

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA



**SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS TECNO-
ECONÓMICAS DE UN SISTEMA DE BOMBEO DE
AGUAS ÁCIDAS EN MINERÍA**

INFORME DE SUFICIENCIA

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECÁNICO**

TIMOTEO MAX DÍAZ ROBLES

PROMOCIÓN: 2006 - I

LIMA – PERÚ

2 014

Dedicado a mí familia por su
incontable apoyo

ÍNDICE

PRÓLOGO	1
CAPÍTULO I:INTRODUCCIÓN	2
1.1 ANTECEDENTES	2
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	3
1.2.1 Problema general	3
1.2.2 Problemas específicos	3
1.3 OBJETIVO DEL TRABAJO	3
1.3.1 Objetivo general	3
1.3.2 Objetivos específicos	3
1.4 HIPÓTESIS	4
1.4.1 Hipótesis general	4
1.4.2 Hipótesis específicos	4
1.5 METODOLOGÍA	4
1.6 JUSTIFICACIÓN	5
CAPÍTULO II:FUNDAMENTO TEÓRICO	6
2.1 SISTEMA DE BOMBEO	6
2.1.1 Ecuaciones básicas que gobiernan los sistemas de bombeo	7

2.1.2 Tuberías y accesorios	10
2.1.3 Sedimentadores	13
2.2 BOMBAS	17
2.2.1 Clasificación de bombas	17
2.2.2 Bomba centrífuga	19
2.3 DEFINICIONES BÁSICAS	26
CAPÍTULO III:AUDITORÍA FLUIDODINÁMICA	29
3.1AUDITORÍA DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL SISTEMA DE BOMBEO DE LA MINA SAN CRISTÓBAL DEL NV 1120 AL NV 820	29
3.1.1 Sistema de bombeo de NV 1120 a NV 1070 lado RP 672	29
3.1.2 Sistema de bombeo de NV 1120 a NV 1070 lado RP 040	32
3.1.3 Sistema de bombeo de NV 1070 a NV 1020	33
3.1.4 Sistema de bombeo de NV 1020 a NV 920	36
3.1.5 Sistema de bombeo de NV 920 a NV 820	37
3.1.6 Resumen de costos de sistema de bombeo 1120 – 820 .	39
3.1.7 Ratio de bombeo 1000xUS\$/M4	40
3.2 AUDITORÍA DE CALIDAD DEL AGUA CAPTADO PARA BOMBEO DE LA MINA SAN CRISTOBAL	40
3.2.1 Densidad del agua captado en la mina San Cristóbal	40
3.2.2 Sólidos flotantes transportados por el agua	45
3.3 SISTEMA DE BOMBEO ÓPTIMO EN LA MINA SAN CRISTÓBAL	45
CAPÍTULO IV:CARACTERÍSTICAS TECNO-ECONÓMICAS DE LAS ALTERNATIVAS EN EL TRAMO 1120-1020	47
4.1 DISTRIBUCIÓN DE CÁMARAS DE BOMBEO	47

4.2 DISEÑO DE LAS BOMBAS REQUERIDAS EN NV 1120	47
4.2.1 Datos de diseño	47
4.2.2 Cálculos	49
4.2.3 Diseño de bomba para NV 1120	52
4.2.4 Resumen para la selección del sistema de bombeo para NV 1120	62
4.3 SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA DEL SISTEMA DE BOMBEO	63
CAPÍTULO V: CARACTERÍSTICAS TECNO-ECONÓMICAS DE LAS ALTERNATIVAS EN EL TRAMO 1020-820	64
5.1 DISEÑO DE BOMBAS REQUERIDAS NV 1020	64
5.1.1 Datos de diseño	64
5.1.2 Cálculos	65
5.1.3 Diseño de bomba para NV 1020	69
5.1.4 Resumen para la selección del sistema de bombeo para NV 1020	77
5.2 SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA DEL SISTEMA DE BOMBEO	77
CONCLUSIONES	78
RECOMENDACIONES	79
BIBLIOGRAFÍA	81
ANEXOS	83

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Fig. 2.1 Sistema típico de bombeo en la mina San Cristóbal.	6
Fig. 2.2 Representación gráfica de la ecuación de energía.	9
Fig. 2.3 Esquema de sedimentador típico en la mina.	13
Fig. 2.4 Dimensionado del sólido en suspensión.	14
Fig. 2.5 Análisis de fuerzas sobre un grano de sólido en suspensión en el agua.	14
Fig. 2.6 Corte longitudinal de un sedimentador típico en la mina San Cristóbal.	16
Fig. 2.7 Esquema general de una bomba centrífuga.	19
Fig. 2.8 Esquema general de impulsión.	20
Fig. 2.9 Diferentes tipos de impulsor.	20
Fig. 2.10 Representación de instalación de un sistema de bombeo.	22
Fig. 2.11 Curva característica del sistema de bombeo.	23
Fig. 2.12 Punto de operación de la bomba.	24
Fig. 2.13 Esquema de succión en sistema de bombeo.	25
Fig. 3.1 Diagrama de bombeo de NV 1120 a NV 1070 por la rampa 672.	30
Fig. 3.2 Diagrama de bombeo de NV 1120 a NV 1070 por la rampa 040.	33
Fig. 3.3. Diagrama de bombeo de nivel 1070 a nivel 1020.	33
Fig. 3.4: Diagrama de bombeo de NV 1020 a NV 920.	35
Fig. 3.5. Diagrama de bombeo del NV 920 hacia el NV 820.	37
Fig. 4.1 Sistema de bombeo planteado.	46
Fig. 4.2 Detalle de tren de bombas GIW a seleccionarse para NV 1120.	53

Fig. 4.3 Curvas de performance de bomba GIW LSA 6x825, 650M3/H. (180L/S) con ADT 53m, 900RPM y motor 200HP y eficiencia 76%.	53
Fig. 4.4 Detalle de disposición de bombas Hidrostaal a seleccionarse para NV 1120.	56
Fig. 4.5 Curvas de la bomba Hidrostaal 125-400.	57
Fig. 5.1 Detalle de tren de bombas GIW a seleccionarse para el NV 1020.	70
Fig. 5.2 Curvas de performance de la bomba KSB GIW LSA 8x10-32. 1210 m ³ /hr (335L/s) con ADT 73m, 900RPM, motor 450HP y eficiencia 82%.	71
Fig. 5.3 Detalle de disposición de bombas KSB RPH 200-670 a seleccionarse para NV 1020.	74
Fig. 5.4 Curvas de performance de bomba seleccionada ADT 205m, Caudal 210 L/S, Potencia eléctrica consumida 600 KW (800HP), NPSHr 6.9m.	75

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Velocidad de sedimentación de sólidos en suspensión en agua.	16
Tabla 3.1 Bombas alquiladas en RP 672 NV 1120 – NV1070.	31
Tabla 3.2 Bombas alquiladas en RP 040 NV 1120 – NV1070.	32
Tabla 3.3 Bombas alquiladas NV 1070 – NV 1020.	34
Tabla 3.4 Bombas alquiladas NV 1020 – NV 920.	36
Tabla 3.5 Cuadro resumen de costos de bombeo desde NV 1120 hasta NV 820.	39
Tabla 3.6 Ratio de bombeo en los diferentes niveles analizados	40
Tabla 3.7 Resumen de indicadores y propiedades importantes en el análisis.	45
Tabla 4.1 Longitud equivalente de accesorios en sistema de bombeo NV 1120 – NV 1020.	50
Tabla 4.2 Cuadro resumen de costos de alternativa 1 con horizonte de 5 años sistema de bombeo NV 1120 – NV 1020.	55
Tabla 4.3 Cuadro resumen de costos de alternativa 2 con horizonte de 5 años sistema bombeo NV 1120 – NV 1020.	62
Tabla 4.4 Cuadro Resumen de resultados de tramo NV1120 a NV1020.	63
Tabla 5.1 Cuadro resumen de costos de alternativa 1 con horizonte de 5 años sistema bombeo NV 1020 – NV 820.	73
Tabla 5.2 Cuadro resumen de costos de alternativa 2 con horizonte de 5 años sistema bombeo NV 1020 – NV 820.	77
Tabla 5.3 Resumen de los costos de bombeo de NV 1020 a NV 820.	77

PRÓLOGO

En la minería actualmente se presenta dos grandes problemas en el sistema de bombeo, por un lado tenemos el fuerte pago mensual que se hace por alquiler de bombas sumergibles de baja eficiencia que repercute en un gran consumo de energía eléctrica y por otro lado las pérdidas por inundaciones frecuentes que representan dejar de producir, pagar bombas adicionales para recuperación y fuertes gastos en reparaciones muy frecuentes de bombas estacionarias de la línea principal.

En el presente trabajo se va hacer un estudio detallado del sistema de bombeo de aguas ácidas en la mina San Cristóbal desde el nivel 1120 hasta la cuneta del nivel 820 de donde el agua sale por gravedad por el túnel Victoria hacia la planta de tratamiento.

La metodología utilizada consiste en primer lugar, en levantar la información de lo que se tiene en la mina para el sistema de drenaje de sus aguas ácidas, en segundo lugar haremos un análisis de cada elemento en este sistema, en tercer lugar haremos un análisis financiero y finalmente una solución para el problema de bombeo de agua mediante una selección adecuada, eficiente y económica del sistema de bombeo.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

La Mina San Cristóbal inicia sus operaciones en 1903 como una unidad de Cerro de Pasco Corporation, durante el periodo militar fue expropiado y paso a la administración del estado como parte de CENTROMIN del Perú. Durante el año 1997 fue adquirido por Volcan Cía. Minera S.A. en subasta pública en conjunto con la Mina Andaychagua y Planta Concentradora Mahr Túnel.

Actualmente la producción de la mina San Cristóbal supera los 5000TM/día y la profundización está por el nivel 1120 y es la unidad de producción de mayor volumen de zinc de Volcán Cía. Minera S.A.

El sistema de bombeo utilizado en la actualidad fue diseñada en 1998 cuando los caudales manejados no superaban los 150 L/s, actualmente la mina producto de la profundización maneja un caudal mínimo de 350 L/s (en tiempos de estiaje) y un máximo de 650 L/s (en tiempos de lluvias).

En el presente trabajo se tienen en cuenta la protección del medio ambiente, con la finalidad de no afectar con contaminar la flora y fauna de las zonas aledañas.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 Problema general

¿Cómo influye la selección de alternativas tecno-económicas de un sistema de bombeo de aguas ácidas en el proceso productivo de la mina San Cristóbal?

1.2.2 Problemas específicos

1.2.2.1 ¿Cuál es el sistema óptimo de bombeo de aguas ácidas que influye en el proceso productivo de la mina San Cristóbal?

1.2.2.2 ¿Cuál es la alternativa técnica de un sistema de bombeo de aguas ácidas que influye en el proceso productivo de la mina San Cristóbal?

1.2.2.3 ¿Cuál es la alternativa económica de un sistema de bombeo de aguas ácidas que influye en el proceso productivo de la mina San Cristóbal?

1.3 OBJETIVOS DEL TRABAJO

1.3.1 Objetivo general

Realizar la selección de alternativas tecno-económicas de un sistema de bombeo de aguas ácidas que influye en el proceso productivo de la mina San Cristóbal.

1.3.2 Objetivos específicos

1.3.2.1 Determinar el sistema óptimo de bombeo de aguas ácidas que influye en el proceso productivo de la mina San Cristóbal.

1.3.2.2 Determinar la alternativa técnica de un sistema de bombeo de aguas ácidas que influye en el proceso productivo de la mina San Cristóbal.

1.3.2.3 Determinar la alternativa económica de un sistema de bombeo de aguas ácidas que influye en el proceso productivo de la mina San Cristóbal.

1.4 HIPÓTESIS DEL TRABAJO

1.4.1 Hipótesis general

La selección adecuada de alternativas tecno-económicas de un sistema de bombeo de aguas ácidas influye en el proceso productivo de la mina San Cristóbal.

1.4.2 Hipótesis específicos

1.4.2.1 Un sistema óptimo de bombeo de aguas ácidas influye en el proceso productivo de la mina San Cristóbal.

1.4.2.2 La selección adecuada de la alternativa técnica de un sistema de bombeo de aguas ácidas influye en el proceso productivo de la mina San Cristóbal.

1.4.2.3 La selección adecuada de la alternativa económica de un sistema de bombeo de aguas ácidas influye en el proceso productivo de la mina San Cristóbal.

1.5 METODOLOGÍA DEL TRABAJO

Para desarrollar el siguiente trabajo y alcanzar los objetivos trazados, utilizamos en primer lugar el Método de análisis y síntesis. Para ello hacemos una auditoria de las instalaciones y equipos que se tienen para el drenaje de aguas ácidas de la mina San Cristóbal.

En segundo lugar, hacemos un estudio de aforos en NV 1070 Y NV 1020 para determinar el caudal real así como el estudio de contenido de sólidos transportados en el agua para determinar la calidad de agua que ingresa al

sistema de drenaje de aguas de la mina, a fin de determinar de forma acertada los tratamientos previos y de seleccionar de forma acertada las bombas y todos los accesorios para el sistema de bombeo.

En tercer lugar plantearemos indicadores de costos de bombeo en la condición actual y con las propuestas de costos de bombeo con las mejoras implementadas.

1.6 JUSTIFICACIÓN

En el presente trabajo se hará un estudio del sistema de bombeo existente en la mina San Cristóbal, se analizarán variables como calidad del agua y contaminantes, producto de esta investigación se podrá seleccionar mejor las bombas a usarse en el bombeo de estas aguas, por lo tanto servirá como una guía para iniciar modificaciones en el diseño actual del sistema de drenaje de aguas de la mina San Cristóbal, de esta manera pagar menos por el bombeo de agua, evitar inundaciones, evitar las interrupciones de la operación por fallas de bombas y finalmente tener un sistema de bombeo confiable que mejore el proceso productivo de la mina.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1 SISTEMA DE BOMBEO

Un sistema de bombeo consiste en un conjunto de elementos que permiten el transporte de fluido a través de tuberías y el almacenamiento temporal de los mismos, de forma que se cumplan las especificaciones de caudal y presión necesarias en los diferentes sistemas y procesos. Para el caso del presente informe de suficiencia se refiere al movimiento de agua de la mina que va ser evacuado de un nivel inferior a un nivel superior para su tratamiento y eliminación.

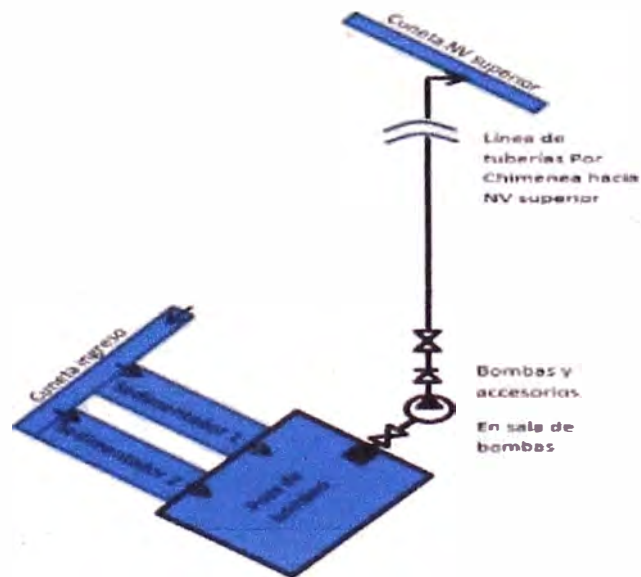


Fig. 2.1 Sistema típico de bombeo en una minera.

En un sistema típico de bombeo en la mina los elementos necesarios son: tuberías que enlazan los puntos de origen y destino, motores eléctricos, bombas que entregan la energía necesaria, tableros eléctricos de fuerza y control, depósitos que permiten el almacenamiento temporal de fluidos (poza de bombeo), sedimentadores que permiten el tratamiento previo del agua, válvulas que ayudan en regulación de flujo y protección del sistema y elementos de control como manómetros, caudalímetro y sistema de alivio de presión. En la fig. 2.1 se muestra un esquema típico de un sistema de bombeo en la mina San Cristóbal.

2.1.1 Ecuaciones Básicas que gobiernan el sistema de bombeo

Las leyes que gobiernan la dinámica de fluidos, son las leyes de continuidad (conservación de masa), la segunda ley Newton (cantidad de movimiento) y la primera ley de la Termodinámica (conservación de la energía). Estas leyes expresadas en ecuaciones nos ayudan a solucionar y teorizar cualquier aspecto de la mecánica de fluidos.

2.1.1.1 ECUACIÓN DE CONTINUIDAD

La ecuación de continuidad en forma integral se puede expresar de la forma:

$$0 = \frac{d}{dt} \int_{vc} \rho dV + \int_{sc} \rho(\mathbf{v} \cdot \mathbf{n}) dA \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

Para condiciones de flujo estacionario, uniforme e incomprensible se obtiene:

$$Q = V \times A = cte \dots\dots\dots(2.2)$$

Donde:

V: Velocidad media del fluido

A: Sección transversal de la tubería

2.1.1.2 ECUACIÓN DE CANTIDAD DE MOVIMIENTO

En su forma integral se puede expresar como:

$$\Sigma \vec{F} = \frac{d}{dt} \int_{vc} \nabla \rho dV + \int_{sc} \nabla \rho (\vec{v} \cdot \vec{n}) dA \dots\dots\dots(2.3)$$

Para flujo estacionario uniforme e incomprensible, se obtiene:

$$\Sigma \vec{F} = \rho Q (\vec{V}_2 - \vec{V}_1) \dots\dots\dots(2.4)$$

Donde:

F: Fuerza ejercida por el fluido

ρ : Densidad del fluido

Q: Caudal

V: Velocidad media del fluido

2.1.1.3 ECUACIÓN DE LA ENERGÍA

En su forma integral la ecuación de la energía se expresa como:

$$\dot{Q} = \frac{d}{dt} \int_{vc} e \rho dV + \int_{sc} \left(h + \frac{v^2}{2} + gz \right) \rho (\vec{v} \cdot \vec{n}) dA + \dot{W}_{eje} \dots\dots\dots(2.5)$$

Para flujo estacionario e incomprensible, con las simplificaciones del caso:

$$\frac{p_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 - h_p + H_B = - \frac{p_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 \dots\dots\dots(2.6)$$

Dónde:

h_p : Pérdida de energía

H_B : Energía añadida desde el exterior, generalmente por una bomba

La energía del fluido en cualquier punto es la suma de las energías, de presión, cinética y potencial debido a la altura.

$$H_E = \frac{P_i}{\rho g} + \frac{V_i^2}{2g} + Z_i \dots \dots \dots (2.7)$$

Para una tubería de sección constante se puede expresar gráficamente.

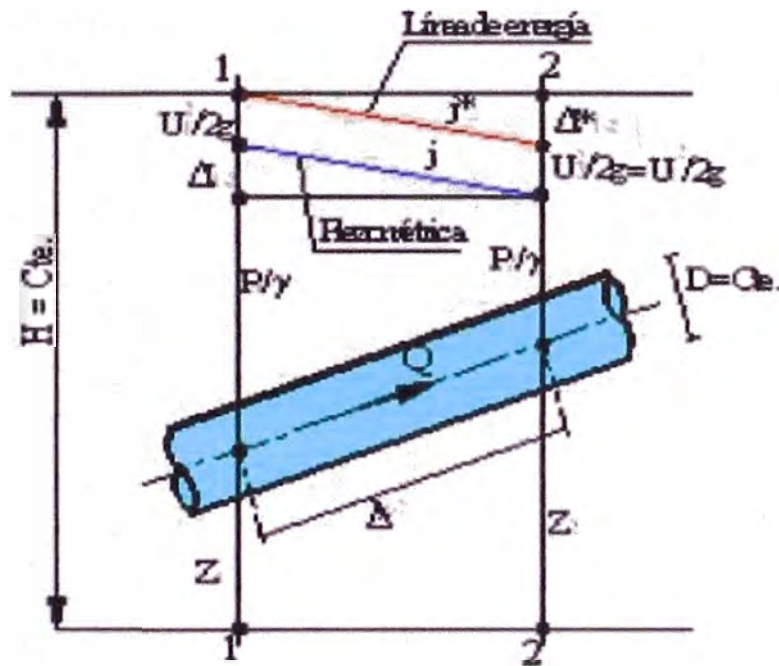


Fig. 2.2 Representación gráfica de la ecuación de energía.

LÍNEA PIEZOMÉTRICA

La línea piezométrica es la energía potencial del fluido en cualquier punto, y se representa como la suma de la energía debido a la presión y la energía potencial debido a la altura.

$$H_{piezom} = \frac{P_i}{\rho g} + Z_i \dots \dots \dots (2.8)$$

P_i = Presión en la tubería

Z_i = Energía potencia debido a la altura

2.1.2 Tuberías y accesorios

Las tuberías unen los puntos inicial y final de bombeo, deben ser capaces de soportar los requerimientos de presión y velocidad a las condiciones del fluido, acidez, contenido de sólidos abrasivos, presión de trabajo, etc.

