se afecta la demanda energética, ya que para producir energía se deben utilizar recursos naturales que muchas veces no son renovables, por lo que un uso eficiente de la energía también puede tener consecuencias significativas y positivas para el medio ambiente y el planeta en general.

Para abordar este tema en el Suministro de Agua Fresca en una faena minera hay muchos caminos y uno de estos es realizar un Análisis de Gestión Eficiente para mejorar o modificar la configuración de bombas y motores que se tiene en el sistema de bombeo de agua fresca y tratar de llegar a la configuración que genere menos consumo de energía eléctrica sin afectar el requerimiento de agua que se tiene para satisfacer las necesidades de la planta en general. Si se logra encontrar una configuración que cumpla con estas condiciones se afectará directamente la eficiencia en el uso de la energía y se reflejará en la baja de los costos operacionales de la Planta de Suministro.

4.2 LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN

La planta de suministro de agua fresca está compuesta por una serie de Estaciones de Impulsión (6) como base de impulsión del agua, una Piscina de Agua Fresca de acopio posterior a la estación N°6 y una serie de estanques de distribución hacia las distintas utilizaciones que se tiene en la Planta que son abastecidos por la Piscina de Agua Fresca. Este Análisis de Gestión Eficiente considera desde la Estación de Impulsión N°1, específicamente el Estanque que posee, hasta la Piscina de Agua Fresca posterior a las Estaciones de Impulsión.

4.2.1 ESTACIÓN DE IMPULSIÓN N°1

La Estación de Impulsión de Agua Fresca N°1 está funcionando con un Estanque con una capacidad de 1022 m³ (730 m³ de trabajo) y tres bombas horizontales multietapa de carcasa partida axialmente (horizontalmente) las cuales están en paralelo y en operación sin respaldo. Estas impulsarán agua fresca desde la Estación N°1 a una altura de 1084 m.s.n.m. (nivel de plataforma) hasta el Estanque de la Estación N°2 que se encuentra a una altura de 1479 m.s.n.m. (nivel de plataforma). La cañería de impulsión tiene un diámetro nominal de 711,2 mm y los espesores de pared dentro de la estación son de 12,7 mm y fuera de la estación son de 10,31 mm, 8,74 mm y 6,35 mm en el Pipeline y tiene una longitud de 26,4 km. Por ser la primera Estación de Impulsión el Estanque es abastecido directamente de la extracción del recurso hídrico y se realiza desde siete pozos que en conjunto tienen una capacidad de 1258 (m³/h).



Ilustración 13: Configuración bombas PP020 a PP022, EB1

A continuación la información de los equipos mencionados:

- Bombas Estación de Impulsión N°1:
 - Bomba 1:
 - TAG Number: 9300-PP-020
 - Marca: Sulzer

- Modelo: MSD 4/5 STG
- Tipo: Horizontal
- Potencia Motor: 1500 (HP) / 1118,5 (kW)
- Caudal: 534.0 (m³/h)
- TDH: 517.1 (m)

- Bomba 2:

- TAG Number: 9300-PP-021
- Marca: Sulzer
- Modelo: MSD 4/5 STG
- Tipo: Horizontal
- Potencia Motor: 1500 (HP) / 1118,5 (kW)
- Caudal: 534.0 (m³/h)
- TDH: 517.1 (m)

- Bomba 3:

- TAG Number: 9300-PP-022
- Marca: Sulzer
- Modelo: MSD 4/5 STG
- Tipo: Horizontal
- Potencia Motor: 1500 (HP) / 1118,5 (kW)
- Caudal: 534 (m³/h)
- TDH: 517.1 (m)

• Estanque Estación de Impulsión N° 1:

- Estanque:

- TAG Number: 9300-TK-001
- Capac. de trabajo: 730 (m³)

- Diámetro interior: 11.5 (m)
- Altura: 11.2 (m)

4.2.2 ESTACIÓN DE IMPULSIÓN N°2

La Estación de Impulsión de Agua Fresca N°2 está compuesta por un Estanque con una capacidad de 1022 m³(730 m³ de trabajo) y cinco bombas horizontales multietapa de carcasa partida axialmente (horizontalmente) las que están en paralelo con cuatro en operación, la restante estará en espera para ser usada de respaldo. Estas impulsarán agua fresca desde la Estación N°2 a una altura de 1479 m.s.n.m. (nivel de plataforma) hasta el Estanque de la Estación N°3 que se encuentra a una altura de 2036 m.s.n.m. (nivel de plataforma). La cañería de impulsión tiene un diámetro nominal de 711,2 mm y los espesores de pared dentro de la estación son de 12,7 mm y fuera de la estación son de 10,31 mm, 8,74 mm y 6,35 mm en el Pipeline y tiene una longitud de 17,3 km. En el caso de la Estación N°2 es abastecida directamente desde la Estación N°1 y también tiene la posibilidad de abastecerse, en caso de que la EI N°1 no pueda proporcionar el caudal necesario, desde seis pozos que en conjunto tienen una capacidad de 480 (m³/h).



Ilustración 14: Bombas PP025 a PP029, EB2

A continuación la información de los equipos mencionados:

- Bombas de pozos de alimentación:
 - Bomba Pozo 1 (PRD-2):
 - TAG Number: 9300-PP-010
 - Marca: KSB
 - Tipo: Vertical
 - Potencia Motor: 102 (HP) / 75 (kW)
 - Caudal: 288 (m³/h)
 - TDH: 54.2 (m)

 - Bomba Pozo 2 (CCh-1):
 - TAG Number: 9300-PP-015
 - Marca: KSB
 - Tipo: Vertical
 - Potencia Motor: 30 (HP) / 22 (kW)
 - Caudal: 97.2 (m³/h)
 - TDH: 41 (m)

 - Bomba Pozo 3 (CCh-2):
 - TAG Number: 9300-PP-014
 - Marca: KSB
 - Tipo: Vertical
 - Potencia Motor: 24.14 (HP) / 18 (kW)
 - Caudal: 54 (m³/h)
 - TDH: 69 (m)

- Bomba Pozo 4 (CCh-3):
 - TAG Number: 9300-PP-013
 - Marca: KSB
 - Tipo: Vertical
 - Potencia Motor: 35.3 (HP) / 26 (kW)
 - Caudal: 82.8 (m³/h)
 - TDH: 70.5 (m)

- Bomba Pozo 5 (CCh-4):
 - TAG Number: 9300-PP-012
 - Marca: KSB
 - Tipo: Vertical
 - Potencia Motor: 60 (HP) / 45 (kW)
 - Caudal: 93.6 (m³/h)
 - TDH: 108 (m)

- Bomba Pozo 6 (CCh-5):
 - TAG Number: 9300-PP-011
 - Marca: KSB
 - Tipo: Vertical
 - Potencia Motor: 73 (HP) / 55 (kW)
 - Caudal: 68.4 (m³/h)
 - TDH: 167.1 (m)

- Bombas Estación de Impulsión N°2:

- Bomba 1:
 - TAG Number: 9300-PP-025
 - Marca: Sulzer

- Modelo: MSD-D 5 STG
- Tipo: Horizontal
- Potencia Motor: 1500 (HP) / 1118.5 (kW)
- Caudal: 454 (m³/h)
- TDH: 650.2 (m)

- Bomba 2:

- TAG Number: 9300-PP-026
- Marca: Sulzer
- Modelo: MSD-D 5 STG
- Tipo: Horizontal
- Potencia Motor: 1500 (HP) / 1118.5 (kW)
- Caudal: 454 (m³/h)
- TDH: 650.2 (m)

- Bomba 3:

- TAG Number: 9300-PP-027
- Marca: Sulzer
- Modelo: MSD-D 5 STG
- Tipo: Horizontal
- Potencia Motor: 1500 (HP) / 1118.5 (kW)
- Caudal: 454 (m³/h)
- TDH: 650.2 (m)

- Bomba 4:

- TAG Number: 9300-PP-028
- Marca: Sulzer
- Modelo: MSD-D 5 STG
- Tipo: Horizontal
- Potencia Motor: 1500 (HP) / 1118.5 (kW)
- Caudal: 454 (m³/h)

- TDH: 650.2 (m)
- Bomba 5:
 - TAG Number: 9300-PP-029
 - Marca: Sulzer
 - Modelo: MSD-D 5 STG
 - Tipo: Horizontal
 - Potencia Motor: 1500 (HP) / 1118.5 (kW)
 - Caudal: 454 (m³/h)
 - TDH: 650.2 (m)
- Estanque Estación de Impulsión N°2:
 - Estanque:
 - TAG Number: 9300-TK-002
 - Capac. de trabajo: 730 (m³)
 - Diámetro interior: 11.5 (m)
 - Altura: 11.2 (m)

4.2.3 ESTACIÓN DE IMPULSIÓN N°3

La Estación de Impulsión de Agua Fresca N°3 está compuesta por un Estanque con una capacidad de 1141m³(830 m³ de trabajo) y cinco bombas horizontales multietapa de carcasa partida axialmente (horizontalmente) las que están en paralelo con cuatro en operación, la restante estará en espera para ser usada de respaldo. Estas impulsarán agua fresca desde la Estación N°3 a una altura de 2036 m.s.n.m. (nivel de plataforma) hasta la Piscina de Agua Fresca que pertenece a la EB4 a una altura de 2606 m.s.n.m. (nivel de plataforma piscina). La cañería de impulsión tiene un diámetro nominal de 711.2 mm y los espesores de pared dentro de la estación son de 12.7 mm y fuera de la estación son de 10.31 mm. 8.74 mm y 6.35

mm en el Pipeline y tiene una longitud de 16.8 km. En el caso de la Estación N°3 es abastecida directamente desde la Estación N°2 y también se abastece desde tres pozos que en conjunto tienen una capacidad de 192 (m³/h).

A continuación la información de los equipos mencionados:

- Bombas de pozos de alimentación:
 - Bomba Pozo 1 (WP-02):
 - TAG Number: 9300-PP-018
 - Marca: KSB
 - Tipo: Vertical
 - Potencia Motor: 30 (HP) / 22 (kW)
 - Caudal: 86 (m³/h)
 - TDH: 58 (m)
 - Bomba Pozo 2 (WP-03):
 - TAG Number: 9300-PP-017
 - Marca: KSB
 - Tipo: Vertical
 - Potencia Motor: 61 (HP) / 45 (kW)
 - Caudal: 72 (m³/h)
 - TDH: 118 (m)
 - Bomba Pozo 3 (WP-04):
 - TAG Number: 9300-PP-016
 - Marca: KSB
 - Tipo: Vertical
 - Potencia Motor: 61 (HP) / 45 (kW)
 - Caudal: 72 (m³/h)
 - TDH: 117 (m)

- Bombas Estación de Impulsión N°3:

- Bomba 1:

- TAG Number: 9300-PP-031
- Marca: Sulzer
- Modelo: MSD-D 5 STG
- Tipo: Horizontal
- Potencia Motor: 1500 (HP) / 1118.5 (kW)
- Caudal: 512 (m³/h)
- TDH: 689.2 (m)

- Bomba 2:

- TAG Number: 9300-PP-032
- Marca: Sulzer
- Modelo: MSD-D 5 STG
- Tipo: Horizontal
- Potencia Motor: 1500 (HP) / 1118.5 (kW)
- Caudal: 512 (m³/h)
- TDH: 689.2 (m)

- Bomba 3:

- TAG Number: 9300-PP-033
- Marca: Sulzer
- Modelo: MSD-D 5 STG
- Tipo: Horizontal
- Potencia Motor: 1500 (HP) / 1118.5 (kW)
- Caudal: 512 (m³/h)
- TDH: 689.2 (m)

- Bomba 4:
 - TAG Number: 9300-PP-034
 - Marca: Sulzer
 - Modelo: MSD-D 5 STG
 - Tipo: Horizontal
 - Potencia Motor: 1500 (HP) / 1118.5 (kW)
 - Caudal: 512 (m³/h)
 - TDH: 689.2 (m)

- Bomba 5:
 - TAG Number: 9300-PP-035
 - Marca: Sulzer
 - Modelo: MSD-D 5 STG
 - Tipo: Horizontal
 - Potencia Motor: 1500 (HP) / 1118.5 (kW)
 - Caudal: 512 (m³/h)
 - TDH: 689.2 (m)

- Estanque Estación de Impulsión N°3:
 - Estanque:
 - TAG Number: 9300-TK-003
 - Capac. de trabajo: 830 (m³)
 - Diámetro interior: 11.5 (m)
 - Altura: 11.2 (m)

4.2.4 ESTACIÓN DE IMPULSIÓN N°4

La Estación de Impulsión de Agua Fresca N°4 está compuesta por una Piscina con una capacidad de 45000 m³ y cinco bombas multietapaverticales las que están en

paralelo con cuatro en operación, la restante estará en espera para ser usada de respaldo. Estas impulsarán agua fresca desde la Estación N°4 a una altura de 2606 m.s.n.m. (nivel de plataforma de la piscina) hasta la Estación N°5 a una altura de 2791 m.s.n.m. (nivel de plataforma). La cañería de impulsión tiene un diámetro nominal de 711.2 mm y los espesores de pared dentro de la estación son de 12.7 mm y fuera de la estación son de 10.31 mm. 8.74 mm en el Pipeline y tiene una longitud de 4.6 km. En el caso de la Estación N°4 es abastecida directamente desde la Estación N°3.

A continuación la información de los equipos mencionados:

- Bombas Estación de Impulsión N°4:

- Bomba 1:

- TAG Number: 9300-PP-060
- Marca: Flowserve
- Modelo: 15EHM-11
- Tipo: Vertical
- Potencia Motor: 600 (HP) / 447 (kW)
- Caudal: 517 (m³/h)
- TDH: 228 (m)

- Bomba 2:

- TAG Number: 9300-PP-061
- Marca: Flowserve
- Modelo: 15EHM-11
- Tipo: Vertical
- Potencia Motor: 600 (HP) / 447 (kW)
- Caudal: 517 (m³/h)
- TDH: 228 (m)

- Bomba 3:

- TAG Number: 9300-PP-062
- Marca: Flowserve
- Modelo: 15EHM-11
- Tipo: Vertical
- Potencia Motor: 600 (HP) / 447 (kW)
- Caudal: 517 (m³/h)
- TDH: 228 (m)

- Bomba 4:

- TAG Number: 9300-PP-063
- Marca: Flowserve
- Modelo: 15EHM-11
- Tipo: Vertical
- Potencia Motor: 600 (HP) / 447 (kW)
- Caudal: 517 (m³/h)
- TDH: 228 (m)

- Bomba 5:

- TAG Number: 9300-PP-064
- Marca: Flowserve
- Modelo: 15EHM-11
- Tipo: Vertical
- Potencia Motor: 600 (HP) / 447 (kW)
- Caudal: 517 (m³/h)
- TDH: 228 (m)

- Piscina Estación de Impulsión N°4:
- Piscina:
 - TAG Number: 9300-PD-001
 - Capac. de trabajo: 45000 (m³)

4.2.5 ESTACIÓN DE IMPULSIÓN N°5

La Estación de Impulsión de Agua Fresca N°5 está compuesta por un Estanque con una capacidad de 1141 m³ (830 m³ de trabajo) y cinco bombas horizontales multietapa de carcasa partida axialmente (horizontalmente) las que están en paralelo con cuatro en operación, la restante estará en espera para ser usada de respaldo. Estas impulsarán agua fresca desde la Estación N°5 a una altura de 2791 m.s.n.m. (nivel de plataforma) hasta el Estanque de la Estación de Impulsión N°6 a una altura de 3400 m.s.n.m. (nivel de plataforma piscina). La cañería de impulsión tiene un diámetro nominal de 711.2 mm y los espesores de pared dentro de la estación son de 12.7 mm y fuera de la estación son de 10.31 mm, 8.74 mm y 6.35 mm en el Pipeline y tiene una longitud de 7.1 km. En el caso de la Estación N°5 es abastecida directamente desde la Estación N°4.

A continuación la información de los equipos mencionados:

- Bombas Estación de Impulsión N°5:
- Bomba 1:
 - TAG Number: 9300-PP-065
 - Marca: Sulzer
 - Modelo: MSD-D 5 STG
 - Tipo: Horizontal
 - Potencia Motor: 1700 (HP) / 1268 (kW)
 - Caudal: 517 (m³/h)

- TDH: 671.7 (m)
- Bomba 2:
 - TAG Number: 9300-PP-066
 - Marca: Sulzer
 - Modelo: MSD-D 5 STG
 - Tipo: Horizontal
 - Potencia Motor: 1700 (HP) / 1268 (kW)
 - Caudal: 517 (m³/h)
 - TDH: 671.7 (m)
- Bomba 3:
 - TAG Number: 9300-PP-067
 - Marca: Sulzer
 - Modelo: MSD-D 5 STG
 - Tipo: Horizontal
 - Potencia Motor: 1700 (HP) / 1268 (kW)
 - Caudal: 517 (m³/h)
 - TDH: 671.7 (m)
- Bomba 4:
 - TAG Number: 9300-PP-068
 - Marca: Sulzer
 - Modelo: MSD-D 5 STG
 - Tipo: Horizontal
 - Potencia Motor: 1700 (HP) / 1268 (kW)
 - Caudal: 517 (m³/h)
 - TDH: 671.7 (m)
- Bomba 5:
 - TAG Number: 9300-PP-069

- Marca: Sulzer
- Modelo: MSD-D 5 STG
- Tipo: Horizontal
- Potencia Motor: 1700 (HP) / 1268 (kW)
- Caudal: 517 (m³/h)
- TDH: 671.7 (m)

- Estanque Estación de Impulsión N°5:

- Estanque:

- TAG Number: 9300-TK-006
- Capac. de trabajo: 830 (m³)
- Diámetro interior: 11.5 (m)
- Altura: 12.4 (m)

4.2.6 ESTACIÓN DE IMPULSIÓN N°6

La Estación de Impulsión de Agua Fresca N°6 está compuesta por un Estanque con una capacidad de 1141 m³ (830 m³ de trabajo) y cinco bombas horizontales multietapa de carcasa partida axialmente (horizontalmente) las que están en paralelo con cuatro en operación, la restante estará en espera para ser usada de respaldo. Estas impulsarán agua fresca desde la Estación N°6 a una altura de 3400 m.s.n.m. (nivel de plataforma) hasta la Piscina de Agua Fresca que distribuye agua a distintos lugares y se encuentra a una altura de 4005 m.s.n.m. (nivel de plataforma piscina). La cañería de impulsión tiene un diámetro nominal de 711.2 mm y los espesores de pared dentro de la estación son de 12.7 mm y fuera de la estación son de 10.31 mm, 8.74 mm y 6.35 mm en el Pipeline y tiene una longitud de 4.6 km. En el caso de la Estación N°6 es abastecida directamente desde la Estación N°5.



