

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE BOMBEO DEL TÚNEL TECNIFICADO
SAN JOAQUÍN EN LA MINA SUBTERRÁNEA DE
CARBONES SAN FERNANDO S.A.S.

HENRY EZEQUIEL CORREDOR CELY

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD SECCIONAL DUITAMA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA
DUITAMA
2016

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE BOMBEO DEL TÚNEL TECNIFICADO
SAN JOAQUÍN EN LA MINA SUBTERRÁNEA DE
CARBONES SAN FERNANDO S.A.S.

HENRY EZEQUIEL CORREDOR CELY

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Electromecánico
Proyecto presentado en la modalidad práctica empresarial

Director
Carlos Guillermo Carreño Bodensiek
Ing. Dr. Mont. Profesor Titular

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD SECCIONAL DUITAMA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA
DUITAMA
2016

Nota de aprobación:

Aprobado por el comité curricular en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia para optar al título de Ingeniero Electromecánico.

ING. OTTO CARO NIÑO

Jurado

ING. ORLANDO DIAZ PARRA

Jurado

Duitama, 22 de Julio de 2016

A mis padres

Por apoyarme en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, permitirme compartir este logro a su lado.

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco primero a Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi vida universitaria, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme tantas experiencias llenas de felicidad.

Le doy gracias a mis padres Oscar José y Clara María por apoyarme en todo momento, por los valores inculcados, y por el esfuerzo para brindarme la oportunidad de tener una excelente educación.

A mis hermanos por ser parte importante de mi vida y representar la unidad familiar. A David, Daniel y Johanna por alentarme en los momentos de dificultad y ser un apoyo.

Alexandra Moreno, por ser una parte muy importante de mi vida, por haberme apoyado en las buenas y en las malas, sobre todo por su paciencia y amor incondicional.

Le agradezco la confianza, apoyo y dedicación de tiempo al profesor Carlos Guillermo Carreño Bodensiek. Por haber compartido conmigo su conocimiento y experiencia.

A la compañía Carbones San Fernando S.A.S. por la confianza puesta en mis conocimientos, por permitirme desarrollar mi trabajo de grado en sus instalaciones y abrirme sus puertas.

Ingeniero Juan Pablo Monsalve por su guía dentro de mi proceso de aprendizaje dentro de la compañía, por compartir su experiencia de una manera desinteresada y sobre todo por su amistad.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	15
1. FORMULACIÓN Y CONCEPTUALIZACIÓN DEL PROYECTO	16
1.1 OBJETIVOS	16
1.1.1 Objetivo general.....	16
1.1.2 Objetivos específicos	16
1.2 JUSTIFICACIÓN	16
1.3 GENERALIDADES DE LA COMPAÑÍA.....	17
1.4 MARCO TEÓRICO.....	18
1.4.1 Bomba.	19
1.4.2 Motor.....	22
1.4.3 Parámetros de operación.....	24
2. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	38
2.1 LEVANTAMIENTO DEL PLANO DEL SISTEMA	38
2.2 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN Y TOMA DE DATOS.....	39
2.3 DETERMINACIÓN DEL FLUJO VOLUMÉTRICO	40
2.3.1 Instalación del medidor	41
2.3.2 Toma de datos de flujo volumétrico.	43
3. ESTUDIO TÉCNICO DE EFICIENCIA.....	44
3.1 ANÁLISIS ESTACIÓN DE BOMBEO NÚMERO 7	44
3.2 ANÁLISIS ESTACIÓN DE BOMBEO NÚMERO 6.	47
3.3 ANÁLISIS ESTACIÓN DE BOMBEO NÚMERO 5	49
3.4 ANÁLISIS ESTACIÓN DE BOMBEO NÚMERO 4	51
3.5 ANÁLISIS ESTACIÓN DE BOMBEO NÚMERO 3	53
3.6 ANÁLISIS ESTACIÓN DE BOMBEO NÚMERO 1 Y 2	55
4. ANÁLISIS DE EFICIENCIA.....	59

5. PROPUESTA PARA EL MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA.....	61
5.1 BOMBA DE ALTA PRESIÓN BARNES.....	61
5.2 BOMBA MULTITAPAS IHM.....	64
6.CONCLUSIONES.....	66
7.RECOMENDACIONES.....	68
BIBLIOGRAFÍA.....	69
ANEXOS.....	71

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Coeficiente de Hezen-Williams para algunos materiales	27
Tabla 2. Valor de m' para diámetros de tuberías a tratar	28
Tabla 3. Coeficiente de perdida de carga k para singularidades	28
Tabla 4. Cotas de los puntos levantados	38
Tabla 5. Distancia vertical en metros entre cada una de las estaciones de bombeo	38
Tabla 6. Datos tomados a los motores	40
Tabla 7. Volumen de los depósitos del sistema	40
Tabla 8. Lecturas registradas.....	43
Tabla 9. Datos para el análisis de E7	44
Tabla 10. Datos para el análisis de E6	47
Tabla 11. Datos para el análisis de E5	49
Tabla 12. Datos para el análisis de E4	51
Tabla 13. Datos para el análisis de E3	53
Tabla 14. Datos para el análisis de E1 y E2	56
Tabla 15. Tiempo de operación de cada estación al día.....	59
Tabla 16. Potencia entregada y Pérdidas del sistema	60
Tabla 17. Comparación de la bomba HE 2 150-2 con el sistema instalado.....	63
Tabla 18. Comparación de la D12-25X4 con el sistema instalado.....	65

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Logotipo Carbones San Fernando S.A.S.....	17
Figura 2. Partes características de una bomba centrífuga.....	19
Figura 3. Bombas circuladoras	20
Figura 4. Bombas compactas o monobloc.....	21
Figura 5. Bombas de bancada u horizontales.....	21
Figura 6. Bombas multietapas	22
Figura 7. Sistema con carga estática succión negativa	25
Figura 8. Sistema con carga estática succión positiva.....	26
Figura 9. Esquema sistema de bombeo convencional.....	29
Figura 10. Esquema con carga estática de succión negativa	30
Figura 11. Esquema con carga estática de succión positiva	31
Figura 12. Daños ocasionados por cavitación	33
Figura 13. Vista de perfil plano X-Z del túnel San Joaquín	39
Figura 14. Equipo de medición flujo volumétrico a instalar	41
Figura 15. Posicionamiento del equipo de medición.....	41
Figura 16. Instalación del equipo de medición	42
Figura 17. Posición final del equipo de medición	42
Figura 18. Arreglo de bombas en serie.....	55
Figura 19. Dimensiones bomba alta presión HE 2 150-2.....	62
Figura 20. Características HE 2 150-2.....	62
Figura 21. Curva de rendimiento HE 2 150-2	63
Figura 22. Multietapas D Eje libre	64

LISTA DE ANEXOS

	pág.
ANEXO A. Desarrollo de las operaciones manto 1	71
ANEXO B. Proyección de las operaciones en manto 1	72
ANEXO C. Datos motores del sistema	73
ANEXO D. Datos Bombas del sistema	73
ANEXO E. Ficha técnica estación de bombeo 7	74
ANEXO F. Ficha técnica estación de bombeo 6	75
ANEXO G. Ficha técnica estación de bombeo 5	76
ANEXO H. Ficha técnica estación de bombeo 4	77
ANEXO I. Ficha técnica estación de bombeo 3	78
ANEXO J. Ficha técnica estación de bombeo 1 Y 2	79
ANEXO K. Factura de la energía eléctrica.....	80
ANEXO L. Curvas características 5X25 SM	81
ANEXO M. Curvas características 20HH-15W	82
ANEXO N. Curvas características D12-25X4	83

GLOSARIO

ACUÍFERO: cualquier formación geológica por la que circulan o se almacenan aguas subterráneas que puedan ser extraídas para su explotación, uso o aprovechamiento.

AMPERÍMETRO: Instrumento para medir la intensidad de corriente eléctrica.

BOMBA: máquina hidráulica que convierte la energía mecánica en energía de presión transferida al agua.

BOMBA CENTRÍFUGA: una bomba centrífuga es un tipo de bomba hidráulica que transforma la energía mecánica de un impulsor rotatorio llamado rodete en energía cinética y potencial requeridas. El fluido entra por el centro del rodete, que dispone de unos álabes para conducir el fluido, y por efecto de la fuerza centrífuga es impulsado hacia el exterior, donde es recogido por la carcasa o cuerpo de la bomba.

CARBÓN: el carbón o carbón mineral es una roca sedimentaria de color negro, muy rica en carbono y con cantidades variables de otros elementos, principalmente hidrógeno, azufre, oxígeno y nitrógeno, utilizada como combustible fósil

CARGA: es la cantidad de energía mecánica que requiere la bomba para mover el agua desde el nivel dinámico hasta el punto final del sistema.

CARGA NETA POSITIVA DE SUCCIÓN (NPSH): se llama así a la altura de columna que se requiere para hacer escurrir un líquido hacia la bomba sin producir inconvenientes de cavitación. Es un valor experimental y es proporcionado por los fabricantes para cada tipo de bomba.

CAVITACIÓN: efecto hidrodinámico que se produce cuando el agua o cualquier otro fluido en estado líquido pasa a gran velocidad por una arista afilada, produciendo una descompresión del fluido lo cual crea burbujas que viajan a

zonas de mayor presión e implotar produciendo una estela de gas y un arranque de metal.

COJINETES: su función en las bombas es mantener la flecha o rotor en correcto alineamiento con las partes estacionarias bajo la acción de cargas radiales y transversales.

CORRIENTE ELÉCTRICA (A): flujo de cargas eléctricas que pasa a través de un material conductor en un determinado tiempo. Su unidad es el Ampere.

CORROSIÓN: deterioro de un material a consecuencia de un ataque electroquímico por su entorno.

DENSIDAD: es una magnitud referida a la cantidad de masa contenida en un determinado volumen, y puede utilizarse en términos absolutos o relativos.

FACTOR DE POTENCIA: es el factor de aprovechamiento del consumo de energía eléctrica en trabajo útil o fuerza mecánica, también se define como la relación entre la potencia activa y potencia aparente.

FLECHA: parte de la bomba que tiene como función transmitir el torque que recibe del motor durante la operación de bombeo, a la vez sujeta al impulsor y a las otras partes giratorias.

CAUDAL: Razón a la cual el volumen del agua cruza la sección transversal del tubo en la unidad de tiempo, es expresada en (m³/s).

IMPULSOR: elemento rotativo de una bomba centrífuga, consta de un eje al cual están unidos los álabes que hacen girar el líquido, determinando así la altura de elevación producida o la presión de trabajo de la bomba.

MANÓMETRO: instrumento utilizado para la medición de la presión en los fluidos, generalmente determinando la diferencia de la presión entre el fluido y la presión local.

MINERÍA: hace referencia a una mina, un lugar de extracción de recursos minerales; también, el propio proceso de extracción.

MOTOR ELÉCTRICO: máquina que transforma la energía eléctrica en energía mecánica.

NIVEL DE REFERENCIA: es el plano inferior de la placa base y es la referencia para todas las mediciones hidráulicas.

POTENCIA ACTIVA (KW): trabajo suministrado en la unidad de tiempo por una corriente eléctrica.

SISTEMA DE BOMBEO: es el conjunto motor eléctrico, bomba y conductos que se instalan para la extracción y manejo de cualquier tipo de aguas.

VELOCIDAD ESPECÍFICA (N): la velocidad específica de una bomba es la velocidad en rpm.

VELOCIDAD DE ROTACIÓN (rpm): es el número de revoluciones por unidad de tiempo a las que gira el conjunto motor-bomba, expresada en la práctica en rpm (revoluciones por minuto)

VOLTAJE (V): tensión o diferencia de potencial se define como la cantidad de trabajo necesario para mover un electrón de un punto a otro, a lo largo de un conductor. Su unidad es el voltio.

VOLTÍMETRO: instrumento para medir la diferencia de potencial eléctrico en un circuito.