Para la selección adecuada de la tubería es importante considerar la ecuación fundamental de la hidrostática.

$$\frac{P_i}{\rho g} + Z_i = cte \dots \dots \dots (2.9)$$

La presión máxima que puede soportar la tubería se relaciona con el espesor de tubería mediante la siguiente expresión:

$$e = \frac{p D}{2\sigma - p} \dots \dots \dots (2.10)$$

Donde:

e: Espesor de la tubería

p: Presión en la tubería

D: Diámetro de la tubería

σ : Tensión máxima de trabajo del material

Los accesorios se instalan en las tuberías para cumplir diversas funciones, entre las más usadas tenemos; filtros, codos, reducciones, derivaciones en T, curvas, válvulas, etc.

La selección adecuada de la tubería y los accesorios determinaran el buen desempeño de nuestro sistema de bombeo o las fallas continuas que se presenten en estas.

Dicha selección de materiales estará sujeta al tipo de fluido a bombear y la presión de trabajo que va a soportar estos componentes.

2.1.2.1 CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE CARGA EN TUBERÍAS

Cando se transporta un líquido a presión hay resistencia a este movimiento, esta resistencia es debido a la rugosidad del material de la tubería y depende del diámetro, longitud y material de la tubería, así como de la velocidad del fluido, esto se rige con la ecuación de Darcy Weisbach.

$$h_{pf} = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots(2.11)$$

h_{pf} : Pérdida de carga por fricción en tuberías

f: Factor de fricción de Darcy-Weisbach (del diagrama de Moody Anexo 2)

L: Longitud total de tubería

D: Diámetro interno de tubería

V: Velocidad media del fluido

g: Aceleración de la gravedad

2.1.2.2 CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE CARGA EN ACCESORIOS

El accesorio instalado de manera similar a la tubería ofrece resistencia al paso del fluido por lo que genera una pérdida de carga.

$$h_{pac} = K \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots(2.12)$$

Dónde:

h_{pac} : Pérdida de carga debido al accesorio

K: Factor de pérdida del accesorio (Anexo 3)

Las pérdidas de carga totales en un sistema de bombeo se calculan sumando:

$$h_p = h_{pf} + \sum h_{pac} \dots\dots\dots(2.13)$$

2.1.2.3 GOLPE DE ARIETE

Las tuberías se dimensionan para soportar presiones de rotura mucho mayores que la presión de trabajo, de hecho esto tiene su justificación debido al movimiento del fluido en la tubería si se detiene cuando se manipula una válvula o se detiene el bombeo dependiendo del tiempo de cierre se va tener una sobrepresión en la tubería, y esta tiene que ser capaz de absorberla.

Si el tiempo de cierre es menor que el tiempo crítico, $T_c = \frac{2L}{c}$, cierre brusco,

se aplica la expresión de Allievi.

$$\Delta h = \frac{cV}{g} \dots\dots\dots(2.14)$$

Donde:

c: Velocidad de onda

V: Velocidad media del fluido antes del cierre

g: Aceleración de la gravedad

En el caso de cierre lento ($T_M > T_c$), el cálculo es más engorroso pero se puede asumir un proceso de cierre gradual lineal y se puede aplicar la expresión de Michaud.

$$\Delta h = \frac{2LV}{gT_M} \dots\dots\dots(2.15)$$

Donde:

L : Longitud de tubería

T_M : Tiempo de cierre

Si la tubería no es capaz de soportar la sobrepresión ocurrirá un accidente por reventones en la tubería. Donde las condiciones lo permitan se

incorporan aliviadores de presión (válvulas de alivio) que permiten derivar el fluido al agua por apertura de una válvula de retorno.

2.1.3 Sedimentadores

El agua de mina no es limpia, en su recorrido transportan los materiales que vienen encontrando como botellas de plástico, trapos, pedazos de madera, pedazos de tubos, residuos de materiales usados en instalaciones eléctricas, fibras sintéticas de sostenimiento (fibra de Shotcrete), grava, arena, etc.

Los sedimentadores tienen por objetivo separar los sólidos en suspensión que son arrastrados por el agua en su movimiento, para evitar que ingresen al bombeo y dañen las bombas por abrasión, el principio es simple, se debe hacer que el agua circule a muy baja velocidad de manera que los sólidos en suspensión decanten por gravedad.

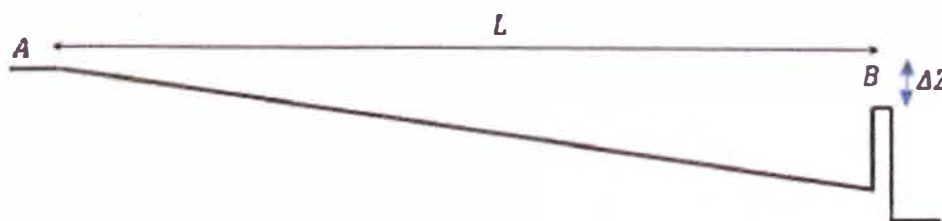


Fig. 2.3 esquema de sedimentador típico en mina.

El agua ingresa por la compuerta A de ancho w_1 y sección S_1 a una velocidad v_1 , recorre el sedimentador de ancho w_2 y sección S_2 a una velocidad v_2 mucho menor para finalmente pasar a través de la compuerta B hacia la cámara de bombeo.

El éxito de la sedimentación consiste en conseguir la velocidad adecuada del agua por el sedimentador v_2 que sea lo suficiente para lograr la decantación de los sólidos que no queremos que ingresen a las bombas.

2.1.3.1 DINÁMICA DE LOS SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN

Para hacer un análisis dinámico de los sólidos en suspensión, es necesario idealizarlo como una esfera, en realidad las formas pueden ser diversas.

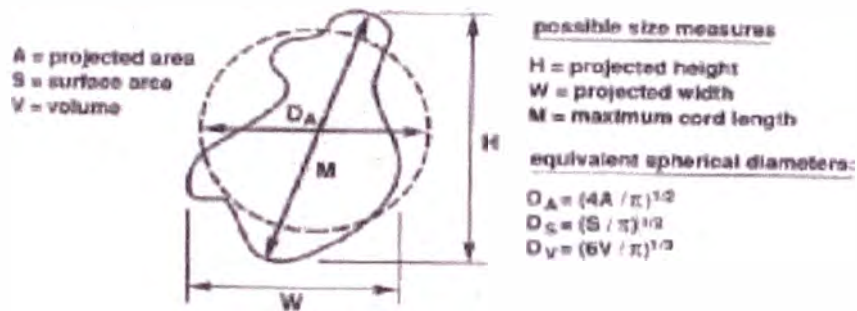


Fig. 2.4 Dimensionado del sólido en suspensión.

Hecha esta idealización los sólidos en suspensión se pueden medir por su diámetro D_M en milímetros (mm). Analicemos la dinámica de un grano de sólido en suspensión que se mueve a velocidad horizontal muy lenta por el sedimentador.



Fig. 2.5 Análisis de fuerzas sobre un grano de sólido en suspensión en el agua.

La fuerza de gravedad es el peso del material.

$$F_G = \frac{\pi}{6} \times D_M^3 \times \rho_M \times g \dots\dots\dots(2.16)$$

La fuerza de empuje es el ejercido por el fluido desalojado

$$F_E = \frac{\pi}{6} \times D_M^3 \times \rho_f \times g \dots\dots\dots(2.17)$$

La fuerza de arrastre es debido a la fricción del fluido en la que cae, para sólidos finos.

$$F_v = 3\pi \times D_M \times V \times \eta \dots\dots\dots(2.18)$$

En la condición de equilibrio $\sum F = 0$; por lo tanto

$$F_v + F_E - F_G = 0$$

$$V = \frac{gD^2}{18\eta} (\rho_m - \rho_f) \dots\dots\dots(2.19)$$

Dónde:

V: Velocidad en m/s

g: Aceleración de la gravedad 9.8m/s²

D_M : Diámetro de partícula en m

ρ_m :: Densidad del material en kg/m³

ρ_f :: Densidad del fluido en kg/m³

η : Viscosidad del fluido en Kg/m.s

En general para diferentes tamaños de sólidos en suspensión se debe considerar la siguiente tabla:

F_v = Fuerza de arrastre

F_E = Fuerza de empuje

F_G = Fuerza de gravedad

Tabla 2.1 Velocidad de sedimentación de sólidos en suspensión en agua.

Material	ϕ Límite de las partículas	N° de Reynolds	Vs (cm/s)	Régimen	Ley Aplicable
Grava	> 10	> 10 000	100	Turbulento	$V_s = 1.82 \sqrt{dg \left(\frac{\rho_\sigma - \rho}{\rho} \right)}$ Newton
Arena	0.100 0.080 0.050 0.050 0.040 0.030 0.020 0.015	1 000 600 180 27 17 10 4 2	10.0 8.3 6.4 5.3 4.2 3.2 2.1 1.5	Transición	$V_s = 0.22 \left(\frac{\rho_\sigma - \rho}{\rho} g \right)^{2/3} \left[\frac{d}{(u/\rho)^{1/3}} \right]$ Allen
Arena Fina	0.010 0.008 0.006 0.005 0.004 0.003 0.002 0.001	0.8 0.5 0.24 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0	0.8 0.6 0.4 0.3 0.2 0.13 0.06 0.015	Laminar	$V_s = \frac{1}{18} g \left(\frac{\rho_\sigma - \rho}{\mu} \right)$ Stokes

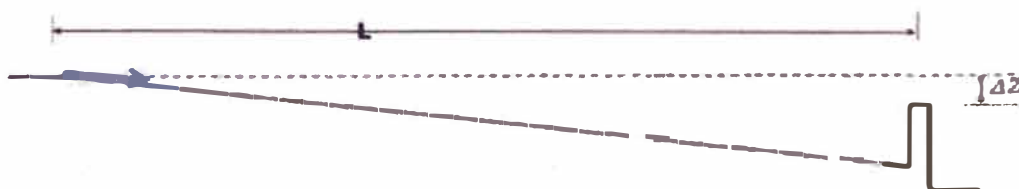


Fig. 2.6 Corte longitudinal de un Sedimentador típico en mina San Cristóbal.

La longitud adecuada del Sedimentador se puede estimar con la siguiente expresión:

$$L_s > \frac{v_2}{v_s} \Delta Z \dots \dots \dots (2.20)$$

Donde:

v_2 :Velocidad del agua en sedimentador (horizontal)

v_s : Velocidad de sedimentación (vertical)

La sedimentación no se da si la desigualdad (2.20) no se cumple y pasará a la cámara de bombeo las partículas que no se quiere que ingresen.

2.2 BOMBAS

La bomba es una máquina generadora que transforma la energía mecánica con la que es accionada en energía hidráulica del fluido incompresible que mueve.

El fluido incompresible puede ser líquido o una mezcla de líquidos y sólidos. En general, una bomba se utiliza para incrementar la presión de un líquido añadiendo energía al sistema hidráulico, para mover el fluido de una zona de menor energía o altitud a otra de mayor energía o altitud.

2.2.1 Clasificación de bombas

2.2.1.1 SEGÚN EL PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

- **Bombas de desplazamiento positivo o volumétricas**, en estas bombas el principio de funcionamiento está basado en la hidrostática, de modo que el aumento de presión se realiza por el empuje de las paredes de las cámaras que varían su volumen. En este tipo de bombas, en cada ciclo el órgano propulsor genera de manera positiva un volumen dado o cilindrada, por lo que también se denominan bombas volumétricas. En caso de poder variar el volumen máximo de la cilindrada se habla de bombas de volumen variable. Si ese volumen no se puede variar, entonces se dice que la bomba es de volumen fijo. A su vez este tipo de bombas pueden subdividirse en:

Bombas de émbolo alternativo, en las que existe uno o varios compartimentos fijos, pero de volumen variable, por la acción de un émbolo o

de una membrana. En estas máquinas, el movimiento del fluido es discontinuo y los procesos de carga y descarga se realizan por válvulas que abren y cierran alternativamente. Algunos ejemplos de este tipo de bombas son la bomba alternativa de pistón, la bomba rotativa de pistones o la bomba pistones de accionamiento axial.

Bombas volumétricas rotativas o roto estáticas, en las que una masa fluida es confinada en uno o varios compartimentos que se desplazan desde la zona de entrada (de baja presión) hasta la zona de salida (de alta presión) de la máquina. Algunos ejemplos de este tipo de máquinas son la bomba de paletas, la bomba de lóbulos, la bomba de engranajes, la bomba de tornillo o la bomba peristáltica.

- **Bomba roto dinámica**, en las que el principio de funcionamiento está basado en el intercambio de cantidad de movimiento entre la máquina y el fluido, aplicando la hidrodinámica. En este tipo de bombas hay uno o varios rodets con álabes que giran generando un campo de presiones en el fluido. En este tipo de máquinas el flujo del fluido es continuo. Estas turbo máquinas hidráulicas generadoras pueden subdividirse en:

Radiales o centrífugas, cuando el movimiento del fluido sigue una trayectoria perpendicular al eje del rodete impulsor.

Axiales, cuando el fluido pasa por los canales de los alabes siguiendo una trayectoria contenida en un cilindro.

Diagonales o helicentrífugas, cuando la trayectoria del fluido se realiza en otra dirección entre las anteriores, es decir, en un cono coaxial con el eje del rodete.

2.2.1.2 SEGÚN EL TIPO DE FUNCIONAMIENTO

- **Electrobombas.** Genéricamente, son aquellas accionadas por un motor eléctrico, para distinguirlas de las motobombas, habitualmente accionadas por motores de combustión interna.
- **Motobombas.** Llevan un motor de combustión interna que es la que entrega el movimiento al eje y se acopla a la bomba para cumplir con el trabajo.
- **Bombas neumáticas,** que son bombas de desplazamiento positivo en las que la energía de entrada es neumática, normalmente a partir de aire comprimido.
- **Bombas de accionamiento hidráulico,** como la bomba de ariete o la noria.
- **Bombas manuales.** Un tipo de bomba manual es la bomba de balancín.

2.2.2 Bombas centrífugas

Las bombas centrífugas se usan ampliamente en los procesos industriales debido a la simplicidad de su diseño, bajo costo inicial, bajo mantenimiento y flexibilidad de aplicación.

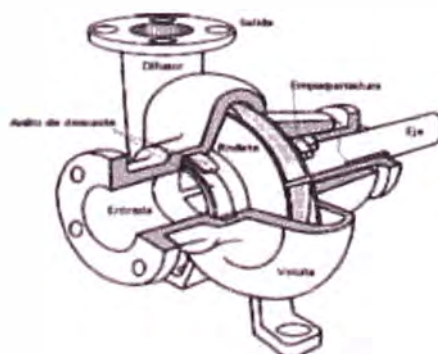


Fig. 2.7 Esquema general de una bomba centrífuga.

El fluido entra a la bomba cerca del centro del impulsor rotatorio y es llevado hacia la periférica por acción centrífuga. La energía cinética del fluido aumenta desde el centro del impulsor hasta los extremos de las aletas impulsoras. Esta carga de velocidad se convierte en carga de presión cuando el fluido sale de la bomba.

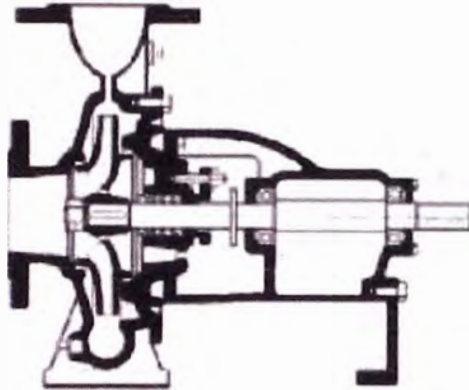


Fig. 2.8. Esquema general de impulsión.

2.2.2.1 IMPULSOR

El impulsor o rodete es el corazón de la bomba centrífuga. Consiste de cierto número de aletas curvas u hojas con una forma tal, que proporcionan un flujo suave de fluido entre las hojas, de acuerdo a la aplicación se fabrican diferentes tipos de impulsores y de diferentes materiales según el tipo de fluido a bombear.



Fig.2.9a Impulsor cerrado.



Fig. 2.9b Impulsor abierto.

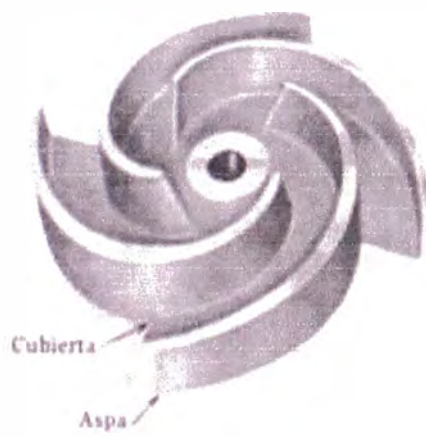


Fig. 2.9c Impulsor Semiabierto helicoidal.



Fig. 2.9d Impulsor.

Fig. 2.9 Diferentes tipos de impulsores.

2.2.2.2 CURVAS CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE BOMBEO

Para seleccionar una bomba debemos primero diseñar la bomba requerida esto se hace determinando la altura dinámica total (ADT) para el caudal que se tiene a bombear.

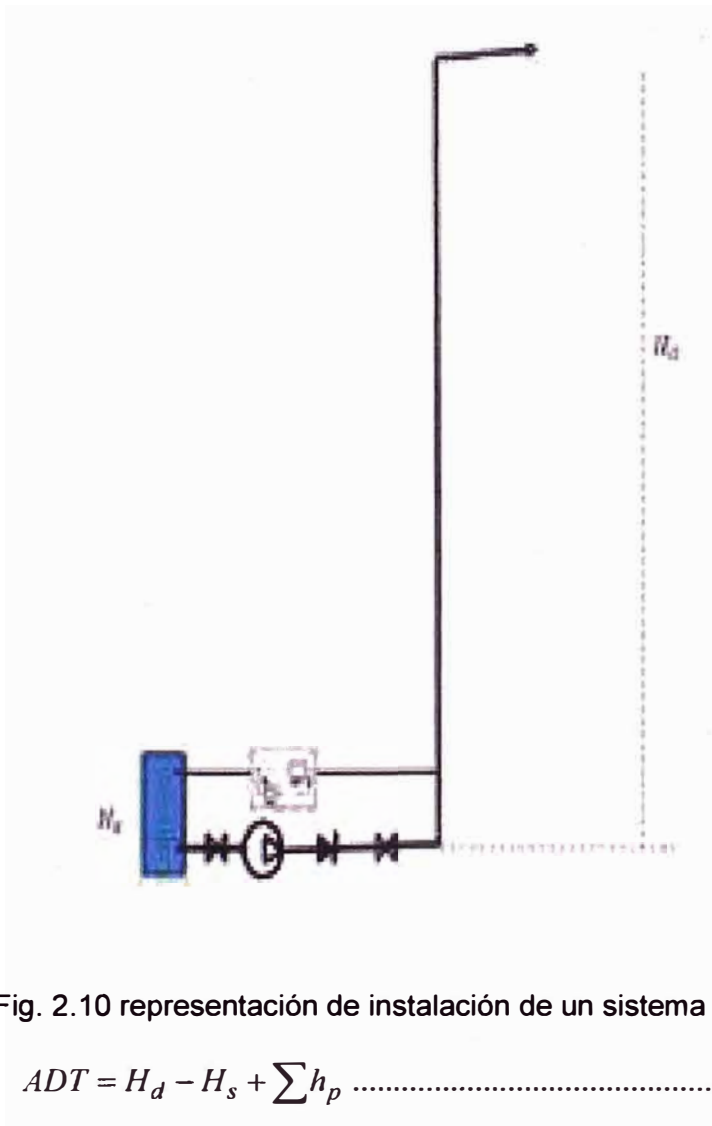


Fig. 2.10 representación de instalación de un sistema de bombeo.

$$ADT = H_d - H_s + \sum h_p \dots\dots\dots(2.21)$$

Donde

ADT: Altura dinámica total del circuito de bombeo

H_d : Altura de descarga

H_s : Altura de succión

$\sum h_p$: Suma total de pérdidas

Considerando una sección uniforme de tubería y los accesorios en longitud equivalente, la ecuación 2.20 suele expresarse en función del caudal.

$$ADT = H_d - H_s + KQ^2 \dots \dots \dots (2.22)$$

Donde

K: Constante calculado para cada tipo de sistema de bombeo es función del diámetro de tubería y la longitud equivalente de los accesorios instalados

Q: Caudal bombeo, se puede expresar en m³/hr o L/s

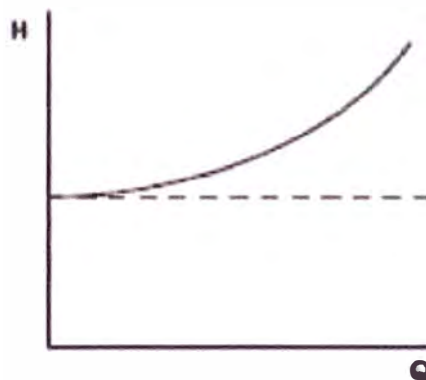
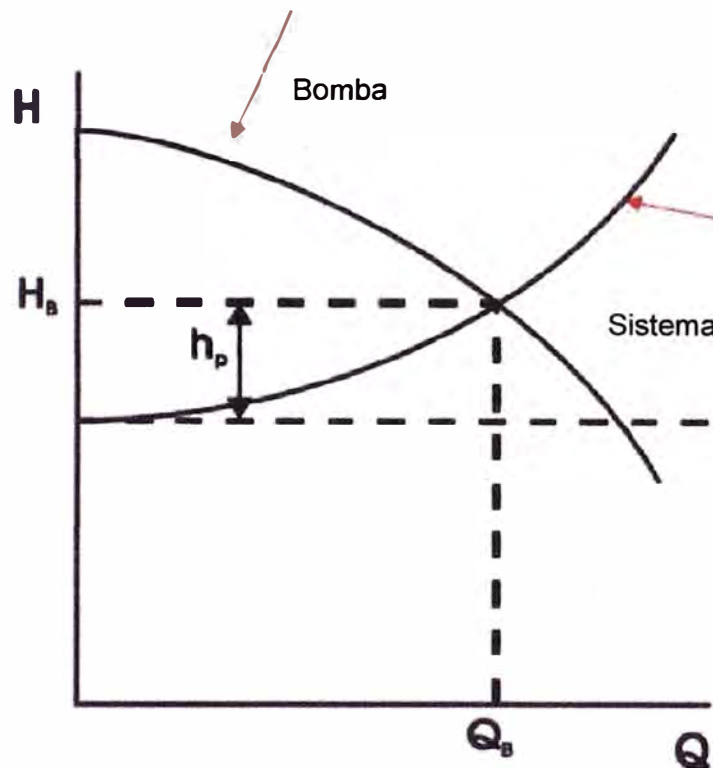


Fig. 2.11 Curva característica del sistema de bombeo.