Ilustración 15: Configuración bombas PP071 a PP075

A continuación la información de los equipos mencionados:

- Bombas Estación de Impulsión N°6:
 - Bomba 1:
 - TAG Number: 9300-PP-071
 - Marca: Sulzer
 - Modelo: MSD-D 5 STG
 - Tipo: Horizontal
 - Potencia Motor: 1700 (HP) / 1268 (kW)
 - Caudal: 517 (m³/h)
 - TDH: 671.7 (m)
 - Bomba 2:
 - TAG Number: 9300-PP-072
 - Marca: Sulzer
 - Modelo: MSD-D 5 STG
 - Tipo: Horizontal
 - Potencia Motor: 1700 (HP) / 1268 (kW)

- Caudal: 517 (m³/h)
- TDH: 671.7 (m)

- Bomba 3:

- TAG Number: 9300-PP-073
- Marca: Sulzer
- Modelo: MSD-D 5 STG
- Tipo: Horizontal
- Potencia Motor: 1700 (HP) / 1268 (kW)
- Caudal: 517 (m³/h)
- TDH: 671.7 (m)

- Bomba 4:

- TAG Number: 9300-PP-074
- Marca: Sulzer
- Modelo: MSD-D 5 STG
- Tipo: Horizontal
- Potencia Motor: 1700 (HP) / 1268 (kW)
- Caudal: 517 (m³/h)
- TDH: 671.7 (m)

- Bomba 5:

- TAG Number: 9300-PP-075
- Marca: Sulzer
- Modelo: MSD-D 5 STG
- Tipo: Horizontal
- Potencia Motor: 1700 (HP) / 1268 (kW)
- Caudal: 517 (m³/h)
- TDH: 671.7 (m)

- Estanque Estación de Impulsión N°6:
 - Estanque:
 - TAG Number: 9300-TK-007
 - Capac. de trabajo: 830 (m³)
 - Diámetro interior: 11.5 (m)
 - Altura: 12.4 (m)

4.2.7 PISCINA DE AGUA FRESCA (PAF)

La Piscina de Agua Fresca es donde se descarga el agua impulsada desde la Estación de Impulsión N°6 y tiene una capacidad de 27000 m³ a una altura de 4005 m.s.n.m. Desde esta piscina se abastecen distintas instalaciones y subsistemas pertenecientes a la Minera según el requerimiento de agua que se necesite en cada uno de éstos. El valor de diseño de extracción de Agua fresca desde la PAF es de 0,34 m³/TON (TON: Tonelada de material procesado), siendo la Planta concentradora la mayor solicitante del elemento agua.

4.3 ANÁLISIS DE DATOS

Para efectos de análisis energéticos y costos de la Energía, el precio base del kWh para el proyecto minero es 0,0702 US\$/kWh. Es necesario destacar que se realizará el siguiente procedimiento para poder determinar aproximadamente cuantos son los kWh anuales para poder satisfacer la demanda de Agua fresca desde las Estaciones de Bombeo. Se utilizará el Indicador Energético mencionado en el ítem 3.2.5., calculado para cada bomba y los m³ bombeados en el año para cada bomba, con las bombas funcionando de manera continua (24 hrs diarias, 30 días al mes, 12 meses).

$$kWh_{bomba} = \text{Indicador Energético}_{bomba} * \text{Vol. agua impulsado por la bomba} [m^3] \quad (1.6)$$

$$\text{Vol. agua}_{\text{impulsado por la bomba}} = x \left[\frac{m^3}{h} \right] * 24 \left[\frac{hr}{\text{día}} \right] * 30 \left[\frac{\text{día}}{\text{mes}} \right] * 12 \left[\frac{\text{mes}}{\text{año}} \right] \quad (1.7)$$

4.3.1 ESTACIÓN DE IMPULSIÓN N°1

La Estación de Impulsión N°1 tiene la capacidad por diseño de bombear un total de 1602 (m³/h) como caudal nominal, siendo el aporte de cada bomba de 534 (m³/h). Actualmente la EI1 bombea 1255 (m³/h) en promedio, dependiendo el aporte de cada bomba y la exigencia de funcionamiento.

| EB1 | | | |
|------------------------|------------------------------------|-------------------------|------|
| IN (m ³ /h) | Bombas nominal (m ³ /h) | OUT (m ³ /h) | |
| 1250 | PP020 | 534 | 436 |
| | PP021 | 534 | 409 |
| | PP022 | 534 | 410 |
| Caudal máx | | 1602 | |
| 1250 | TOTALES | | 1255 |

Tabla 1: Caudales EB1

Según se puede observar en la *Tabla 1* y la *Ilustración 16* y *17* las bombas aún tienen la capacidad para bombear más caudal, incluso se puede mejorar la eficiencia de las bombas al hacer mejor uso de las mismas.

Las curvas características de las bombas mencionadas son las siguientes:

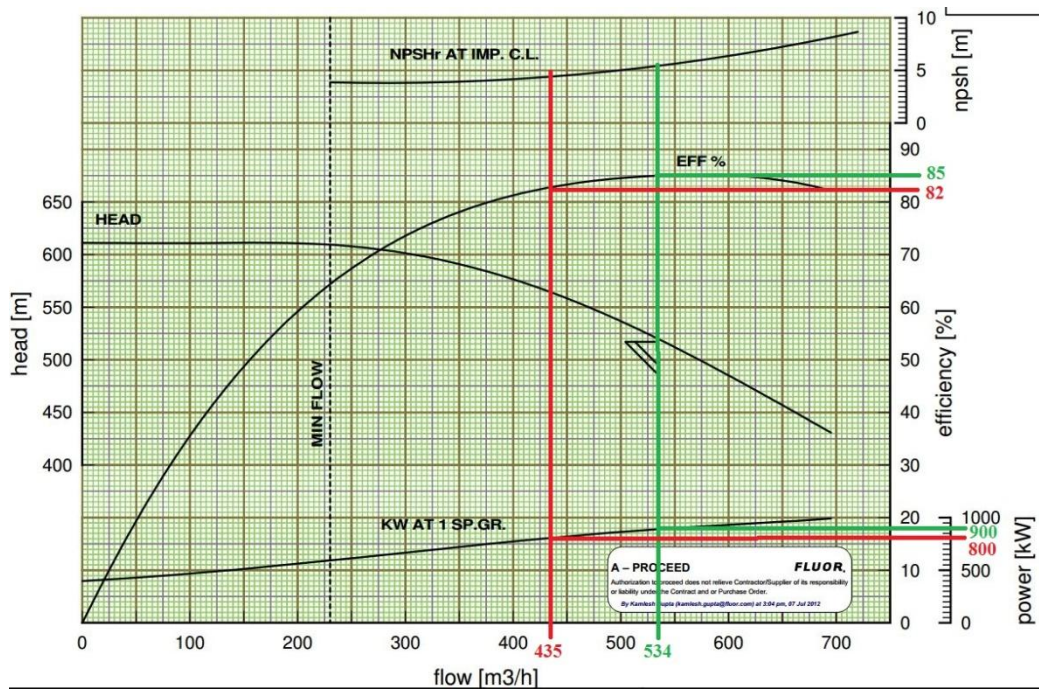


Ilustración 16: Curvas características bombas PP020

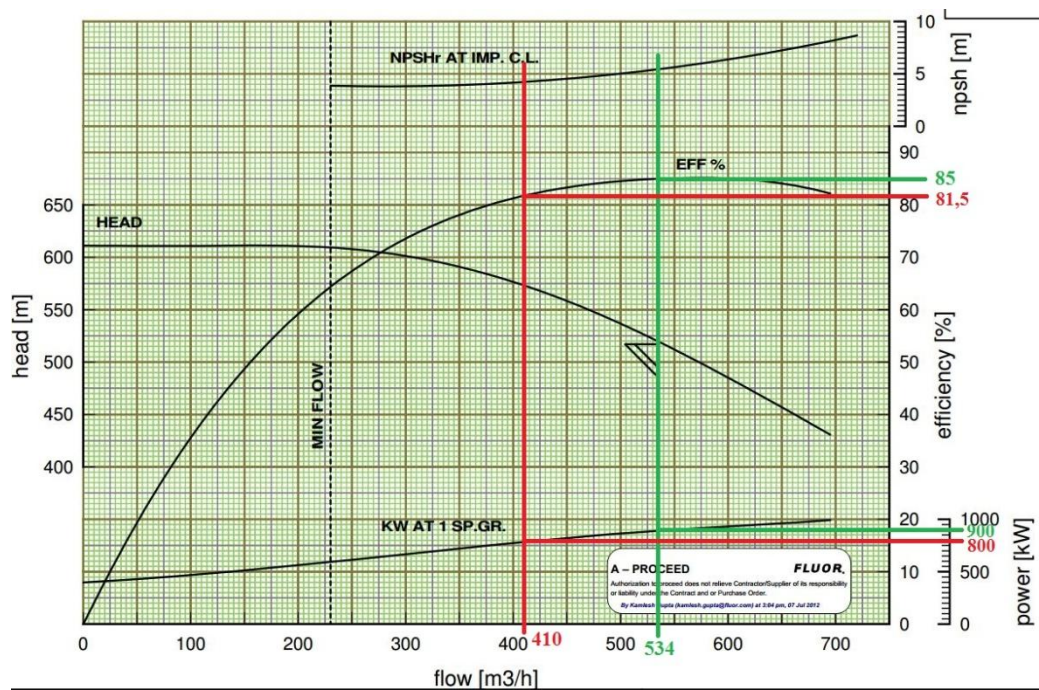


Ilustración 17: Curvas características bombas PP021, PP022

Según lo que se observa en la *Ilustración 16 y 17* la Eficiencia de la bomba PP020 baja desde 85 % a 82 %. El Consumo eléctrico baja desde 900 (kW) a 800 (kW). Y finalmente el Caudal baja desde 534 (m³/h) a 436 (m³/h).

Como se puede apreciar en la *Ilustración 8* la Eficiencia de las bombas PP021 y PP022, que son las que tienen la mayor diferencia de caudal con el Caudal Nominal, baja desde 85 % a 81,5 %. El Consumo Eléctrico también baja desde 900 (kW) a 800 (kW). Y el Caudal baja desde 534 (m³/h) a 410 (m³/h).

Teniendo esto en consideración se aplicará el Indicador Energético mencionado en el ítem 3.2.5.

De la *Tabla 2* se desprende la siguiente información:

Para la bomba PP020:

El Indicador Energético para el Caudal Nominal es: 1,685 (kWh/m³)

El Indicador Energético para el Caudal Promedio es: 1,839 (kWh/m³)

La diferencia entre ambos Caudales es de 0,154 (kWh/m³), esto significa que por cada m³ que se bombea se están utilizando 0,154 kWh adicionales por la baja de eficiencia respecto del consumo nominal de diseño.

Para las bombas PP021 y PP022:

El Indicador Energético para el Caudal Nominal es: 1,685 (kWh/m³)

El Indicador Energético para el Caudal Promedio es: 1,951 (kWh/m³)

La diferencia entre ambos Caudales es de 0,154 (kWh/m³) y 0,266 (kWh/m³) respectivamente, esto significa que por cada m³ que se bombea se están utilizando 0,154 kWh y 0,266 kWh adicionales por la baja de eficiencia respecto del consumo nominal de diseño.

Por lo tanto considerando las diferencias de los Indicadores Energéticos (kWh/m³) y los m³ que se bombean en un año, se obtienen los kWh utilizados en un año con las

bombas trabajando de forma continua y finalmente el costo total adicional por la baja eficiencia de la Estación de Impulsión.

| Bombas | I.E.promedio (kWh/m ³) | I.E.nominal (kWh/m ³) | Delta I.E. (kWh/m ³) | Vol. De agua en 1 año (m ³ /año) | Diferencia de kWh/año | Costo (US\$/año) |
|------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|---|-----------------------------|---------------------|
| PP020 | 1,839 | 1,685 | 0,154 | 3.758.400 | 577.618 | 40.549 |
| PP021 | 1,951 | 1,685 | 0,266 | 3.542.400 | 941.663 | 66.105 |
| PP022 | 1,951 | 1,685 | 0,266 | 3.542.400 | 941.663 | 66.105 |
| Total EB1 | | | | | | 172.758 |

Tabla 2: Indicador Energético y Costos Extras EB1

En cuanto a la Curva del Sistema considerando que se están utilizando 3 bombas en ésta Estación se obtiene el gráfico adjunto en el Anexo 8.2.3.

En el gráfico se aprecian las curvas para 1, 2, y 3 bombas en paralelo, el punto de Altura Estática, el Punto de Operación del Sistema y la Curva del Sistema. De acuerdo a la Curva del Sistema el punto de operación se encuentra en la curva de característica de trabajo de dos bombas en paralelo. Por lo que se puede inferir que se está produciendo recirculación, y el requerimiento de altura y caudal se puede satisfacer con solamente 2 de las bombas actualmente instaladas. Si se observan nuevamente las Curvas características de las bombas en las *Ilustraciones 16 y 17* y además la *Tabla 1*, se puede notar que existe la posibilidad de distribuir el Caudal en sólo 2 bombas mejorando la eficiencia de las mismas y cumpliendo con los requerimientos de la Estación de Impulsión que son 1255 (m³/h) de Caudal y 455 (m) de Altura.

4.3.2 ESTACIÓN DE IMPULSIÓN N°2

La Estación de Impulsión N°2 tiene la capacidad por diseño de bombear un total de 1816 (m³/h) como caudal nominal, siendo el aporte de cada bomba de 454 (m³/h). Actualmente la EI2 bombea 1576 (m³/h) en promedio, dependiendo el aporte de cada bomba y la exigencia de funcionamiento. Este aumento respecto de la EI1 es por el aporte de pozos que envían agua directamente a la estación.

| EB2 | | |
|------------------------|------------------------------------|-------------------------|
| IN (m ³ /h) | Bombas nominal (m ³ /h) | OUT (m ³ /h) |
| 1575 | PP025 | 400 |
| | PP026 | 390 |
| | PP027 | 395 |
| | PP028 | 391 |
| | PP029 | |
| Caudal máx | | 1816 |
| TOTALES | | 1576 |

Tabla 3: Caudales EB2

Según se puede observa en la *Tabla 3* y la *Ilustración 18* las bombas aún tienen la capacidad para bombear más caudal, al igual que en la Estación 1, y también se puede mejorar la eficiencia de las bombas al hacer mejor uso de las mismas.

Las curvas características de las bombas mencionadas son las siguientes:

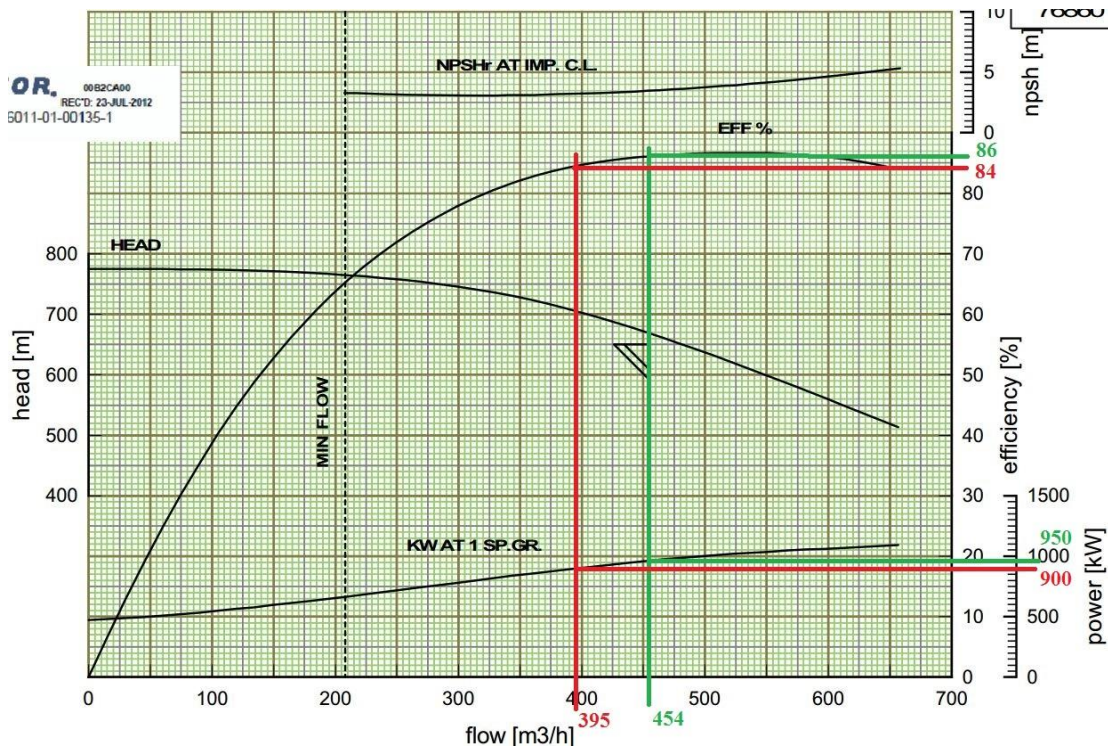


Ilustración 18: Curvas características bombas PP025, PP026, PP027, PP028

Según lo que se observa en la *Ilustración 18* la Eficiencia de las bombas PP025, PP026, PP027 y PP028 baja desde 86 % a 84 %. El Consumo eléctrico baja desde 950 (kW) a 900 (kW). Y finalmente el Caudal baja desde 454 (m³/h) a 395 (m³/h).