SIMBOLOGÍA

CDT	Carga dinámica total
H	Carga estática
h_d	Carga estática de descarga
h_s	Carga estática de succión negativa
H_e	Carga estática total
$NPSH$	Carga neta positiva de succión
Q	Caudal
C	Coefficiente de Hezen-Williams
K	Coefficiente de pérdidas de carga para singularidades
m'	Constante para tuberías a tratar
D	Diámetro interno
η_B	Eficiencia de la bomba
η_M	Eficiencia del motor
FP	Factor de potencia
g	Fuerza de gravedad
$^{\circ}C$	Gados Celsius
γ	Peso específico
h_f	Pérdidas por rozamiento
P_f	Potencia de frenado
P_E	Potencia del motor eléctrico
P_H	Potencia hidráulica
P_{atm}	Presión atmosférica
P_V	Presión de vapor
N, n	Velocidad de giro
V	Velocidad lineal
v	Volumen

INTRODUCCIÓN

Colombia cuenta con una gran reserva de carbón que ha venido impulsando la economía en las regiones donde se encuentran ubicados los yacimientos y la economía nacional ya que es una de las principales fuentes económicas de mayor aumento en el país. El 95% de las reservas se ubican en los departamentos de La Guajira, Cesar, Córdoba, Norte de Santander, Cundinamarca, Boyacá, Antioquia, Valle del Cauca y Cauca. El proyecto se desarrolla en áreas carboníferas del departamento de Antioquia, donde las reservas son de carbón de tipo térmico y se localizan en los municipios de Amagá, Angelópolis, Venecia, Fredonia y Titiribí. El área de Amagá- Angelópolis se encuentra en el suroeste del departamento, con una superficie de 26 km², cuenta con reservas medidas de 9,89 Mt [1].

En el municipio de Amagá se encuentra ubicada la compañía Carbones San Fernando S.A.S. la cual se dedica a la explotación de yacimientos de carbón, su extracción, almacenamiento inicial, selección y posterior comercialización; la compañía es pionera en realizar su operación de una manera técnica y segura, realiza su explotación con una metodología de tajo largo con derrumbe dirigido, en la cual se hace necesario la elaboración de galerías subterráneas que ocasionan una desestabilización del régimen de agua en la roca, debido a la creación de nuevos conductos de agua.

La captación, drenaje y buena disposición del agua generada al interior de la mina, es tema de este estudio, con el fin de realizarlas de una manera eficiente y segura, que permita la continuidad de la operación de extracción sin ocasionar daños a los operarios, maquinaria o infraestructura de la mina.

1. FORMULACIÓN Y CONCEPTUALIZACIÓN DEL PROYECTO

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo general

Analizar el sistema de bombeo actual en la mina de Carbones San Fernando S.A.S. con el fin de proponer medidas que permitan la optimización del mismo.

1.1.2 Objetivos específicos

- Hacer el levantamiento del sistema de bombeo actual en el túnel tecnificado San Joaquín.
- Realizar el estudio técnico del sistema actual para determinar el nivel de eficiencia energética en el que se encuentra actualmente.
- Proponer medidas que permitan el mejoramiento de la eficiencia del sistema de bombeo en el túnel San Joaquín.

1.2 JUSTIFICACIÓN

Las prácticas profesionales permiten que el estudiante de Ingeniería Electromecánica haga énfasis en el aprendizaje de una manera práctica y un entrenamiento laboral, en búsqueda de habilidades y ganancia de experiencia para el desarrollo de la vida profesional. De igual forma, también ayudan a ir identificando practicantes proclives a ser contratados por la empresa una vez que hayan terminado su educación, con la ventaja de que requerirán muy poco o ningún entrenamiento.

La Escuela de Ingeniería Electromecánica ofrece egresados con una formación integral capaces de proponer soluciones y alternativas de proyección en el área fluidos y máquinas hidráulicas, con habilidades y destrezas, para entender y

aplicar los principios que rigen el diseño, operación y montaje de sistemas hidráulicos.

El desarrollo del proyecto promueve la academia permitiéndole al estudiante poner en práctica e implementar los conceptos aprendidos en el transcurso de la carrera en el área mecánica y específicamente en el área de sistemas hidráulicos.

Para la empresa Carbones San Fernando S.A.S, es de vital importancia tener de una manera técnica una evaluación del sistema de bombeo, esto con el fin de que las operaciones de la mina no se vean interrumpidas por la acumulación de agua en las áreas de trabajo generando así daños en los equipos y poniendo en riesgo la seguridad de los operarios; para las operaciones a futuro se hace indispensable tener un análisis de la capacidad instalada del sistema, esto con el fin de llevar a cabo las actividades de explotación minera en condiciones óptimas y seguras.

Uno de los principales objetivos de la gerencia actual de la compañía es disminuir el consumo de energía y por ende los gastos que esta representa, para esto es necesario implementar un análisis de eficiencia energética en cada uno de los sistemas, y así poder detectar las fallas con el fin de reducir el consumo de esta y por tanto desarrollar minería responsable comprometida con el medio ambiente.

1.3 GENERALIDADES DE LA COMPAÑÍA.

Carbones San Fernando S.A.S, es una empresa privada de capital nacional. Que tiene como objetivo principal el desarrollo de actividades relacionadas con la explotación de yacimientos de carbón, su extracción, almacenamiento inicial, selección y posterior comercialización.

Figura 1. Logotipo Carbones San Fernando S.A.S.



Fuente: Empresa Carbones San Fernando S.A.[2]

Ubicada en el departamento de Antioquia y más exactamente en la cuenca del sinifaná, considera una de las reservas de yacimientos de carbón más grandes de Colombia.

Carbones San Fernando S.A. se constituyó como Sociedad Anónima el 20 de Diciembre de 1961 con el fin de continuar la explotación de carbón que sus antecesores, habían iniciado más de tres décadas atrás; desde el período de constitución de la empresa, se ha llevado a cabo una explotación de yacimientos de carbón de una manera alternativa, influenciada fundamentalmente por las variaciones del mercado.

El 14 de septiembre de 1995 se solicitó ante la corporación autónoma de Antioquia la licencia ambiental para ese entonces Carbones San Fernando S.A. Sociedad Ladrillera San Fernando LTDA, realizar el proyecto minero para la explotación de carbón, arcillas y arenas, la cual fue otorgada por el ministerio de minas y energía, bajo la concesión minera número 11338 por un periodo no mayor a 30 años, desde entonces Carbones San Fernando S.A. ha llevado explotación de los yacimientos de carbón mediante el método de tajo largo con derrumbe dirigido.

En 2006 se inició con la construcción del túnel tecnificado al cual se le asignó el nombre de cruzada San Joaquín, desde entonces esta es considerada como una de las minas subterráneas más tecnificadas de Colombia, gracias a la adquisición de equipos para el desarrollo de la operación y la seguridad de la misma.

Actualmente se encuentra consolidada como una compañía líder en desarrollo de actividades de minería subterránea, con proyecciones a futuro a ser una de las minas más seguras y tecnificadas de Latinoamérica. En ANEXO A se muestra desarrollo de las operaciones y en el ANEXO B se detalla la planificación de las operaciones del túnel San Joaquín y para una mejor visualización se Anexa el plano de las operaciones de planeación.

1.4 MARCO TEÓRICO

La selección de los equipos puede ser difícil, por lo cual es necesario realizar un análisis preliminar, para así lograr los niveles máximos de eficiencia que requiere el sistema. La correcta selección, las condiciones de trabajo, se puede hacer una selección equivocada por el desconocimiento de los requisitos del sistema. Una selección inadecuada de la bomba ocasiona que el caudal de extracción sea mayor o menor al programado, provocando que la carga a la que opera el motor no sea la correcta, obteniendo de esa forma lecturas muy bajas en las eficiencias.

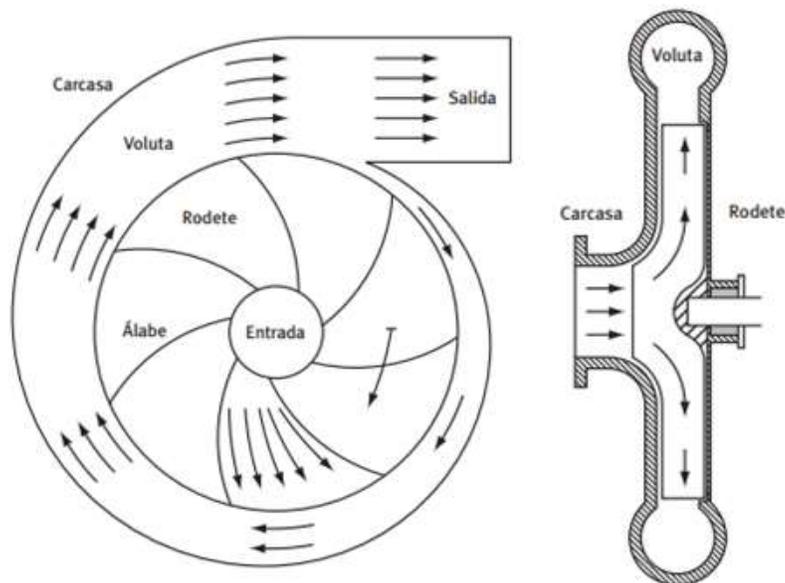
Los motores son diseñados para trabajar a una capacidad nominal y cuando operan por debajo de esta, se genera un factor de potencia bajo, que originan una penalización por parte de la compañía prestadora del servicio de energía, además de no trabajar con los parámetros de eficiencia marcados en los motores por el fabricante; en conclusión el resultado de la mala selección, son bajas eficiencias.

1.4.1 Bomba. El principal elemento para analizar en un sistema de bombeo son como tal las máquinas encargadas de transmitir la energía eléctrica presente en la red a el fluido a tratar este equipo es llamado bomba hidráulica.

Bombas centrífugas: son siempre rotativas y son un tipo de bomba hidráulica que transforman la energía mecánica de un impulsor en energía cinética o de presión de un fluido incompresible.

1.4.1.1 Elementos característicos de las bombas. Las bombas objeto de este trabajo son máquinas rotodinámicas o turbomáquinas, las cuales tienen dos partes principales: la parte móvil y la parte fija o estátor. La figura 2 muestra de forma esquemática las partes de una bomba centrífuga.

Figura 2. Partes características de una bomba centrífuga



Fuente: Selección de equipos de transporte de fluidos [3]

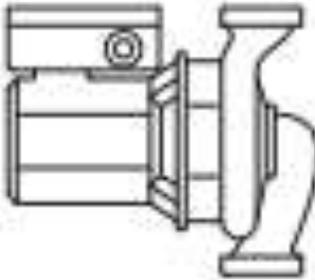
A continuación se describen las características más destacables de los elementos principales de las bombas centrífugas:

- Rodete. El rodete o impulsor es el elemento principal de las turbomáquinas. Su diseño se realiza de forma que para el punto nominal de funcionamiento, el flujo circule por los canales formados por los álabes sin choques y optimizando al máximo el momento cinético del flujo a la salida. Las bombas centrífugas suelen tener entre 5 y 9 álabes. Cuantos más álabes se forman más canales, el flujo es mejor conducido por los mismos tomando mejor el componente de velocidad deseada. Por el contrario, los álabes disminuyen la sección de paso y forman más superficies donde existirá fricción.
- Voluta. Se trata de un canal de sección creciente que rodea al rodete, recogiendo el fluido que sale del mismo. La misión de la voluta es la de reducir la energía cinética del flujo de forma ideal (sin pérdidas) de forma que esta energía pase a presión estática.

1.4.1.2 Tipos de bombas

- Bombas circuladoras. Bombas centrífugas sencillas, muy silenciosas, diseñadas para la recirculación de agua fría o caliente en los sistemas de climatización y agua caliente sanitaria. Se trata de bombas de rotor húmedo donde el propio líquido refrigera el motor.