Cada fabricante también debe trazar sus curvas para cada uno de sus bombas (impulsores) de este modo poder seleccionar el que coincida con el diseñado para el sistema.

El punto donde se cortan la curva del sistema y la curva de la bomba, se llama punto de operación.



2.12 Punto de operación de bomba.

En esta selección de bomba el punto de operación debe coincidir en la máxima eficiencia de la bomba con un margen de $\pm 20\%$ en el caudal como regla práctica.

2.2.2.3 NPSH Y CAVITACIÓN

La cavitación es consecuencia de un fenómeno físico que ocurre con el agua al variar la presión, al caer a presión del agua por debajo de la presión de vapor esta pasa a fase vapor, en la bomba ocurre que al ingresar a la succión la presión se va elevando por lo que el agua en fase vapor cambia súbitamente a fase líquida reduciendo su volumen específico a la milésima parte, esto provoca implosión lo que ocurre en las paredes de ingreso de impulsor ocasionando esfuerzos y desgarramiento o picadura de estas. A la larga la

consecuencia de la cavitación es el desbalanceo del impulsor y consecuente falla de bomba por excesiva vibración.

Para evitar la cavitación se debe mantener la presión por encima de la presión de vapor al ingreso de la succión de la bomba, este valor suficiente es calculado por el fabricante de la bomba y se denomina altura positiva neta de succión requerida $NPSH_r$. Antes de elegir la bomba se debe calcular la altura positiva neta de succión disponible del circuito, $NPSH_d$, que depende básicamente de la geometría de las instalaciones y la operación.

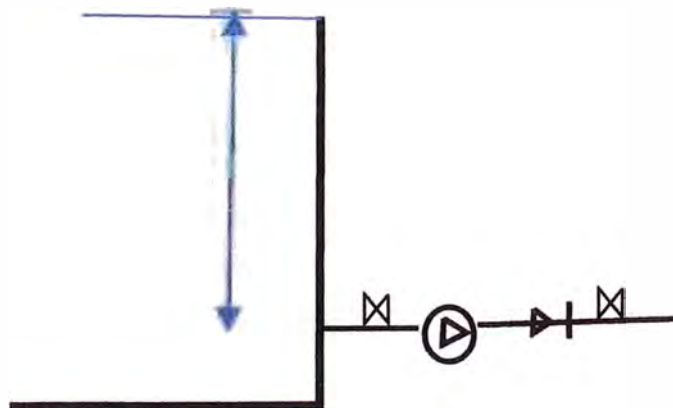


Fig. 2.13 Esquema de succión en sistema de bombeo.

$$NPSH_d = H_s + \frac{P_{atm} - P_{vapor}}{\gamma} - h_{ps} \dots\dots\dots(2.23)$$

Donde:

h_{ps} : Mide la pérdida total en la succión

H_s : Es la altura de succión, en sistemas típicos de mina es la altura desde nivel de succión hasta el espejo de agua en la poza de bombeo

P_{atm} : Es la presión atmosférica, depende de la zona de trabajo (Anexo 4)

P_{vapor} Es la presión de vapor, depende básicamente de la temperatura del agua (Anexo 5).

Para evitar la cavitación es importante que en todo momento se cumpla la siguiente desigualdad.

$$NPSH_d - NPSH_r \geq 0.5m \dots \dots \dots (2.24)$$

2.3 DEFINICIONES BÁSICAS

- a. **Agua ácida.** Agua que presenta un pH menor a 7.
- b. **Agua de perforación.** Agua usada en proceso de perforación y que luego del uso circula por las cunetas hacia los puntos de bombeo o es recuperado con bombas de achique, presenta alto contenido de sólidos finos productos de la perforación.
- c. **Bomba.** Equipo que sirve para impulsar fluido líquido de un punto de menor energía a un punto de mayor energía.
- d. **Bomba centrífuga.** Una bomba que aprovecha la acción centrífuga para dar energía al fluido bombeado.
- e. **Bomba de achique.** Son bombas de poco peso y que toleran alto contenido de sólidos que se instalan en los frentes de operación, generalmente bombean poco caudal de los generados en la perforación.
- f. **Bomba de avance.** Ubicados máximo a 200m de longitud de la labor, bombean agua que se acumula de varios frentes de producción hacia las estaciones de bombeo, generalmente son bombas sumergibles.
- g. **Bomba de turbina vertical.** Una bomba que tiene una configuración de impulsores en serie en disposición vertical, todos los componentes desde la succión hasta la descarga así como el motor se encuentran ubicados en serie, uno tras otro, montados en un eje vertical.

- h. **Bomba horizontal.** La bomba y el motor se ubican sobre una base horizontal en la sala de bombas, la energía mecánica de rotación del eje del motor se transmite al eje de bomba mediante un acoplamiento.
- i. **Bomba sumergible.** Estas bombas trabajan sumergidas en la poza de bombeo, no requieren de una infraestructura grande de base o soporte y son prácticas para labores de bombeo con ubicación temporal.
- j. **Bombeo.** Es la actividad de llevar el agua de un punto de menor energía hacia otro de mayor energía por acción de una bomba.
- k. **Cámara de bombeo.** Es una poza especialmente diseñada para acumular agua que se va impulsar con la bomba.
- l. **Cuneta.** Es un canal que se hace al lado de la vía para que el agua fluya por gravedad.
- m. **Drenaje.** Es todo el sistema que se usa para trasladar el agua de un punto a otro.
- n. **Fibra de Shotcrete.** Fibra sintética usada en el sostenimiento para dar mayor consistencia al concreto lanzado en mina (Shotcrete).
- o. **Lodo.** Agua con alto contenido de sólidos en suspensión.
- p. **Nivel (NV).** Una división usada en el proceso de minado, los niveles son como pisos diferentes, generalmente hay 50m de diferencia de cota entre un nivel y otro.
- q. **Planta concentradora.** Establecimiento donde se da el primer tratamiento al mineral extraído de mina para convertirlo en concentrado de cierto mineral, puede ser de zinc, cobre, plomo, etc.
- r. **Perforación.** Es la actividad del proceso de minado en la que se hacen taladros que servirán para cargar los explosivos y posterior voladura.

- s. **Relave.** Partículas muy finas que son residuos del proceso en planta concentradora.
- t. **Relleno hidráulico.** Es un tipo de saneamiento que se usa en mina de socavón, cuando el terreno es competente las galerías explotadas y que ya no tienen más mineral se rellenan con relave y desmonte.
- u. **Sedimentador.** Infraestructura diseñada para la separación de los sólidos sedimentables en suspensión que lleva el agua en su movimiento.
- v. **Shotcrete.** Es el concreto lanzado en mina.
- w. **Tubería.** Infraestructura que sirve para el transporte de fluido a presión.
- x. **Tubería de acero.** Es usado en requerimientos de mayor presión de trabajo.
- y. **Tubería de HDPE.** Tubería de polietileno de alta densidad, es ampliamente usada en la mina por su costo y mayor duración que la tubería de acero.
- z. **Válvulas.** Son accesorios del sistema de bombeo usados para el control del fluido bombeado.

CAPÍTULO III

AUDITORÍA FLUIDO DINÁMICA

3.1 AUDITORÍA DE LA SITUACION ACTUAL DEL SISTEMA DE BOMBEO DE MINA SAN CRISTÓBAL NV 1120 a NV 820.

La profundización de la mina San Cristóbal actualmente se encuentra en el NV 1120, a partir del NV 1070 bajan dos rampas de profundización que son la RP 040 Y la RP 672. A lo largo de estas rampas es donde se capta la mayor cantidad de agua de la mina San Cristóbal y su manejo es con bombas sumergibles que son alquilados de la empresa Geohidráulica. En el NV 1070 prácticamente se maneja el caudal recibido del NV inferior y se impulsa con bombas sumergibles hacia el NV 1020.

3.1.1 Sistema de bombeo de NV 1120 a NV 1070 Lado Rampa 672.

Se muestra el esquema de bombeo desde el NV 1120 hasta el nivel NV 1070 en las que se pueden observar 10 equipos de bombeo, en uno de los sistemas.

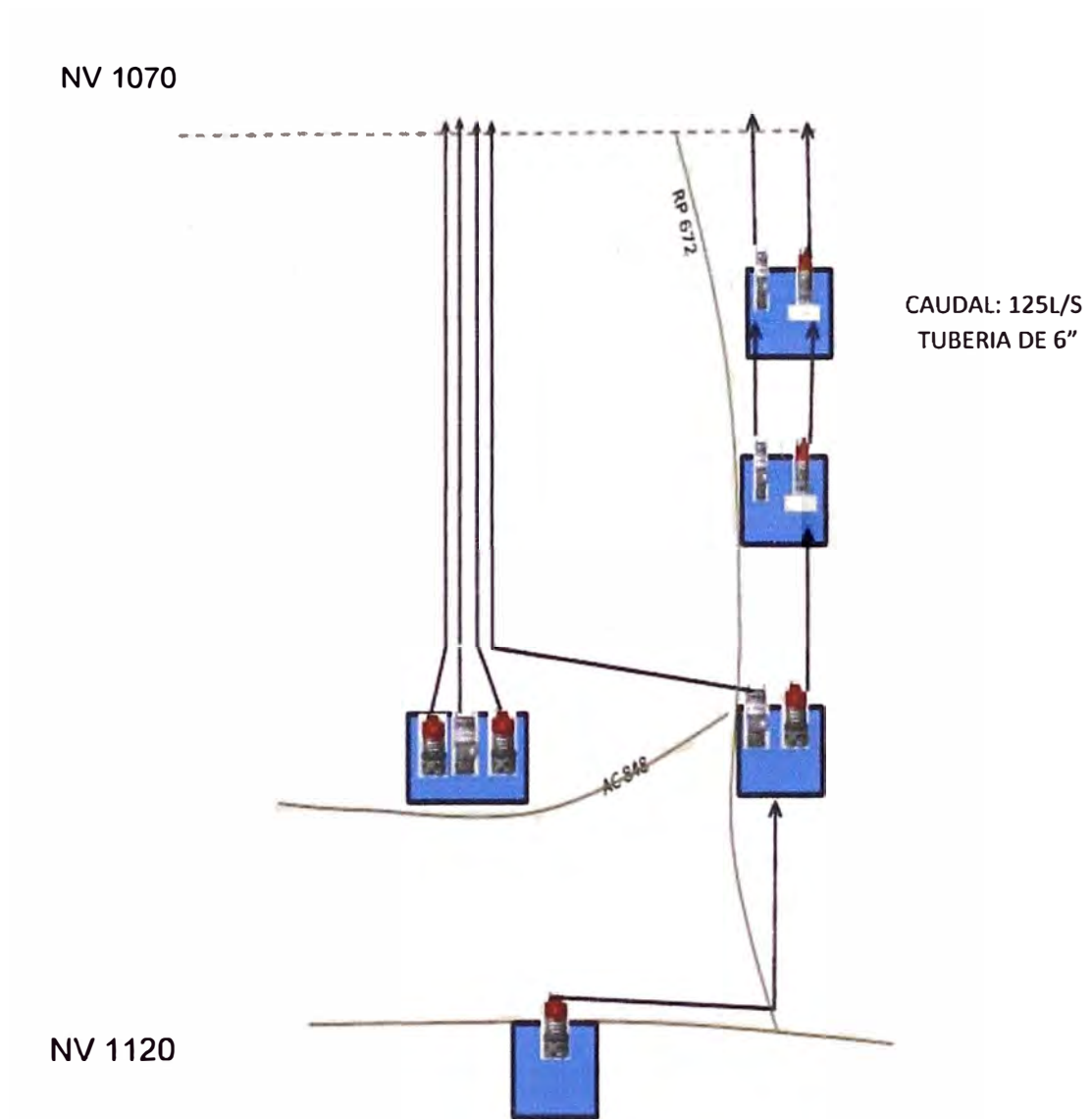


Fig. 3.1. Diagrama de bombeo de NV 1120 a NV 1070 por rampa 672.

3.1.1.1 Costos actuales por alquiler de bombas

Tabla 3.1 Bombas Alquiladas en RP 672 NV 1120 – 1070.

CAMARA	RP/BP	CODIGO	MARCA	MODELO	POTENCIA	COSTO US\$
CAMARA 1	RP 672	GB-005	EBARA	150 DWPM6354	35	1850
CAMARA 1	RP 672	GB-009	GRINDEX	MATADOR	30	1850
CAMARA 2	RP 672	Q-101	GRINDEX	MATADOR	30	1850
CAMARA 2	RP 672	GB-012	EBARA	150 DWPM6584	35	1850
CAMARA 3	RP 672	GB-013	GRINDEX	MAXI	58	2090
CAMARA 3	RP 672	SVBS-007	FLYGT	2201	58	2090
CAM ACC 848	AC 848	GB 58E-006	EBARA	151 DWPM6584	58	2090
CAM ACC 848	AC 848	Q-204	GRINDEX	MAXI	58	2090
CAM ACC 848	AC 848	GB-58G003	GRINDEX	MAXI	58	2090
CAMARA 1120	AC 848	MT-01	GRINDEX	MAXI	58	2090

Costo mensual por alquiler de bombas sumergibles = US\$ 19,940

3.1.1.2 Costos actuales por energía

Potencia Instalada: 420HP = 315KW

Horas de trabajo de bombas por mes: 720 horas

Costo de energía eléctrica en la zona: US\$ 0.04/KWH

Costo mensual por energía = US\$ 9,072.00

3.1.1.3 Costos actuales por administración y operador

Costo mensual por supervisión y administración: US\$ 6,048.60 Costo mensual

por operador: US\$ 3,391.77

Costo mensual por administración y operador = US\$ 9,440.37

Costo mensual por bombeo de NV 1120 a NV 1070 por RP 672 =US\$

38,452.37

Costo anual por bombeo de NV 1120 a NV 1070 por RP 672 = US\$

461,428.44

3.1.2 SISTEMA DE BOMBEO DE NV 1120 A NV 070 LADO RAMPA 040

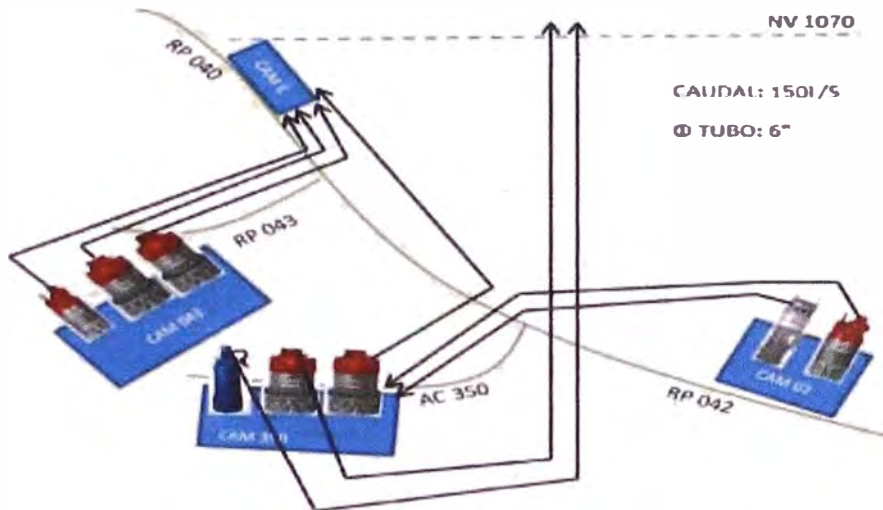


Fig. 3.2. Diagrama de bombeo de NV 1120 a NV 1070 por la rampa 040.

3.1.2.1 Costos actuales por alquiler de bombas.

Tabla 3.2 Bombas alquiladas en RP 040 NV 1120 - NV1070

CAMARA	RP/BP	CODIGO	MARCA	MODELO	POTENCIA	COSTO US\$
CAMARA 043	RP 040		GRINDEX	MAXI	58	2090
CAMARA 043	RP 040		GRINDEX	MATADOR	30	1850
CAMARA 043	RP 040		GRINDEX	MAXI	58	2090
CAM 02	RP 042	GB 30G-006	GRINDEX	MATADOR	30	1850
CAM 02	RP 042	GB 35E-042	EBARA	151 DWPM6354	35	1850
CAMARA NUEVA ACC 350	AC 350	Q-202	GRINDEX	MAXI	58	2090
CAMARA NUEVA ACC 350	AC 350		GRINDEX	MAXI	58	2090
CAMARA NUEVA ACC 350	AC 350	GB60T-016	TSURUMI	LH-645	60	2090

Costo mensual por alquiler de bombas sumergibles = US\$ 16,000.00

3.1.2.2 Costos actuales por energía

Potencia Instalada: 387HP = 290.25KW

Horas de trabajo de bombas por mes: 720 horas

Costo de energía eléctrica en la zona: US\$ 0.04/KWH

Costo mensual por energía = US\$ 8,359.20

3.1.2.3 Costos actuales por administración y operador

Costo mensual por supervisión y administración: 6,048.60 US\$

Costo mensual por operador: US\$ 3,391.77

Costo mensual por administración y operador = 9,440.37 US\$

Costo mensual por bombeo de NV 1120 a NV 1070 por RP 040 = US\$ 33,799.75

Costo anual por bombeo de NV 1120 a NV 1070 por RP 040 = US\$ 405,594.84

3.1.3 SISTEMA DE BOMBEO DE NV 1070 A NIVEL 1020

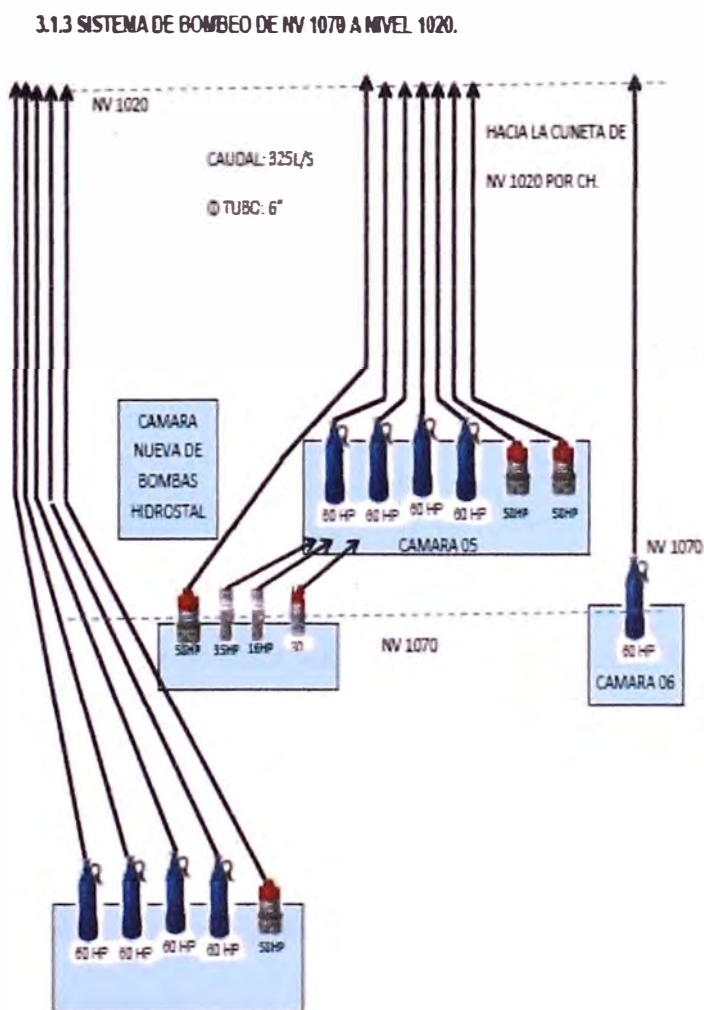


Fig. 3.3 Diagrama de bombeo de nivel 1070 a nivel 1020.