Se aplica nuevamente el Indicador Energético se obtienen los resultados de la *Tabla 4*.

De la *Tabla 4* se desprende la siguiente información:

Para las bombas PP025, PP026, PP027, PP028:

El Indicador Energético para el Caudal Nominal es: 2,093 (kWh/m³)

El Indicador Energético para el Caudal Promedio es: 2,278 (kWh/m³)

La diferencia entre ambos Caudales es de 0,186 (kWh/m³) para todas la bombas, esto significa que por cada m³ que se bombea se están utilizando 0,186 kWh adicionales por la baja de eficiencia respecto del consumo nominal de diseño.

En base a esto se obtiene el costo total adicional por los kWh extras que se ocupan por la baja eficiencia de cada bomba, reflejados en la última columna de la *Tabla 4*:

| Bombas | I.E.promedio (kWh/m ³) | I.E.nominal (kWh/m ³) | Delta I.E. (kWh/m ³) | Vol. De agua en 1 año (m ³ /año) | Diferencia de kWh/año | Costo (US\$/año) |
|------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|---|-----------------------------|---------------------|
| PP025 | 2,278 | 2,093 | 0,186 | 3.412.800 | 634.678 | 44.554 |
| PP026 | 2,278 | 2,093 | 0,186 | 3.412.800 | 634.678 | 44.554 |
| PP027 | 2,278 | 2,093 | 0,186 | 3.412.800 | 634.678 | 44.554 |
| PP028 | 2,278 | 2,093 | 0,186 | 3.412.800 | 634.678 | 44.554 |
| Total EB2 | | | | | | 178.218 |

Tabla 4: Indicador Energético y Costos Extras EB2

En cuanto a la Curva del Sistema considerando que se están utilizando 4 bombas en ésta Estación se obtiene el gráfico adjunto en el Anexo 8.2.4.

En el gráfico se aprecian las curvas para 1, 2, 3 y 4 bombas en paralelo, el punto de Altura Estática, el Punto de Operación del Sistema y la Curva del Sistema. De acuerdo a la Curva del Sistema el punto de operación se encuentra en la curva de característica de trabajo de tres bombas en paralelo. Por lo que se puede inferir que se está produciendo recirculación y probablemente hay fugas en las bombas, ya que se está haciendo ese trabajo con 4 bombas, y el requerimiento de altura y caudal se puede satisfacer con solamente 3 de las bombas actualmente instaladas. Si se observan nuevamente las Curvas características de las bombas en la *Ilustraciones 18* y además la *Tabla 3*, se corrobora que existe la posibilidad de distribuir el Caudal en 3 bombas aumentando la eficiencia de las mismas y cumpliendo con los requerimientos de la Estación de Impulsión que son 1576 (m³/h) de Caudal y 617 (m) de Altura.

4.3.3 ESTACIÓN DE IMPULSIÓN N°3

La Estación de Impulsión N°3 tiene la capacidad por diseño de bombear un total de 2048 (m³/h) como caudal nominal, siendo el aporte de cada bomba de 512 (m³/h). Actualmente la EI3 bombea 1716 (m³/h) en promedio, dependiendo el aporte

de cada bomba y la exigencia de funcionamiento. Este aumento respecto de la EI2 es por el aporte de pozos que envían agua directamente a la estación.

| EB3 | | | |
|------------------------|------------------------------------|-------------------------|-------------|
| IN (m ³ /h) | Bombas nominal (m ³ /h) | OUT (m ³ /h) | |
| 1716,3 | PP031 | 512 | 432 |
| | PP032 | 512 | 425 |
| | PP033 | 512 | 428 |
| | PP034 | 512 | 431 |
| | PP035 | 512 | |
| Caudal máx | | 2048 | |
| | | TOTALES | 1716 |

Tabla 5: Caudales EB3

Por lo que se observa en la *Tabla 5* las bombas aún tienen la capacidad para bombear más caudal. En este caso también es posible mejorar la eficiencia de las bombas.

Las curvas características de las bombas mencionadas son las siguientes:

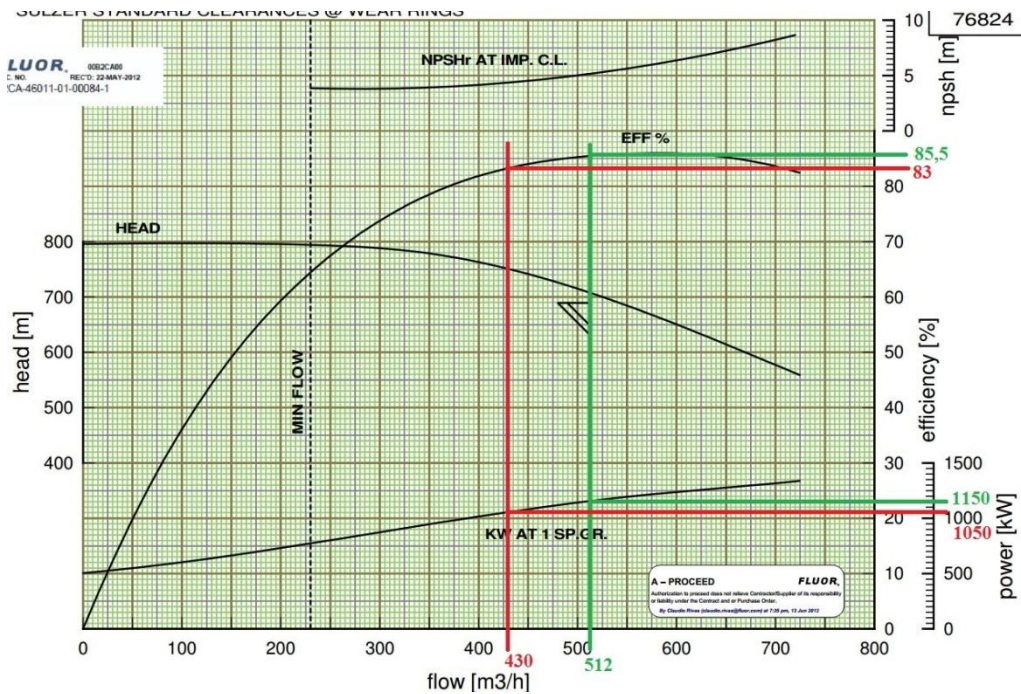


Ilustración 19: Curvas características bombas PP031, PP032, PP033, PP034

Por lo que se observa en la *Ilustración 19* la Eficiencia de las bombas PP031, PP032, PP033 y PP034 baja desde 85,5 % a 83 %. El Consumo eléctrico baja desde 1150 (kW) a 1050 (kW). Y finalmente el Caudal baja desde 512 (m³/h) a 430 (m³/h).

Aplicando el Indicador Energético se obtienen los resultados de la *Tabla 6*.

De la *Tabla 6* se desprende la siguiente información:

Para las bombas PP031, PP032, PP033, PP034:

El Indicador Energético para el Caudal Nominal es: 2,246 (kWh/m³)

El Indicador Energético para el Caudal Promedio es: 2,558 (kWh/m³)

La diferencia entre ambos Caudales es de 0,312 (kWh/m³) para todas la bombas, esto significa que por cada m³ que se bombea se están utilizando 0,312 kWh adicionales por la baja de eficiencia respecto del consumo nominal de diseño.

En base a esto se obtiene el costo total adicional por los kWh extras que se ocupan por la baja eficiencia de cada bomba, reflejados en la última columna de la *Tabla 6*:

| Bombas | I.E.-promedio (kWh/m ³) | I.E.-nominal (kWh/m ³) | Delta I.E. (kWh/m ³) | Vol. De agua en 1 año (m ³ /año) | Diferencia de kWh/año | Costo (US\$/año) |
|------------------|-------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|---|-----------------------|------------------|
| PP031 | 2,558 | 2,246 | 0,312 | 3.715.200 | 1.159.313 | 81.384 |
| PP032 | 2,558 | 2,246 | 0,312 | 3.715.200 | 1.159.313 | 81.384 |
| PP033 | 2,558 | 2,246 | 0,312 | 3.715.200 | 1.159.313 | 81.384 |
| PP034 | 2,558 | 2,246 | 0,312 | 3.715.200 | 1.159.313 | 81.384 |
| Total EB3 | | | | | | 325.535 |

Tabla 6: Indicador Energético y Costos Extras EB3

La Curva del Sistema considerando que se están utilizando 4 bombas en ésta Estación se representa en el gráfico adjunto en el Anexo 8.2.5.

En el gráfico se aprecian las curvas para 1, 2, 3 y 4 bombas en paralelo, el punto de Altura Estática, el Punto de Operación del Sistema y la Curva del Sistema. De acuerdo a la Curva del Sistema el punto de operación se encuentra en la curva de característica de trabajo de tres bombas en paralelo. Por lo tanto en ésta Estación sucede el mismo fenómeno de pérdida de caudal que se puede estar produciendo por

recirculación o probablemente por fugas en las bombas, ya que se está haciendo ese trabajo con 4 bombas, y el requerimiento de altura y caudal se puede satisfacer con solamente 3 de las bombas actualmente instaladas. Si se observan nuevamente las Curvas características de las bombas en la *Ilustraciones 19* y además la *Tabla 6*, se observa que existe la posibilidad de distribuir el Caudal en 3 bombas aumentando la eficiencia de las mismas y cumpliendo con los requerimientos de la Estación de Impulsión que son 1716 (m³/h) de Caudal y 623 (m) de Altura.

4.3.4 ESTACIÓN DE IMPULSIÓN N°4

La Estación de Impulsión N°4 tiene la capacidad por diseño de bombear un total de 2068 (m³/h) como caudal nominal, siendo el aporte de cada bomba de 517 (m³/h). Actualmente la EI4 bombea 1717 (m³/h) en promedio, dependiendo el aporte de cada bomba y la exigencia de funcionamiento. Desde esta estación en adelante ya no hay aportes de pozos directamente a las estaciones consecutivas.

| EB4 | | | |
|------------------------|------------------------------------|-------------------------|------|
| IN (m ³ /h) | Bombas nominal (m ³ /h) | OUT (m ³ /h) | |
| 1716 | PP060 | 517 | 435 |
| | PP061 | 517 | 427 |
| | PP062 | 517 | |
| | PP063 | 517 | 422 |
| | PP064 | 517 | 433 |
| Caudal máx | | 2068 | |
| TOTALES | | | 1717 |

Tabla 7: Caudales EB4

De la *Tabla 7* se desprende que las bombas también tienen la capacidad para bombear más caudal. Mismas características de la Estación N°3, se puede mejorar.

Las curvas características de las bombas mencionadas son las siguientes:

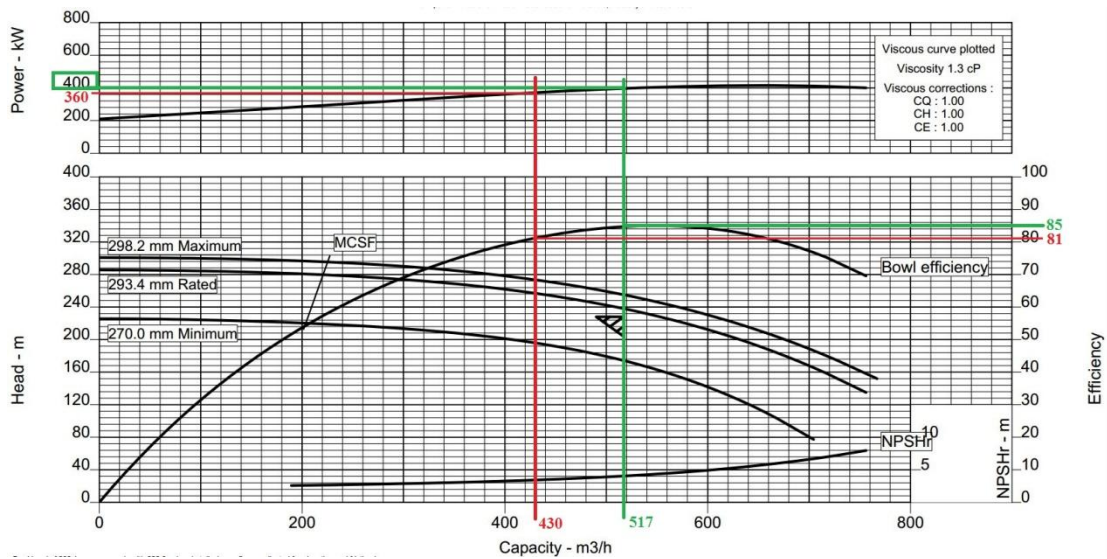


Ilustración 20: Curvas características bombas PP060, PP061, PP063, PP064

En la *Ilustración 20* se puede observar que la Eficiencia de las bombas PP60, PP061, PP063 y PP064 baja desde 85 % a 81 %. El Consumo eléctrico baja desde 400 (kW) a 360 (kW). Y finalmente el Caudal baja desde 517 (m³/h) a 430 (m³/h).

Aplicando el Indicador Energético se obtienen los resultados de la *Tabla 8*.

De la *Tabla 8* se desprende la siguiente información:

Para las bombas PP060, PP061, PP063, PP064:

El Indicador Energético para el Caudal Nominal es: 0,837 (kWh/m³)

El Indicador Energético para el Caudal Promedio es: 0,774 (kWh/m³)

La diferencia entre ambos Caudales es de 0,064 (kWh/m³) para todas la bombas, esto significa que por cada m³ que se bombea se están utilizando 0,064 kWh adicionales por la baja de eficiencia respecto del consumo nominal de diseño.

En base a esto se obtiene el costo total adicional por los kWh extras que se ocupan por la baja eficiencia de cada bomba, reflejados en la última columna de la *Tabla 8*:

| Bombas | I.E.promedio (kWh/m ³) | I.E.nominal (kWh/m ³) | Delta I.E. (kWh/m ³) | Vol. De agua en 1 año (m ³ /año) | Diferencia de kWh/año | Costo (US\$/año) |
|-----------|---------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|---|-----------------------------|---------------------|
| PP060 | 0,837 | 0,774 | 0,064 | 3.715.200 | 235.971 | 16.565 |
| PP061 | 0,837 | 0,774 | 0,064 | 3.715.200 | 235.971 | 16.565 |
| PP063 | 0,837 | 0,774 | 0,064 | 3.715.200 | 235.971 | 16.565 |
| PP064 | 0,837 | 0,774 | 0,064 | 3.715.200 | 235.971 | 16.565 |
| Total EB4 | | | | | | 66.261 |

Tabla 8: Indicador Energético y Costos Extras EB4

La Curva del Sistema considerando que se están utilizando 4 bombas en ésta Estación se representa en el gráfico adjunto en el Anexo 8.2.6

En el gráfico se aprecian las curvas para 1, 2, 3 y 4 bombas en paralelo, el punto de Altura Estática, el Punto de Operación del Sistema y la Curva del Sistema. De acuerdo a la Curva del Sistema el punto de operación se encuentra en la curva de característica de trabajo de tres bombas en paralelo. Se repite la condición de una oportunidad de mejora en la configuración de los equipos de ésta Estación. Si se observan nuevamente las Curvas características de las bombas en la *Ilustración 20* y además la *Tabla 7*, se observa que existe la posibilidad de distribuir el Caudal en 3 bombas aumentando la eficiencia de las mismas y cumpliendo con los requerimientos de la Estación de Impulsión que son 1717 (m³/h) de Caudal y 218 (m) de Altura.

4.3.5 ESTACIÓN DE IMPULSIÓN N°5

La Estación de Impulsión N°5 tiene la misma capacidad que la Estación N°4, por diseño puede bombear un total de 2068 (m³/h) como caudal nominal, siendo el aporte de cada bomba de 517 (m³/h). Actualmente la EI5 bombea 1720 (m³/h) en promedio, dependiendo el aporte de cada bomba y la exigencia de funcionamiento. Al igual que la Estación N°4 esta estación tampoco recibe aporte de pozos.

| EB5 | | | |
|------------------------|------------------------------------|-------------------------|------|
| IN (m ³ /h) | Bombas nominal (m ³ /h) | OUT (m ³ /h) | |
| 1717 | PP065 | 517 | 430 |
| | PP066 | 517 | 430 |
| | PP067 | 517 | 428 |
| | PP068 | 517 | 432 |
| | PP069 | 517 | |
| Caudal máx | | 2068 | |
| | | TOTALES | 1720 |

Tabla 9: Caudales EB5

De la *Tabla 9* se puede inferir que las bombas de la Estación N°5 también tienen la capacidad para bombear más caudal. Se presenta la condición de oportunidad de mejora al igual que las estaciones anteriores.