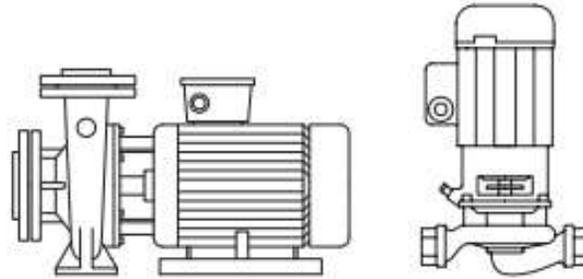
Figura 3. Bombas circuladoras



Fuente: Selección de equipos de transporte de fluidos [3]

- Bombas compactas o monobloc. Conjunto compacto con eje único motor-bomba, adecuados para bajas y medias potencias y funcionamiento en continuo. Aplicaciones industriales para bombeo de aguas limpias y no agresivas: equipos de presión, aire acondicionado y calefacción, sistemas de riego y equipos contra incendios.

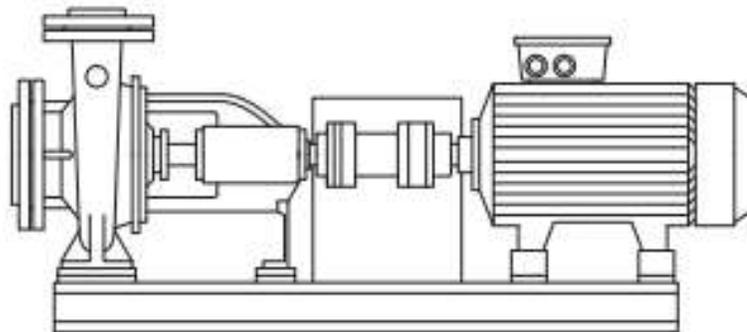
Figura 4. Bombas compactas o monobloc



Fuente: Selección de equipos de transporte de fluidos [3]

- Bombas de bancada u horizontales. Bombas de medias-altas potencias donde la conexión al motor se realiza mediante poleas o mediante acoplamiento elástico que no precisa de alineamientos precisos. El acoplamiento indirecto mediante correas y poleas facilita la extracción del rodete. En el caso de acoplamiento directo debe instalarse un espaciador para permitir acceder al rodete sin mover el motor eléctrico. Se emplean en industrias, riego, construcción, grandes instalaciones de calefacción y aire acondicionado, municipios, equipos contra-incendios, etc.

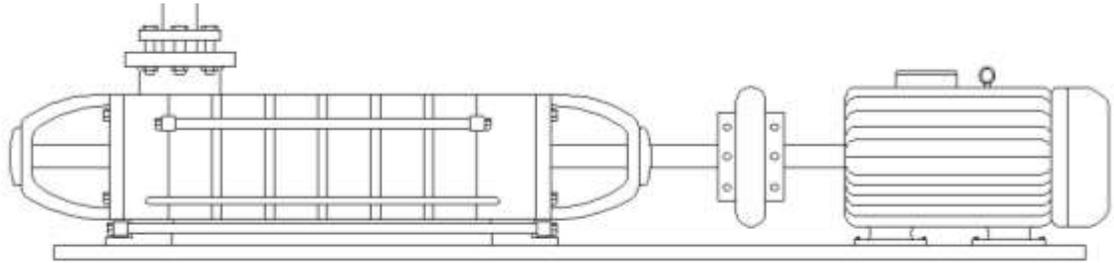
Figura 5. Bombas de bancada u horizontales



Fuente: Selección de equipos de transporte de fluidos [3]

- Bombas multietapas. Su diseño vertical en línea permite que la bomba sea instalada en un mismo sistema plano horizontal en el que las conexiones de succión y descarga están en el mismo plano horizontal (en línea) y tienen el mismo tamaño de tubería. Este diseño proporciona un diseño de bomba más compacto y fácil despliegue de tuberías. La bomba consiste en una base y un cabezal de bomba. El cuerpo de la bomba se acopla al motor mediante un sistema con un coeficiente elástico para mitigar el impacto del torque de arranque en los componentes de la bomba.

Figura 6. Bombas multietapas



Fuente: autor del proyecto.

1.4.2 Motor. El sistema de accionamiento de las bombas se clasifican en tres grupos: motores eléctricos, motores de combustión interna y energía no convencional. Dentro de estas últimas se encuentran las bombas manuales, bombas de ariete, turbobombas, rimbombas y aerobombas. Para la implementación en un sistema de bombeo en minería subterránea es requisito indispensable la utilización de motores eléctricos con condiciones de operación contra explosiones según la clasificación del área de operaciones estipuladas por la norma [8] [11] [12].

Los motores eléctricos son las máquinas motrices más empleadas para propulsar de manera simple y eficiente las bombas utilizadas en los sistemas de bombeo. Sus ventajas radican en su reducido tamaño y peso en comparación con otros sistemas motrices; en su limpieza, no contaminan el medio ambiente y producen menos ruido; en su facilidad de operación y finalmente en menor costo en comparación a sus similares de combustión interna.

Los tipos de motores eléctricos usualmente utilizados en los sistemas de agua son: síncronos de velocidad constante y asíncrona o de inducción que admite una ligera variación de velocidad en función al valor de la carga. Por su economía, fiabilidad y simplicidad se eligen motores de inducción para las bombas de velocidad constante. Motores síncronos pueden resultar más económicos para bombas de gran potencia y baja velocidad. En general, los motores eléctricos más económicamente empleados son los trifásicos de 60 ciclos con corriente alterna.

A continuación se nombran los principales criterios para la selección de motores eléctricos:

1.4.2.1 Potencia nominal. Se determina directamente a partir de las indicaciones del fabricante de la bomba. Se debe admitir en la práctica, un cierto margen para seleccionar el motor. Se recomienda los siguientes incrementos [4]:

- 50% para las bombas hasta 2 HP.
- 30% para las bombas de 2 a 5 HP.
- 20% para las bombas de 5 a 10 HP.
- 15% para las bombas de 10 a 20 HP.
- 10% para las bombas de más de 20 HP.

1.4.2.2 Velocidad nominal. Determinada directamente a partir de las indicaciones del fabricante de la bomba. La velocidad del motor es función de la frecuencia del sistema eléctrico local y de número de polos del motor. Por tanto, al seleccionar la velocidad de la bomba se debe procurar que ella sea compatible con las velocidades normales de motores eléctricos, las cuales aparecen tabuladas en las normas de motores eléctricos.

1.4.2.3 Torque. Se debe considerar que durante el arranque del motor se consume una corriente varias veces la de carga plena, que produce caídas de voltaje y por consiguiente reducciones en el torque de arranque de motor. Una buena práctica es seleccionar un motor para que con el voltaje reducido desarrolle un torque al menos 10% mayor que el requerido por la bomba durante el proceso de aceleración.

1.4.2.4 Número de arranques. En cada arranque la temperatura interna del motor se incrementa, por tanto arranques muy frecuentes del motor causará sobrecalentamiento y daño posterior a los devanados del rotor. Por esta razón se debe se debe considerar el número de horas al día que trabajará la bomba y en que periodos. Es recomendable por razones económicas y operativas que el periodo de bombeo en un día sea menor a 12 horas, que podrán ser distribuidas en una o más operaciones (arranques) de bombeos diarios. También tiene que ser considerado las recomendaciones del fabricante de los equipos de bombeo con respecto al número máximo de arranques por día de sus equipos.

1.4.2.4 Corriente de arranque. En el arranque y durante la aceleración a tensión nominal, el motor consume una corriente considerable que muchas veces no es tolerada por la instalación o por la red de distribución. Por tanto, la partida del motor será hecha bajo tensión reducida. Será necesario también evitar el arranque simultáneo de motores.

1.4.2.5 Factor de potencia. (*FP*). El factor de potencia, como la corriente de arranque, está regido por estipulaciones de las compañías de energía eléctrica, quienes establecen valores mínimos para este factor. Con el fin de evitar problemas inherentes a un bajo factor de potencia se debe evitar sobredimensionar el motor y usar condensadores para mejorar el bajo factor de potencia de las instalaciones.

1.4.2.6 Condiciones del medioambiente. Se debe especificar las condiciones ambientales donde trabajará el motor, como:

- Si el motor trabajara protegido de la intemperie por una edificación.
- Si funcionará en un ambiente con una temperatura mayor a 40°C o a una elevación mayor de 1000 m.s.n.m.
- Si trabajará en un ambiente abundante en polvo, humedad, residuos y gases. Se deberá establecer un aislamiento para el motor compatible con las condiciones ambientales y de funcionamiento.

1.4.2.7 Criterios económicos. Se debe tener especial consideración de este criterio durante la selección final de una instalación y en su operación. El costo de operación debe incluir el costo de la energía eléctrica y los costos de amortización, reparación y manteniendo.

1.4.3 Parámetros de operación. Son los parámetros que se tendrán en cuenta en el desarrollo de estudio del sistema de bombeo.

1.4.3.1 Carga de bombeo. El cálculo de la carga total de bombeo consiste en determinar la energía requerida para impulsar el líquido desde el nivel de succión hasta el nivel de descarga, venciendo la resistencia que ofrece la tubería y los accesorios al paso del fluido.

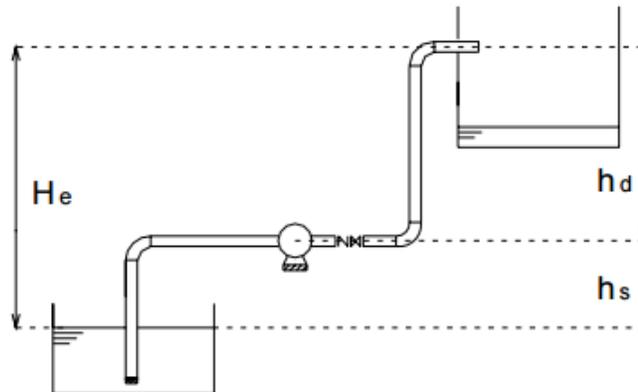
- Carga estática. (*H*). En las aplicaciones de bombas, generalmente se llama a la altura de la columna del líquido que actúa sobre la succión o descarga de la bomba. La columna estática en la entrada o salida, se expresa como un cierto número de metros de líquido. La columna estática, es la diferencia de elevación y puede calcularse para una variedad de condiciones que se encuentren en una instalación de bombeo.

- Carga estática total. (H_e). Es la distancia vertical en metros, entre los niveles de succión y descarga del líquido que se maneja.

$$H_e = h_d \pm h_s$$

- Carga estática de descarga. (h_d). Es la distancia vertical en metros, entre el eje central de la bomba y el punto de entrega libre del líquido.
- Carga estática de succión negativa. (h_s). Se tiene cuando la fuente de alimentación o suministro está por debajo de la línea central de la bomba. Es decir, es la distancia vertical en metros del nivel de suministro de líquido al eje central de la bomba, encontrándose la bomba arriba del nivel de suministro. Así la altura estática de succión, es la distancia vertical que existe entre la línea central de la bomba al nivel del líquido que va a ser bombeado (Figura 7).

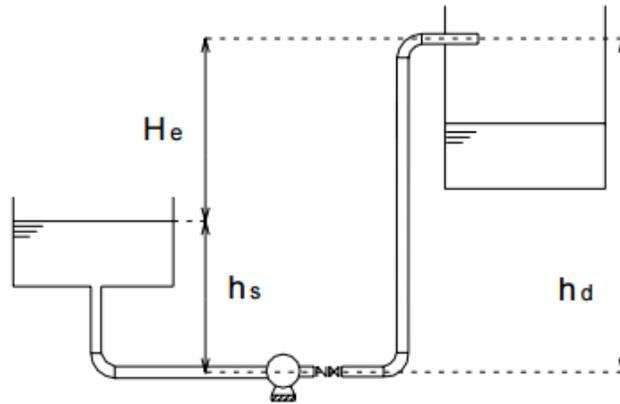
Figura 7. Sistema con carga estática succión negativa



Fuente: Selección de equipo de bombeo para un sistema de suministro de agua. [5]

- Carga estática de succión positiva. (h_s). Se tiene cuando la fuente de suministro está por arriba de la línea central de la bomba. Es decir, es la distancia vertical que existe entre la línea central de la bomba al nivel del líquido que va a ser bombeado. La bomba se encuentra más abajo del nivel de suministro del líquido. Numéricamente es la distancia vertical en metros, entre el nivel de suministro del líquido y el eje central de la bomba (Figura 8).