3.1.3.1 Costos actuales por alquiler de bombas

Tabla 2.3 Bombas Alquiladas NV 1070 - NV 1020.

CÁMARA	RP/BP	CÓDIGO	MARCA	MODELO	POTENCIA	BOMBEA A	COSTO US\$
CÁMARA 05	BP 1070	GB-60T002	TSURUMI	LH-645	60	NV 1020	2,090.00
CÁMARA	BP 1070	SVBS-018	FLYGT	2201	58	NV 1020	2,090.00
CÁMARA	BP 1070	GH-210	TSURUMI	LH-645	60	NV 1020	2,090.00
CÁMARA	BP 1070	GH-010	TSURUMI	LH-645	60	NV 1020	2,090.00
CÁMARA 05	BP 1070	Q-210	GRINDEX	MAXI	58	NV 1020	2,090.00
CÁMARA 05	BP 1070	GH-011	TSURUMI	LH-645	60	NV 1020	2,090.00
CÁMARA 06	BP 1070	GH-203	TSURUMI	LH-645	60	NV 1020	2,090.00
CUNETA 1070	BP 1070	GB-002	EBARA	150 DWPM6354	35	CAM 5	1,850.00
CUNETA 1070	BP 1070	Q-310	GRINDEX	MAXI	58	NV 1020	2,090.00
CUNETA 1070	BP 1070	GB16-008	EBARA	150 DWPM6164	16	CAM 5	1,200.00
CUNETA 1070	BP 1070	Q-112	GRINDEX	MATADOR	30	CAM 5	1,850.00
CÁMARA E	RP 040	GH-015	TSURUMI	LH-645	60	NV 1020	2,090.00
CÁMARA E	RP 040	GB 60T-006	TSURUMI	LH-645	60	NV 1020	2,090.00
CÁMARA E	RP 040	Q-203	MAXI	MAXI	58	NV 1020	2,090.00
CÁMARA	RP 040	GH 60T-005	TSURUMI	LH-638	60	NV 1020	2,090.00
CÁMARA	RP 040	GB-60T013	TSURUMI	LH-637	60	NV 1020	2,090.00

Costo mensual por alquiler de bombas sumergibles = US\$ 32,070.00

3.1.3.2 Costos actuales por energía

Potencia Instalada: 911HP = 683.25KW

Horas de trabajo de bombas por mes: 720 horas Costo de energía

eléctrica en la zona: US\$ 0.04/KWH

Costo mensual por energía = US\$ 19,677.60

3.1.3.3 Costos actuales por administración y operador

Costo mensual por supervisión y administración: 6,048.60 US\$ Costo

mensual por operador: US\$ 3,391.77

Costo mensual por administración y operador = 9,440.37 US\$

Costo mensual por bombeo de NV 1070 a NV 1020 = US\$ 63,277.97

Costo anual por bombeo de NV 1070 a NV 1020 = US\$ 759,335.64

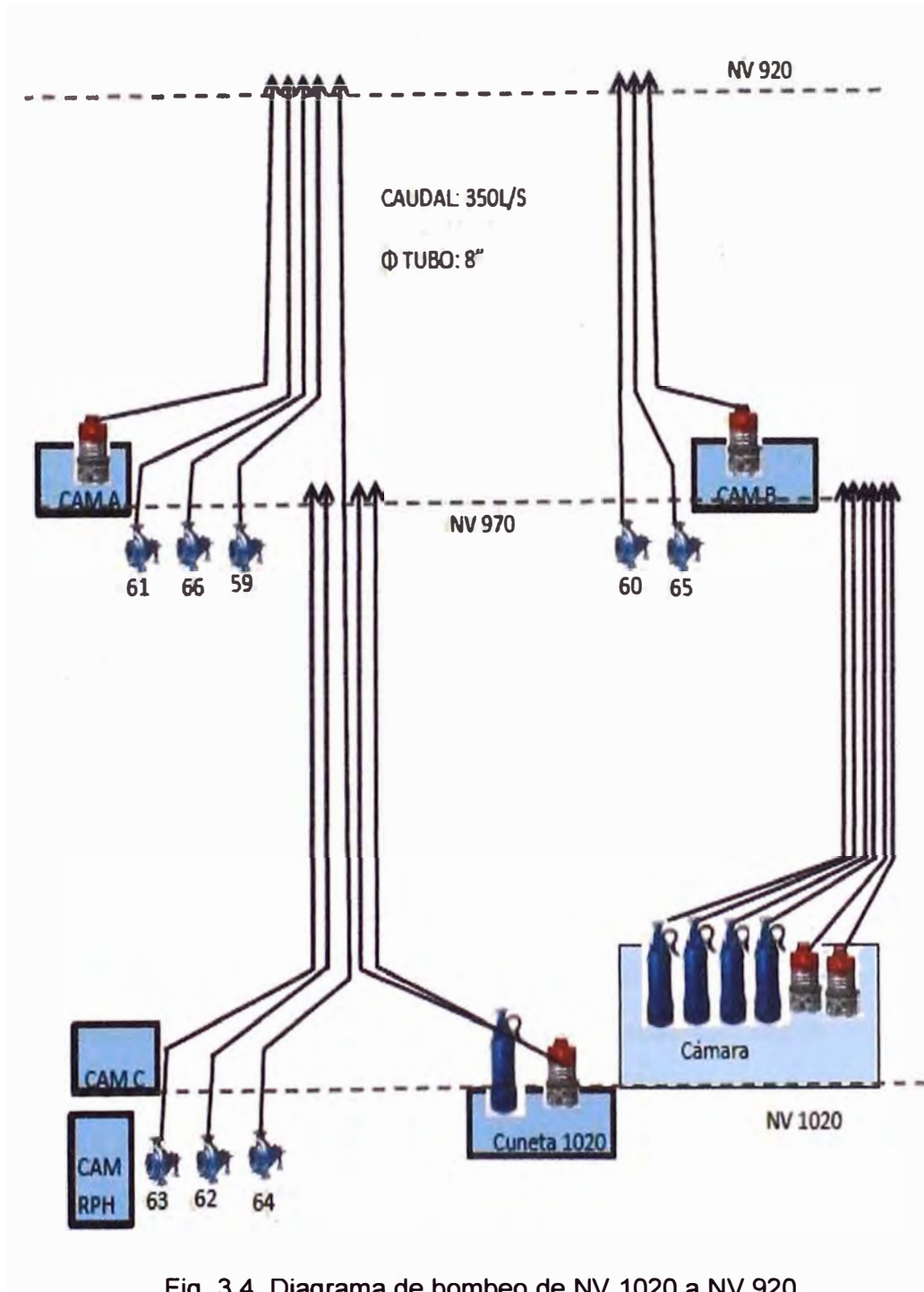


Fig. 3.4 Diagrama de bombeo de NV 1020 a NV 920.

3.1.4 Sistema de Bombeo de NV 1020 a NV 920

3.1.4.1 Costos por alquiler de bombas

Tabla 3.4 Bombas Alquiladas NV 1020 - NV 920.

NIVEL	CÁMARA	RP/BP	CÓDIGO	MARCA	MODELO	POTENCIA	BOMBEA A	COSTO US\$
970	CAM B	RP 400	BOM-060-YA	HIDROSTAL	125-400	200	NV 920	0
	CAM B	RP 400	BOM-065-YA	HIDROSTAL	125-400	200	NV 920	0
	CAM B	RP 400		GRINDEX	MAXI	58	NV 920	2090
	CAM A	RP 040	BOM-059-YA	HIDROSTAL	65-250	150	NV 920	0
	CAM A	RP 040	BOM-061-YA	HIDROSTAL	125-400	200	NV 920	0
	CAM A	RP 040	BOM-066-YA	HIDROSTAL	125-400	200	NV 920	0
	CAM A	RP 040		GRINDEX	MAXI	58	NV 920	2090
1020	CAM C	RP 040	BOM-064-YA	HIDROSTAL	65-250	200	NV 920	0
	CAM C	RP 040	BOM-062-YA	HIDROSTAL	125-400	200	NV 970	0
	CAM C	RP 040	BOM-063-YA	HIDROSTAL	125-400	200	NV 970	0
	CAM C	RP 040		FLIGT	2400HT	140	NV 920	5500
	CAM C	RP 040		FLIGT	2400HT	140	NV 920	5500
	CNTA 1020	BP 1020		GRINDEX	MAXI	58	NV 970	2090
	CNTA 1020	BP 1020		TSURUMI	LH-645	60	NV 970	2090
	CAMARA11	RP 400		TSURUMI	LH-645	60	NV 970	2090
	CAMARA11	RP 400		TSURUMI	LH-645	60	NV 970	2090
	CAMARA11	RP 400		TSURUMI	LH-645	60	NV 970	2090
	CAMARA11	RP 400		TSURUMI	LH-645	60	NV 970	2090
	CAMARA11	RP 400		GRINDEX	MAXI	58	NV 970	2090
	CAMARA11	RP 400		GRINDEX	MAXI	58	NV 970	2090

Costo mensual por alquiler de bombas sumergibles = US\$ 31,900.00

Costo Mensual por mantenimiento de bombas estacionarias: US\$ 20,000

3.1.4.2 Costos actuales por energía

Potencia Instalada: 2280HP = 1710KW

Horas de trabajo de bombas por mes: 720 horas

Costo de energía eléctrica en la zona: US\$ 0.04/KWH

Costo mensual por energía = US\$ 49,248.00

3.1.4.3 Costos actuales por administración y operador

Costo mensual por supervisión y administración: 6,048.60 US\$

Costo mensual por operador: US\$ 3,391.77

Costo mensual por administración y operador = 9,440.37 US\$

Costo mensual por bombeo de NV 1020 a NV 920 = US\$ 110,588.37 Costo

anual por bombeo de NV 1020 a NV 920 = US\$ 1'327,060.44

3.1.5 Sistema de bombeo de NV 920 a NV 820

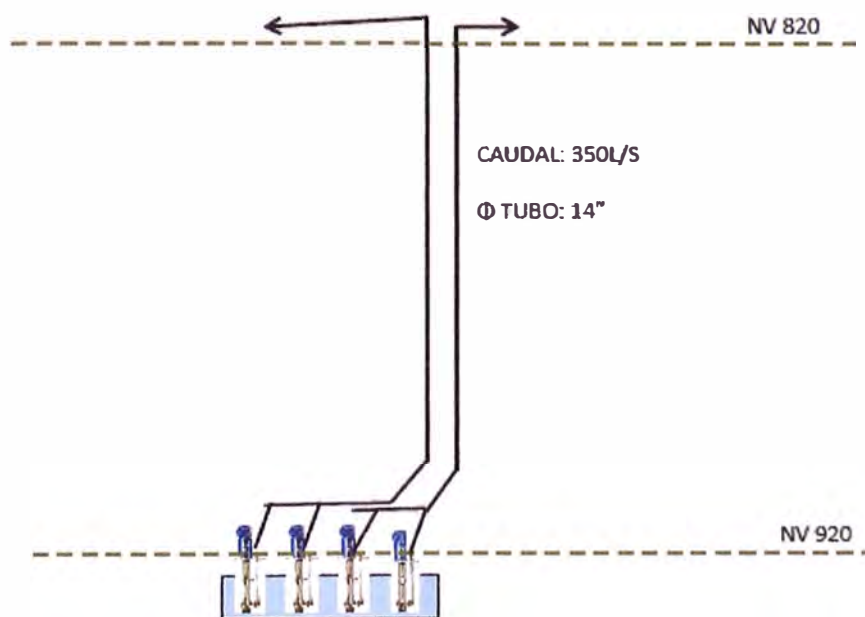


Fig. 3.5 Diagrama de bombeo del NV 920 hacia el NV 820.

Costo mensual por mantenimiento de bombas: US\$ 27,000.00

3.1.5.1 Costos actuales por energía

Potencia Instalada: 1200HP = 900KW

Horas de trabajo de bombas por mes: 720 horas

Costo de energía eléctrica en la zona: US\$ 0.04/KWH

Costo mensual por energía = US\$ 25,920.00

3.1.5.3 Costos actuales por administración y operador

Costo mensual por administración: 0.00 US\$

Costo mensual por operador: 6,000.00 US\$

Costo mensual por administración y operador = 6,000.00 US\$

Costo mensual por bombeo de NV 920 a NV 820 = US\$ 58,920.00

Costo anual por bombeo de NV 920 a NV 820 = US\$ 707,040.00

3.1.6 Resumen de costos en el sistema de bombeo NV 1120 – 820

Tabla 3.5 Cuadro resumen de costos de bombeo desde NV 1120 hasta NV 820

TRAMO	CONCEPTO	US \$ MENSUA L	US \$ ANUAL	US \$ Tramo/mes	US \$ Tramo/año
1120-1070 R-670	Alquiler bombas	19,940	239280	38,452.37	461428.4
	Mantenimiento bombas	0	0		
	Energía consumida	9,072.00	108864		
	Operador y Admin.	9,440.37	113284.4		
1120-1070 R-40	Alquiler bombas	16,000.00	192000	33,799.57	405594.8
	Mantenimiento bombas	0.00	0		
	Energía consumida	8,359.20	100310.4		
	Operador y Admin.	9,440.37	113284.4		
1070-1020	Alquiler bombas	32,070.00	384840	61,187.87	734254.4
	Mantenimiento bombas	0.00	0		
	Energía consumida	19,677.50	236130		
	Operador y Admin.	9,440.37	113284.4		
1020-920	Alquiler bombas	31,900.00	382800	110,588.37	1327060
	Mantenimiento bombas	20,000.00	240000		
	Energía consumida	49,248.00	590976		
	Operador y Admin.	9,440.37	113284.4		
920-820	Alquiler bombas	0.00	0	58,920.00	707040
	Mantenimiento bombas	27,000.00	324000		
	Energía consumida	25,920.00	311040		
	Operador y Admin.	6,000.00	72000		

Costo total mensual por sistema de bombeo de NV 1120 a NV 820: US\$ 302,948.18. Costo total anual por sistema de bombeo de NV 1120 a NV 820: US\$ 3'635,378.16

3.1.7 Ratio de bombeo 1000xUS\$/m4

$$RATIO = \frac{COSTO\ MENSUAL\ DE\ BOMBEO\ (US\$)}{BOMBEO\ MENSUAL\ (M3)\ x\ ALTURA\ BOMBEADO(M)} \times 1000 \dots\dots\dots(3.1)$$

Tabla 3.6 Ratio de bombeo en los diferentes niveles analizados

TRAMO	TRAMO US \$/MES	ALTURA (m) DE BOMBEO	CAUDAL DE BOMBEO (LIT/SEG)	CAUDAL DE BOMBEO M3/H	M3/MES	RATIO DE BOMBEO
1120-1070 R-670	38,452.37	50	125	450	324000	2.37
1120-1070 R-40	33,799.57	50	150	540	388800	1.74
1070-1020	61,187.87	50	300	1080	777600	1.6
1020-920	110,588.37	100	350	1260	907200	1.22
920-820	58,920.00	100	350	1260	907200	0.65

Este último indicador es un valor introducido por el autor y representa el costo unitario del sistema de bombeo, expresa lo gastado en US\$ respecto a lo producido por nuestro sistema de bombeo tanto en caudal como en elevación de altura.

Este indicador deja claro que hay una importante oportunidad para aprovechar, que en los tramos 1120 a 820 no se está aplicando y por lo tanto se puede mejorar.

Se puede observar que el costo más alto se tiene en el tramo bombeado de NV 1120 a NV 1070, esto se debe a que en este tramo se bombea básicamente con bombas sumergibles alquiladas.

3.2 AUDITORÍA DE CALIDAD DEL AGUA CAPTADA PARA BOMBEO EN LA MINA SAN CRISTÓBAL

3.2.1 Densidad del agua captada en la mina San Cristóbal

Se tomó muestra de agua captada en cuneta de NV 1070 y cuneta de NV 1020, para determinar porcentaje de contenido sólidos en suspensión en el agua.

Para determinar usamos la fórmula básica de densidades y concentraciones de mezclas:

$$\rho_i = \frac{M_i}{V_i} \dots\dots\dots(3.1)$$

$$c = \frac{\rho_m - \rho_a}{\rho_s - \rho_a} \dots\dots\dots(3.2)$$

Donde:

c : Concentración de sólido (kg de sólido/kg de agua)

ρ_m : Densidad de mezcla

ρ_s : Densidad del sólido

ρ_a : Densidad del agua limpia

Todos los datos de densidades se han obtenido en el sitio tomando datos de masa con una balanza y volumen con una fiola.

3.2.1.1 Cálculo de la densidad del agua limpia en San Cristóbal

VOLUMEN MEDIDO: 95mL

PESO DE FIOLA VACIO: 125g

PESO DE FIOLA CON 95mL DE AGUA: 219g

PESO NETO DE 95mL DE AGUA: 94g

$$\text{DENSIDAD: } \rho = \frac{(94 \text{ g})}{95 \text{ mL}} = \frac{0,9895 \text{ g}}{\text{mL}} = 989.5 \text{ kg/m}^3$$

Incertidumbre en el cálculo de la densidad:

División mínima de lectura de la balanza = 1g

Incertidumbre de pesaje con balanza = $1g/\sqrt{3} = 0.58g$

División mínima de lectura de la fiola = 0,5mL

Incertidumbre de volumen medido = $0.5mL/\sqrt{3} = 0.29g$

$$\begin{aligned} \text{Incertidumbre de la densidad} &= \text{raiz} \left(\left(\frac{\delta\rho}{\delta m} \right)^2 u_m^2 + \left(\frac{\delta\rho}{\delta V} \right)^2 u_V^2 \right) \\ &= \text{raiz} \left(\left(\frac{1}{V} \right)^2 u_m^2 + \left(\frac{M}{V^2} \right)^2 u_V^2 \right) \end{aligned}$$

Incertidumbre de la densidad del agua = 6,8kg/m³

Incertidumbre expandida con 95% de certeza (2σ) = 13,6kg/m³

Densidad del agua calculado = $989,5 \pm 13,6\text{kg/m}^3$

3.2.1.2 Calculo de densidad del sólido en suspensión

VOLUMEN MEDIDO: 100mL

PESO DE FIOLA VACIO: 125g

PESO DE FIOLA CON 100ml DE SÓLIDO: 290g

PESO NETO DE 100ml DE SÓLIDO: 165g

$$\text{DENSIDAD: } \rho = \frac{165g}{100mL} = \frac{1,65g}{mL} = 1650kg/m^3$$

Considerando que el lodo muestreado presenta un esponjamiento de 25%:

$$\rho_s = 2200 kg/m^3$$

Incertidumbre en el cálculo de la densidad:

División mínima de lectura de la balanza = 1g

Incertidumbre de pesaje con balanza = $1g/\sqrt{3} = 0.58g$

División mínima de lectura de la fiola = 0,5mL

$$\text{Incertidumbre de volumen medido} = 0.5 \text{ mL} / \sqrt{3} = 0.29 \text{ mL}$$

$$\begin{aligned} \text{Incertidumbre de la densidad} &= \text{raiz} \left(\left(\frac{\partial \rho}{\partial m} \right)^2 u_m^2 + \left(\frac{\partial \rho}{\partial V} \right)^2 u_V^2 \right) \\ &= \text{raiz} \left(\left(\frac{1}{V} \right)^2 u_m^2 + \left(\frac{M}{V^2} \right)^2 u_V^2 \right) \end{aligned}$$

$$\text{Incertidumbre de la densidad del agua} = 7,5 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Incertidumbre expandida con 95\% de certeza } (2\sigma) = 15,0 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Densidad del sólido calculado} = 2200,0 \pm 15,0 \text{ kg/m}^3$$

3.2.1.3 Cálculo de densidad del agua tomada de la cuneta BP 1070

VOLUMEN MEDIDO: 510 mL

PESO DE FRASCO VACIO: 45g

PESO DE FRASCO LLENO: 605g.