Las curvas características de las bombas mencionadas son las siguientes:

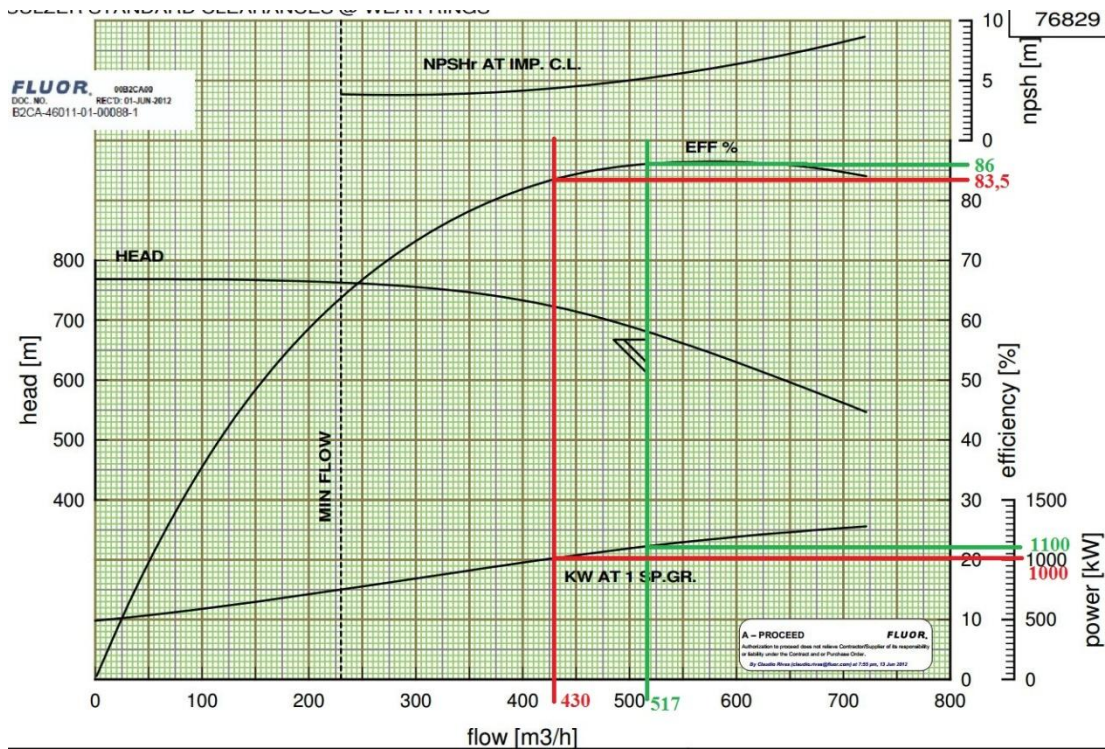


Ilustración 21: Curvas características bombas PP065, PP066, PP067, PP068

En la *Ilustración 21* se puede observar que la Eficiencia de las bombas PP065, PP066, PP067 y PP068 baja desde 86 % a 83,5 %. El Consumo eléctrico baja desde 1100 (kW) a 1000 (kW). Y finalmente el Caudal baja desde 517 (m³/h) a 430 (m³/h).

Aplicando el Indicador Energético se obtienen los resultados expresados en la *Tabla 10*.

De la *Tabla 10* se desprende la siguiente información:

Para las bombas PP065, PP066, PP067, PP068:

El Indicador Energético para el Caudal Nominal es: 2,128 (kWh/m³)

El Indicador Energético para el Caudal Promedio es: 2,326 (kWh/m³)

La diferencia entre ambos Caudales es de 0,198 (kWh/m³) para todas la bombas, esto significa que por cada m³ que se bombea se están utilizando 0,198 kWh adicionales por la baja de eficiencia respecto del consumo nominal de diseño.

Finalmente el costo total adicional por los kWh extras que se ocupan por la baja eficiencia de cada bomba, se ven reflejados en la última columna de la *Tabla 10*:

| Bombas | I.E.promedio (kWh/m ³) | I.E.nominal (kWh/m ³) | Delta I.E. (kWh/m ³) | Vol. De agua en 1 año (m ³ /año) | Diferencia de kWh/año | Costo (US\$/año) |
|--------|------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|---|-----------------------|------------------|
| PP065 | 2,326 | 2,128 | 0,198 | 3.715.200 | 735.319 | 51.619 |
| PP066 | 2,326 | 2,128 | 0,198 | 3.715.200 | 735.319 | 51.619 |
| PP067 | 2,326 | 2,128 | 0,198 | 3.715.200 | 735.319 | 51.619 |
| PP068 | 2,326 | 2,128 | 0,198 | 3.715.200 | 735.319 | 51.619 |
| | | | | | Total EB5 | 206.478 |

Tabla 10: Indicador Energético y Costos Extras EB5

La Curva del Sistema considerando que se están utilizando 4 bombas en ésta Estación se representa en el gráfico adjunto en el Anexo 8.2.7

En el gráfico se aprecian las curvas para 1, 2, 3 y 4 bombas en paralelo, el punto de Altura Estática, el Punto de Operación del Sistema y la Curva del Sistema. De acuerdo a la Curva del Sistema el punto de operación se encuentra en la curva de característica de trabajo de tres bombas en paralelo. Se repite la condición de una

oportunidad de mejora en la configuración de los equipos de ésta Estación, con la diferencia de costos ya que las equipos de la Estación N°4 tienen otros consumos energéticos. Si se observan nuevamente las Curvas características de las bombas en la *Ilustraciones 21* y además la *Tabla 9*, se observa que existe la posibilidad de distribuir el Caudal en 3 bombas aumentando la eficiencia de las mismas y cumpliendo con los requerimientos de la Estación de Impulsión que son 1717 (m³/h) de Caudal y 644 (m) de Altura.

4.3.6 ESTACIÓN DE IMPULSIÓN N°6

La Estación de Impulsión N°6 tiene la misma capacidad que la Estación N°4 y N°5, por diseño puede bombear un total de 2068 (m³/h) como caudal nominal, siendo el aporte de cada bomba de 517 (m³/h). Actualmente la EI6 bombea 1718 (m³/h) en promedio, dependiendo el aporte de cada bomba y la exigencia de funcionamiento. Al igual que la Estación N°4 y N°5 esta estación tampoco recibe aporte de pozos.

| EB6 | | | |
|------------|-----------------------|----------------|------|
| IN (m3/h) | Bombas nominal (m3/h) | OUT (m3/h) | |
| 1720 | PP071 | 517 | 429 |
| | PP072 | 517 | 425 |
| | PP073 | 517 | 432 |
| | PP074 | 517 | 432 |
| | PP075 | 517 | |
| Caudal máx | | 2068 | |
| | | TOTALES | 1718 |

Tabla 11: Caudales EB6

De la *Tabla 11* se puede inferir que las bombas de la Estación N°6 también tienen la capacidad para bombear más caudal. Finalmente la última Estación también está sujeta a la posibilidad de mejorar su funcionamiento como conjunto.

Las curvas características de las bombas mencionadas son las siguientes:

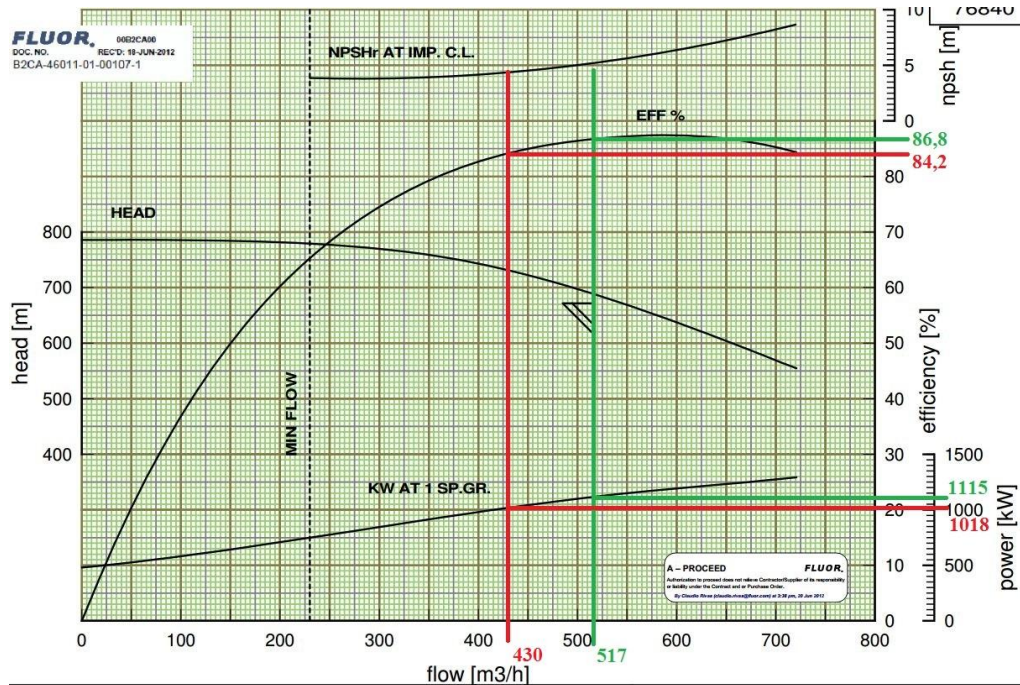


Ilustración 22: características bombas PP071, PP072, PP073, PP074

En la *Ilustración 22* se puede observar que la Eficiencia de las bombas PP071, PP072, PP073 y PP074 baja desde 86,8 % a 84,2 %. El Consumo eléctrico baja desde 1115 (kW) a 1000 (kW). Y finalmente el Caudal baja desde 517 (m³/h) a 430 (m³/h).

Aplicando el Indicador Energético se obtiene la *Tabla 12*.

De la *Tabla 12* se desprende la siguiente información:

Para las bombas PP071, PP072, PP073, PP074:

El Indicador Energético para el Caudal Nominal es: 2,157 (kWh/m³)

El Indicador Energético para el Caudal Promedio es: 2,326 (kWh/m³)

La diferencia entre ambos Caudales es de 0,169 (kWh/m³) para todas la bombas, esto significa que por cada m³ que se bombea se están utilizando 0,169 kWh adicionales por la baja de eficiencia respecto del consumo nominal de diseño.

Finalmente el costo total adicional por los kWh extras que se ocupan por la baja eficiencia de cada bomba, se ven reflejados en la última columna de la *Tabla 12*:

| Bombas | I.E.promedio (kWh/m ³) | I.E.nominal (kWh/m ³) | Delta I.E. (kWh/m ³) | Vol. De agua en 1 año (m ³ /año) | Diferencia de kWh/año | Costo (US\$/año) |
|------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|---|-----------------------------|---------------------|
| PP071 | 2,326 | 2,157 | 0,169 | 3.715.200 | 627.528 | 44.052 |
| PP072 | 2,326 | 2,157 | 0,169 | 3.715.200 | 627.528 | 44.052 |
| PP073 | 2,326 | 2,157 | 0,169 | 3.715.200 | 627.528 | 44.052 |
| PP074 | 2,326 | 2,157 | 0,169 | 3.715.200 | 627.528 | 44.052 |
| Total EB6 | | | | | | 176.210 |

Tabla 12: Indicador Energético y Costos Extras EB6

La Curva del Sistema considerando que se están utilizando 4 bombas en ésta Estación se representa en el gráfico adjunto en el Anexo 8.2.8.

En el gráfico se aprecian las curvas para 1, 2, 3 y 4 bombas en paralelo, el punto de Altura Estática, el Punto de Operación del Sistema y la Curva del Sistema. De acuerdo a la Curva del Sistema el punto de operación se encuentra en la curva de característica de trabajo de tres bombas en paralelo. Se repite la condición de una oportunidad de mejora en la configuración de los equipos de ésta Estación. Si se observan nuevamente las Curvas características de las bombas en la *Ilustraciones 22* y además la *Tabla 11*, se observa que existe la posibilidad de distribuir el Caudal en 3 bombas aumentando la eficiencia de las mismas y cumpliendo con los requerimientos de la Estación de Impulsión que son 1717 (m³/h) de Caudal y 617 (m) de Altura.

4.3.7 COSTOS EXTRAS TOTALES

Después de analizar los Indicadores Energéticos de cada una de las Estaciones de Bombeo o Impulsión, se obtienen los costos extras totales por el funcionamiento ineficiente de las bombas a raíz del uso indebido de éstas en lo que respecta a los Caudales de bombeo.

| Estación de Impulsión | Total [kWh/año] extras | Total Costos Extras (US\$/año) |
|-----------------------|------------------------|--------------------------------|
| EB1 | 2.460.944 | 172.758 |
| EB2 | 586.150 | 178.218 |
| EB3 | 2.909.250 | 325.535 |
| EB4 | 943.882 | 66.261 |
| EB5 | 2.941.277 | 206.478 |
| EB6 | 3.132.192 | 176.210 |
| TOTAL | 12.973.695 | 1.125.459 |

Tabla 13: Costos Totales Extras Sistema Agua Fresca

4.3.8 RESULTADO ANÁLISIS DE GESTIÓN EFICIENTE

En base a lo planteado y analizado en el punto 4. *Desarrollo del análisis de gestión eficiente* se puede inferir que los requerimientos reales del Sistema de Agua Fresca son los siguientes:

| Estación | Caudal (m ³ /hr) por bomba | Altura (m) |
|----------|---------------------------------------|------------|
| EB1 | 420 | 455 |
| EB2 | 400 | 617 |
| EB3 | 430 | 623 |
| EB4 | 430 | 218 |
| EB5 | 430 | 644 |
| EB6 | 430 | 617 |

Tabla 14: Caudales reales Estaciones de Impulsión

| Estación | Caudal por bomba (m ³ /hr) | Altura (m) |
|----------|---------------------------------------|------------|
| EB1 | 534 | 517 |
| EB2 | 454 | 650 |
| EB3 | 512 | 666 |
| EB4 | 517 | 236 |
| EB5 | 517 | 667 |
| EB6 | 517 | 637 |

Tabla 15: Caudales según diseño Estaciones de Impulsión

Como se puede apreciar en ambas tablas los requerimientos reales en cuanto a caudal son lejanos a los de diseño, llegando los reales a representar solo entre un 80% y 88% de los de diseño. Junto con esto, a raíz de que la Energía que se usa para bombear estos caudales no es proporcional al Caudal, la Energía utilizada por m³ es mayor.

Es por esto que el sistema en cuanto a Gestión Eficiente de los recursos, ya sea Agua o Energía, es bastante bajo respecto al diseño original. Y esto se ve reflejado en los costos extras que generan las bombas en Energía necesaria para bombear los metros cúbicos requeridos al Sistema de Agua Fresca finalmente, los que alcanzan un valor de US\$ 910.753 al año.

Además se puede concluir que para cumplir los requerimientos reales mostrados en la *Tabla 14* no es necesario tener todas las bombas en funcionamiento. Si se observan las Curvas de Sistema de cada una de las Estaciones se concluye que se pueden cumplir los parámetros necesarios con menor cantidad de equipos de los que actualmente están en funcionamiento. Con la condición de que los equipos deben estar al 100% de operatividad, ya que el problema de recirculación se produce por un mal mantenimiento correctivo y preventivo de los equipos, produciéndose fugas internas y externas al cuerpo de la bomba.

5. PROPUESTA DE CAMBIO PARA MEJORA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

En el transcurso del levantamiento de información y el análisis anteriormente planteado se detectaron otras falencias en cuanto a recursos y uso de equipos:

- Falta de Agua por uso ineficiente del recurso en los procesos o áreas a las que el SAF suministra dicho recurso.
- Uso indebido de los equipos en Sistemas de bombeo en otros tipos de agua, distintas al Agua Fresca.

Ya que éstas prácticas por un lado son atingentes a otro proceso u otras áreas y por otro lado malas prácticas se recomienda resolver a las áreas respectivas.

Es por esto que se propone una solución para mejorar el uso de los recursos y que está enfocada al uso eficiente de la Energía, ya que la cantidad de agua en la Región y específicamente en la zona es limitada.

Para lograr lo mencionado primero se debe hacer una mantención a los equipos que se encuentran STAND-BY y paulatinamente proceder con la mantención de todos los equipos. Una vez estando los equipos en condiciones ideales se pondrán en servicio y así poder realizar el mantenimiento debido a los restantes. Eliminando fugas y reemplazando las partes que se han desgastado por el uso contante.

5.1 DISMINUCIÓN DE EQUIPOS DE BOMBEO

Debido a que los requerimientos reales del sistema de Agua fresca son bastante diferentes a los requerimientos de diseño y en base a los antecedentes de un mantenimiento mal efectuado durante el tiempo que llevan de operación los equipos, se sugieren los siguientes cambios de configuración para las 6 Estaciones de Impulsión que cumplen de mejor manera con los requerimientos de Caudal y Altura junto con la mejor utilización de Energía.

5.1.1 CAMBIOS EN ESTACION DE IMPULSIÓN N°1

Según lo planteado en el punto 4.3.1 los Indicadores Energéticos en base al Caudal Promedio para las bombas son los siguientes:

Para la bomba PP020: 1,839 (kWh/m³)

Para las bombas PP021 y PP022: 1,951 (kWh/m³)

El cambio que se debe realizar en la Estación N°1 es reducir la cantidad de equipos en funcionamiento a 2 bombas. A raíz de esto cada equipo deberá bombear más Caudal individualmente, pero al mismo tiempo aumentará su eficiencia y mejorará también el consumo eléctrico por m³ elevado.

Como se representa en la *Ilustración 23* cada bomba elevará 627,5 (m³/h) teniendo un consumo de 950 (kW), mejorando así su eficiencia hacia la parte superior de la curva.