Figura 8. Sistema con carga estática succión positiva



Fuente: Selección de equipo de bombeo para un sistema de suministro de agua.[5]

1.4.3.2 Pérdidas por rozamiento. (h_f) Es la columna en metros de líquido que se maneja, equivalente y necesaria para vencer la resistencia de las tuberías de succión, descarga y de sus accesorios. La columna de rozamiento existe, tanto en el extremo de succión como en el de descarga de una bomba y varía con la velocidad del líquido, tamaño del tubo, condición interior del tubo, tipo del tubo y naturaleza del líquido que se maneja. La resistencia de los aditamentos de los tubos generalmente se expresa en función de la longitud equivalente de tubo recto de la misma dimensión del accesorio. Analizaremos como se determinan estas pérdidas en las tuberías y accesorios.

- Tuberías. La pérdida de carga que tiene lugar en una conducción representa la pérdida de energía de un flujo hidráulico a lo largo de la misma por efecto del rozamiento. A continuación se mencionan las principales fórmulas empíricas empleadas en el cálculo de la pérdida de carga que tiene lugar en tuberías:

- ✓ Darcy-Weisbach (1875)
- ✓ Manning (1890)
- ✓ Hazen-Williams (1905)
- ✓ Scimemi (1925)
- ✓ Scobey (1931)
- ✓ Veronesse-Datei (Para tuberías en PVC)

Para el desarrollo del proyecto utilizaremos la fórmula de Hazen-Williams ya que es válido solamente para el agua que fluye en las temperaturas ordinarias (5 °C - 25 °C). La fórmula es sencilla y su cálculo es simple debido a que el coeficiente de

rugosidad "C" no es función de la velocidad ni del diámetro de la tubería. Es útil en el cálculo de pérdidas de carga en tuberías para redes de distribución de diversos materiales, especialmente de fundición y acero:

$$h_f = 10,674 * \left[\frac{Q^{1,852}}{(C^{1,852} * D^{4,871})} \right] * L$$

En la siguiente tabla se muestran los valores del coeficiente de rugosidad de Hazen-Williams para diferentes materiales:

Tabla 1. Coeficiente de Hezen-Williams para algunos materiales

COEFICIENTE DE HAZEN-WILLIAMS PARA ALGUNOS MATERIALES				
Material	C		Material	C
Asbesto cemento	140		Hierro galvanizado	120
Latón	130-140		Vidrio	140
Ladrillo de saneamiento	100		Plomo	130-140
Hierro fundido, nuevo	130		Plástico (PE, PVC)	140-150
Hierro fundido, 10 años de edad	107-113		Tubería lisa nueva	140
Hierro fundido, 20 años de edad	89-100		Acero nuevo	140-150
Hierro fundido, 30 años de edad	75-90		Acero	130
Hierro fundido, 40 años de edad	64-83		Acero rolado	110
Concreto	120-140		Lata	130
Cobre	130-140		Madera	120
Hierro dúctil	120		Hormigón	120-140

Fuente: Miliarium.com. [6]

- Singularidades o aditamentos. Normalmente las pérdidas de carga continuas son más importantes que las singulares, pudiendo éstas despreciarse cuando supongan menos del 5% de las totales, y en la práctica, cuando la longitud entre singularidades sea mayor de mil veces el diámetro interior de la tubería. Salvo casos excepcionales, las pérdidas de carga localizadas sólo se pueden determinar de forma experimental, y puesto que son debidas a una disipación de energía motivada por las turbulencias, pueden expresarse en función de la altura cinética corregida mediante un coeficiente empírico K.

$$h_f = k * \frac{V^2}{2g}$$

En conductos circulares, la ecuación fundamental de las pérdidas secundarias puede expresarse en función del caudal mediante la ecuación:

$$h_f = m' * K * Q^2$$

Con:

$$m' = \frac{1}{2g} * \left(\frac{4}{\pi * D^2} \right)^2 = 0,0826 * D^{-4}$$

Tabla 2. Valor de m' para diámetros de tuberías a tratar

D (in)	D (m)	m'
2	0,05	13222
4	0,1	862,38

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 3. Coeficiente de pérdida de carga k para singularidades

Accesorio	Coeficiente K
Codo 90°	0.90
Válvula de pie	2.50
Llave de compuerta abierta 25%	24.00
Llave de compuerta abierta 50%	5.60
Llave de compuerta abierta 75%	1.15
Llave de compuerta abierta 100%	0.19
Válvula de globo abierta	10.00
Válvula de no retorno	2.50
Contracción brusca: f entrada/f salida = 0.25	0.42
f entrada/f salida = 0.50	0.32
f entrada/f salida = 0.75	0.19
Expansión brusca: f entrada/f salida = 0.25	0.92
f entrada/f salida = 0.50	0.56
f entrada/f salida = 0.75	0.19
Tee	1.80
Codo 45°	0.42
Codo cuadrado	1.80

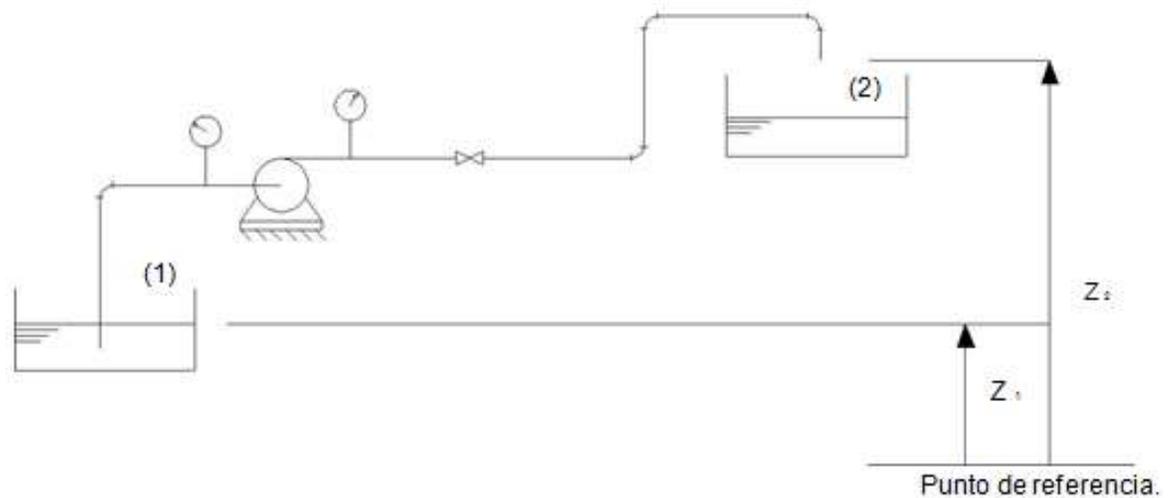
Fuente: Milarium.com. [6]

1.4.3.3 Cambio de velocidad. Cuando la bomba opera a una velocidad diferente a la velocidad de diseño, se pueden determinar los efectos del cambio de velocidad en los parámetros de gasto, carga y potencia consumida por la bomba. Para este caso se establece como premisa que la eficiencia y el diámetro del impulsor permanecen constantes.

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

1.4.3.4 Carga dinámica total. (*CDT*). Para determinar la Carga Dinámica Total del sistema, se hace uso de la ecuación de Bernoulli, y que aplicada a un sistema de bombeo como el mostrado en la figura 9.

Figura 9. Esquema sistema de bombeo convencional



Fuente: Selección de equipo de bombeo para un sistema de suministro de agua. [5]

- 1: Nivel superior del agua en el pozo de aspiración.
- 2: Nivel superior del agua en el depósito de impulsión.

$$CDT = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} + Z_2 - Z_1 + h_f$$

Considerando:

- ✓ En sistemas atmosféricos ($P_2 = P_1$)
- ✓ Para fines prácticos se considera la velocidad de succión despreciable $V_1 = 0$
- ✓ Las pérdidas totales de la carga (h_f) son las que el líquido experimenta en la tubería y singularidades tanto en la succión como en la descarga.

$$CDT = Z_2 - Z_1 + h_f$$

1.4.3.5 Carga neta positiva de succión. (*NPSH*). Es la presión disponible o requerida para forzar un caudal determinado, a través de la tubería de succión al ojo del impulsor y se mide en metros de columna de agua (m c.a.).

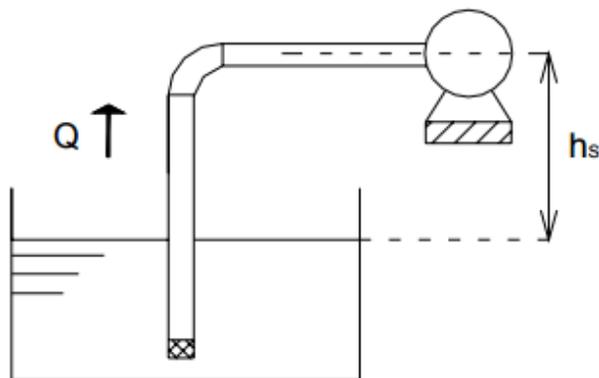
- ✓ Carga neta positiva de succión disponible. ($NPSH_D$). Es la adición de la presión atmosférica en la succión de la bomba, menos la presión de vapor del líquido bombeado, menos las pérdidas de rozamiento en la línea de succión transformadas en carga, (+/-) la altura de succión; es una función del sistema en que la bomba opera. Si varía cualquiera de estos puntos, la ($NPSH_D$) puede alterarse.

- ✓ Con carga de succión negativa

$$NPSH_D = \frac{P_{atm} - P_V}{\gamma} - h_s - h_f$$

Dónde: h_s =carga estática de succión negativa.

Figura 10. Esquema con carga estática de succión negativa



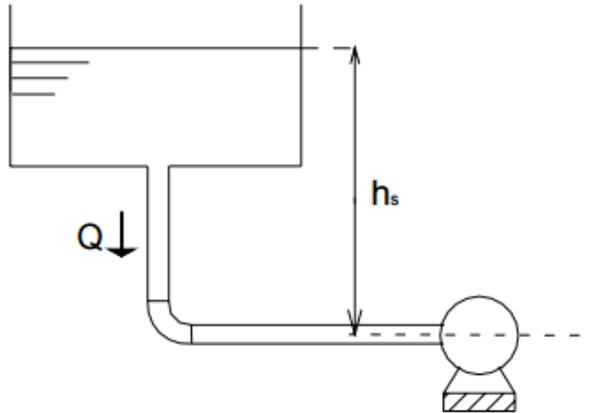
Fuente: Selección de equipo de bombeo para un sistema de suministro de agua. [5]

✓ Con carga de succión positiva.

$$NPSH_D = \frac{P_{atm} - P_V}{\gamma} + h_s - h_f$$

Dónde: h_s =carga estática de succión positiva.

Figura 11. Esquema con carga estática de succión positiva



Fuente: Selección de equipo de bombeo para un sistema de suministro de agua. [5]

- Carga neta positiva de succión requerida. ($NPSH_B$). Es la carga positiva, en metros de columna de líquido bombeado, que se necesita en la succión de la bomba para superar las caídas de presión en la bomba y mantener el líquido arriba de su presión de vapor de la bomba y la capacidad. La curva del fabricante debe proporcionar ésta información.