PESO NETO DE AGUA: 560g

$$\text{DENSIDAD: } \rho = \frac{560 \text{ g}}{510 \text{ mL}} = \frac{1,0980 \text{ g}}{\text{mL}} = 1098,0 \text{ kg/m}^3$$

INCERTIDUMBRE EN CÁLCULO DE LA DENSIDAD = 3,8 kg/m³

Densidad del agua de BP 1070 = 1098,0 ± 3,8 kg/m³

3.2.1.4 Cálculo de densidad del agua tomada de la cuneta BP 1020

VOLUMEN MEDIDO: 581 mL

PESO DE FRASCO VACIO: 45g

PESO DE FRASCO LLENO: 6922g

PESO NETO DE AGUA: 647g

$$\text{DENSIDAD: } \rho = \frac{647 \text{ g}}{581 \text{ mL}} = \frac{1,1140 \text{ g}}{\text{mL}} = 1114,0 \text{ kg/m}^3$$

INCERTIDUMBRE EN CÁLCULO DE LA DENSIDAD = 3,8 kg/m³

Densidad del agua de BP 1020 calculado = $1114,0 \pm 2,3$ kg/m³

3.2.1.5 Cálculo de concentración de lodo

Aplicando la ecuación 3.2

a. CONCENTRACIÓN DE LODO EN AGUA DE NV 1070:

$$c = \frac{\rho_m - \rho_a}{\rho_s - \rho_a} = \frac{1098,0 - 989,5}{2200,0 - 989,5} = 8,96\%$$

CONCENTRACIÓN DE LODO EN AGUA DE NV 1020:

$$c = \frac{\rho_m - \rho_a}{\rho_s - \rho_a} = \frac{1114,0 - 989,5}{2200,0 - 989,5} = 10,29\%$$

3.2.1.6 Aguas ácidas (pH)

Las aguas ácidas en minería son aquellas soluciones sulfatadas, con alto contenido de metales y con un pH menor a 7, en nuestro caso en la mina tenemos un pH=5.5.

La acidez con el descenso del pH del agua tiene las siguientes consecuencias:

- El agua se hace fuertemente corrosiva y abrasiva, dependiendo del contenido de metales.
- El ecosistema fluvial se degrada, hasta ser incapaz de mantener muchas formas de vida acuática, y los sistemas acuíferos se contaminan.
- La solubilidad de muchos metales pueden aumentar, con la que las aguas llegan a ser tóxicas.

Esta acidez del agua en las minas hace que el material del cuerpo de bomba, los impulsores y demás componentes sean de acero inoxidable debido a la alta corrosión que causan y a la abrasión por partículas de metales, en otros casos se realizan baños de polímeros químicos resistentes a la corrosión y a la abrasión.

3.2.2 Sólidos flotantes transportados por el agua

El principal tipo en este caso es la fibra usada en el sostenimiento, esta fibra de polipropileno de alta performance tiene 1mm de espesor y 50mm de largo, sirve para mejorar las características del Shotcrete usado en el sostenimiento en mina y representa un problema cuando desde las labores es arrastrada por el agua y llega a la succión de las bombas, pues cuando se acumulan taponean la succión de las bombas restringiendo el ingreso de agua y bajando la eficiencia de las bombas.

Tabla 3.7 Resumen de indicadores y propiedades importantes en el análisis

INDICADOR	NIVEL			
	1120	1070	1020	920
Ratio de bombeo	2.37	1.6	1.22	0.65
Densidad de bombeo		1098	1114	
Densidad del agua		8.96	10.29	
Concentración de solidos				
Fibra de Shotcrete	Alto	Alto	Alto	Alto

3.3 SISTEMA DE BOMBEO ÓPTIMO EN LA MINA SAN CRISTÓBAL

El problema principal existente en la mina, es que existen demasiados equipos de bombeo con caudales relativamente bajos tal como se observan en los gráficos, las características de bombeo no han sido calculadas correctamente; razón por lo que estas deficiencias inciden en la producción de la mina y en la gestión de mantenimiento. Es por ello que se realiza el cálculo y la optimización del sistema de bombeo, considerando parámetros actuales para un mayor caudal que repercute en reducir el total de equipos de bombeo e incrementar el rendimiento.

A continuación se muestran los nuevos esquemas propuestos para la mina

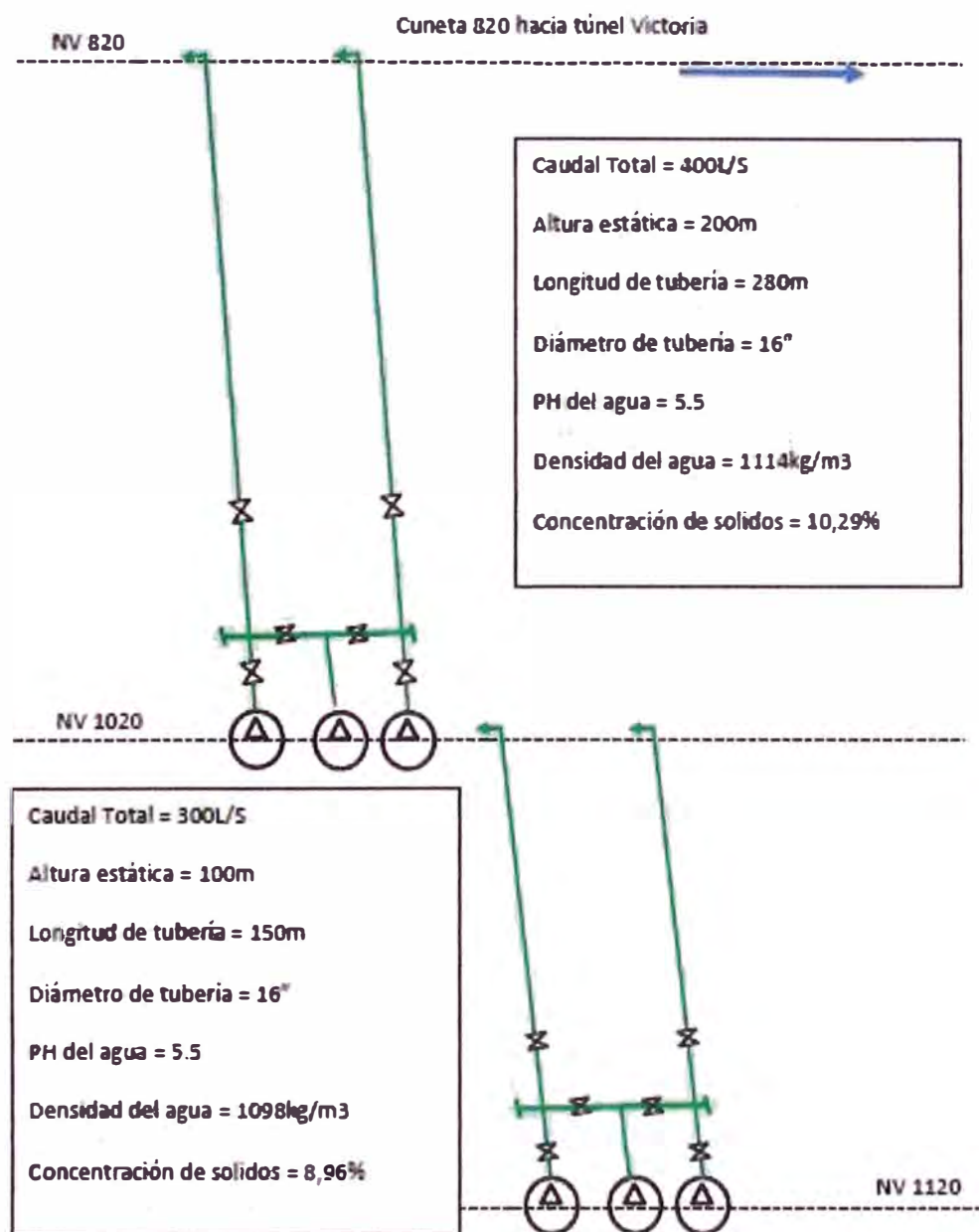


Fig. 4. 1: Sistema de bombeo planteado.

CAPÍTULO IV

CARACTERÍSTICAS TÉCNICO-ECONÓMICAS DE LAS ALTERNATIVAS EN EL TRAMO 1120-1020

4.1 DISTRIBUCIÓN DE CÁMARAS DE BOMBEO

Se plantea modificar el sistema de bombeo con bombas estacionarias de gran capacidad y alta eficiencia de modo que se reduzca el costo de bombeo a la vez que se de confiabilidad al sistema de bombeo.

Se trata de instalar los equipos propuestos de tal forma que el sistema de bombeo tenga 02 líneas de impulsión de tal forma que por dicha tuberías pase el caudal requerido sin problemas, previo a un cálculo de las mismas.

En este caso se deberán considerar contar con equipos en reserva para la puesta en servicio en casos de emergencia.

4.2 DISEÑO DE LAS BOMBAS REQUERIDAS EN NV 1120

4.2.1 Datos de diseño:

Cauda total: 300 L/s

Cantidad de tuberías: 02 Caudal por tubería: 150 L/s

Material de tubería: Acero Schedule 40

Diámetro nominal de tubería: 16pulg = 0,406m

Diámetro interno de la tubería: 0,387m

Altura estática: 100m

Longitud de la tubería: 150m

Filtro de succión por bomba: 01

Válvula de compuerta por línea: 03

Válvula check por línea: 01

Codos 90° por línea: 02

Codos 45° por línea: 01

Tees por línea: 02

Unión flexible por línea: 02

Densidad del agua 1098kg/m³

pH = 5.5

Propiedades del agua a nivel del mar a 4°C

Densidad = 1000kg/m³

Viscosidad = 1,568 x 10⁻⁶ m²/s

Propiedades a 4000 msnm a 4°C

Presión atmosférica = 0,62 bar = 628mmH₂O

Presión de vapor = 6,1021mmHg = 83mmH₂O

Propiedades de tubería de acero comercial.

Rugosidad absoluta $\varepsilon = 0,045\text{mm}$

Espesor de tubería = 9,5mm

Presión interna en tubería (tensión circunferencial) $\sigma_{\phi} = \frac{p \cdot r}{e}$

Módulo de Young para el acero = 210.000 Mpa

Presión interna máxima $p = 210000 \text{ Mpa} \times 9.5 \text{ mm} \times \frac{2}{387 \text{ mm}} = 10310 \text{ Mpa}$

$$p_{\text{MAX}} = 103 \text{ bar}$$

4.2.2 Cálculos

a. Cálculo de velocidad del agua en la tubería

El caudal se divide en las dos tuberías por lo que por cada tubería

$$Q = 300/2 = 150 \text{ L/s} = 0,15 \text{ m}^3/\text{s}.$$

El área de sección del tubo sería: $A = \frac{\pi \times D^2}{4}$

$$A = 3,1416 \times \frac{0,387^2}{4} = 0,118 \text{ m}^2$$

La velocidad la calculamos con la ecuación: $v = \frac{Q}{A}$

$$v = \frac{0,15 \text{ m}^3/\text{s}}{0,118 \text{ m}^2} = 1,28 \text{ m/s}$$

b. Tipo de flujo

NÚMERO DE REYNOLDS: $R = \frac{vD}{\nu}$

$$R = \frac{1,28 \text{ m/s} \times 0,387 \text{ m}}{1,568 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}} = 3,15 \times 10^5$$

El flujo es turbulento.

c. Cálculo de pérdida de carga en tubería (h_{pf})

Ecuación de las pérdidas en tuberías $h_{pf} = f \cdot \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g}$

Rugosidad relativa: $\frac{e}{D} = \frac{0,045 \text{ mm}}{387 \text{ mm}} = 1,16 \times 10^{-4}$

Factor de fricción de Darcy-Weisbach (MOODY): $f = 0,023$

$$h_{pf} = 0.023 \times \frac{150}{0.387} \times \frac{1.28^2}{2 \times 9.8} = 0.74m$$

d. Pérdida de carga por accesorios en el sistema

Tabla 4.1 Longitud equivalente de accesorios en sistema de bombeo
NV 1120 – NV 1020.

Accesorio	Cantidad	K	Leq/D	Leq (metros)
Codo 45°	2	0.35	17	12.04
codo 90°	2	0.75	35	24.78
T	2	1	50	35.40
Unión	2	0.04	2	1.42
Válvula Compuerta abierta	3	0.17	9	9.56
Válvula Check	1	2	100	35.40
Longitud equivalente por accesorios				118.59

$$h_{pa} = 0.018 \times \frac{118.59}{0.387} \times \frac{1.28^2}{2 \times 9.8} = 0.58m$$

e. Pérdida de carga en strainer de succión

No hay una correlación que permita calcular la pérdida de carga en el strainer por lo que se aproxima como valor máximo que la pérdida es 0,1bar = 1,02 m. de H₂O

$$h_{pa} = 1,02m$$

La pérdida total de presión en el sistema será la suma de todas estas formas por lo que:

$$h_p = h_{pf} + h_{pa} + h_{ps}$$

$$h_p = 0.74 + 0.58 + 1,02 = 2,34m$$

f. Calculo de altura dinámica total de bombeo

$$H_D = H_e + h_p$$

$$H_D = 100,00m + 2,34m = 102.34m$$

g. Cálculo de la altura positiva neta de succión (NPSH) disponible

Presión atmosférica = 0,62bar = 6,28m H₂O

Presión de vapor = 6,1021mmHg = 83mm H₂O

Nivel de agua a la succión = 3m

Longitud tubería de succión: 3m

Material de tubería: acero comercial

Diámetro de tubería = 10pulg

Diámetro interno = 257mm

Rugosidad $e = 0,045\text{mm}$

Caudal: 0,175m³/h

Válvula de compuerta: 01

Unión flexible: 01

Strainer: 01

Pérdida en Strainer = 1,02m

Pérdida en válvula de compuerta = 0,40m

Pérdida en tubería = 0,12m

Pérdida total en succión hps = 1,54m

Altura positiva neta de succión disponible

$$NPSH = H_s + \frac{P_{atm} - P_{vapor}}{\gamma} - h_s$$

$$NPSH = 3,00m + 6,28m - 0,083m - 1,54m = 7,66m$$

h. Potencia del motor eléctrico (HP)

$$P = \frac{\rho g Q H}{760 \eta}$$

ρ : Densidad en kg/m³

g: Gravedad (m/s²)

Q: Caudal (m³/s)

H: Altura dinámica total (m)

η : Eficiencia

760: Factor para convertir de Watts a HP

$$P = \frac{1098 \times 9,8 \times 0,15 \times 102,34}{760 \times 0,75}$$

$P = 290\text{HP}$ y para la selección se considerara un 20% adicional

$P = 350\text{ HP}$

RESUMEN DE BOMBEO NV 1120 A NV 1020

ADT = 102,34 m, Q = 300L/s, P = 350HP (por línea)

NPSHd = 7,66 m

4.2.3 Diseño de la bomba para NV 1120.

4.2.3.1 Alternativa 1: se bombea el agua sin tratamiento previo del NV 1120 al NV 1020

Se va a bombear agua con contenido de sólidos en suspensión cuya concentración es 9%, además con contenido de fibra de Shotcrete de tamaño 3 cm y diámetro 1 mm que puede obstruir la succión si el impulsor es cerrado. Por lo tanto se ha de elegir bombas de impulsor abierto que puedan manejar sólidos en suspensión superior a 10% y fibra de Shotcrete.

- Elegimos en Marca KSB, modelo GIW LSA 6x8-25

En este caso se deben elegir tres trenes con dos bombas con motores de 200HP cada uno, en total se comprarán 6 bombas de los cuales 4 trabajan y 2 hacen un tren estambay.



Fig. 3.2: Detalle de tren de bombas a seleccionarse para NV 1120.

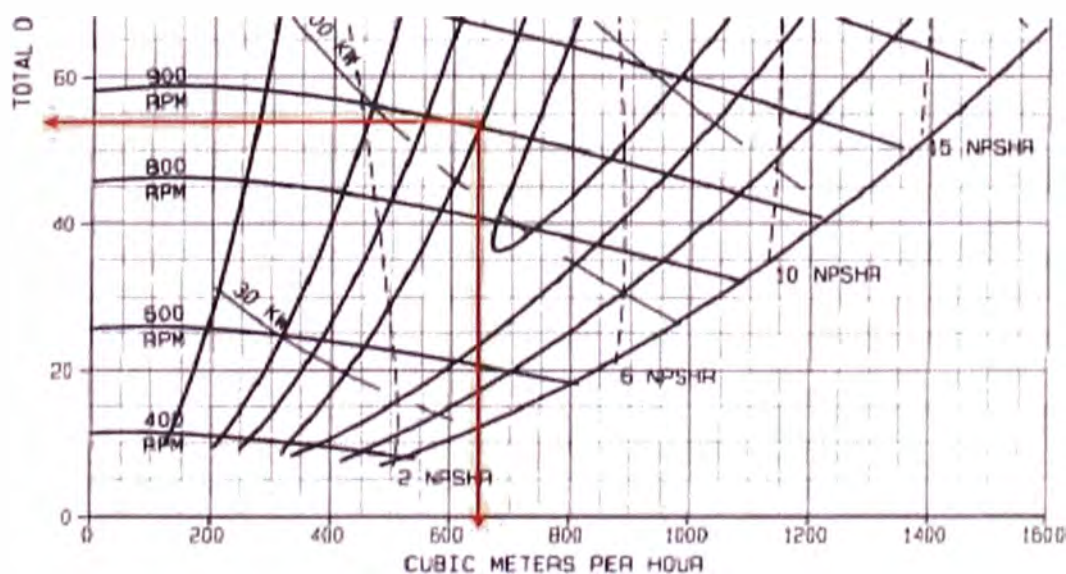


Fig. 4.3 Curvas de performance de bomba GIW LSA 6x8-25, 650M³/H (180L/s) con ADT 53m, 900RPM y motor 200HP y eficiencia 76%.

El motivo de la elección es básicamente la experiencia en mina Chungar donde se presentaba similar problema en el sistema de bombeo, habían continuas fallas en las bombas que se deterioraban o se trancaban disminuyendo el caudal bombeado y parando el bombeo con la consecuencia de continuas inundaciones.

a. ANÁLISIS DE COSTOS

a.1. Costos de inversión del proyecto

DESCRIPCION	COSTO US\$
Laboreo minero poza de bombeo	90,000.00
Laboreo minero sala de Sub Estación	20,000.00
Laboreo Minero sala de bombas	60,000.00
Infraestructura civil poza de bombeo	50,000.00
Infraestructura civil sala de bombas	50,000.00
Infraestructura civil Sub Estación	20,000.00
Tuberías de acero	96,000.00
Válvulas	30,000.00
Bombas, motores y tableros	2,100,000.00
Cables eléctricos	200,000.00
Transformador 1MVA	100,000.00
Instalación tuberías - bombas	120,000.00
Instalaciones eléctricas	80,000.00
TOTAL	3,016,000.00

a.2. Costos de mantenimiento por año

Bocinas de eje (sellos): US\$ 25.000,00	25,000.00
Empaquetadura cuadrada 1"x 10Kg: US\$ 50,00	50.00
Aceite Nuto 68	600.00
Fajas (48fajas/6meses) US\$ 700,00	700.00
TOTAL	26,350.00

a.3. Costo de energía

COSTO UNITARIO US\$/KWH = 0,046 CONSUMO ENERGÍA KWH/MES

= 437.760,00 COSTO MENSUAL POR ENERGÍA = US\$ 20.136,96

COSTO POR OPERADOR = US\$ 2.700,00

a.4 Costo de ciclo de vida (LCC) de bombeo de agua de la alternativa N°

1. Bombeo NV 1120 A NV 1020.

Tiempo de evaluación: 5 años, se considera una inflación de 10% en energía y mantenimiento, con el 5% en operación.

Tabla 4.2: Cuadro resumen de costos de alternativa 1 con horizonte de 5 años, sistema bombeo NV 1120 - NV 1020.

COSTO	AÑO					
	0	1	2	3	4	5
Inversión	3,016,000.00					
Energía		241,643.52	265,807.87	292,388.66	321,627.53	353,790.28
Operación		32,400.00	34,020.00	35,721.00	37,507.05	39,382.40
Mantenimiento		26,350.00	28,985.00	31,883.50	35,071.85	38,579.04
Total Costos	3,016,000.00	300,393.52	328,812.87	359,993.16	394,206.43	431,751.72
LCC	4,831,157.67					

4.2.3.2 Alternativa 2: Se elige bombas para agua limpia de menor costo y se diseña sedimentadores

Para que esta alternativa funcione se deben diseñar adicionalmente buenos sedimentadores y personal y equipo para cumplimiento de mantenimiento de limpieza de sedimentadores en forma continua.

Se elige la bomba HIDROSTAL modelo 125-400. Para este caso cada bomba maneja 75L/s con lo que será necesario 4 bombas para manejar los 300L/s, se deben instalar 6 bombas para tener 2 en estambay (reserva).