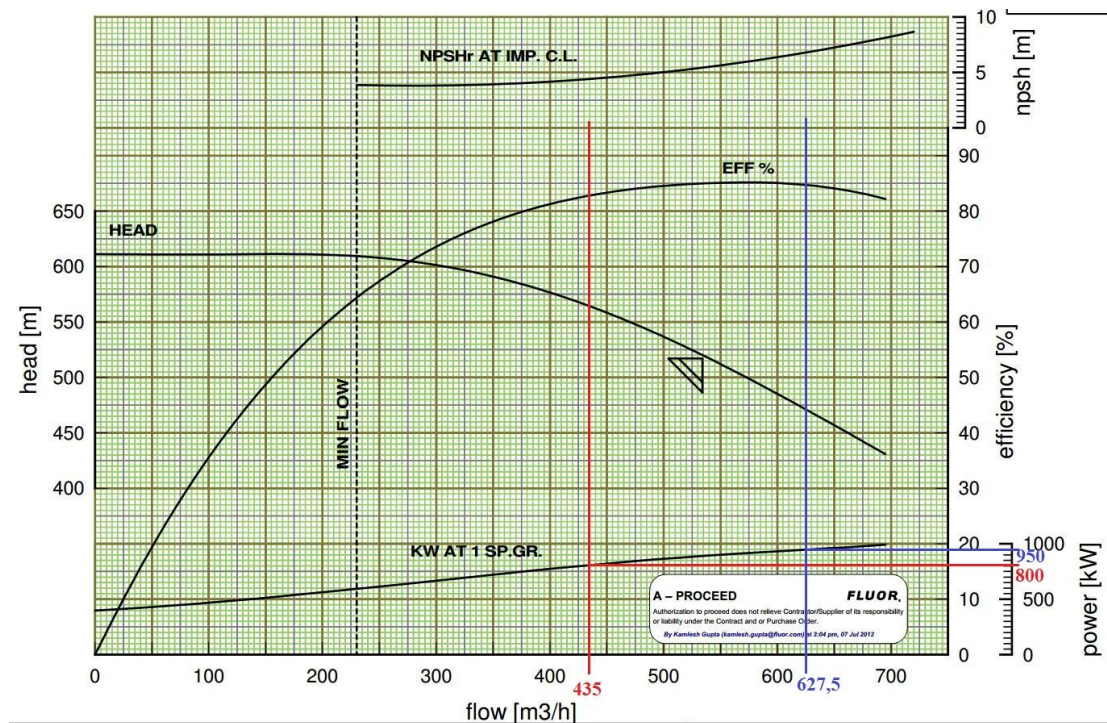


Ilustración 23: Curvas características propuesta Bombas EB1

En base a lo anterior, el Indicador Energético de las bombas queda de la siguiente manera:

Para las bombas PP020 y PP021: 1,514 (kWh/m³)

Y el Indicador Energético, Consumo energético, Caudal anual y los Costos anuales de la nueva configuración se observan en la *Tabla 16*:

| I.E. propuesta (kWh/m ³) | Vol. De agua en 1 año (m ³ /año) | kWh/año | Costo (US\$/año) |
|--------------------------------------|---|-----------|------------------|
| 1,514 | 5.421.600 | 8.208.000 | 576.202 |
| 1,514 | 5.421.600 | 8.208.000 | 576.202 |
| Total EB1 | | | 1.152.403 |

Tabla 16: Costos Anuales Propuesta EB1

De esta manera se reduce el costo anual teniendo un ahorro de US\$ 303.264 y se cumplen los requerimientos en su totalidad.

5.1.2 CAMBIOS EN ESTACION DE IMPULSIÓN N°2

Para la Estación de Impulsión N°2 el Indicador Energético por bomba en base al Caudal Promedio de bombeo es el siguiente:

Para las bombas PP025, PP026, PP027, PP028: 2,278 (kWh/m³)

El cambio que se debe realizar en la Estación N°2 es reducir la cantidad de equipos en funcionamiento a 3 bombas. Al igual que en la Estación anterior los equipos deberán bombear más Caudal individualmente, pero también aumentará su eficiencia y mejorará también el consumo eléctrico por m³ elevado.

Como se representa en la *Ilustración 24* cada bomba elevará 525 (m³/h) teniendo un consumo de 1025 (kW), mejorando su eficiencia hacia la parte superior de la curva.

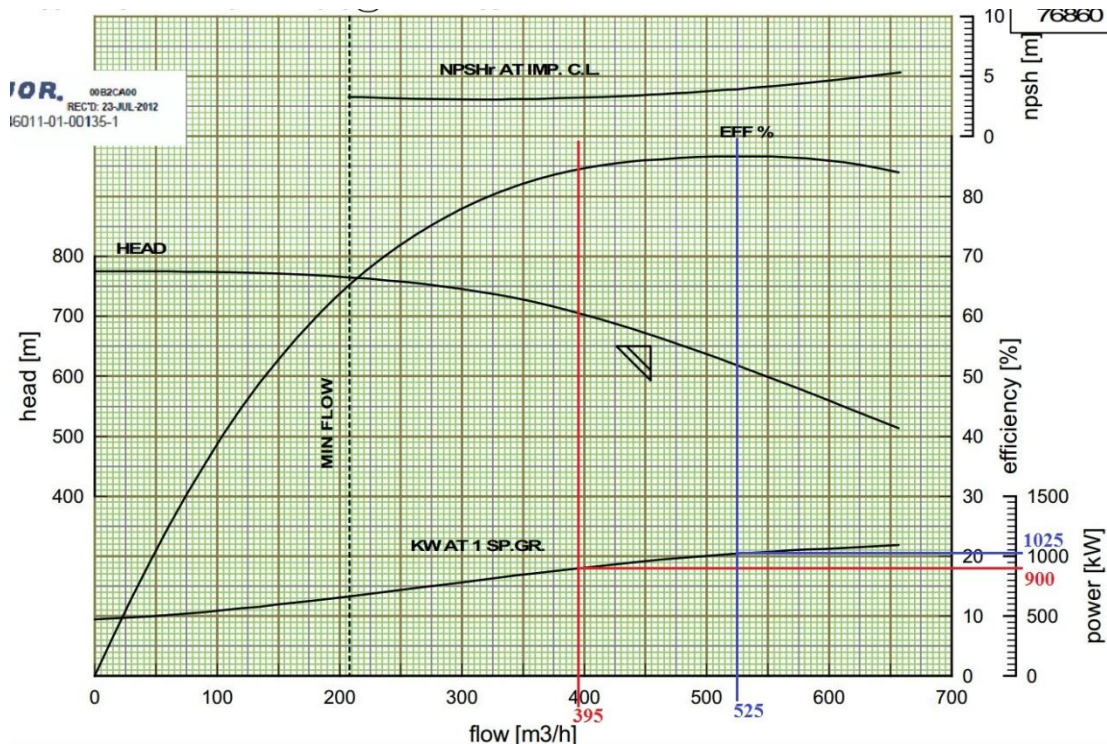


Ilustración 24: Curvas características propuesta Bombas EB2

En base a lo anterior, el Indicador Energético de las bombas queda de la siguiente manera:

Para las bombas PP025, PP026, PP027, PP028: 1,952 (kWh/m³)

El Indicador Energético, Consumo energético, Caudal anual y los Costos anuales de la nueva configuración se observan en la *Tabla 17*:

| I.E. propuesta (kWh/m ³) | Vol. De agua en 1 año (m ³ /año) | kWh/año | Costo (US\$/año) |
|--------------------------------------|---|-----------|------------------|
| 1,952 | 4.536.000 | 8.856.000 | 621.691 |
| 1,952 | 4.536.000 | 8.856.000 | 621.691 |
| 1,952 | 4.536.000 | 8.856.000 | 621.691 |
| Total EB2 | | | 1.865.074 |

Tabla 17: Costos Anuales Propuesta EB2

De esta manera se reduce el costo anual teniendo un ahorro de US\$ 328.427 y se cumplen los requerimientos.

5.1.3 CAMBIOS EN ESTACION DE IMPULSIÓN N°3

Para la Estación de Impulsión N°3 el Indicador Energético por bomba en base al Caudal Promedio de bombeo es el siguiente:

Para las bombas PP031, PP032, PP033, PP034: 2,558 (kWh/m³)

El cambio que se debe realizar en las siguientes 4 Estaciones es reducir la cantidad de equipos en funcionamiento a 3 bombas. Los equipos deberán bombear más Caudal individualmente, aumentarán su eficiencia y mejorarán también el consumo eléctrico por m³ elevado.

Como se representa en la *Ilustración 25* cada bomba elevará 572 (m³/h) teniendo un consumo de 1200 (kW), mejorando su eficiencia hacia la parte superior de la curva.

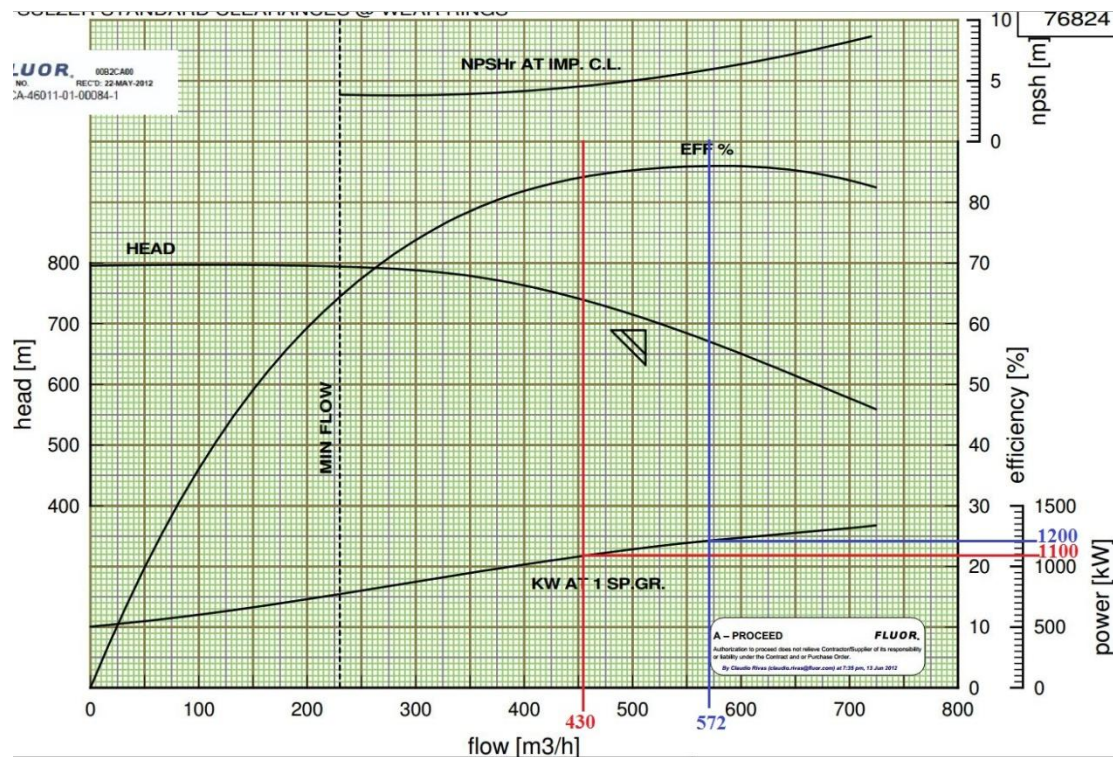


Ilustración 25: Curvas características propuesta Bombas EB3

El Indicador Energético de las bombas queda de la siguiente manera:

Para las bombas PP031, PP032, PP033, PP034: 2,098 (kWh/m³)

El Indicador Energético, Consumo energético, Caudal anual y los Costos anuales de la nueva configuración se observan en la *Tabla 18*:

| I.E.propuesta (kWh/m ³) | Vol. De agua en 1 año (m ³ /año) | kWh/año | Costo (US\$/año) |
|-------------------------------------|---|------------|------------------|
| 2,098 | 4.942.080 | 10.368.000 | 727.834 |
| 2,098 | 4.942.080 | 10.368.000 | 727.834 |
| 2,098 | 4.942.080 | 10.368.000 | 727.834 |
| Total EB3 | | | 2.183.501 |

Tabla 18: Costos Anuales Propuesta EB3

Se reduce el costo anual teniendo un ahorro de US\$ 485.222 y se cumplen los requerimientos.

5.1.4 CAMBIOS EN ESTACION DE IMPULSIÓN N°4

Para la Estación de Impulsión N°4 el Indicador Energético por bomba en base al Caudal Promedio de bombeo es el siguiente:

Para las bombas PP060, PP061, PP063, PP064: 0,837 (kWh/m³)

El cambio sugerido se representa en la *Ilustración 26*, cada bomba elevará 572 (m³/h) teniendo un consumo de 400 (kW), mejorando su eficiencia hacia la parte superior de la curva.

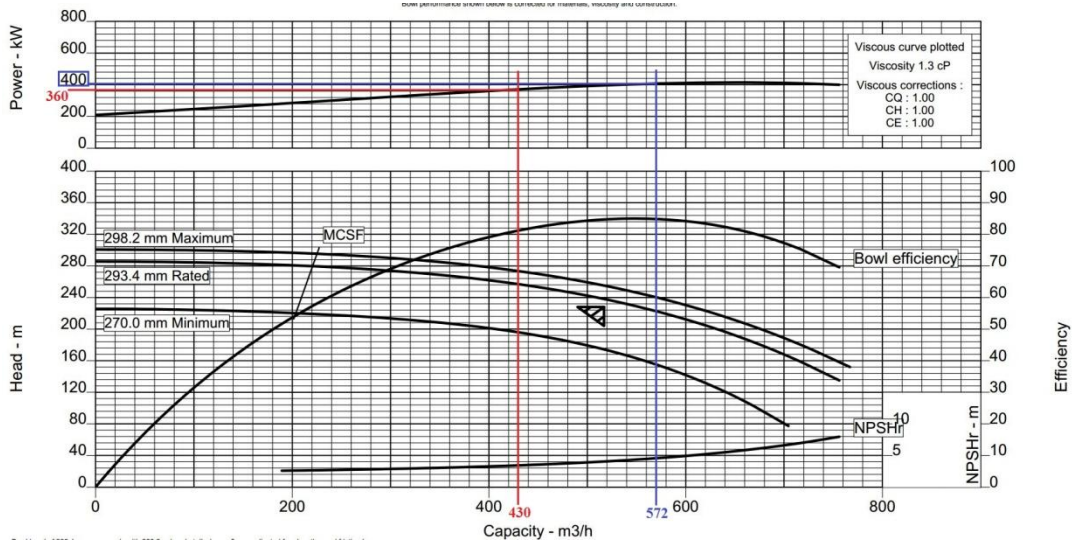


Ilustración 26: Curvas características propuesta Bombas EB4

El Indicador Energético de las bombas queda de la siguiente manera:

Para las bombas PP060, PP061, PP063, PP064: 0,699 (kWh/m³)

El Indicador Energético, Consumo energético, Caudal anual y los Costos anuales de la nueva configuración se observan en la *Tabla 19*:

| I.E. ^{propuesta} (kWh/m ³) | Vol. De agua en 1 año (m ³ /año) | kWh/año | Costo (US\$/año) |
|--|---|-----------|---------------------|
| 0,699 | 4.942.080 | 3.456.000 | 242.611 |
| 0,699 | 4.942.080 | 3.456.000 | 242.611 |
| 0,699 | 4.942.080 | 3.456.000 | 242.611 |
| Total EB4 | | | 727.834 |

Tabla 19: Costos Anuales Propuesta EB4

Se reduce el costo anual teniendo un ahorro de US\$ 145.567 y se cumplen los requerimientos.

5.1.5 CAMBIOS EN ESTACION DE IMPULSIÓN N°5

Para la Estación de Impulsión N°5 el Indicador Energético por bomba en base al Caudal Promedio de bombeo es el siguiente:

Para las bombas PP065, PP066, PP067, PP068: 2,326 (kWh/m³)

El cambio sugerido se representa en la *Ilustración 27*, cada bomba elevará 572 (m³/h) teniendo un consumo de 1150 (kW), mejorando su eficiencia hacia la parte superior de la curva.