1.4.3.6 Potencia y eficiencia.

- Potencia hidráulica. (P_H). La potencia hidráulica P_H es la en liquido por acción de la bomba.

$$P_H = \frac{CDT * Q * \gamma}{1000} [kW]$$

- Potencia de frenado. (P_F). La potencia de entrada o potencia al freno (P_F) es la potencia requerida en al flecha de la bomba.

$$P_F = \frac{CDT * Q * \gamma}{1000 * \eta_B} [kW]$$

La potencia al freno o de entrada para una bomba, es mayor que la potencia hidráulica o de salida, debido a las pérdidas mecánicas o hidráulicas que ocurren en la bomba. La potencia suministrada a la bomba es entregada por el motor eléctrico que transmite su potencia a la flecha directamente o por medio de un acople.

$$P_F = P_E$$

- Potencia del motor eléctrico. (P_E). Es la potencia suministrada en la flecha de la bomba, expresada en (kW).

$$P_E = \sqrt[2]{3} * V * I * FP * \eta_m [kW]$$

- Eficiencia de la bomba. Por lo tanto la eficiencia es la relación entre los conceptos:

$$\eta_B = \frac{P_H}{P_F} = \frac{P_H}{P_E} [\%]$$

1.4.3.7. Factores que afectan la eficiencia. Existen condiciones que afectan negativamente la eficiencia del equipo de bombeo, en general corresponde a la fabricación del diseño del equipo. Entre las principales se tienen las siguientes:

- Pérdidas volumétricas. Estas pérdidas son indicativas de una circulación de flujo del lado de alta presión al de baja presión del impulsor; aunque en general, estas pérdidas son pequeñas, pueden tomar importancia bajo condiciones de desgaste o desajuste de la bomba.
- Pérdidas hidráulicas. Constituyen la diferencia entre la carga que podría obtenerse de la energía disponible en el impulsor y aquella que realmente se desarrolla; las más importantes son por choque de entrada, generadas por el cambio de dirección del líquido y por fricción del líquido, al fluir.
- Cavitación. La cavitación es un efecto hidrodinámico que se produce cuando el agua o cualquier otro fluido en estado líquido pasa a gran velocidad por una arista afilada, produciendo una descompresión del fluido. Puede ocurrir que se alcance la presión de vapor del líquido de tal forma que las moléculas que lo componen cambian inmediatamente a estado de vapor, formándose burbujas o, más correctamente, cavidades. Las burbujas formadas viajan a zonas de mayor presión e implotan produciendo una estela de gas y un arranque de metal de la superficie en la que se origina este fenómeno.

El fenómeno de cavitación para una bomba es muy importante, pues puede ocasionarle daños severos, erosionándola y acortando su vida útil. Para evitar la aparición de la cavitación se debe controlar la altura de succión, es decir la altura a la cual se debe ubicar la bomba en relación a la altura o nivel de extracción del líquido.

Para determinar la altura máxima de ubicación de una bomba se debe calcular la carga neta positiva de succión (NPSH) disponible a la entrada de la bomba para que no se produzca cavitación.

Figura 12. Daños ocasionados por cavitación



Fuente: Eficiencia en sistemas de bombeo. [7]

- Pérdidas mecánicas. Se deben principalmente a la fricción de cojinetes, empaques o sellos y a la fricción del disco generada entre los lados del impulsor y el líquido.
- Características del líquido. Las condiciones del fluido a manejar, tienen consecuencias sustantivas sobre la operación de las bombas centrífugas. Ya que pueden afectar la construcción del equipo, y por lo tanto, el rendimiento y la potencia. Entre las más importantes tenemos la corrosión, temperatura a manejar, tamaño de partículas en el líquido y uso al que se destinará, entre otras.

Mientras más desfavorables sean las condiciones, mayores serán las exigencias constructivas en cuanto a materiales, metalurgia, tipo de impulsores, accesorios propios de la bomba, etc.

- Condiciones de instalación. Existen condiciones de instalación que influyen negativamente en la eficiencia del equipo de bombeo; podemos citar las siguientes:

- ✓ Pérdidas en motor y acoplamiento. Aunque son externas a la bomba, es conveniente saber que estos componentes influyen en la eficiencia global. Aquí nos referimos a su rendimiento y diseño; sin embargo, es importante aclarar que el montaje apropiado del conjunto bomba-motor es necesario, para asegurar la máxima eficiencia.

Una deficiente alineación impone cargas adicionales sobre los cojinetes y flexión en una o varias de las flechas del conjunto, ocasionando pérdidas de eficiencia y un mayor consumo de energía debido a la fricción y al desbalance mecánico; lo cual provoca vibraciones dañinas a los equipos, afectando la eficiencia global.

La temperatura ambiente también puede tener efectos en la eficiencia, pues en el caso de los motores la reduce a medida que sea más alta y en caso de ser muy extremosa, provoca esfuerzos y deformaciones en los equipos, es por ello que deberá tomarse en cuenta al realizar el montaje y puesta en servicio, sobre todo permitiendo que se estabilice, antes de restringir el movimiento del conjunto.

- ✓ Pérdidas en la bomba. Las vibraciones, ruido, movimientos y desbalance del equipo tienen consecuencia en la operación hidráulica, ya que se afectan tolerancias y cargas, reduciendo la capacidad real del mismo, requiriendo para ello una mayor potencia y como consecuencia disminuye la eficiencia.

A menudo, la causa raíz de que los niveles de vibración y ruido sean demasiado altos está relacionada con una desalineación del eje, lubricación inadecuada, un montaje incorrecto y disposiciones de rodamientos inapropiados o un enfriamiento ineficaz. Los altos niveles de vibración aumentan el consumo de energía y pueden causar averías prematuras de los equipos y elevados costes de mantenimiento, lo cual incluye con frecuencia paros imprevistos.

La densidad menor de la mezcla líquido-vapor, provoca una reducción en el volumen real bombeado y por lo tanto la eficiencia disminuye. Asimismo, se inducen vibraciones y si el fenómeno es severo, puede causar daños internos a otras instalaciones y equipos e incluso el colapso del propio impulsor.

- ✓ Alineación. La correcta alineación de la bomba y el motor, es de suma importancia para conseguir una operación mecánica libre de problemas; por lo que esta se debe verificar de acuerdo a recomendaciones del fabricante.
- ✓ Impulsores. Se deben ajustar los impulsores antes de intentar poner en marcha la bomba. Una bomba nueva se debe operar con los impulsores ajustados a la mitad del juego lateral de acuerdo con recomendaciones del fabricante, esto es con el objeto de que la arena presente en el agua, no

provoque un desgaste excesivo en la bomba lo cual afectaría a la bomba, especialmente a los impulsores. Una vez que el agua deje de salir con arena, los impulsores se podrán ajustar a su posición de trabajo más eficiente. Por otra parte, las bombas que poseen un impulsor de acero inoxidable resultan ser menos eficientes que las de bronce.

- Recorte de impulsores. El recorte de impulsor es una técnica empleada desde hace mucho tiempo para cubrir lagunas en las líneas de fabricación; de nueva cuenta enfatizamos que las relaciones de afinidad nos permitirán saber si recortando el impulsor tendremos un punto de operación óptimo.

- Consideraciones de operación
 - ✓ Velocidad de giro alta.
 - ✓ Presión de carga excesiva.
 - ✓ Peso específico del fluido.
 - ✓ Sometimiento de la bomba a tensiones.
 - ✓ Falta de grasa o grasa inadecuada.
 - ✓ Contra presión excesiva.
 - ✓ Cebado insuficiente.
 - ✓ Taponamiento de tubería.
 - ✓ Dirección de giro.
 - ✓ Velocidad de giro demasiado pequeña.
 - ✓ Fuertes desgastes de las piezas interiores.
 - ✓ Sellos desgastados.
 - ✓ Camisa de la flecha con estrías.
 - ✓ Agua de refrigeración.
 - ✓ Golpeteo de la flecha.

Estas consideraciones son solo algunas de muchas causas de ineficiencia.

4.3.7.9 Sobredimensionamiento. El sobredimensionamiento de los equipos, es producto de un mal cálculo, falta de previsión y en algunos casos de información pobre, lo cual ocasiona que se disponga de equipos que no cumplan con las características que requiere el sistema hidráulico.

Sabemos que al sobredimensionar un equipo, se producen desventajas que ocasionan se pierda eficiencia en el sistema, obteniéndose con ello gastos de energía innecesarios.

1.4.3.8 Factores que incrementan la eficiencia. Para mantener, prever o controlar la eficiencia, podemos tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- Conocimiento del sistema. Selección del equipo de bombeo (motor-bomba) apropiado, teniendo el conocimiento pleno de los parámetros del sistema entre ellos:
 - ✓ Acabado de la superficie de los impulsores.
 - ✓ Selección adecuada de la velocidad específica de succión.
 - ✓ Control de líquidos viscosos.
 - ✓ Control de concentraciones de grandes volúmenes de sólidos.
 - ✓ Control del tamaño de sólidos.
 - ✓ Control de fricción en cojinetes, empaques o sellos.
 - ✓ Montaje apropiado del equipo (bomba-motor).
 - ✓ Corregir desbalances.
 - ✓ Reducir vibraciones.
 - ✓ Alineación del equipo en forma programada.
 - ✓ Controlar la temperatura de operación del motor.
 - ✓ Evitar recortes de impulsores.
 - ✓ Controlar la velocidad del equipo.
 - ✓ Controlar la presión del fluido.
 - ✓ Evitar tensiones mecánicas en tuberías.
 - ✓ Reposición de grasa adecuada.
 - ✓ Verificar el cebado de bomba y tubería.
 - ✓ Evitar entrada de aire.
 - ✓ Cambiar sellos.
 - ✓ Controlar el abatimiento del nivel dinámico.
 - ✓ Control del peso específico del fluido que impulsa la bomba.
 - ✓ Nivelación de la flecha.
 - ✓ Verificar presión de succión y descarga.

- Mantenimiento. Son el conjunto de actividades encargadas de mantener conservar y preservar los equipos, herramientas, maquinaria, sistemas, inmuebles e instalaciones de la empresa en buen estado y en condiciones de operación normales, con la garantía de un funcionamiento óptimo e ininterrumpido. Estas actividades comprenden lo siguiente:
 - ✓ Inspección. Por medio de la inspección podemos detectar diversas fallas o inconvenientes físicos que afecten a los equipos e instalaciones; estos efectos pueden ser detectados por el uso de los sentidos y también con la experiencia del mecánico de mantenimiento.

- ✓ Servicio. El servicio es el cambio de las piezas de una maquinaria, equipo o instalación. Para eso debemos hacer una limpieza previa de los agentes nocivos para la pieza que se requiere instalar. Para cambiar una pieza nueva de maquinaria debemos saber exactamente la forma de instalar la refacción de manera que debemos verificar las instrucciones de instalación.

- ✓ Limpieza. La limpieza es importante ya que la suciedad puede bajar el rendimiento de la maquinaria, equipo o instalación.

- ✓ Lubricación. La aplicación particular en múltiples aspectos determina la selección del lubricante. Los lubricantes se fabrican a fin de que tengan ciertas características específicas que se pueden definir en términos de propiedades físicas o químicas o por su comportamiento. El concepto de lubricante, como parte de las consideraciones de diseño o de mantenimiento, ha ayudado a dar la importancia que tienen los aspectos de la lubricación en el funcionamiento de los mecanismos y ha dado como resultado un rendimiento más satisfactorio. El fabricante y los proveedores de equipo seleccionan los lubricantes aptos para las condiciones de operación.

2. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

2.1 LEVANTAMIENTO DEL PLANO DEL SISTEMA.

Con la ayuda del departamento de planeación y topografía, en especial con la asistencia del ingeniero Walton Varón Barrera topógrafo de la compañía se llevó la toma de los puntos geo posicionales en coordenadas Magna-Sirgas[13] que nos permitirán el levantamiento del plano del túnel San Joaquín para así determinar las distancias verticales reales entre cada una de las estaciones de bombeo.