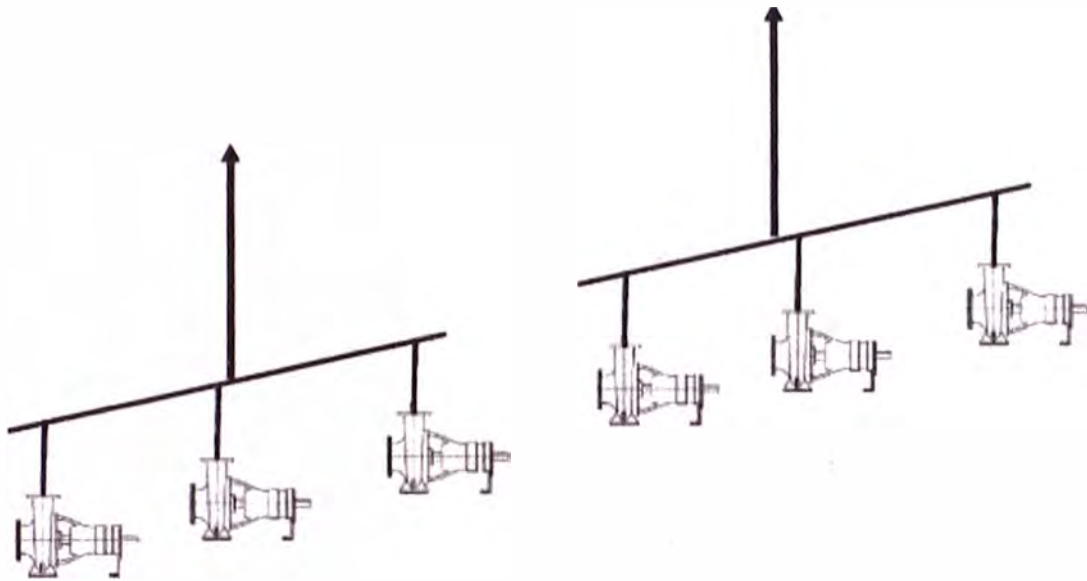
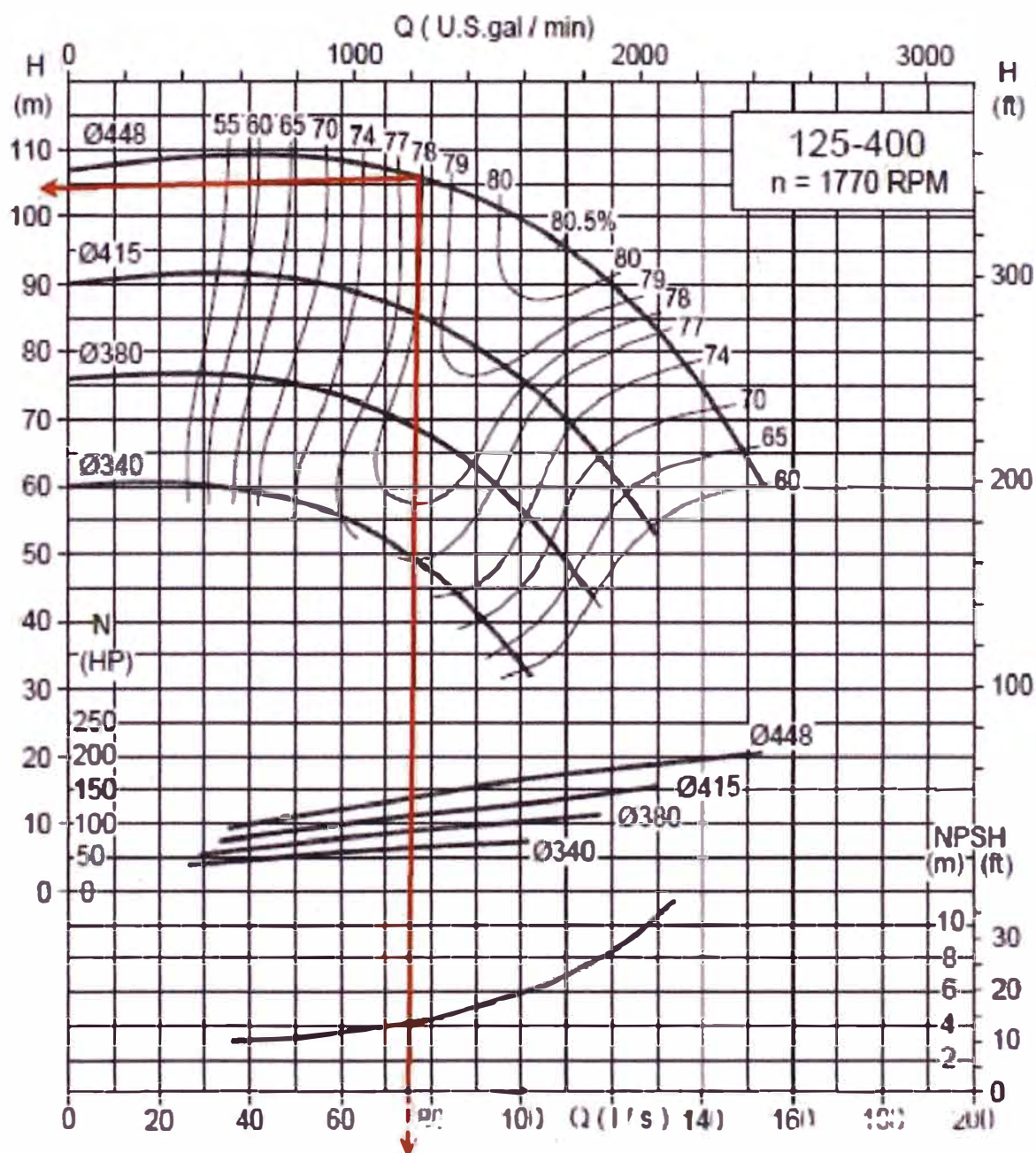


Fig. 4.4 Detalle de disposición de bombas Hidrostal a seleccionarse para NV 1120.

Dos líneas de 16" c/u, cada línea con 3 bombas, capacidad para 300L/s en total, se consigue pérdidas totales de 4m con altura geométrica 100m el ADT será de 104m para lo cual se verifica en la curva de performance $Q = 75\text{L/s}$ para cada bomba.



75L/S a 105m eficiencia 78%, 150HP, requiere un motor 200HP

Fig. 4.5 Curvas de la bomba hidrostal 125-400.

a. DISEÑO DE SEDIMENTADOR PARA ALTERNATIVA 2

Podemos considerar la velocidad de sedimentación de la tabla 2.1 para diferentes diámetros de partículas en el agua.

Tabla 4.1 velocidad de sedimentación de sólidos en suspensión en agua.

Material	ϕ Limite de las partículas (cm)	# de Reynolds	V _s	Régimen	Ley Aplicable
Grava	>1.0	>10 000	100	Turbulento	$V_s = 1.82 \sqrt{dg \left(\frac{\rho_a - \rho}{\rho} \right)}$ Newton
Arena Gruesa	0.100 0.080 0.050 0.050 0.040 0.030 0.020 0.015	1 000 600 180 27 17 10 4 2	10.0 8.3 6.4 5.3 4.2 3.2 2.1 1.5	Transición	$V_s = 0.22 \left(\frac{\rho_a - \rho}{\rho} g \right)^{2/3} \left[\frac{d}{(\mu / \rho)^{1/3}} \right]$ Allen
Arena Fina	0.010 0.008 0.006 0.005 0.004 0.003 0.002 0.001	0.8 0.5 0.24 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0	0.8 0.6 0.4 0.3 0.2 0.13 0.06 0.015	Laminar	$V_s = \frac{1}{18} g \left(\frac{\rho_a - \rho}{\mu} \right) d^2$ Stokes

Para las condiciones del NV 1120 densidad 1098kg/m³ y partículas preponderantes arena gruesa con diámetro promedio 0.5mm la velocidad de sedimentación será 5,3cm/s.

a.1 DIMENSIONAMIENTO DE FLUJO POR SEDIMENTADOR

Ancho de sedimentador, w = 6m

Espesor de agua corriente de agua, $e = 10\text{cm}$

$$\Delta Z = 0,5\text{m}$$

Caudal $0,175\text{m}^3/\text{s}$

Velocidad:

$$V = \frac{Q}{S} = \frac{Q}{e \times w}$$

$$V = \frac{0.175\text{m}^3/\text{s}}{0.10\text{m} \times 6\text{m}} = 0.29\text{m}/\text{s}$$

Longitud de sedimentación

$$L = \frac{V}{V_s} \times \Delta Z$$

$$L = \frac{0.29}{0.053} \times 0,5 = 2,8\text{m}$$

En 2,8 m completaría la sedimentación.

Para las partículas finas de diámetro $0,05\text{mm}$ ($50 \mu\text{m}$) $V_s = 0,3\text{cm}/\text{s}$

$$L = 48,3 \text{ m}$$

Para las partículas finas de ($100 \mu\text{m}$) $V_s = 0.8\text{cm}/\text{s}$

$$L = 18,2 \text{ m}$$

En este caso con sedimentadores de 20 m de longitud y 6 m de ancho estaríamos garantizando un buen trabajo de sedimentación para las bombas seleccionadas. Los materiales flotantes se deben separar instalando en la compuerta de ingreso al sedimentador dos coladores de malla 50 y otro colador en el ingreso a poza de bombeo de malla 100.

La limpieza de estos coladores debe ser hecha por el operario de manera continua, esto es cada hora debe retirar lo acumulado en e ingreso a sedimentadores y cada fin de guardia los acumulados en ingreso a poza de bombeo.

a.2 ACUMULACION DE SÓLIDOS EN CADA SEDIMENTADOR

$$\text{Capacidad de acumulación en volumen} = \frac{5m \times 6m \times 20m}{2} = 300m^3$$

Concentración de sólidos: 8,96%

Caudal de agua por el sedimentador = 150L/s (540M3/h)

Tiempo de llenado de sedimentador =

$$\frac{\text{Volumen Sedimentador}}{\text{Concentración} \times \text{caudal}} = \frac{300m^3}{0.0896 \times 540} = 6.2h$$

Considerando que son dos sedimentadores y que el 50% de los sólidos son más finos la limpieza tiene que ser diario.

b ANÁLISIS DE COSTOS

b.1 Costos de inversión por año en el proyecto

DESCRIPCIÓN	COSTO US\$
Laboreo minero poza de bombeo	90,000.00
Laboreo minero sala de Sub Estación	20,000.00
Laboreo Minero sala de bombas	60,000.00
Laboreo minero 03 sedimentadores	94,500.00
Infraestructura civil poza de bombeo	50,000.00
Infraestructura civil sala de bombas	50,000.00
Infraestructura civil sedimentadores	6,000.00
Infraestructura civil Sub Estación	20,000.00
Tuberías de acero	96,000.00
Válvulas	30,000.00

Bombas, motores y tableros	180,000.00
Cables eléctricos	200,000.00
Transformador 1.5 MVA	130,000.00
Instalación tuberías - bombas	120,000.00
Instalaciones eléctricas	80,000.00
TOTAL	1,226,500.00

b.2 COSTOS DE MANTENIMIENTO POR AÑO

Rodamientos	86.00
Empaquetadura cuadrada 1/2"x 3Kg: US\$ 6,00	18.00
Grasa EP-2	24.00
Impulsor	700.00
Mantenimiento sedimentador	242,360.00
TOTAL	243,188.00

b.3 COSTO DE ENERGÍA

COSTO UNITARIO US\$/KWH = 0,046

CONSUMO ENERGIA KWH/MES = 437.760,00

COSTO MENSUAL POR EN REGIA = US\$ 20.136,96

COSTO POR OPERADOR = US\$ 2.700,00

b.4 COSTO DE CICLO DE VIDA (LCC) DE BOMBEO DE LA ALTERNATIVA 2

BOMBEO NV 1120 A NV 1020

Tiempo de evaluación: 5 años, se considera una inflación de 10% en energía y mantenimiento, con el 5% en operación.

Tabla 4.3 Cuadro resumen de costos de alternativa 2 con horizonte de 5 años, sistema bombeo NV 1120 - NV 1020.

COSTO	AÑO					
	0	1	2	3	4	5
Inversión	1,226,500.00					
Energía		241,643.52	265,807.87	292,388.66	321,627.53	353,790.28
Operación		64,800.00	68,040.00	71,442.00	75,014.10	78,764.81
Mantenimiento		243,188.00	267,506.80	294,257.48	323,683.23	356,051.55
Total Costos	1,226,500.00	549,631.52	601,354.67	658,088.14	720,324.85	788,606.63
LCC	4,544,505.82					

4.2.4 Resumen para selección del sistema de bombeo para el nivel NV 1120

Tabla 4.4 Cuadro Resumen de resultados de tramo 1120 a 1020.

	COSTOS TOTALES DE BOMBEO DEL NV 1120 AL NV 1020					
	0	1	2	3	4	5
Alternativa N° 1	3,016,000.00	300,393.52	328.812.87	359,993.16	394,206.43	431,751.72
Alternativa N° 2	1,226,500	549,631.52	601,354.67	658,088.14	720,324.85	788,606.63
Alquiler	0	1,601,278.92	1,761,406.81	1,937,547.49	2,131,302.24	2,344,432.47

	COSTO DE CICLO DE VIDA AL AÑO CERO
ALTERNATIVA N° 1	4,831,157.6796
ALTERNATIVA N° 2	4,544,505.82
ALQUILER	9,775,967.93

Con los resultados la mejor opción es la alternativa N° 2, se debe hacer la infraestructura necesaria y cumplir con los mantenimientos sin fallar,

destinando dos personas y un equipo 4 horas diarias para el mantenimiento del sedimentador.

Se selecciona la bomba marca HIDROSTAL, modelo 125-400, funcionando 04 bombas y quedan 02 en reserva.

4.3 SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA DEL SISTEMA DE BOMBEO

Se ha seleccionado la alternativa N° 2 del sistema de bombeo con tratamiento de agua en el NV 1120 al NV 1020, por las siguientes condiciones:

- De acuerdo al costo económico es la menor
- Se ajusta a las condiciones requeridas por el diseño.
- Menor cantidad de partículas metálicas en el bombeo de agua, por contar con sedimentadores.

CAPÍTULO V
CARACTERÍSTICAS TECNO-ECONÓMICAS DE LAS ALTERNATIVAS EN EL
TRAMO NV1020-NV820

5.1 DISEÑO DE BOMBAS REQUERIDAS EN EL NV 1020

5.1.1 Datos de diseño

Cauda total: 400L/s

Cantidad de tuberías: 02

Caudal por tubería: 200L/s

Material de tubería: Acero Cedula 30

Diámetro nominal de tubería: 16pulg. = 0,406m

Diámetro interno de la tubería: 0,387m

Altura estática: 200m

Longitud de la tubería: 280m.

Filtro de succión por bomba: 01

Válvula de compuerta por línea: 03

Válvula check por línea: 01

Codos 90° por línea: 02

Codos 45° por línea: 01

Tees por línea: 02

Unión flexible por línea: 02

Densidad del agua: 1114kg/m³

pH: 5.5

Propiedades del agua a nivel del mar a 4°C

Densidad = 1000kg/m³

Viscosidad = 1,568 x 10⁻⁶ m²/s

Propiedades a 4000 msnm a 4°C

Presión atmosférica = 0,62 bar = 628 mm H₂O

Presión de vapor = 6,1021mmHg = 83mm H₂O

Propiedades de tubería de acero comercial.

Rugosidad absoluta $\varepsilon = 0,045$ mm

Espesor de tubería = 9,5 mm

Presión interna en tubería (tensión circunferencial) $\sigma_{\phi} = \frac{p \cdot r}{e}$

Módulo de Young para el acero = 210.000 Mpa

Presión interna máxima $p = 210000Mpa \times 9.5mm \times \frac{2}{387mm} = 10310Mpa$

5.1.2 Cálculos

a. Cálculo de velocidad del agua en la tubería

El caudal se divide en las dos tuberías por lo que por cada tubería Q = 400/2 = 200 L/s = 0,200 m³/s.

El área de sección del tubo sería: $A = \frac{\pi \times D^2}{4}$

$$A = 3,1416 \times \frac{0.3872^2}{4} = 0.118m^2$$

La velocidad la calculamos con la ecuación: $v = \frac{Q}{A}$

$$v = \frac{0.200m^3/s}{0.118m^2} = 1,70m/s$$

b. Tipo de flujo

$$\text{NÚMERO DE REYNOLDS: } R = \frac{vD}{\nu}$$

$$R = \frac{1,70\text{m/s} \times 0,387\text{m}}{1,568 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}} = 4,20 \times 10^5$$

El flujo es turbulento.

c. Cálculo de pérdida de carga en la tubería (h_{pf})

$$h_{pf} = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

$$\text{Rugosidad relativa: } \frac{e}{D} = \frac{0,45\text{mm}}{387\text{mm}} = 1,16 \times 10^{-4}$$

Factor de fricción de Darcy-Weisbach (MOODY): $f = 0,022$

$$h_{pf} = 0,022 \times \frac{280}{0,387} \times \frac{1,70^2}{2 \times 9,8} = 2,35\text{m}$$

d. Pérdida de carga por accesorios en el sistema

Accesorio	Cantidad	K	Leq/D	Leq. (metros)
Codo 45°	2	0.35	17	12.04
codo 90°	2	0.75	35	24.78
T	2	1	50	35.40
Unión	2	0.04	2	1.42
Válvula Compuerta abierta	3	0.17	9	9.56
Válvula Check	1	2	100	35.40
Longitud equivalente por accesorios				118.59

$$h_{pa} = 0.018 \times \frac{118.59}{0.387} \times \frac{1.702}{2 \times 9.8} = 0.99m$$

e. Pérdida de carga en Strainer de succión

No hay una correlación que permita calcular la pérdida de carga en el strainer por lo que se aproxima como valor máximo que la pérdida es 0,1bar = 1,02m H₂O

$$h_{ps} = 1,02m \text{ H}_2\text{O}$$

La pérdida total de presión en el sistema será la suma de todas estas formas por lo que:

$$h_p = h_{pf} + h_{pa} + h_{ps}$$

$$h_p = 2,35 + 0,99 + 1,02 = 4,36m$$

f. Calculo de altura dinámica total de bombeo

$$HD = H_e + h_p$$

$$H_D = 200,00m + 4,36m = 204,36m$$

g. Cálculo de la altura positiva neta de succión (NPSH) disponible

Presión atmosférica = 0,62 bar = 6,28 m H₂O

Presión de vapor = 6,1021 mmHg = 83 mm H₂O

Nivel de agua a la succión = 3 m

Longitud tubería de succión: 3 m

Material de tubería: acero comercial

Diámetro de tubería = 10 pulg

Diámetro interno = 257 mm

Rugosidad = 0,045 mm

Caudal: 0,175 m³/h

Válvula de compuerta: 01

Unión flexible: 01

Strainer: 01

Pérdida en Strainer = 1,02 m

Pérdida en válvula de compuerta = 0,40 m

Pérdida en tubería = 0,12 m

Pérdida total en succión $h_{ps} = 1,54$ m

Altura positiva neta de succión disponible

$$NPSH = H_s + \frac{P_{atm} - P_{vapor}}{\gamma} - h_s$$

$$NPHS = 3,00\text{m} + 6,28\text{m} - 0,083\text{m} - 1,54\text{m} = 7,66\text{m}$$

h. Potencia de motor eléctrico (HP)

$$P = \frac{\rho g Q H}{760 \eta}$$

ρ : Densidad en kg/m³

g: gravedad m/s²

Q: caudal m³/s

H: Altura dinámica total m

η : Eficiencia

760: Factor para convertir de Watts a HP

$$P = \frac{1114 \times 9,81 \times 0,200 \times 204,36}{760 \times 0,75}$$

P = 780HP y para la selección se considerara un 20% adicional

P = 950HP

Resumen de bombeo NV 1120 A NV 1020

ADT = 204,36 m, Q = 400L/S, P = 950HP (por línea)

NPSHd = 7,66 m

5.1.3 Diseño de bomba para el nivel NV 1020

5.1.3.1 Alternativa 1. Se Bombea sin tratamiento previo con bombas que manejen sólidos.

Se va a bombear agua con contenido de sólidos en suspensión cuya concentración es 10%, además con contenido de fibra de Shotcrete de tamaño 3cm y diámetro 1 mm que puede obstruir la succión si el impulsor es cerrado, por lo tanto se ha de elegir bombas de impulsor abierto que puedan manejar sólidos en suspensión superior a 10% y fibra de shotcrete.

- Elegimos en Marca KSB GIW LSA 8x10-32

En este caso se deben elegir tres trenes con tres bombas con motores de 350HP cada uno, en total se comprarán 9 bombas de los cuales 6 trabajan y 3 hacen un tren estambay.



Fig. 5.1 Detalle de treno de bombas GIW a seleccionarse para NV 1020.