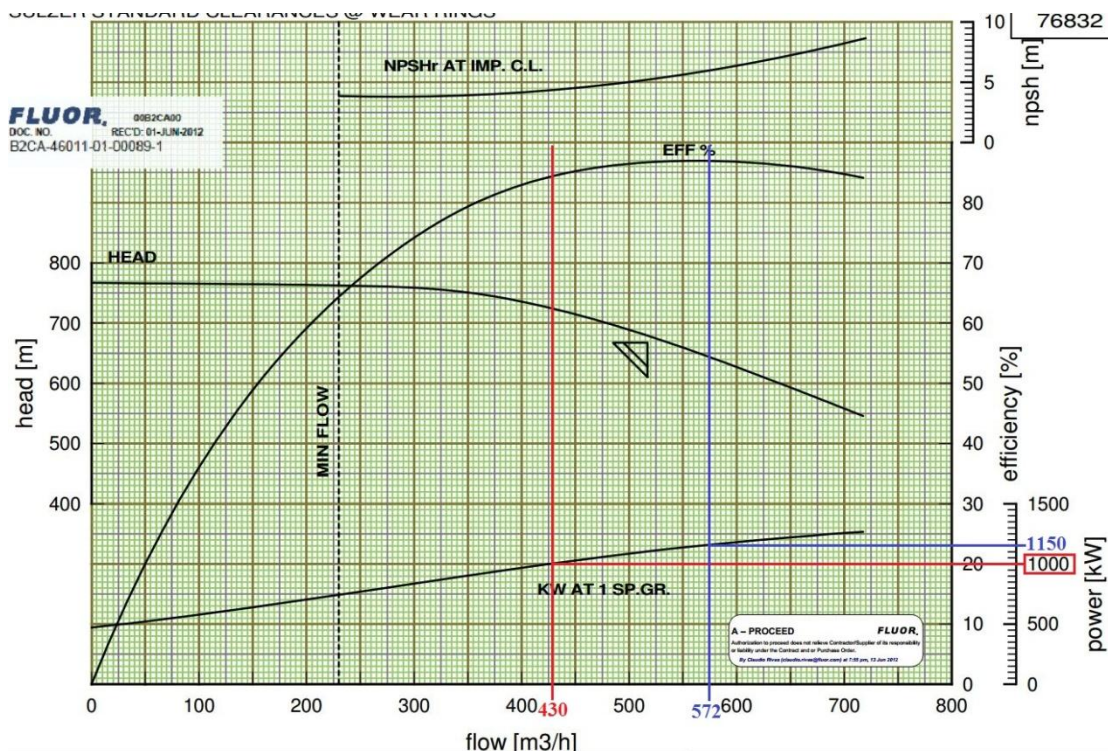


Ilustración 27: Curvas características propuesta Bombas EB5

El Indicador Energético de las bombas queda de la siguiente manera:

Para las bombas PP065, PP066, PP067, PP068: 2,010 (kWh/m³)

El Indicador Energético, Consumo energético, Caudal anual y los Costos anuales de la nueva configuración se observan en la *Tabla 20*:

| I.E. _{propuesta} (kWh/m ³) | Vol. De agua en 1 año (m ³ /año) | kWh/año | Costo (US\$/año) |
|--|---|-----------|---------------------|
| 2,010 | 4.942.080 | 9.936.000 | 697.507 |
| 2,010 | 4.942.080 | 9.936.000 | 697.507 |
| 2,010 | 4.942.080 | 9.936.000 | 697.507 |
| Total EB5 | | | 2.092.522 |

Tabla 20: Costos Anuales Propuesta EB5

Se reduce el costo anual teniendo un ahorro de US\$ 333.590 y se cumplen los requerimientos.

5.1.6 CAMBIOS EN ESTACION DE IMPULSIÓN N°6

Para la Estación de Impulsión N°6 el Indicador Energético por bomba en base al Caudal Promedio de bombeo es el siguiente:

Para las bombas PP065, PP066, PP067, PP068: 2,326 (kWh/m³)

El cambio sugerido se representa en la *Ilustración 28*, cada bomba elevará 572 (m³/h) teniendo un consumo de 1160 (kW), mejorando su eficiencia hacia la parte superior de la curva.

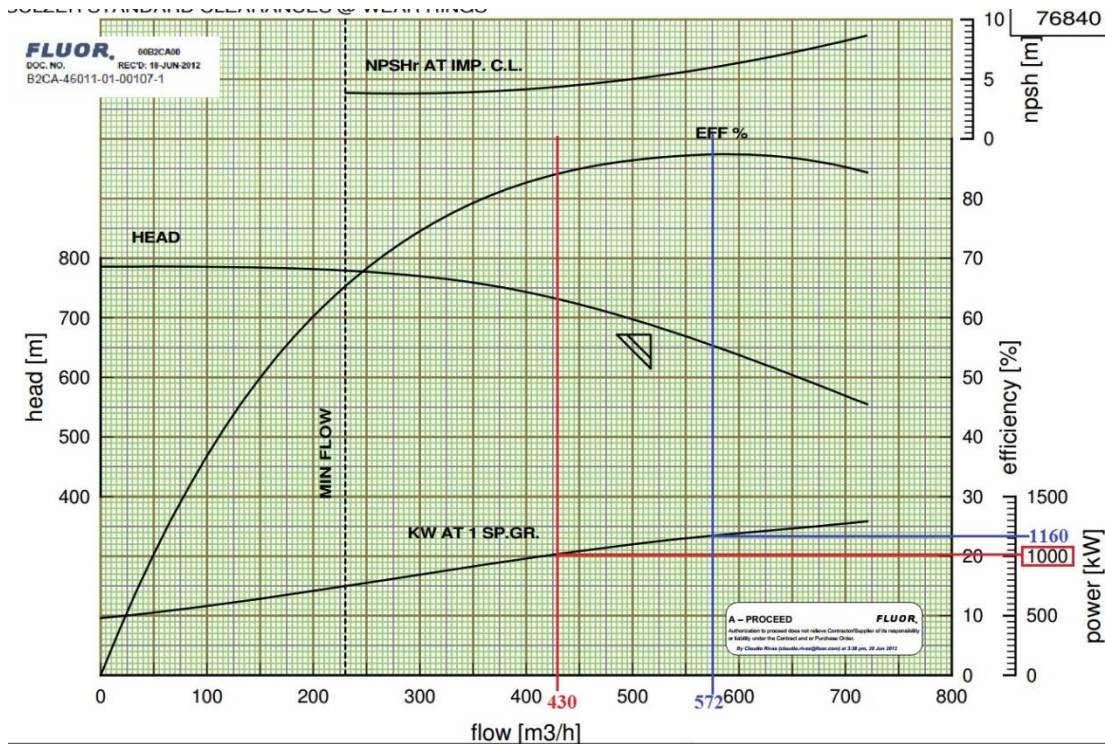


Ilustración 28: Curvas características propuesta Bombas EB6

El Indicador Energético de las bombas queda de la siguiente manera:

Para las bombas PP071, PP072, PP073, PP074: $2,028 \text{ (kWh/m}^3\text{)}$

El Indicador Energético, Consumo energético, Caudal anual y los Costos anuales de la nueva configuración se observan en la *Tabla 21*:

| I.E.propuesta (kWh/m ³) | Vol. De agua en 1 año (m ³ /año) | kWh/año | Costo (US\$/año) |
|--|---|------------|---------------------|
| 2,028 | 4.942.080 | 10.022.400 | 703.572 |
| 2,028 | 4.942.080 | 10.022.400 | 703.572 |
| 2,028 | 4.942.080 | 10.022.400 | 703.572 |
| Total EB6 | | | 2.110.717 |

Tabla 21: Costos Anuales Propuesta EB6

Finalmente en la Estación N°6 se reduce el costo anual teniendo un ahorro de US\$ 315.395 y se cumplen los requerimientos.

5.2 RESUMEN AHORROS POR CAMBIO PROPUESTO

Luego de considerar una posible reducción de Equipos y teniendo en cuenta los I.E. de las configuraciones propuestas, los ahorros tanto de Energía como Económicos que se pueden generar con este cambio se ven reflejados en la siguiente tabla.

| Estación de Impulsión | Ahorro (US\$/año) |
|-----------------------|-------------------|
| EB1 | 303.264 |
| EB2 | 318.427 |
| EB3 | 485.222 |
| EB4 | 145.567 |
| EB5 | 333.590 |
| EB6 | 315.395 |
| TOTAL | 1.901.465 |

Tabla 22: Total Ahorro por cambio propuesto

Como se puede apreciar en la *Tabla 22*, al reducir y mantener de forma adecuada las bombas que están trabajando fuera de su mejor eficiencia, se puede llegar a tener un importante ahorro de 27090 MWh al año equivalentes a US\$ 1.900.000 en costos de Energía. Esto porque la cantidad de Energía que se utilizaría por bomba es menor por cada m³ de agua que se bombea desde las Estaciones. Precisamente esto es lo que se busca con la reducción de bombas, que por cada m³ de agua que se bombea se ocupe la menor cantidad de Energía, ya que bajo las condiciones en que están operando las diferentes áreas a las que se les suministra el recurso agua son extremas en cuanto a la utilización del mismo, llegando incluso en algunos períodos a ser requerido el doble de caudal de diseño siendo esto suplido por otras áreas como el Sistema de Agua Recuperada.

5.3 DISEÑO FINAL DEL SISTEMA

| Bombas | I.E.propuesta (kWh/m3) | Vol. De agua en 1 año (m3/año) | kWh/año | Costo (US\$/año) |
|--------|------------------------|--------------------------------|------------------|------------------|
| PP020 | 1,514 | 5.421.600 | 8.208.000 | 576.202 |
| PP021 | 1,514 | 5.421.600 | 8.208.000 | 576.202 |
| | | | Total EB1 | 1.152.403 |
| PP025 | 1,952 | 4.536.000 | 8.856.000 | 621.691 |
| PP026 | 1,952 | 4.536.000 | 8.856.000 | 621.691 |
| PP027 | 1,952 | 4.536.000 | 8.856.000 | 621.691 |
| | | | Total EB2 | 1.865.074 |
| PP031 | 2,098 | 4.942.080 | 10.368.000 | 727.834 |
| PP032 | 2,098 | 4.942.080 | 10.368.000 | 727.834 |
| PP033 | 2,098 | 4.942.080 | 10.368.000 | 727.834 |
| | | | Total EB3 | 2.183.501 |
| PP060 | 0,699 | 4.942.080 | 3.456.000 | 242.611 |
| PP061 | 0,699 | 4.942.080 | 3.456.000 | 242.611 |
| PP063 | 0,699 | 4.942.080 | 3.456.000 | 242.611 |
| | | | Total EB4 | 727.834 |
| PP065 | 2,010 | 4.942.080 | 9.936.000 | 697.507 |
| PP066 | 2,010 | 4.942.080 | 9.936.000 | 697.507 |
| PP067 | 2,010 | 4.942.080 | 9.936.000 | 697.507 |
| | | | Total EB5 | 2.092.522 |
| PP071 | 2,028 | 4.942.080 | 10.022.400 | 703.572 |
| PP072 | 2,028 | 4.942.080 | 10.022.400 | 703.572 |
| PP073 | 2,028 | 4.942.080 | 10.022.400 | 703.572 |
| | | | Total EB6 | 2.110.717 |

Tabla 23: Consumos Energéticos y Económicos diseño final Sistema

Considerando los beneficios energéticos y por lo tanto económicos de la propuesta de reducción y mantenimiento de bombas realizada, se tendría un Sistema más eficiente de bombeo de agua fresca. Un sistema compuesto por bombas bien mantenidas y por lo tanto más eficientes y que siguen cumpliendo con la demanda de Agua Fresca necesaria.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Este Estudio y Análisis permitieron establecer las operaciones de las bombas de las Estaciones de Impulsión del Sistema de Agua Fresca de una Faena Minera en altura, logrando determinar que existen grandes diferencias entre el consumo energético real de los equipos instalados y el consumo energético que se consideró por diseño para cada uno de los equipos. Y por lo tanto un uso poco eficiente de la energía.

En la Estación de Impulsión N°1, con la reducción de bombas propuesta para las 3 bombas instaladas y en funcionamiento actualmente, se lograrían ahorros en términos Energéticos de 4.320 MWh al año lo que se traduce en un ahorro Económico de US\$ 303.260 al año.

En la Estación N°2, con la reducción de una bomba de las 4 instaladas y en funcionamiento actualmente, se lograrían ahorros en Energía de 4.530 MWh al año y US\$ 318.420 al año.

En la Estación N°3, con la reducción de una bomba de las 4 instaladas y en funcionamiento actualmente, se lograrían ahorros en Energía de 6.900 MWh al año y US\$ 485.000 al año.

En la Estación N°4, con la reducción de una bomba de las 4 instaladas y en funcionamiento actualmente, se lograrían ahorros en Energía de 2.070 MWh al año y US\$ 145.500 al año.

En la Estación N°5, con la reducción de una bomba de las 4 instaladas y en funcionamiento actualmente, se lograrían ahorros en Energía de 4.750 MWh al año y US\$ 333.600 al año

Y finalmente en la Estación N°6, con la reducción de una bomba de las 4 instaladas y en funcionamiento actualmente, se lograrían ahorros en Energía de 4.493 MWh al año y US\$ 315.400 al año.

Logrando de esta manera un mejor uso de la energía para el bombeo de Agua Fresca.

Como recomendaciones para ésta estación se tienen las siguientes:

- Las bombas de cada estación se deben utilizar sólo para lo que están diseñadas y no con otro fluido que sea distinto a Agua Fresca.
- Se debe realizar un mantenimiento adecuado tanto a bombas como motores, prestando especial atención al sistema de sellos de las bombas, esto debido a que por fuerza mayor se utilizan para otro tipo de fluidos. Se debe llevar un control histórico de estos mantenimientos.
- Realizar un estudio para mejorar y/o implementar los Variadores de Frecuencia en las bombas que tengan o necesiten de uno.

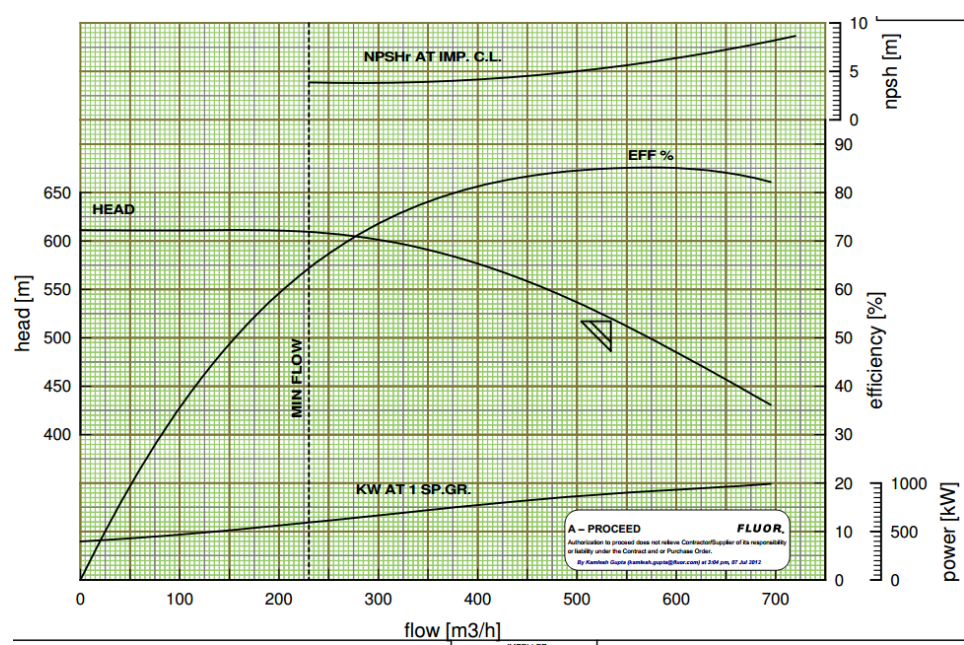
Como conclusión final, la implementación de los cambios propuestos permitiría al Sistema de Agua Fresca tener un ahorro anual de US\$ 1.900.000, esto por generar un ahorro energético de 27.000 MWh al año.

7. REFERENCIAS

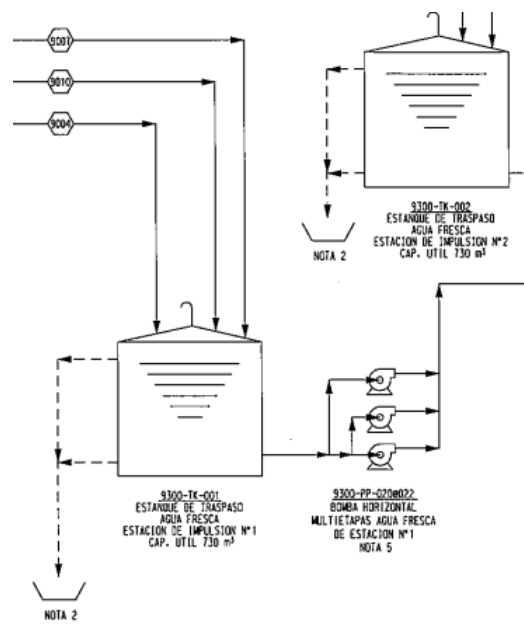
- [1]. STERLING *Principios básicos para el diseño de instalaciones de bombas centrífugas.*
- [2]. BLANCO, VELARDE, FERNANDEZ, *Sistemas de bombeo*, Universidad de Oviedo, Departamento de Energía. Gijón, 1994.
- [3]. *Proyección del consumo de energía eléctrica de la minería del cobre en Chile al 2025*, Comisión chilena del cobre.
- [4]. *Memoria de cálculos Impulsión Agua Fresca.*
- [5]. RONALD V. GILES – SCHAUM, *Mecánica de los Fluidos e Hidráulica* - MacGrawHill, 2da Edición.