Tabla 4. Cotas de los puntos levantados

Punto	Referencia	COORDENADAS MAGNA		
		X	Y	Δ
1	Boca Mina	1153827,922	1159662,711	1415,594
2	Subestación del 20	1153929,211	1159004,821	1260,791
3	Cruce Principal	1153930,714	1158992,606	1259,29
4	147	1153267,242	1158993,446	1060,186
5	139	1153135,106	1158601,838	972,812

Fuente: autor del proyecto

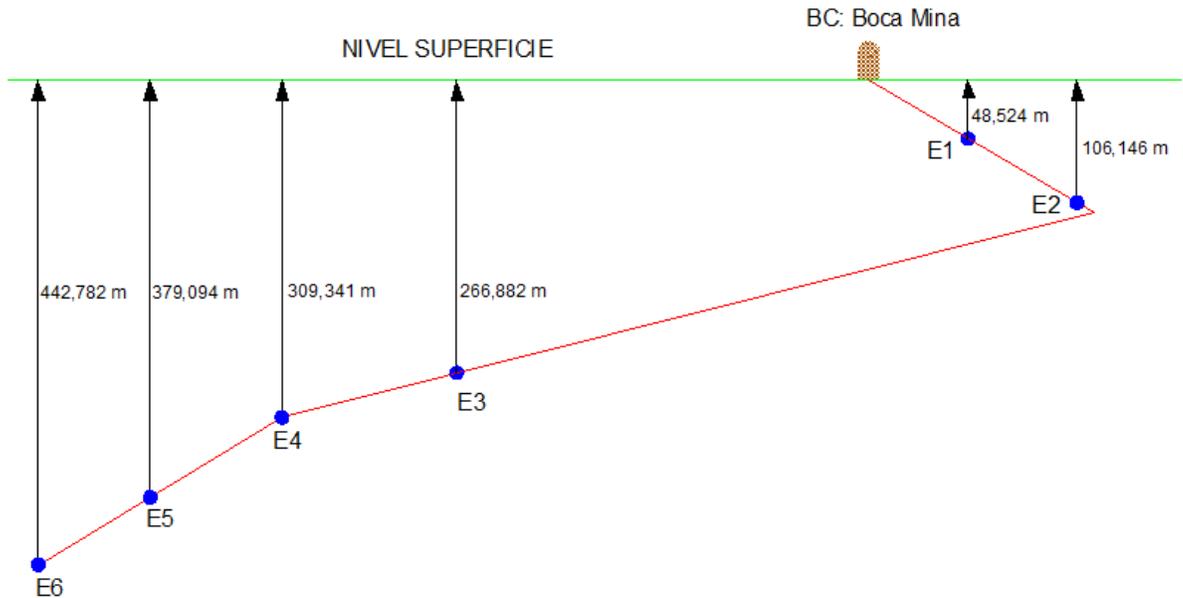
Con ayuda del plano en tres dimensiones se logró obtener las distancias verticales entre cada estación de bombeo que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 5. Distancia vertical en metros entre cada una de las estaciones de bombeo

Tramo	Distancia Vertical (m)
E7-E5	64,763
E6-E5	63,688
E5-E4	69,753
E4-E3	42,459
E3-E2	160,736
E2-E1	57,622
BC-E1	48,524

Fuente: autor del proyecto

Figura 13. Vista de perfil plano X-Z del túnel San Joaquín



Fuente: autor del proyecto

Con la utilización del programa de dibujo AutoCAD® se presenta el plano esquemático del sistema de bombeo del túnel tecnificado San Joaquín en la compañía Carbones San Fernando S.A.S. en el plano anexo en el proyecto.

2.2 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN Y TOMA DE DATOS.

Para el desarrollo del proyecto se tomaron los parámetros principales de las bombas y los motores que las accionan, estos se registran en los ANEXOS C y D.

Con ayuda de la dependencia eléctrica se tomaron datos de corriente y tensión de los motores, estos fueron registrados por el supervisor eléctrico Albeiro Salinas.

Tabla 6. Datos tomados a los motores

ESTACIÓN DE BOMBEO	TENSIÓN (V)				CORRIENTE (A)				TIPO DE ARRANQUE
	L1	L2	L3	PROMEDIO	L1	L2	L3	PROMEDIO	
E1	455	457	456	456	20,5	20,6	21,3	20,8	AUTOMÁTICO
E2	455	460	456,8	457,27	24,1	26	23,9	24,7	AUTOMÁTICO
E3	436,8	437,2	437	437	50,7	53	51,4	51,7	AUTOMÁTICO
E4	453	450	451	451,34	27,7	27,6	28,8	28,1	STAR-STOP
E5	449	448,3	448	448,44	23,8	23,3	21,6	22,9	AUTOMÁTICO
E6	445	444	447,8	445,6	8,1	8,5	7,9	8,2	STAR-STOP
E7	449	445,8	446,7	447,17	11,5	11,7	12,1	11,8	STAR-STOP

Fuente: autor del proyecto

Se tomaron medidas de cada uno de los depósitos para obtener su capacidad en m^3 .

Tabla 7. Volumen de los depósitos del sistema

ESTACIÓN DE BOMBEO	DEPOSITO	VOLUMEN m^3
E2	D1	23,1
E3	D2	14,7
E4	D3	13,2
E5	D4	4,8
E6	D5	4,3
E7	D6	4,5

Fuente: autor del proyecto

2.3 DETERMINACIÓN DEL FLUJO VOLUMÉTRICO.

Dentro de la compañía no se cuenta con ningún registro de vertimientos de aguas industriales, por eso fue necesario la instalación de un medidor de flujo volumétrico en la boca mina del túnel San Joaquín, para así estimar el consumo promedio de energía eléctrica que es requerido por el sistema de bombeo de la compañía.

2.3.1 Instalación del medidor. La instalación se llevó acabo el día 6 de Abril de 2016 con acompañamiento de personal mecánico y autorización del súper intendente de minería Ingeniero Carlos Prisco. En las siguientes imágenes se ilustra el proceso.

Figura 14. Equipo de medición flujo volumétrico a instalar



Fuente: autor del proyecto

Figura 15. Posicionamiento del equipo de medición



Fuente: autor del proyecto

Figura 16. Instalación del equipo de medición



Fuente: autor del proyecto

Figura 17. Posición final del equipo de medición



Fuente: autor del proyecto

2.3.2 Toma de datos de flujo volumétrico. Se registraron 14 datos de las lecturas del medidor durante 15 días para obtener un promedio de flujo volumétrico de $4,2 \text{ m}^3/h$.

Tabla 8. Lecturas registradas

TOMA DE DATOS SALIDA DE AGUA INDUSTRIAL TUNEL SAN JOAQUÍN								
NÚMERO DE LECTURA	DÍA	FECHA	HORA	LECTURA	INTERVALO	Δm^3	$\Delta HORAS$	FLUJO VOLUMETRICO m^3/h
1	INICIO	06/04/2016	11:00	3588,8	1	23,4	6	3,9
2	0	06/04/2016	17:00	3612,2	2	64,6	18,66	3,47
3	1	07/04/2016	11:40	3676,8	3	34,1	5,16	6,61
4	1	07/04/2016	16:30	3710,9	4	55,8	19	2,29
5	2	08/04/2016	11:30	3766,7	5	30,1	5,5	5,48
6	2	08/04/2016	17:00	3796,8	6	241,7	69,5	3,48
7	3	11/04/2016	13:30	4038,5	7	92,6	23	4,03
8	4	12/04/2016	12:30	4131,1	8	176	50,5	3,49
9	5	14/04/2016	15:00	4307,1	9	61,1	25	2,45
10	6	15/04/2016	16:00	4368,2	10	277,4	70	3,97
11	7	18/04/2016	14:00	4645,6	11	77	23	3,35
12	8	19/04/2016	13:00	4722,6	12	114,9	24,5	4,69
13	9	20/04/2016	13:30	4837,5	13	176,4	26,5	6,66
14	FINAL	21/04/2016	16:00	5013,9				

Fuente: autor del proyecto

3. ESTUDIO TÉCNICO DE EFICIENCIA

El estudio técnico se desarrollará para cada uno de las estaciones de bombeo para obtener su nivel de eficiencia. Los caudales fueron obtenidos mediante la metodología de llenado de un recipiente con volumen conocido y el tiempo de llenado, a excepción de la estación 1 y 2 en las cuales el medidor de flujo volumétrico cuenta con un caudalímetro en el mismo instrumento.

3.1 ANÁLISIS ESTACIÓN DE BOMBEO NÚMERO 7. (E7)

Tabla 9. Datos para el análisis de E7

NOMBRE	SÍMBOLO	VALOR	UNIDADES
Caudal	Q	0,00396	m^3/s
Distancia vertical total	E7-E5	64,76	m
Longitud de la tubería	L	200	m
Coeficiente de HAZEN-WILLIAMS	C_{PVC}	140	
Diámetro nominal	$D_{Nominal}$	2	Pulg
Diámetro interno	$D_{Interno}$	47,3	mm
Peso específico del agua	γ	9800	N/m^3
Presión atmosférica a 950 metros de altitud	P_{atm}	90400	N/m^2
Presión de vapor del agua a 10 °C	P_V	1176,4	N/m^2
Corriente tomada	I	11,8	A
Tensión tomada	V	447,17	V
Factor de potencia	FP	0,88	%
Rendimiento del motor	η_M	0,879	%

Fuente: autor del proyecto

Para determinar las pérdidas en la tubería utilizaremos la ecuación de Hazen-Williams.

$$h_f = 10,67 * \left[\frac{Q(m^3)}{C} \right]^{1,852} * \frac{L(m)}{D(m)^{4,87}}$$

$$h_f = 10,67 * \left[\frac{0,00396}{140} \right]^{1,852} * \frac{200}{0,0473^{4,87}} = 22,85 \text{ m}$$

Para determinar las pérdidas en las singularidades se utiliza la ecuación fundamental de las pérdidas secundarias

$$h_f = m' * K * Q^2$$

Siendo:

$m' = 13222$ para tuberías de 2"

$K = 2,5$ para válvulas anti retorno.

$$h_f = 13222 * 2,5 * 0,00396^2 = 0,52 \text{ m}$$

Calculo de la carga dinámica total:

$$CDT = (E5 - E7) + \sum h_f$$

$$CDT = 64,76 + 22,85 + 0,52 = 88,13 \text{ m}$$

Calculo de la potencia de la bomba:

$$P_H = CDT * Q * \gamma$$

$$P_H = 88,13(m) * 0,00396(m^3/s) * 9800(N/m^3)$$

$$P_H = 3,42 \text{ kW}$$

Calculo de la potencia eléctrica:

$$P_E = \sqrt{3} * V * I * FP * \eta_M$$

$$P_E = \sqrt{3} * 447,17 * 11,8 * 0,88 * 0,879$$

$$P_E = 7,077 \text{ kW}$$

Calculo de la eficiencia de la bomba:

$$\eta_B = \frac{P_H}{P_E} = \frac{3,42 \text{ kW}}{7,077 \text{ kW}} = 0,4437$$

$$\eta_B = 44,37 \%$$

Calculo de la carga succión disponible:

$$NPSH_D = \frac{P_{atm} - P_V}{\gamma} - h_s$$

Dónde:

$h_s = 1 \text{ m}$ altura de succión en plano se puede obtener esta distancia.

$$NPSH_D = \frac{90400 - 1176,4}{9800} - 1$$

$$NPSH_D = 8,1 \text{ m}$$

En el ANEXO L se puede observar cómo se determina la carga de succión requerida $NPSH_R$ partiendo de la carga dinámica total, el valor determinado es:

$$NPSH_R = 6 \text{ m}$$

En la práctica se utiliza un margen de entre el 10% y 15% siempre que este no sea inferior a $0,5 \text{ m}$ que es el valor mínimo recomendado. Se determina que para la bomba de la estación número 7 se encuentra con un 35% por encima de la carga de succión recomendada por el fabricante, esto indica que la bomba no se encuentra en la zona de cavitación.

Los datos anteriormente descritos se resumen en la ficha técnica de la estación de bombeo número siete ANEXO E.