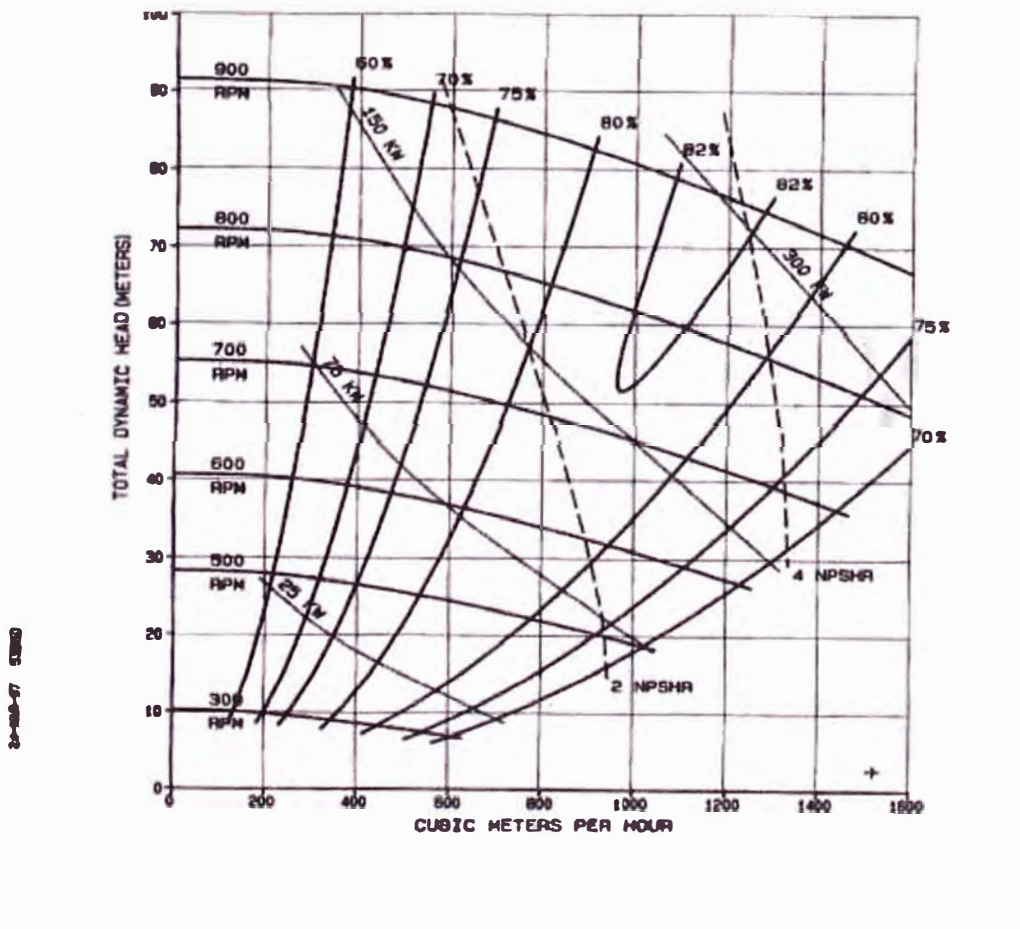


Fig. 5.2: Curvas de performance de bomba GIW LSA 8x10-32, 1210M³/H (335L/S) con ADT 73m, 900RPM y motor 450HP y eficiencia 82%.

El motivo de la elección es básicamente la experiencia en mina Chungar donde se presentaba similar problema en el sistema de bombeo, habían continuas fallas en las bombas que se deterioraban o se trancaban disminuyendo el caudal bombeado y parando el bombeo con la consecuencia de continuas inundaciones.

a. ANÁLISIS DE COSTOS

a.1. COSTO DE INVERSIÓN EN PROYECTO

DESCRIPCIÓN	COSTO US\$
Laboreo minero poza de bombeo	150,000.00
Laboreo minero sala de Sub Estación	40,000.00
Laboreo Minero sala de bombas	120,000.00
Infraestructura civil poza de bombeo	80,000.00
Infraestructura civil sala de bombas	80,000.00
Infraestructura civil Sub Estación	30,000.00
Tuberías de acero	300,000.00
Válvulas	100,000.00
Bombas, motores y tableros	3,600,000.00
Cables eléctricos	500,000.00
3 Transformadores de 1MVA	300,000.00
Instalación tuberías – bombas	250,000.00
Instalaciones eléctricas	120,000.00
TOTAL	5,670,000.00

a.2. COSTOS DE MANTENIMIENTO POR AÑO

Bocinas de eje (sellos): US\$ 36.000,00	36,000.00
Empaquetadura cuadrada 1"x 20Kg: US\$ 100,00	100.00
Aceite Nuto 68	1,200.00
Fajas (72fajas/6meses) US\$ 1300,00	2,600.00
TOTAL	39,900.00

a.3. COSTO DE ENERGÍA

COSTO UNITARIO US\$/KWH = 0,046

CONSUMO ENERGIA KWH/MES = 1.447.440,00

COSTO MENSUAL POR ENREGIA = US\$ 67.972,24

COSTO POR OPERADOR = US\$ 2.700,00

a.4 COSTO DE CICLO DE VIDA (LCC) DE BOMBEO DE LA ALTERNATIVA

1. BOMBEO NV 1020 A NV 820

Tiempo de evaluación: 5 años, se considera una inflación de 10% en energía y mantenimiento, con el 5% en operación.

Tabla 5.1 Cuadro resumen de costos de alternativa 1 con horizonte de 5 años, sistema bombeo NV 1020 - NV 820.

COSTO	AÑO					
	0	1	2	3	4	5
Inversión	5,670,000.00					
Energía		815,546.88	897,101.57	986,811.72	1,085,492.90	1,194,042.19
Operación		32,400.00	34,020.00	35,721.00	37,507.05	39,382.40

Mantenimiento		39,900.00	43,890.00	48,279.00	53,106.90	58,417.59
Total Costos	5,670,000.00	887,846.88	975,011.57	1,070,811.72	1,176,106.85	1,291,842.18
LCC	9,482,639.43					

5.1.3.2. Alternativa 2: Se eligen bombas para agua limpia de menor costo y se diseña sedimentadores.

Para que esta alternativa funcione se deben diseñar adicionalmente buenos sedimentadores y personal y equipo para cumplimiento de mantenimiento de limpieza de sedimentadores en forma continua.

Se plantea bombas centrífugas de gran altura y caudal, la marca KSB tiene estas bombas en modelo RPH de las que elegimos el modelo RPH-200-670.

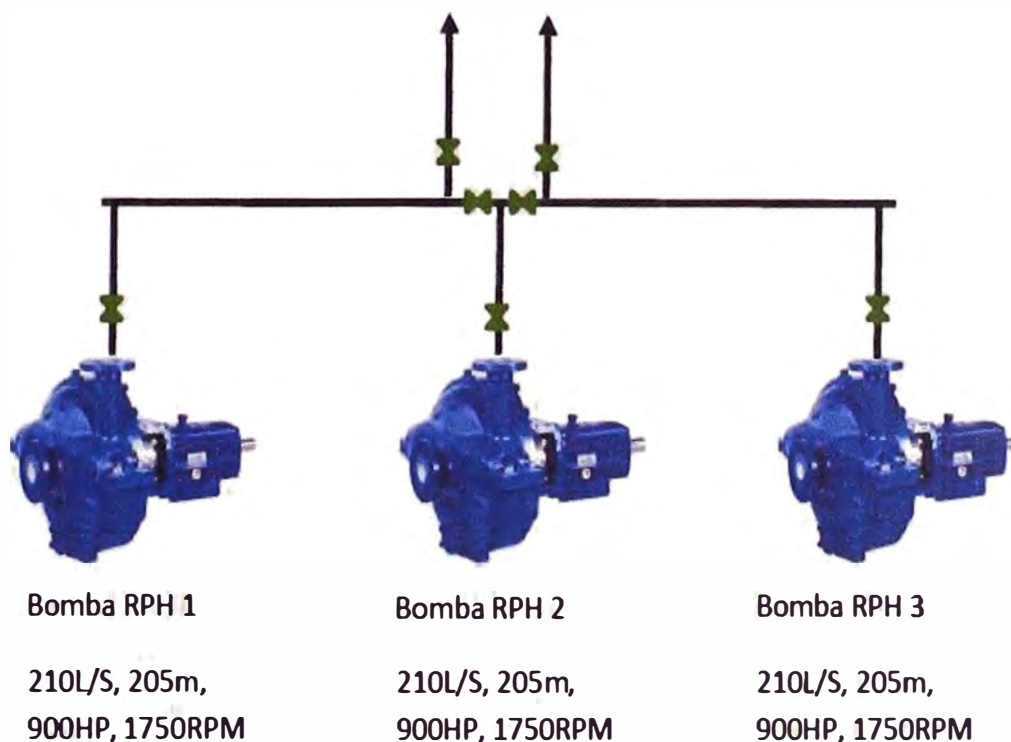



Fig. 5.3 Detalle de disposición de bombas KSB RPH 200-670 a seleccionarse para NV 1020.

Baureihe-Grade Type-Isal Modelo RPH 200-670S	Tipo Isalno Tipo	Nenndrehzahl Nom. speed Velocidad nominal 1750 1/min	Velocidad de rotación nominal Nominal rotational Revoluciones nom.	Laufräder Impeller Dia. Diamètre de roue	ø Grund ø "Water" ø Flange	 <p>KSB Aktiengesellschaft Industrie- und Wassertechnik Postfach 1201, 91250 Pegnitz Bahnhofplatz 1, 91257 Pegnitz</p>
Projekt Pro. no. Proj. no.	Proyecto Proje. no. Proyecto	Angebots-Nr. Proje. No. No. de oferta	Offerte-Nr. Offer. No. Ofertas-Nr.	Pos. Nr. Item No. No. de pos.	Pos. Nr. Posición. Pos. No.	

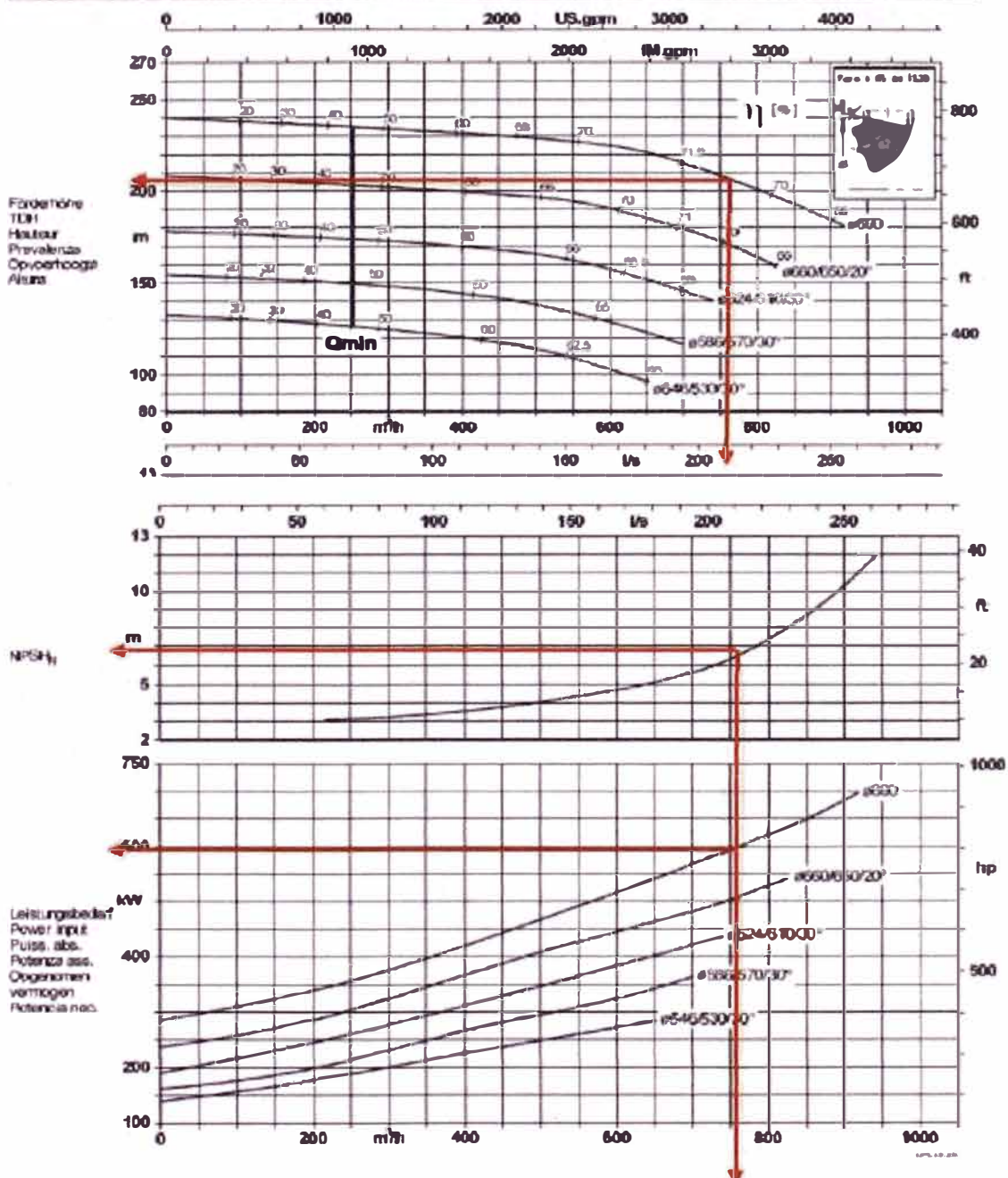


Fig. 5.4: curvas de performance de bomba seleccionada ADT 205m, Caudal 210L/s, Potencia eléctrica consumida 600 KW (800HP), NPSHr 6.9m

a. ANÁLISIS DE COSTOS

a.1 Costo de inversión del proyecto

DESCRIPCIÓN	COSTO US\$
Laboreo minero poza de bombeo	150,000.00
Laboreo minero sala de Sub Estación	40,000.00
Laboreo Minero sala de bombas	120,000.00
Laboreo minero 03 sedimentadores	252,000.00
Infraestructura civil poza de bombeo	80,000.00
Infraestructura civil sala de bombas	80,000.00
Infraestructura civil Sub Estación	30,000.00
Tuberías de acero	300,000.00
Válvulas	100,000.00
Bombas, motores y tableros	450,000.00
Cables eléctricos	500,000.00
3 Transformadores de 1MVA	300,000.00
Instalación tuberías - bombas	200,000.00
Instalaciones eléctricas	120,000.00
TOTAL	2,722,000.00

a.2 Costos de mantenimiento por año:

MANTENIMIENTO

Rodamientos	21,600.00
Empaquetadura cuadrada 3/4"x 20Kg: US\$ 100,00	200.00
Aceite DTE 25	3,600.00
Impulsor 680mm	7,200.00

Mantenimiento de sedimentadores	242,360.00
TOTAL	274,960.00

a.3 Costos de energía

COSTO UNITARIO US\$/KWH = 0,046

CONSUMO ENERGÍA KWH/MES = 875.520,00

COSTO MENSUAL POR ENERGÍA = US\$ 40.273,92

COSTO POR OPERADOR = US\$ 5.700,00

a.4 Costo del ciclo de vida (LCC) de bombeo de la alternativa N° 2 bombeo del nivel NV 1020 A NV 820.

Tiempo de evaluación: 5 años, se considera una inflación de 10% en energía y mantenimiento, con el 5% en operación.

Tabla 5.2 Cuadro resumen de costos de alternativa 2 con horizonte de 5 años, sistema bombeo NV 1020 - NV 820.

COSTO	AÑO					
	0	1	2	3	4	5
Inversión	2,722,000.00					
Energía		483,287.04	531,615.74	584,777.32	643,255.05	707,580.56
Operación		68,400.00	71,820.00	75,411.00	79,181.55	83,140.63
Mantenimiento		274,960.00	302,456.00	332,701.60	365,971.76	402,568.94
Total Costos	2,722,000.00	887,846.88	905,891.74	992,889.92	1,088,408.36	1,193,290.12
LCC	7,790,327.02					

El costo de inversión es razonable así como los costos operativos

5.1.4 Resumen para selección del sistema de bombeo para el NV 1020

Tabla 5.3 Resumen de los costos de bombeo de NV 1020 a NV 820.

COSTOS TOTALES DE BOMBEO DEL NV 1020 AL NV 820						
	0	1	2	3	4	5
Alternativa N° 1	5,670,000	887,846.88	975,011.57	1,070,811.72	1,176,106.85	1,291,842.18
Alternativa N° 2	2,722,000	887,846.88	905,891.74	992,889.92	1,088,408.36	1,193,290.12
Continua igual	0	2,034,100.44	2,237,510.48	2,461,261.53	2,707,387.69	2,978,126.45

COSTO DE CICLO DE VIDA AL AÑO CERO	
ALTERNATIVA N° 1	9,482,639.43
ALTERNATIVA N° 2	7,790,327.22
ALQUILER	12,418,386.60

Se selecciona finalmente para este sistema de bombeo la marca KSB, modelo RPH-200-670

5.2 SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA DEL SISTEMA DE BOMBEO

Se ha seleccionado la alternativa N°2 del sistema de bombeo con tratamiento de agua en el NV 1020 al NV 820, por las siguientes condiciones:

- De acuerdo al costo económico es la menor
- Se ajusta a las condiciones requeridas por el diseño.
- Menor cantidad de partículas metálicas en el bombeo de agua, por tener sedimentadores.

CONCLUSIONES

Luego de evaluar los resultados que se obtienen por los cálculos realizados para la mejora de nuevos sistemas de equipos de bombeo de aguas ácidas en la mina San Cristóbal se llega a las siguientes conclusiones:

1. En el presente trabajo de selección de las alternativas tecno-económicas de un sistema de bombeo, se concluye que las alternativas seleccionadas si influyen en el proceso productivo de la mina San Cristóbal en la selección de bombas, incremento de caudal y ahorro económico.
2. Al determinar previa selección el sistema óptimo de bombeo, esta influirá en la confiabilidad y disponibilidad de los equipos de bombeo, garantizando el proceso productivo de la mina San Cristóbal.
3. Se ha seleccionado los sistemas de bombeo en base a las condiciones técnicas requeridas actualmente, y que la operación de dichos equipos de bombeo deberán influir en el proceso productivo de la mina San Cristóbal.
4. Al seleccionar adecuadamente la alternativa económica más favorable de un sistema de bombeo, se obtendrá en el proceso productivo un ahorro de costos en la operación y mantenimiento de los equipos de bombeo.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar un estudio detallado de las propuestas de las alternativas tecno-económicas de un sistema de bombeo para conseguir la mejor opción de selección que incide en el proceso productivo de la mina.
2. Se recomienda que al seleccionar un sistema de bombeo de varias alternativas posibles, que cumplan con los parámetros requeridos, se deberá seleccionar la alternativa óptima que influya en el proceso productivo de la mina, debiendo ser confiables en la operación.
3. Para la selección técnica de un sistema de bombeo adecuado se deberán tener en cuenta los parámetros de operación de los equipos y las condiciones ambientales en la que deberán operar, debiendo considerar la calidad y tipo de materiales que componen el equipo de bombeo, así como del tipo de líquido a bombear.
4. Se recomienda evaluar las propuestas de las alternativas de los sistemas de bombeo en base al rendimiento en su conjunto, ya que con este factor se verá reflejado el consumo de energía eléctrica con un ahorro económico para la empresa minera. También se deberá considerar equipos en reserva para

suplir las paradas no programadas de los equipos de bombeo, evitando así la paralización o disminución del proceso productivo.

BIBLIOGRAFÍA

Egusquiza Estévez, E. et al. "Curso sobre diseño de bombas e instalaciones de bombeo". Gijón, E.T.S.I.I.G., 1986, 3ra edición 196.

García Garrido, Santiago. "Organización y Gestión integral de Mantenimiento", Madrid, Ediciones Días de Santos S.A., 2003, 1ra edición, 304.

Karassik, I. J. Y Carter, R. "Bombas centrifugas". México, C.E.C.S.A., 1966, 1ra edición, 204.

KSB Compañía Sudamericana de Bombas. "Manual de entrenamiento, selección y aplicación de bombas centrifugas". Brasil, KSB publicaciones, 2002, 1ra edición, 226.

Mc Nauton, K.J. "Bombas; selección, uso y mantenimiento". México, McGraw- Hill, 1989.

Mora Gutiérrez, Luis Alberto. "Mantenimiento. Planeación, ejecución y control". Bogotá, Alfaomega Colombiana S.A., 2009, 1ra Edición, 528.

Tulis, J.P. "Hydraulics of pipelines". Nueva York, Jhon Wiley & Sons, 1989, 1ra edición, 246.

Blanco Marigorta, Eduardo, "Sistemas de Bombeo". (1994), Gijón 1994, ISBN-84-604-9677-5.

GIW Industries, "Maintenance Manual", 2013, Edición 07-2013.

Catálogo de Hidrostaal, "Manual del usuario, Instalación, Operación y Mantenimiento", 2009.