8. ANEXOS

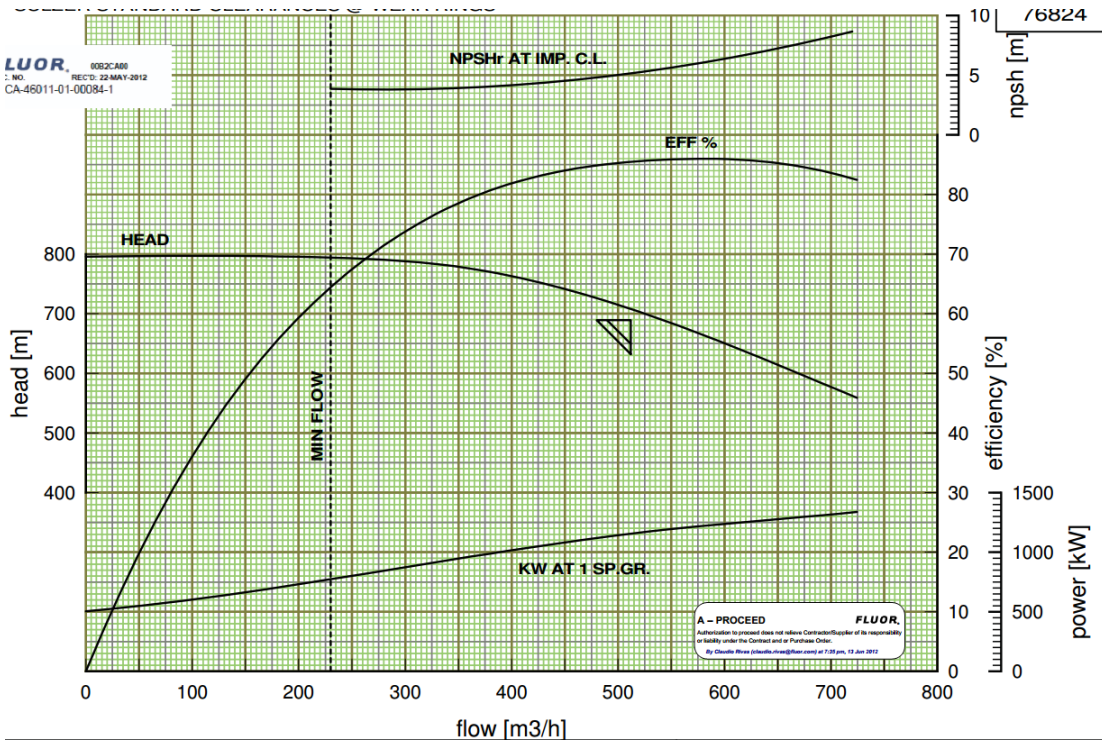
8.1.1 CURVAS CARACTERÍSTICAS BOMBAS E.I. N°1



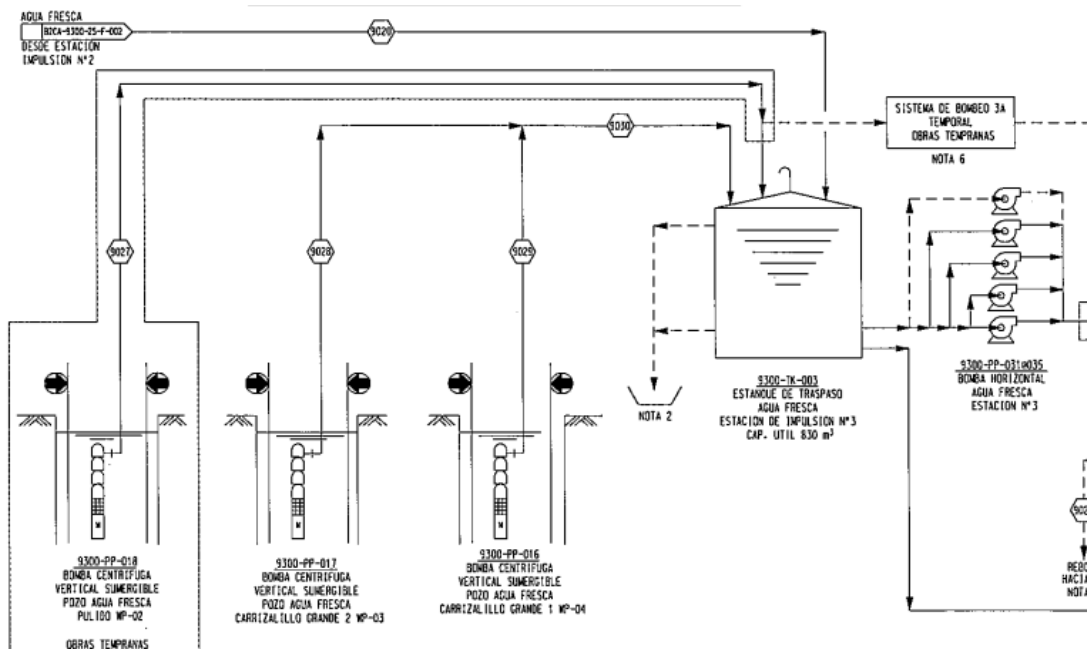
8.1.2 LAYOUT ESTANQUE Y BOMBAS ESTACIÓN DE IMPULSIÓN N°1



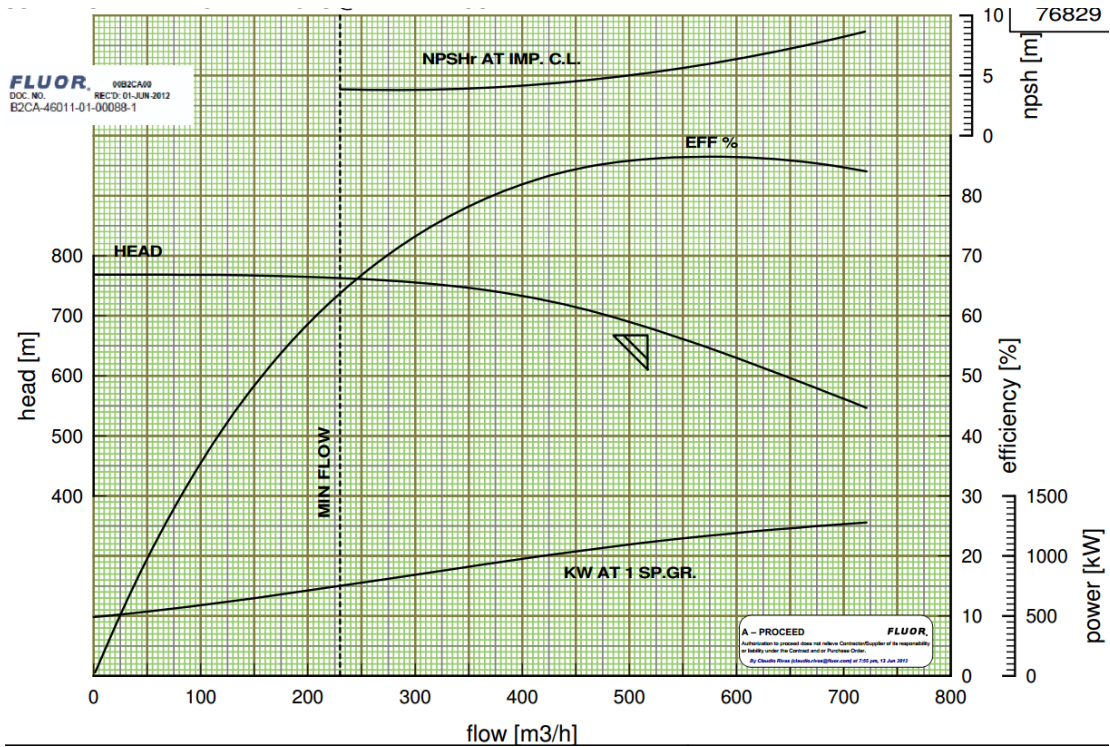
8.1.3 CURVAS CARACTERÍSTICAS BOMBAS E.I. N°3



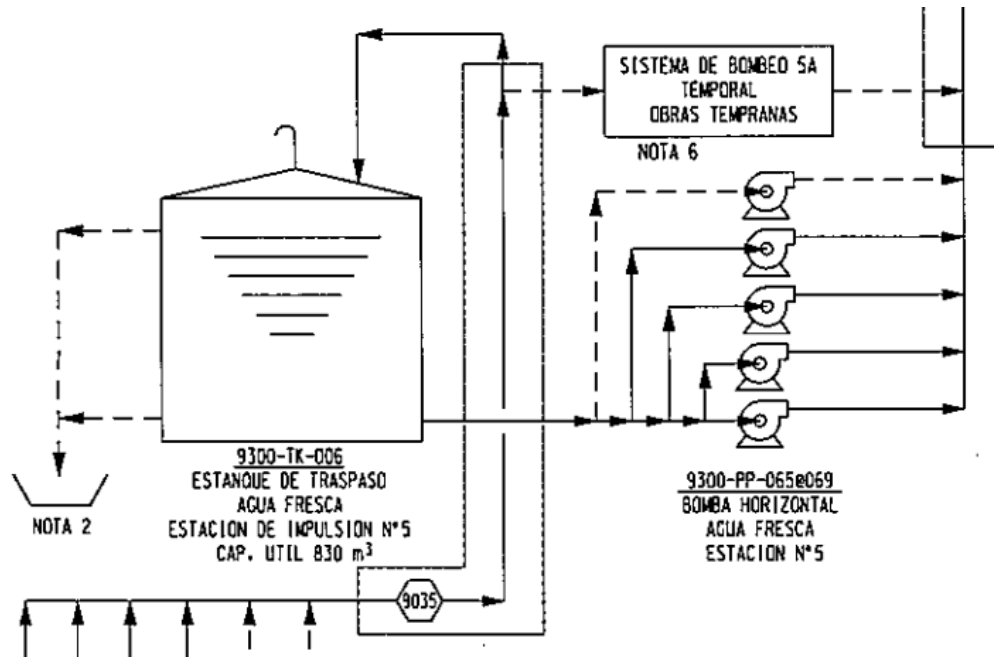
8.1.4 LAYOUT ESTANQUE Y BOMBAS ESTACIÓN DE IMPULSION N°3



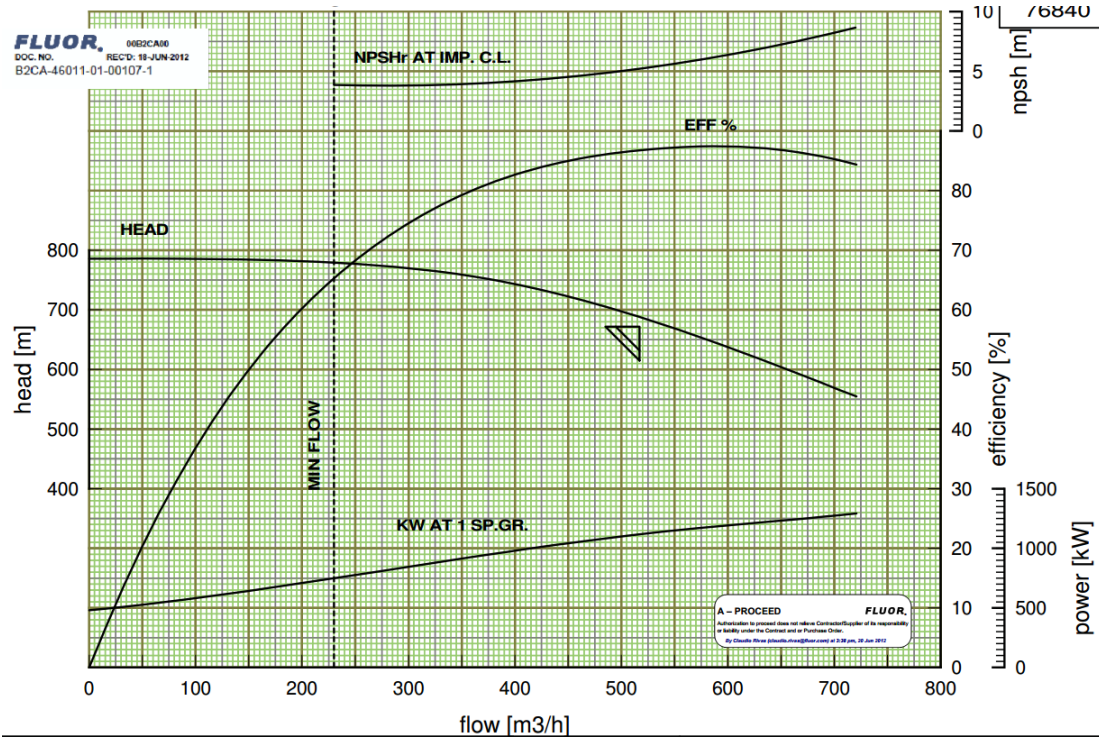
8.1.5 CURVAS CARACTERÍSTICAS BOMBAS E.I. N°5



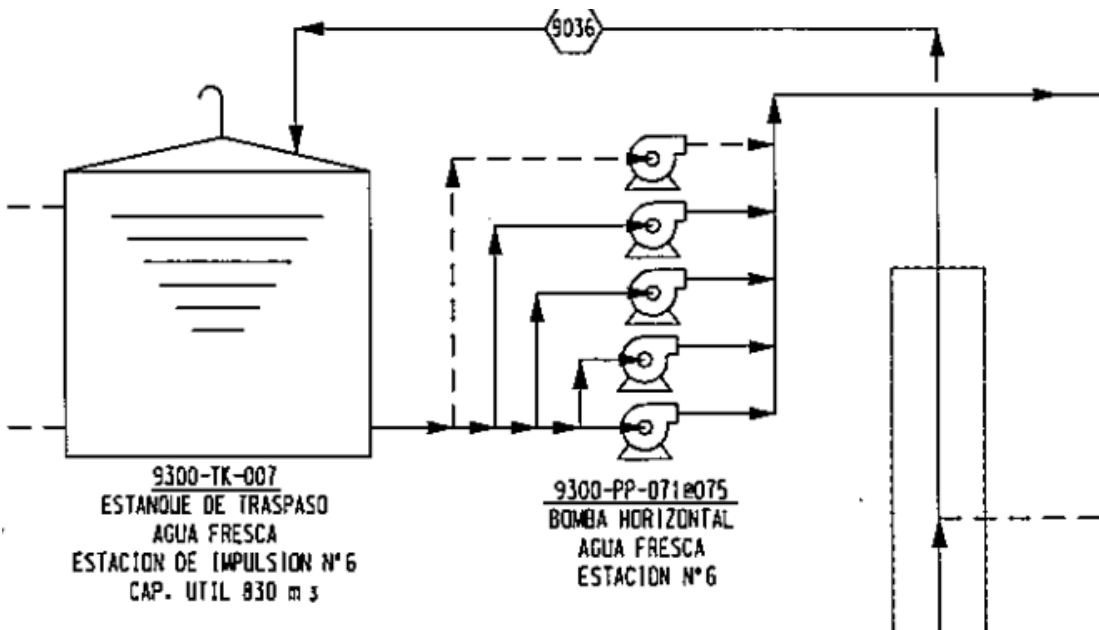
8.1.6 LAYOUT ESTANQUE Y BOMBAS ESTACIÓN DE IMPULSIÓN N°5



8.1.7 CURVAS CARACTERÍSTICAS BOMBAS E.I. N°6



8.1.8 LAYOUT ESTANQUE Y BOMBAS ESTACION DE IMPULSION N°6



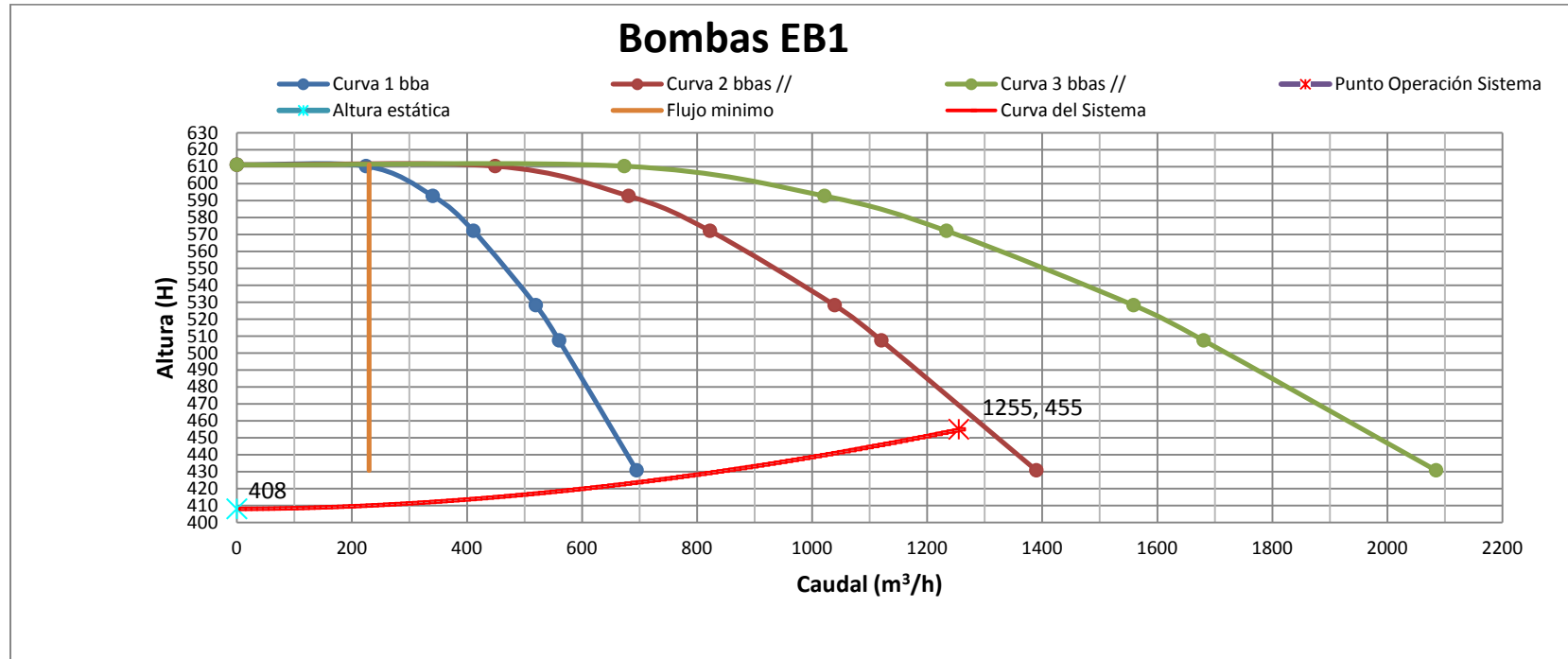
8.2.1 TABLA DETALLES COSTOS ACTUALES POR BOMBA Y ESTACIÓN

| Estación de Impulsión | Bombas | kWh/año | Costo (US\$/año) | Total Costos (US\$/año) |
|-----------------------|--------|-----------|------------------|-------------------------|
| EB1 | PP020 | 6.912.000 | 485.222 | 1.455.667 |
| | PP021 | 6.912.000 | 485.222 | |
| | PP022 | 6.912.000 | 485.222 | |
| EB2 | PP025 | 7.776.000 | 545.875 | 2.183.501 |
| | PP026 | 7.776.000 | 545.875 | |
| | PP027 | 7.776.000 | 545.875 | |
| | PP028 | 7.776.000 | 545.875 | |
| EB3 | PP031 | 9.504.000 | 667.181 | 2.668.723 |
| | PP032 | 9.504.000 | 667.181 | |
| | PP033 | 9.504.000 | 667.181 | |
| | PP034 | 9.504.000 | 667.181 | |
| EB4 | PP060 | 3.110.400 | 218.350 | 873.400 |
| | PP061 | 3.110.400 | 218.350 | |
| | PP063 | 3.110.400 | 218.350 | |
| | PP064 | 3.110.400 | 218.350 | |
| EB5 | PP065 | 8.640.000 | 606.528 | 2.426.112 |
| | PP066 | 8.640.000 | 606.528 | |
| | PP067 | 8.640.000 | 606.528 | |
| | PP068 | 8.640.000 | 606.528 | |
| EB6 | PP071 | 8.640.000 | 606.528 | 2.426.112 |
| | PP072 | 8.640.000 | 606.528 | |
| | PP073 | 8.640.000 | 606.528 | |
| | PP074 | 8.640.000 | 606.528 | |
| | | | TOTAL | 12.033.516 |