3.2 ANÁLISIS ESTACIÓN DE BOMBEO NÚMERO 6. (E6)

Tabla 10. Datos para el análisis de E6

NOMBRE	SÍMBOLO	VALOR	UNIDADES
Caudal	Q	0,00354	m^3/s
Distancia vertical total	E6-E5	63,68	m
Longitud de la tubería	L	105	m
Coeficiente de HAZEN-WILLIAMS	C_{PVC}	140	
Diámetro nominal	$D_{Nominal}$	2	Pulg
Diámetro interno	$D_{Interno}$	47,3	mm
Peso específico del agua	γ	9800	N/m^3
Presión atmosférica a 950 metros de altitud	P_{atm}	90400	N/m^2
Presión de vapor del agua a 10 °C	P_V	1176,4	N/m^2
Corriente tomada	I	8,2	A
Tensión tomada	V	445,6	V
Factor de potencia	FP	0,88	%
Rendimiento del motor	η_M	0,879	%

Fuente: autor del proyecto

Para determinar las pérdidas en la tubería utilizaremos la ecuación de Hazen-Williams.

$$h_f = 10,67 * \left[\frac{Q(m^3)}{C} \right]^{1,852} * \frac{L(m)}{D(m)^{4,87}}$$

$$h_f = 10,67 * \left[\frac{0,00354}{140} \right]^{1,852} * \frac{105}{0,0473^{4,87}} = 9,75 m$$

Para determinar las pérdidas en las singularidades se utiliza la ecuación fundamental de las pérdidas secundarias

$$h_f = m' * K * Q^2$$

Siendo:

$m' = 13222$ para tuberías de 2"

$K = 2,5$ para válvulas anti retorno.

$$h_f = 13222 * 2,5 * 0,00354^2 = 0,41 \text{ m}$$

Calculo de la carga dinámica total:

$$CDT = (E6 - E5) + \sum h_f$$

$$CDT = 63,68 + 9,75 + 0,41 = 73,84 \text{ m}$$

Calculo de la potencia de la bomba:

$$P_H = CDT * Q * \gamma$$

$$P_H = 73,84(m) * 0,00354(m^3/s) * 9800(N/m^3)$$

$$P_H = 2,56 \text{ kW}$$

Calculo de la potencia eléctrica:

$$P_E = \sqrt{3} * V * I * FP * \eta_M$$

$$P_E = \sqrt{3} * 445,6 * 8,2 * 0,88 * 0,879$$

$$P_E = 4,9 \text{ kW}$$

Calculo de la eficiencia de la bomba:

$$\eta_B = \frac{P_H}{P_E} = \frac{2,56 \text{ kW}}{4,9 \text{ kW}} = 0,5227$$

$$\eta_B = 52,27 \%$$

Calculo de la carga de succión disponible:

$$NPSH_D = \frac{P_{atm} - P_V}{\gamma} - h_s$$

Dónde:

$h_s = 1,5 \text{ m}$ altura de succión en plano se puede obtener esta distancia.

$$NPSH_D = \frac{90400 - 1176,4}{9800} - 1,5$$

$$NPSH_D = 7,6 \text{ m}$$

En el ANEXO L se puede observar cómo se determina la carga de succión requerida $NPSH_R$ partiendo de la carga dinámica total, el valor determinado es:

$$NPSH_R = 8,5 \text{ m}$$

En la práctica se utiliza un margen de entre el 10% y 15% siempre que este no sea inferior a 0,5 m que es el valor mínimo recomendado. Se determina que para la bomba de la estación número 6 se encuentra con un 10,5% por debajo de la carga de succión recomendada por el fabricante, esto ocasiona cavitación en la entrada de la bomba generando daños prematuros en el rodete y la estructura.

Los datos anteriormente descritos se resumen en la ficha técnica de la estación de bombeo número seis ANEXO F.

3.3 ANÁLISIS ESTACIÓN DE BOMBEO NÚMERO 5. (E5)

Tabla 11. Datos para el análisis de E5

NOMBRE	SÍMBOLO	VALOR	UNIDADES
Caudal	Q	0,00533	m^3/s
Distancia vertical total	E5-E4	69,75	m
Longitud de la tubería	L	320	m
Coeficiente de HAZEN-WILLIAMS	C_{PVC}	140	
Diámetro nominal	$D_{Nominal}$	2	Pulg
Diámetro interno	$D_{Interno}$	47,3	mm
Peso específico del agua	γ	9800	N/m^3
Corriente tomada	I	22,9	A
Tensión tomada	V	448,44	V
Factor de potencia	FP	0,88	%
Rendimiento del motor	η_M	0,879	%

Fuente: autor del proyecto

Para determinar las pérdidas en la tubería utilizaremos la ecuación de Hazen-Williams.

$$h_f = 10,67 * \left[\frac{Q(m^3)}{C} \right]^{1,852} * \frac{L(m)}{D(m)^{4,87}}$$

$$h_f = 10,67 * \left[\frac{0,00533}{140} \right]^{1,852} * \frac{320}{0,0473^{4,87}} = 63,38 \text{ m}$$

Para determinar las pérdidas en las singularidades se utiliza la ecuación fundamental de las pérdidas secundarias

$$h_f = m' * K * Q^2$$

Siendo:

$m' = 13222$ para tuberías de 2"

$K = 2,5$ para válvulas anti retorno.

$$h_f = (2) * 13222 * 2,5 * 0,00533^2 = 1,87$$

Calculo de la carga dinámica total:

$$CDT = (E5 - E4) + \sum h_f$$

$$CDT = 69,75 + 63,38 + 1,87 = 135 \text{ m}$$

Calculo de la potencia de la bomba:

$$P_H = CDT * Q * \gamma$$

$$P_H = 135(m) * 0,00533(m^3/s) * 9800(N/m^3)$$

$$P_H = 7,05 \text{ kW}$$

Calculo de la potencia eléctrica:

$$P_E = \sqrt{3} * V * I * FP * \eta_M$$

$$P_E = \sqrt{3} * 448,44 * 22,9 * 0,88 * 0,896$$

$$P_E = 14,03 \text{ kW}$$

Calculo de la eficiencia de la bomba:

$$\eta_B = \frac{P_B}{P_E} = \frac{7,05 \text{ kW}}{14,03 \text{ kW}} = 0,5026$$

$$\eta_B = 50,26 \%$$

La configuración como se encuentra instalada esta bomba es de succión positiva por lo cual no se tiene el riesgo de sufrir cavitación en la succión alargando la vida útil de la bomba.

Los datos anteriormente descritos se resumen en la ficha técnica de la estación de bombeo número siete ANEXO G.

3.4 ANÁLISIS ESTACIÓN DE BOMBEO NÚMERO 4. (E4)

Tabla 12. Datos para el análisis de E4

NOMBRE	SÍMBOLO	VALOR	UNIDADES
Caudal	Q	0,00956	m^3/s
Distancia vertical total	E4-E3	42,45	m
Longitud de la tubería	L	90	m
Coeficiente de HAZEN-WILLIAMS	C_{Acero}	130	
Diámetro nominal	$D_{Nominal}$	2	Pulg
Diámetro interno	$D_{Interno}$	49,7	mm
Peso específico del agua	γ	9800	N/m^3
Presión atmosférica a 1100 metros de altitud	P_{atm}	88760	N/m^2
Presión de vapor del agua a 10 °C	P_V	1176,4	N/m^2
Corriente tomada	I	28,1	A
Tensión tomada	V	451,34	V
Factor de potencia	FP	0,88	%
Rendimiento del motor	η_M	0,896	%

Fuente: autor del proyecto

Para determinar las pérdidas en la tubería utilizaremos la ecuación de Hazen-Williams.

$$h_f = 10,67 * \left[\frac{Q(m^3)}{C} \right]^{1,852} * \frac{L(m)}{D(m)^{4,87}}$$

$$h_f = 10,67 * \left[\frac{0,00956}{130} \right]^{1,852} * \frac{90}{0,0497^{4,87}} = 47,42 m$$

Para determinar las pérdidas en las singularidades se utiliza la ecuación fundamental de las pérdidas secundarias

$$h_f = m' * K * Q^2$$

Siendo:

$m' = 13222$ para tuberías de 2"

$K = 2,5$ para válvulas anti retorno.

$K = 0,9$ para válvulas codo a 90°.

$K = 0,19$ para llave abierta.

$$h_f = 13222 * 2,5 * 0,00956^2 = 3,02 \text{ m}$$

$$h_f = 13222 * 0,9 * 0,0136^2 = 1,08 \text{ m}$$

$$h_f = 13222 * 0,19 * 0,0136^2 = 0,23$$

Calculo de la carga dinámica total:

$$CDT = (E5 - E7) + \sum h_f$$

$$CDT = 42,45 + 47,42 + 3,02 + 1,08 + 0,23 = 94,2 \text{ m}$$

Calculo de la potencia de la bomba:

$$P_B = CDT * Q * \gamma$$

$$P_H = 94,2 \text{ (m)} * 0,00956 \text{ (m}^3/\text{s)} * 9800 \text{ (N/m}^3\text{)}$$

$$P_H = 8,82 \text{ kW}$$

Calculo de la potencia eléctrica:

$$P_E = \sqrt{3} * V * I * FP * \eta_M$$

$$P_E = \sqrt{3} * 452,34 * 28,1 * 0,88 * 0,896$$

$$P_E = 17,36 \text{ kW}$$

Calculo de la eficiencia de la bomba:

$$\eta_B = \frac{P_B}{P_E} = \frac{8,82 \text{ kW}}{17,36 \text{ kW}} = 0,5080$$

$$\eta_B = 50,8 \%$$

Calculo de la carga de succión disponible:

$$NPSH_D = \frac{P_{atm} - P_V}{\gamma} - h_s$$

52

Dónde:

$h_s = 2 \text{ m}$ altura de succión en plano se puede obtener esta distancia.

$$NPSH_D = \frac{88760 - 1176,4}{9800} - 2$$

$$NPSH_D = 6,93 \text{ m}$$

En el ANEXO L se puede observar cómo se determina la carga de succión requerida $NPSH_R$ partiendo de la carga dinámica total, el valor determinado es:

$$NPSH_R = 5,5 \text{ m}$$

En la práctica se utiliza un margen de entre el 10% y 15% siempre que este no sea inferior a $0,5 \text{ m}$ que es el valor mínimo recomendado. Se determina que para la bomba de la estación número 4 se encuentra con un 26% por encima de la carga de succión recomendada por el fabricante, esto indica que la bomba no se encuentra en la zona de cavitación.

Los datos anteriormente descritos se resumen en la ficha técnica de la estación de bombeo número cuatro ANEXO H.

3.5 ANÁLISIS ESTACIÓN DE BOMBEO NÚMERO 3. (E3)

Tabla 13. Datos para el análisis de E3

NOMBRE	SÍMBOLO	VALOR	UNIDADES
Caudal	Q	0,012	m^3/s
Distancia vertical total	E3-E2	160,73	m
Longitud de la tubería	L	630	m
Coeficiente de HAZEN-WILLIAMS	C_{Acero}	130	
Diámetro nominal	$D_{Nominal}$	4	Pulg
Diámetro interno	$D_{Interno}$	99,8	mm
Peso específico del agua	γ	9800	N/m^3
Corriente tomada	I	51,4	A
Tensión tomada	V	437	V
Factor de potencia	FP	0,88	%
Rendimiento del motor	η_M	0,922	%

Fuente: autor del proyecto

Para determinar las pérdidas en la tubería utilizaremos la ecuación de Hazen-Williams.

$$h_f = 10,67 * \left[\frac{Q(m^3)}{C} \right]^{1,852} * \frac{L(m)}{D(m)^{4,87}}$$

$$h_f = 10,67 * \left[\frac{0,012}{130} \right]^{1,852} * \frac{630}{0,0998^{4,87}} = 10,58 \text{ m}$$

Para determinar las pérdidas en las singularidades se utiliza la ecuación fundamental de las pérdidas secundarias

$$h_f = m' * K * Q^2$$

Siendo:

$m' = 862,38$ para tuberías de 4"

$K = 2,5$ para válvulas anti retorno.

$K = 0,9$ para codos a 90°.