Catálogo KSB, "KSB Pumps for Mining Applications", 2010

Lasheras Romero, Alejandro. "Calculo y diseño de un sistema de bombeo para una EDARU". 2012, fecha de edición 06-12.

Pérez Farras, Luis E. "Criterios de Diseño, Cálculo y Selección de Tuberías en Base al Criterio de las Prestaciones Equivalentes". (Marzo 2007).

Presión atmosférica a diferentes altitudes, disponible en www.newbyte.co.il

Presión de vapor de agua líquida y hielo a varias temperaturas, disponible en: www.vaxasoftware.com

ANEXO 1: PROPIEDADES DE TUBOS DE ACERO

Diámetro Nominal Pulg. Mm	Diám. Ext. D mm	Diám. Interior mm	Espesor t mm	Peso kg/m	Área cm ²	Momento de Inercia cm ⁴	Módulo de Sección cm ³	Radio de Giro cm	No. de Cerdita
1/2 12.7	21.33	17.53	1.89	0.960					30
	21.33	15.79	2.77	1.347					40
	21.33	13.67	3.73	1.62					80
3/4 19.05	26.67	27.89	1.89	1.13					30
	26.67	20.93	2.87	1.69					40
	26.67	18.85	3.91	2.20					80
1 25.4	33.40	29.62	1.84	1.50					30
	33.40	26.56	3.41	2.73					40
	33.40	24.30	4.55	3.24					80
1 1/4 31.8	42.16	37.60	2.28	2.35					30
	42.16	35.32	3.42	3.41					40
	42.16	32.46	4.85	4.47					80
1 1/2 38	48	45.72	2.28	2.643					30
	48	41	3.7	4.0	5.2	12.9	5.3	1.6	40
	48	38	5.1	5.4	6.9	16.3	6.7	1.5	80
	48	34	7.1	7.2	9.2	20.1	8.3	1.5	160
2 51	60	57.35	2.65	3.978					30
	60	53	3.9	5.4	6.9	27.7	9.2	2.0	40
	60	49	5.5	7.5	9.5	36.1	12.0	1.9	80
	60	48	8.7	11.1	14.1	48.4	16.0	1.9	160
2 1/2 64	73	70.36	2.65	4.707					30
	73	63	5.2	8.6	11.0	63.7	17.4	2.4	40
	73	59	7.0	11.4	14.5	80.1	21.9	2.3	80
	73	54	9.5	14.9	19.0	97.9	26.8	2.3	160
3 76	89	85.96	3.04	6.705					30
	89	78	5.5	11.3	14.4	126	28.3	3.0	40
	89	74	7.6	15.3	19.5	162	36.5	2.9	80
	89	67	11.1	21.3	27.2	210	47.2	2.8	160
3 1/2 89	102	90	5.7	13.6	17.4	199	39.2	3.4	40
	102	85	8.1	18.6	23.8	261	51.5	3.3	80
4 102	114	110.96	3.04	8.524					30
	114	102	6.0	16.1	20.6	301	52.7	3.8	40
	114	97	8.5	22.3	28.5	400	70.0	3.8	80
	114	92	11.1	28.3	36.1	485	84.8	3.7	120
	114	87	13.5	33.6	42.9	552	96.7	3.6	160
5 127	141	128	6.6	21.8	27.8	631	89.3	4.8	40
	141	122	9.5	30.9	39.5	860	121.8	4.7	80
	141	116	12.7	40.3	51.5	1071	151.6	4.6	120
	141	110	15.9	49.0	62.6	1250	177.0	4.5	160
6 152	168	163.45	4.55	18.41					30
	168	154	7.1	28.2	36.0	1171	133.3	5.7	40
	168	146	11.0	42.5	54.3	1685	200.2	5.6	80
	168	140	14.3	54.2	69.2	2077	247	5.5	120
	168	132	18.3	67.4	86.1	2455	292	5.3	160
8 203	219	206	6.3	33.3	42.5	2402	219	7.5	20
	219	205	7.0	36.8	47.0	2636	241	7.5	30
	219	203	8.1	42.5	54.3	3018	276	7.5	40
	219	198	10.3	53.1	67.8	3696	338	7.4	60
	219	194	12.7	64.6	82.5	4400	402	7.3	80
	219	189	15.0	75.7	96.7	5053	461	7.2	100
	219	183	18.0	90.3	115.3	5852	534	7.1	120
	219	178	20.6	100.9	128.8	6402	585	7.1	140

Díametro Nominal Pulg. Mm	Díam. Ext. D mm	Díam Interior mm	Espesor I mm	Peso kg/m	Area cm ²	Momento de Inercia cm ⁴	Modulo de Sección cm ³	Radio de Giro cm	No de Cédula
	219	173	23.0	111.2	142.0	6905	631	7.0	160
10 254	273	260	6.3	42.1	53.8	4728	346	9.4	20
	273	257	7.8	50.9	65.0	5719	419	9.4	30
	273	255	9.3	60.2	76.9	6689	490	9.3	40
	273	248	12.7	81.5	104.1	8824	646	9.2	60
	273	243	15.1	95.8	122.3	10194	747	9.1	80
	273	237	18.2	114.8	146.3	11913	873	9.0	100
	273	230	21.4	132.7	169.5	13498	989	8.9	120
	273	222	25.4	155.0	197.9	15309	1122	8.8	140
	273	216	28.6	172.6	220.4	16624	1218	8.7	160
12 305	324	311	6.3	49.7	63.5	8004	494	11.2	20
	324	307	8.4	65.2	83.3	10343	638	11.2	30
	324	303	10.3	79.8	101.9	12499	772	11.1	40
	324	295	14.3	108.9	139.1	16670	1029	10.9	60
	324	289	17.4	131.9	168.4	19779	1221	10.8	80
	324	281	21.4	160.7	205.2	23364	1443	10.7	100
	324	273	25.4	186.8	238.9	26710	1649	10.6	120
	324	267	28.6	208.3	266.0	29165	1828	10.5	140
	324	257	33.3	239.6	306.0	32520	2007	10.3	160
14 356	356	343	6.3	55.1	70.4	10655	599	12.3	10
	356	340	7.9	68.5	87.5	13107	736	12.3	20
	356	337	9.5	81.8	104.5	15517	872	12.2	30
	356	333	11.1	93.8	119.8	17881	1005	12.2	40
	356	325	15.1	126.5	161.5	23409	1315	12.0	60
	356	318	19.0	159.2	203.3	28516	1608	11.9	80
	356	308	23.8	194.9	248.9	34152	1919	11.8	100
	356	300	27.8	224.7	286.9	38701	2174	11.6	120
	356	292	32.0	254.5	325.0	42768	2403	11.5	140
356	284	35.7	282.8	361.1	46489	2612	11.4	160	
16 406	406	394	6.3	62.5	78.9	16025	789	14.1	10
	406	391	7.9	77.4	98.8	19729	972	14.1	20
	406	387	9.5	93.8	119.8	23396	1153	14.0	30
	406	381	12.0	123.5	157.7	30464	1501	13.9	40
	406	373	16.7	160.7	205.2	38818	1912	13.8	60
	406	364	21.4	203.9	260.4	48141	2371	13.6	80
	406	354	26.0	245.5	313.5	56857	2801	13.5	100
	406	345	30.9	287.2	366.8	64757	3190	13.3	120
	406	333	36.5	333.3	425.6	73307	3611	13.1	140
406	325	40.5	364.5	465.5	78805	3882	13.0	160	
18 457	457	445	6.3	69.9	89.3	22893	1002	15.9	10
	457	441	7.9	87.8	112.1	28275	1237	15.9	20
	457	435	11.1	122.0	155.8	40087	1754	15.8	30
	457	429	14.3	156.2	199.5	46493	2035	15.7	40
	457	419	19.0	205.3	262.2	63059	2760	15.5	60
	457	410	23.8	254.5	325.0	76333	3341	15.3	80
	457	398	29.4	309.5	395.2	90822	3975	15.2	100
	457	387	34.9	363.1	463.7	103971	4550	15.0	120
	457	378	39.7	409.2	522.5	114455	5009	14.8	140
457	367	45.2	459.8	587.2	125710	5502	14.7	160	
20 508	508	495	6.3	78.9	100.8	31592	1244	17.7	10
	508	489	9.5	117.6	150.2	46327	1824	17.6	20
	508	487	12.7	156.3	199.6	60645	2388	17.5	30
	508	478	15.1	183.0	233.7	70925	2782	17.4	40
	508	467	20.6	248.5	317.3	93943	3699	17.2	60
	508	456	26.2	311.0	397.1	115338	4541	17.1	80
	508	443	32.5	380.9	486.4	138064	5436	16.8	100
	508	432	38.1	442.0	564.4	156295	6153	16.7	120
	508	419	44.5	509.0	650.0	175525	6910.0	16.5	140
508	408	49.9	564.0	720.0	190884	7515.0	16.3	160	

ANEXO 2: DIAGRAMA DE MOODY.

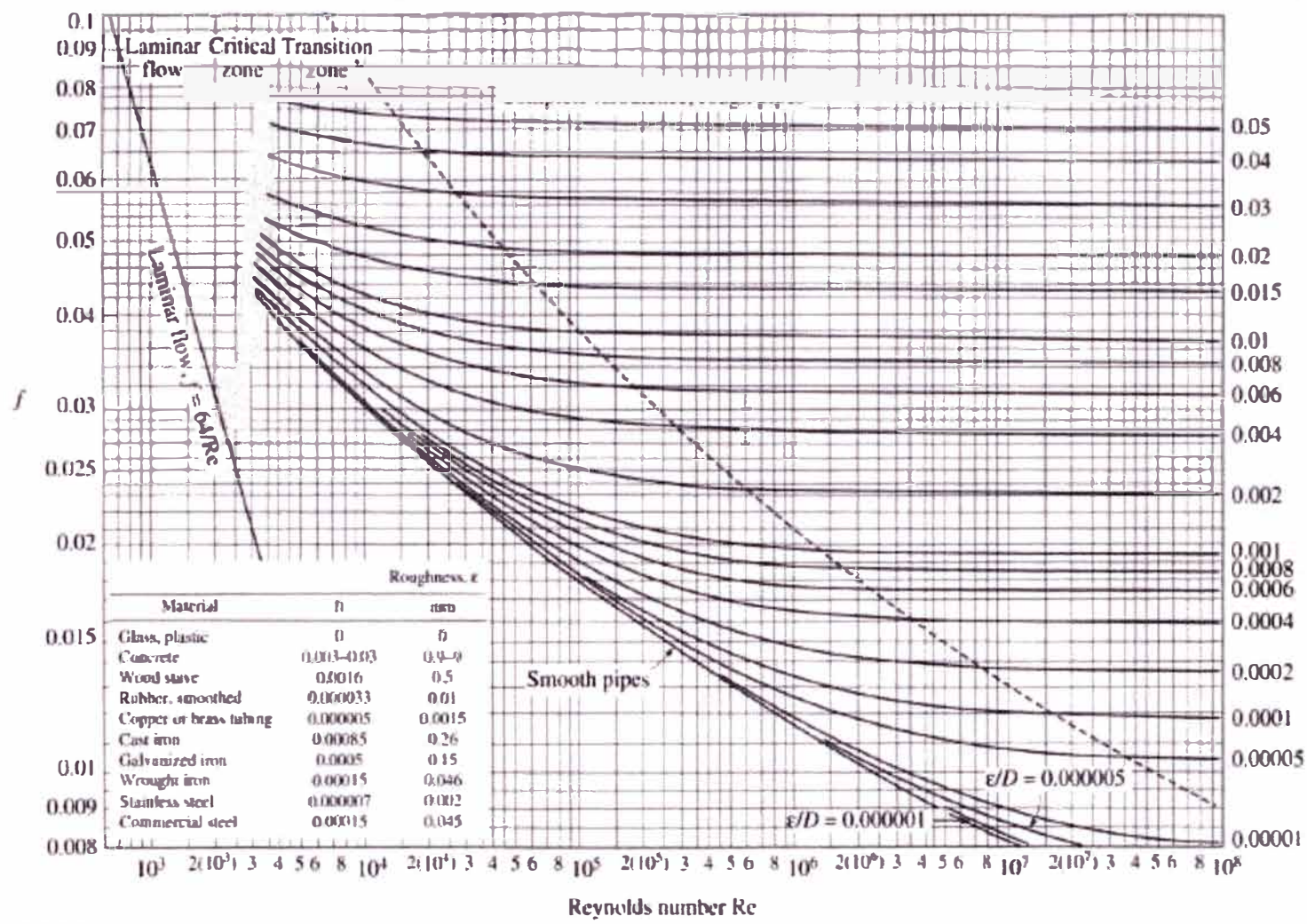


FIGURE A-27
The Moody chart for the friction factor for fully developed flow in circular tubes.

ANEXO 3: PÉRDIDAS EN ACCESORIOS EN TUBERÍAS.

Longitudes equivalentes adimensionales representativas (L_e/D) para válvulas y accesorios

Tipo de accesorio	Descripción	Longitud equivalente L_e/D
Válvula de globo	Completamente abierta	350
Válvula de compuerta	Completamente abierta	13
	1/4 abierta	35
	1/2 abierta	100
	3/4 abierta	300
Válvula de retención		50 - 100
Codo estándar de 90°		30
Codo estándar de 45°		18
Codo de 90°	Radio largo	20
Codo de servicio de 90°		50
Codo de servicio a 45°		25
Unión en "T"	Flujo en línea	20
	Flujo en ramal	60
Codo a 180°	Patrón estrecho	50

ANEXO 4: PRESIÓN ATMOSFÉRICA A DIFERENTES ALTITUDES.

PRESION ATMOSFERICA				
altitud (m)	atmosferas	Pascal	Bar	mH2O
-200	1.02	103751	1.04	10.58
0	1	101325	1.01	10.33
200	0.98	98945	0.99	10.09
400	0.95	96611	0.97	9.85
600	0.93	94322	0.94	9.61
800	0.91	92076	0.92	9.39
1000	0.89	89875	0.9	9.16
1200	0.87	87716	0.88	8.94
1400	0.84	85599	0.86	8.73
1600	0.82	83524	0.84	8.51
1800	0.8	81489	0.81	8.31
2000	0.78	79495	0.79	8.10
2200	0.77	77541	0.78	7.90
2400	0.75	75626	0.76	7.71
2600	0.73	73749	0.74	7.52
2800	0.71	71910	0.72	7.33
3000	0.69	70109	0.7	7.15
3200	0.67	68344	0.68	6.97
3400	0.66	66615	0.67	6.79
3600	0.64	64922	0.65	6.62
3800	0.62	63264	0.63	6.45
4000	0.61	61640.2	0.62	6.28
4200	0.59	60050.5	0.6	6.12
4400	0.58	58494.2	0.58	5.96
4600	0.56	56970.6	0.57	5.81
4630	0.56	56744.9	0.57	5.78
4680	0.56	56370.3	0.56	5.75
4800	0.55	55479.4	0.55	5.66
5000	0.53	54019.9	0.54	5.51

Fuente. www.newbyte.co.il

ANEXO 5: PRESION DE VAPOR DE AGUA A DIFERENTES TEMPERATURAS.

T/°C	P/mmHg	P/hPa	T/°C	P/mmHg	P/hPa	T/°C	P/mmHg	P/hPa
0	4.584	6.1115	47	79.709	105.27	95	534.61	646.08
0.01	4.5878	6.11657	48	83.934	111.77	95	558.34	677.71
1	4.9286	6.5709	49	88.147	117.52	97	682.78	910.3
2	5.2954	7.0599	50	92.549	123.52	99	707.98	943.9
3	5.6661	7.5808	51	97.343	129.78	99	732.95	978.52
4	6.1021	8.1355	52	102.24	135.31	100	750	1013.3
5	6.5449	8.7268	53	107.35	143.12	101	787.57	1050
6	7.0158	9.3536	54	112.67	150.22	102	815.36	1087.7
7	7.5164	10.021	55	118.23	157.52	103	845.12	1126.7
8	8.0482	10.73	56	124.01	165.33	104	875.06	1166.7
9	8.613	11.483	57	130.03	173.35	105	906.07	1208
10	9.2123	12.282	58	136.29	181.71	105	937.92	1250.5
11	9.8463	13.13	59	142.82	190.41	107	970.6	1294
12	10.522	14.028	60	149.51	199.45	109	1004.42	1339.12
13	11.237	14.981	61	156.57	209.99	109	1039.92	1395.11
14	11.993	15.99	62	164.02	219.57	110	1074.56	1432.63
15	12.795	17.058	63	171.85	229.95	111	1111.2	1481.48
16	13.642	18.188	64	179.59	239.43	112	1148.74	1531.53
17	14.539	19.384	65	187.83	250.42	113	1187.42	1583.1
18	15.487	20.647	66	196.39	261.83	114	1227.25	1636.2
19	16.489	21.983	67	205.29	273.69	115	1267.98	1690.5
20	17.546	23.393	68	214.51	285.99	120	1489.14	1995.36
21	18.663	24.882	69	224.09	299.75	125	1740.93	2321.05
22	19.841	26.453	70	234.03	312.01	130	2026.1	2701.24
23	21.085	28.111	71	244.33	325.75	135	2347.26	3129.42
24	22.395	29.858	72	255.02	340	140	2710.92	3514.26
25	23.776	31.699	73	266.11	354.79	145	3115.76	4155.34
25	25.231	33.639	74	277.59	370.09	150	3570.49	4790.25
27	26.763	35.681	75	289.49	385.95	175	5594.06	8924.71
29	28.376	37.831	76	301.82	402.39	200	11 559.16	15 544.27
29	30.071	40.092	77	314.58	419.41	225	19 123.12	25 495.40
30	31.855	42.47	78	327.8	438.03	250	29 817.84	39 753.85
31	33.73	44.969	79	341.49	455.27	275	44 580.84	59 436.23
32	35.7	47.596	80	355.53	474.14	300	64 432.8	85 903.3
33	37.769	50.354	81	370.29	493.57	325	90 447.6	120 587
34	39.942	53.251	82	385.43	513.97	350	124 001.6	155 321.9
35	42.221	56.29	83	401.1	534.75	350	139 893.2	185 508.9
35	44.613	59.479	84	417.3	555.35	355	148 519.2	199 009.3
37	47.121	62.823	85	434.04	578.67	355	150 320.4	200 410.7
39	49.75	66.328	86	451.33	601.73	357	152 129.2	202 822.3
39	52.506	70.002	87	469.21	625.55	359	153 960.8	205 264.2
40	55.391	73.849	88	487.57	650.17	359	155 815.2	207 736.5
41	58.413	77.878	89	506.73	675.59	370	157 692.4	210 239.2
42	61.577	82.096	90	526.41	701.82	371	159 584.8	212 762.2
43	64.886	86.508	91	546.72	728.9	372	161 507.6	215 325.8
44	68.349	91.124	92	567.59	755.84	373	163 468.4	217 939.9
45	71.966	95.95	93	589.31	785.59	373.946	165 452.0	220 584.5
45	75.749	100.99	94	611.51	815.41			

Fuente: www.vaxasoftware.com

ANEXO 6: VÁLVULAS.

6.1 Válvula de compuerta

En una válvula de compuerta el diámetro de la abertura a través del cual pasa el fluido es prácticamente la misma que la de la tubería, por lo que la pérdida de carga que introduce en el sistema es pequeña. Las válvulas de compuerta son adecuadas para abrir o cerrar completamente la conducción. Estas válvulas no son apropiadas para el control del flujo, pues carecen de la sensibilidad adecuada.

6.2 Válvulas de globo

Las válvulas de globo o de asiento son ampliamente utilizadas para controlar velocidad de flujo de un fluido. La abertura por la cual circula el fluido es más pequeña que en las válvulas de compuerta por lo que las válvulas de globo introducen una mayor pérdida de carga.

6.3 Válvulas de bola

En una válvula de bola el elemento de cierre es esférico, es una válvula simple con pocos componentes y se puede abrir y cerrar completamente en forma muy rápida, abierta completamente presenta una baja pérdida de carga. El elemento de cierre es esférico y de ahí viene su nombre.

6.4 Válvula de retención (check)

Una válvula de retención permite el flujo solamente en una dirección. Se abre debido a la presión del fluido que circula en una determinada dirección; cuando el flujo se detiene o tiende a invertirse, la válvula cierra

automáticamente por gravedad o por medio de un resorte que hace presión sobre una bola o disco.

6.5 Válvulas de mariposa

Estas válvulas tienen una sola parte móvil, la cual es un disco o compuerta que gira pero no se mueve en forma vertical.

La válvula de mariposa es más económica para su uso en tubos grandes, es simple, presenta una baja pérdida de carga y es auto limpiante.

6.5 Válvulas de alivio

Estas válvulas tienen una piloto parara regular la presión de trabajo cuando queremos que actué (se apertura), su uso es muy importante para evitar rotura de tuberías por el fenómeno del golpe de ariete y sobrepresiones en la línea.