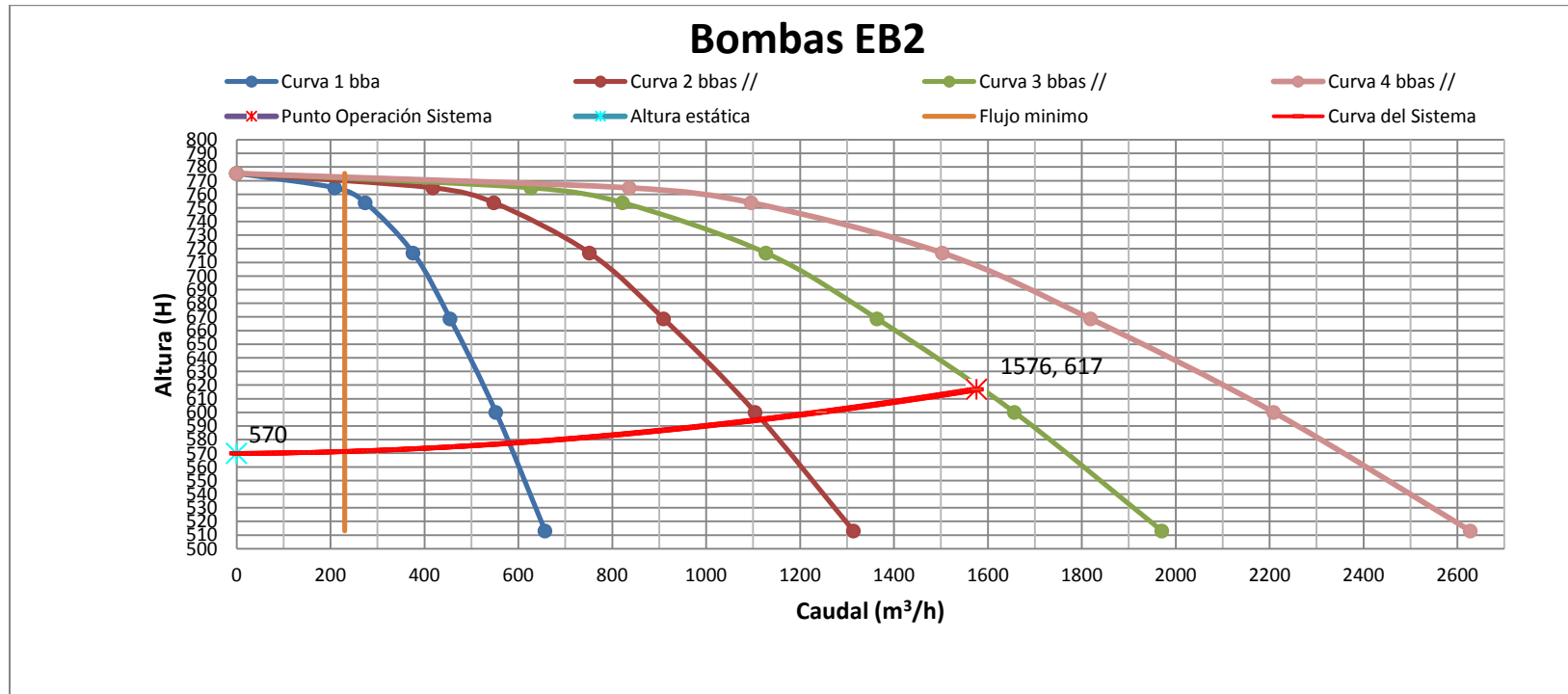
8.2.2 TABLA DETALLES COSTOS PROPUESTA EN ESTACIONES A INTERVENIR

| Estación de Impulsión | Bombas | kWh/año | Costo (US\$/año) | Total Costos Propuesta (US\$/año) |
|-----------------------|--------|------------|------------------|-----------------------------------|
| EB1 | PP020 | 8.208.000 | 576.202 | 1.152.403 |
| | PP021 | 8.208.000 | 576.202 | |
| EB2 | PP025 | 8.856.000 | 621.691 | 1.865.074 |
| | PP026 | 8.856.000 | 621.691 | |
| | PP027 | 8.856.000 | 621.691 | |
| EB3 | PP031 | 10.368.000 | 727.834 | 2.183.501 |
| | PP032 | 10.368.000 | 727.834 | |
| | PP033 | 10.368.000 | 727.834 | |
| EB4 | PP060 | 3.456.000 | 242.611 | 727.834 |
| | PP061 | 3.456.000 | 242.611 | |
| | PP063 | 3.456.000 | 242.611 | |
| EB5 | PP065 | 9.936.000 | 697.507 | 2.092.522 |
| | PP066 | 9.936.000 | 697.507 | |
| | PP067 | 9.936.000 | 697.507 | |
| EB6 | PP071 | 10.022.400 | 703.572 | 2.110.717 |
| | PP072 | 10.022.400 | 703.572 | |
| | PP073 | 10.022.400 | 703.572 | |
| | | | TOTAL | 10.132.050 |

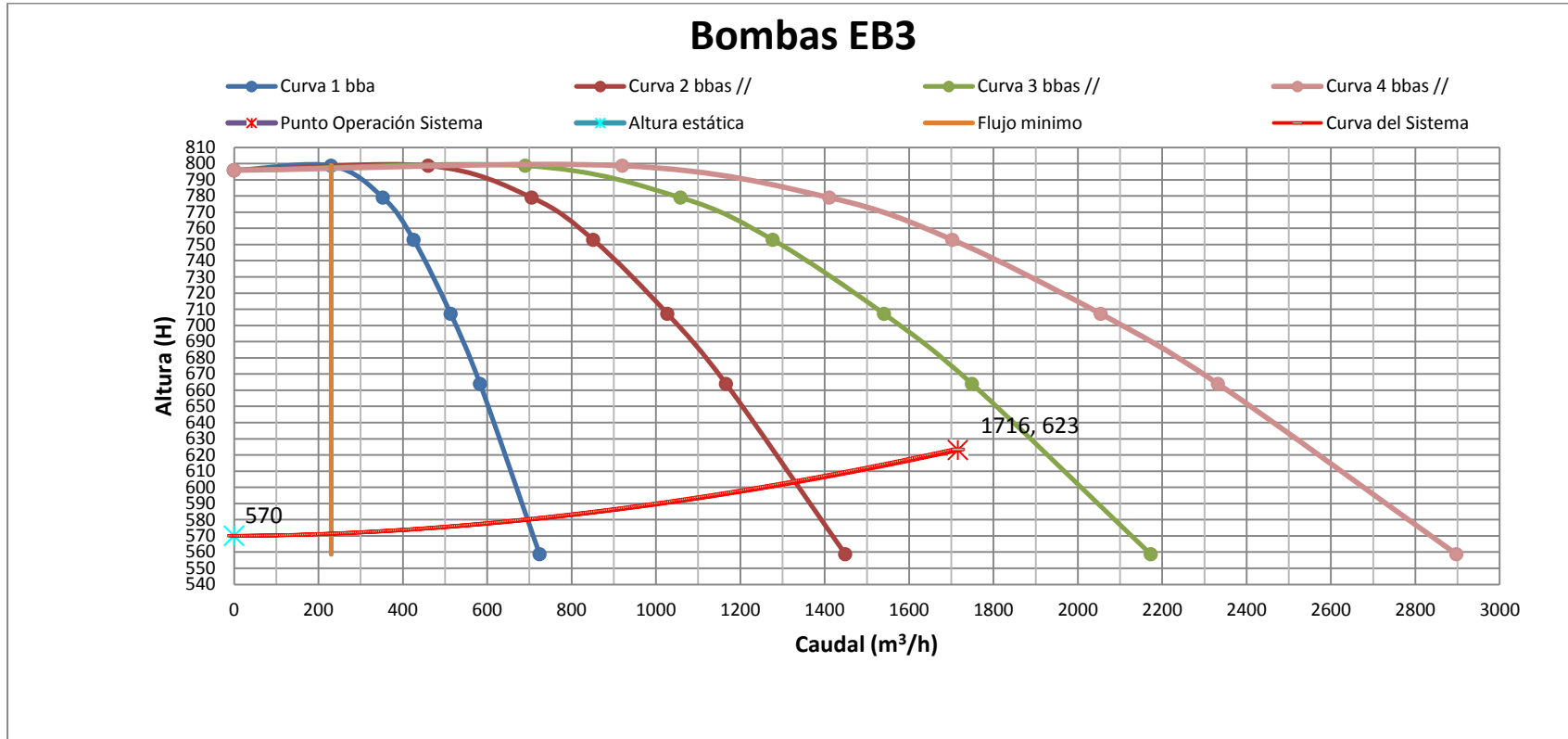
8.2.3 CURVA DE SISTEMA ESTACION DE IMPULSION N°1



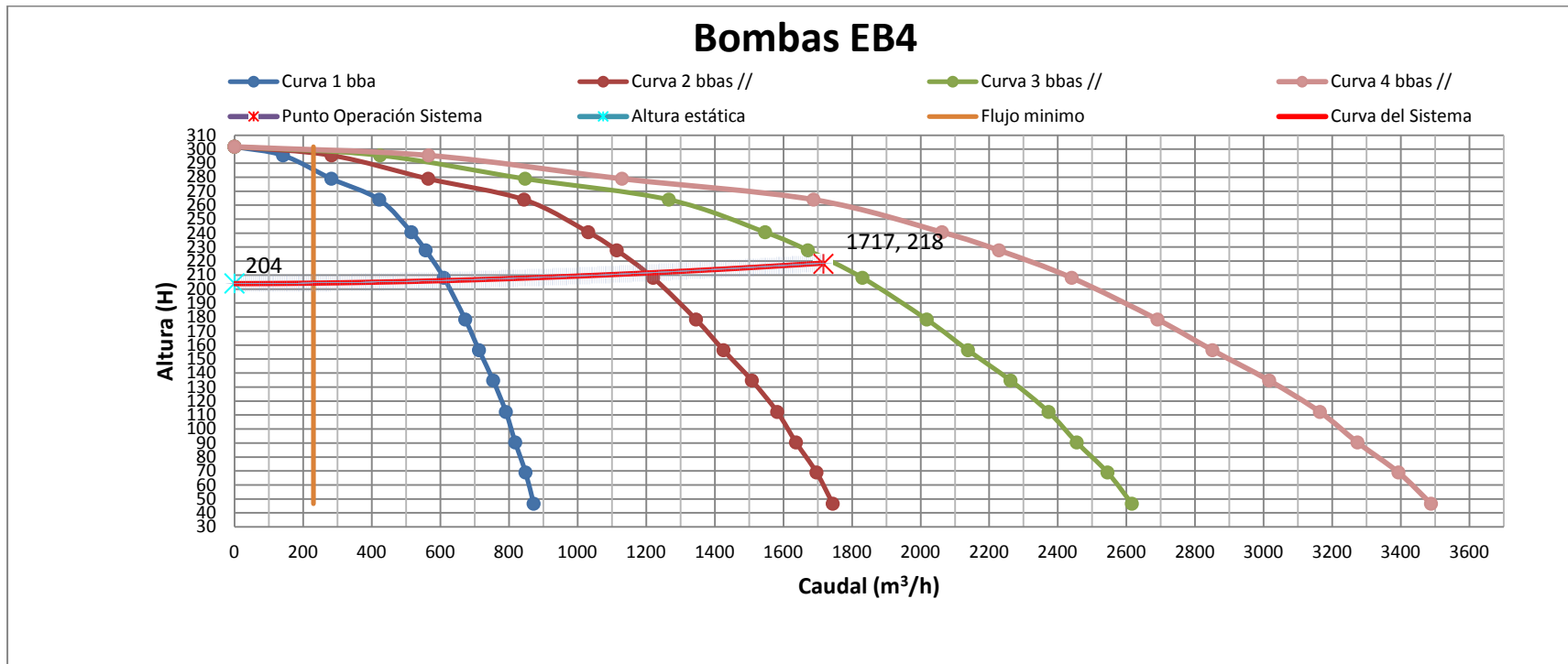
8.2.4 CURVA DE SISTEMA ESTACION DE IMPULSION N°2



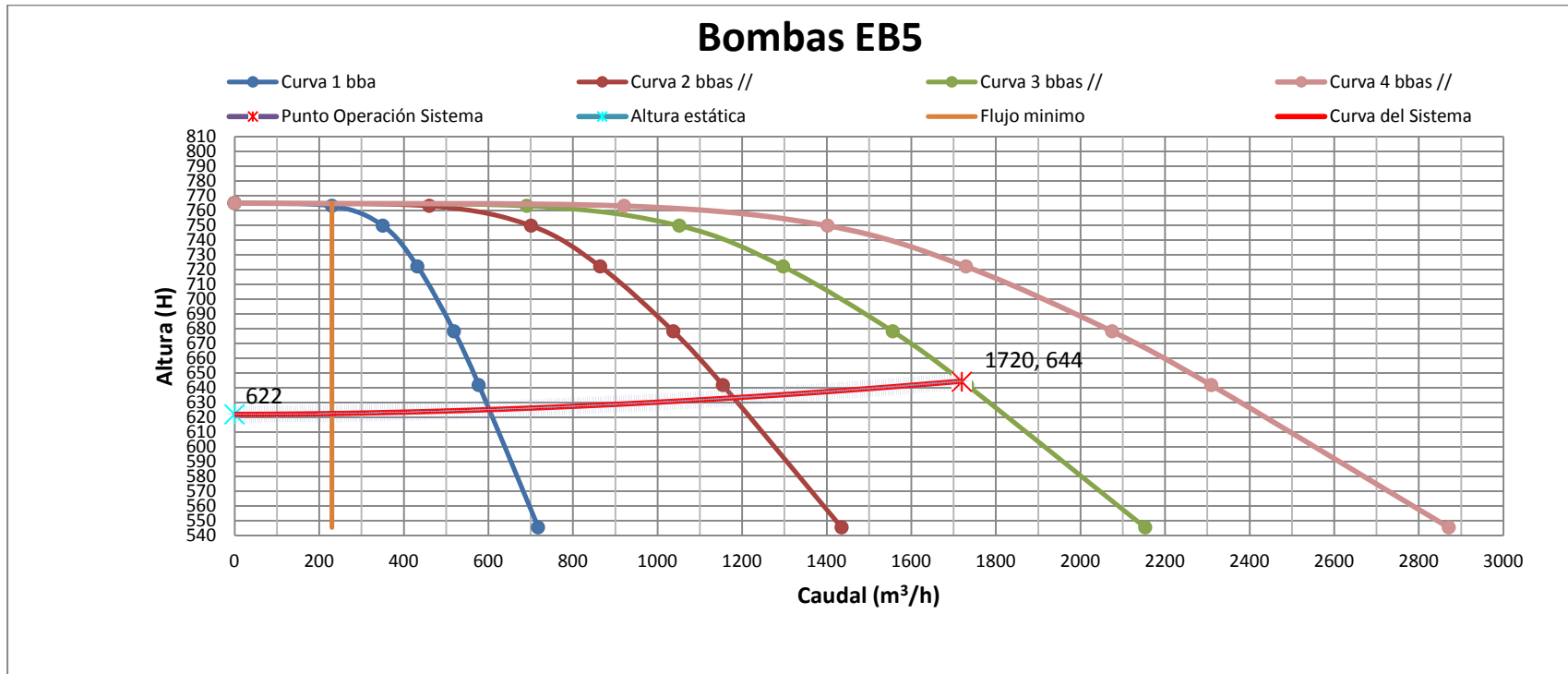
8.2.5 CURVA DE SISTEMA ESTACION DE IMPULSION N°3



8.2.6 CURVA DE SISTEMA ESTACION DE IMPULSION N°4



8.2.7 CURVA DE SISTEMA ESTACION DE IMPULSION N°5



8.2.8 CURVA DE SISTEMA ESTACION DE IMPULSION N°6