$K = 0,42$ para codos a 45°.

$$h_f = (3) * 862,38 * 2,5 * 0,012^2 = 0,93 \text{ m}$$

$$h_f = (3) * 862,38 * 0,9 * 0,012^2 = 0,33 \text{ m}$$

$$h_f = (2) * 862,38 * 0,42 * 0,012^2 = 0,1 \text{ m}$$

Calculo de la carga dinámica total:

$$CDT = (E3 - E2) + \sum h_f$$

$$CDT = 160,73 + 10,58 + 0,93 + 0,33 + 0,1 = 172,67 \text{ m}$$

Calculo de la potencia de la bomba:

$$P_H = CDT * Q * \gamma$$

$$P_H = 172,67(m) * 0,012(m^3/s) * 9800(N/m^3)$$

$$P_H = 20,3 \text{ kW}$$

Calculo de la potencia eléctrica:

$$P_E = \sqrt{3} * V * I * FP * \eta_M$$

$$P_E = \sqrt{3} * 437 * 51,4 * 0,88 * 0,922$$

$$P_E = 31,56 \text{ kW}$$

Calculo de la eficiencia de la bomba:

$$\eta_B = \frac{P_B}{P_E} = \frac{20,3 \text{ kW}}{31,56 \text{ kW}} = 0,6432$$

$$\eta_B = 64,32 \%$$

La configuración como se encuentra instalada esta bomba es de succión positiva por lo cual no se tiene el riesgo de sufrir cavitación en la succión alargando la vida útil de la bomba.

Los datos anteriormente descritos se resumen en la ficha técnica de la estación de bombeo número tres ANEXO I.

3.6 ANÁLISIS ESTACIÓN DE BOMBEO NÚMERO 1 Y 2. (E1 y E2).

Para el análisis de estas dos estaciones de bombeo hay que partir del que estas dos estaciones tienen un funcionamiento de acople en serie, y por lo tanto se desarrollan cumpliendo las siguientes leyes:

Figura 18. Arreglo de bombas en serie



Fuente: Autor del proyecto

Balance de la materia.

$$Q_A = Q_B$$

Balance de la energía.

$$H_{TOTAL} = H_{B1} + H_{B2}$$

Entendiendo estas dos leyes analizaremos las estaciones de bombeo uno y dos de la siguiente manera:

Para determinar las pérdidas en la tubería utilizaremos la ecuación de Hazen-Williams.

$$h_f = 10,67 * \left[\frac{Q(m^3)}{C} \right]^{1,852} * \frac{L_T(m)}{D(m)^{4,87}}$$

$$h_f = 10,67 * \left[\frac{0,00283}{130} \right]^{1,852} * \frac{350 + 250}{0,0497^{4,87}} = 33,17 m$$

Tabla 14. Datos para el análisis de E1 y E2

NOMBRE	SÍMBOLO	VALOR	UNIDADES
Caudal	Q	0,00283	m^3/S
Distancia vertical total	E2-E1	57,62	m
Distancia vertical total	E1-BC	48,52	m
Longitud de la tubería	L_T	600	m
Coefficiente de HAZEN-WILLIAMS	C_{Acero}	130	
Diámetro nominal	$D_{Nominal}$	2	Pulg
Diámetro interno	$D_{Interno}$	49,7	mm
Peso específico del agua	γ	9800	N/m^3
Motor 1.			
Corriente tomada	I	20,08	A
Tensión tomada	V	456	V
Factor de potencia	FP	0,88	%
Rendimiento del motor	η_M	0,895	%
Motor 2.			
Corriente tomada	I	24,7	A
Tensión tomada	V	457,27	V
Factor de potencia	FP	0,88	%
Rendimiento del motor	η_M	0,895	%

Fuente: autor del proyecto

Para determinar las pérdidas en las singularidades se utiliza la ecuación fundamental de las pérdidas secundarias

$$h_f = m' * K * Q^2$$

Siendo:

$m' = 13222$ para tuberías de 2"

$K = 2,5$ para válvulas anti retorno.

$K = 0,9$ para codo a 90°.

$K = 0,19$ para llave abierta.

$$h_f = (2) * 13222 * 2,5 * 0,00283^2 = 0,53m$$

$$h_f = (3) * 13222 * 0,9 * 0,00283^2 = 0,27 m$$

$$h_f = 13222 * 0,19 * 0,00283^2 = 0,02 m$$

Calculo de la carga dinámica total:

$$CDT = (E2 - BC) + \sum h_f$$

$$CDT = 106,14 + 33,27 + 0,53 + 0,27 + 0,02 = 140,23 m$$

Calculo de la potencia de la bomba:

$$P_H = CDT * Q * \gamma$$

$$P_H = 140,23(m) * 0,00283(m^3/s) * 9800(N/m^3)$$

$$P_H = 3,89 kW$$

Calculo de la potencia eléctrica de cada uno de los motores:

$$P_E = \sqrt{3} * V * I * FP * \eta_M$$

$$P_{E1} = \sqrt{3} * 456 * 20,08 * 0,88 * 0,895$$

$$P_{E1} = 12,94 kW$$

$$P_{E2} = \sqrt{3} * 457,27 * 24,7 * 0,88 * 0,895$$

$$P_{E2} = 15,41 kW$$

La potencia eléctrica total suministrada es

$$P_{E_{TOTAL}} = P_{E1} + P_{E2} = 28,35 \text{ kW}$$

Calculo de la eficiencia de la bomba:

$$\eta_B = \frac{P_B}{P_{E_T}} = \frac{3,89 \text{ kW}}{28,35 \text{ kW}} = 0,1372$$

$$\eta_B = 13,72 \%$$

La configuración como se encuentra instalada esta bomba es de succión positiva por lo cual no se tiene el riesgo de sufrir cavitación en la succión alargando la vida útil de la bomba.

Los datos anteriormente descritos se resumen en la ficha técnica de la estación de bombeo número uno y dos en el ANEXO J.

4. ANÁLISIS DE EFICIENCIA

Para analizar la eficiencia global del sistema se utiliza un análisis económico para así determinar los puntos más críticos del sistema con este fin se utiliza la información del ANEXO K donde se presenta la factura de la energía donde se puede observar el valor del kWh para el año 2016 de 303,61 pesos; también se utiliza que el sistema evacua en promedio $4,2 m^3/h$ de agua, este se determinó en el capítulo 5.1.3.

Como es un sistema serie hasta la estación de bombeo número cinco se supone que cada estación realiza el trabajo necesario para evacuar la misma cantidad de fluido, para las estaciones de bombeo seis y siete se supone que cada una evacua el 50% del fluido ya que se encuentran a la misma profundidad y por lo tanto se genera allí la misma cantidad de agua.

$$v_H = \text{Volumen desplazado por Hora} = 4,2 m^3 \text{ por } h$$

$$v_D = \text{Volumen desplazado por día.}$$

$$v_D = 4,2 \frac{m^3}{h} * \frac{24 h}{1 \text{ Día}} = 100,8 m^3 \text{ por día}$$

$$t_{OPE} = Q[m^3/s] * v_D[m^3] * \frac{1 h}{3600 s} = h \text{ por día}$$

En la siguiente tabla se presenta el tiempo de operación de cada uno de los sistemas en horas.

Tabla 15. Tiempo de operación de cada estación al día

Estación de Bombeo	Caudal de Operación $Q [m^3/s]$	Volumen Desplazado por Día. $v_D [m^3]$	Tiempo de Operación por Día $t_{OPE} [h]$
E1	0,00283	100,08	9,83
E2	0,00283	100,08	9,83
E3	0,012	100,08	2,32
E4	0,00956	100,08	2,91
E5	0,00533	100,08	5,22
E6	0,00354	50,4	3,96
E7	0,00396	50,4	3,54

Fuente: autor del proyecto

La potencia entregada a diario y las pérdidas de cada una de las estaciones se resume en la tabla 16.

Tabla 16. Potencia entregada y Pérdidas del sistema

Estación de Bombeo	Tiempo de Operación por Día t_{OPE} [h]	Potencia Entregada por el motor kW	Potencia Entregada por Día kWh	Rendimiento de la Bomba %	Pérdidas Mecánicas kW	Pérdidas Mecánicas por Día kWh
E1	9,83	12,94	127,21	13,72	11,17	109,81
E2	9,83	15,42	151,58	13,72	13,31	130,84
E3	2,32	31,56	73,22	64,32	11,27	26,15
E4	2,91	17,36	50,52	50,08	8,67	25,23
E5	5,22	14,03	73,24	50,26	6,98	36,44
E6	3,96	4,9	19,41	52,27	2,34	9,27
E7	3,54	7,07	25,03	44,37	3,94	13,95
TOTAL		103,28	520,21		57,68	351,69

Fuente: autor del proyecto

De la tabla obtenemos las siguientes conclusiones:

- Costo total de la operación del sistema de bombeo en un mes.

$$\begin{aligned} \text{Costo Total} &= 520,21[kWh] * 30 \text{ Dias} * 303,61 \$ /kWh \\ \text{Costo Total} &= \$ 4'738.250 \end{aligned}$$

- Costo de las pérdidas en el sistema de bombeo en un mes.

$$\begin{aligned} \text{Costo Pérdidas} &= 351,69[kWh] * 30 \text{ Dias} * 303,61 \$ /kWh \\ \text{Costo Pérdidas} &= \$ 3'203.300 \end{aligned}$$

- A partir de los dos ítems anteriores podemos estimar eficiencia total del sistema de bombeo desde un nivel técnico económico:

$$\text{eficiencia del sistema} = 32,4 \%$$

5. PROPUESTA PARA EL MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA

En lo visto en capítulo anterior el sistema se encuentra en un nivel muy bajo de eficiencia, en este capítulo se presenta una propuesta con el fin de disminuir el costo de las pérdidas del sistema, entendiendo que esto se transfiere a la inversión de equipos de bombeo para el túnel San Joaquín.

El punto crítico en el cual se ve reflejado los índices más bajos de eficiencia en el sistema es en las estaciones de bombeo 1 y 2, que son las encargadas de la evacuación del fluido desde el tanque tambor del veinte hasta la superficie, con una eficiencia del 13,72%, debido a esto la propuesta de mejoramiento está enfocada en la utilización de otro tipos de equipos en esta sección del sistema con características que nos permitan tener un aumento considerable en la eficiencia.

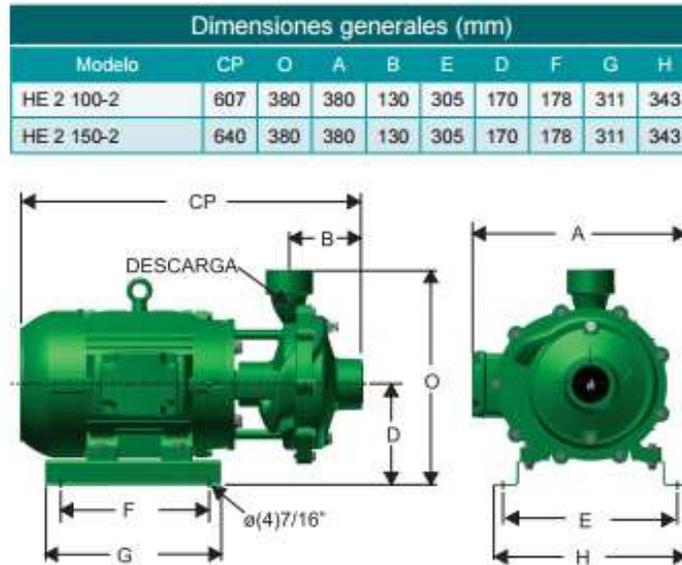
Se tiene determinado que la carga dinámica total que existe entre el tanque tambor del veinte y boca mina en superficie es de 140,23 metros, a partir de esto se propone la instalación de una sola estación de bombeo ubicada donde se encuentra la estación de bombeo número 2, con características diferentes y suprimiendo la estación de bombeo número 1 ubicada en la abscisa 250, utilizando los ductos y accesorios instalados en la actualidad.

Se propone la instalación de una bomba de tipo multietapas o de alta presión en el tanque tambor del veinte, para este fin compararemos dos de los productos disponibles en el mercado de dos de las marcas más reconocidas a nivel nacional en la fabricación y distribución de productos hidráulicos, como lo son IHM y BARNES.

5.1 BOMBA DE ALTA PRESIÓN BARNES

En el portafolio de esta reconocida compañía encontramos un producto que cumple con las necesidades requeridas para nuestro sistema, se identifica como bomba de alta presión HE 2 150-2, a continuación se exponen sus características que cumplen con los requerimientos del sistema, las ventajas y desventajas de este equipo:

Figura 19. Dimensiones bomba alta presión HE 2 150-2



Fuente: www.barnes.com.co [9]

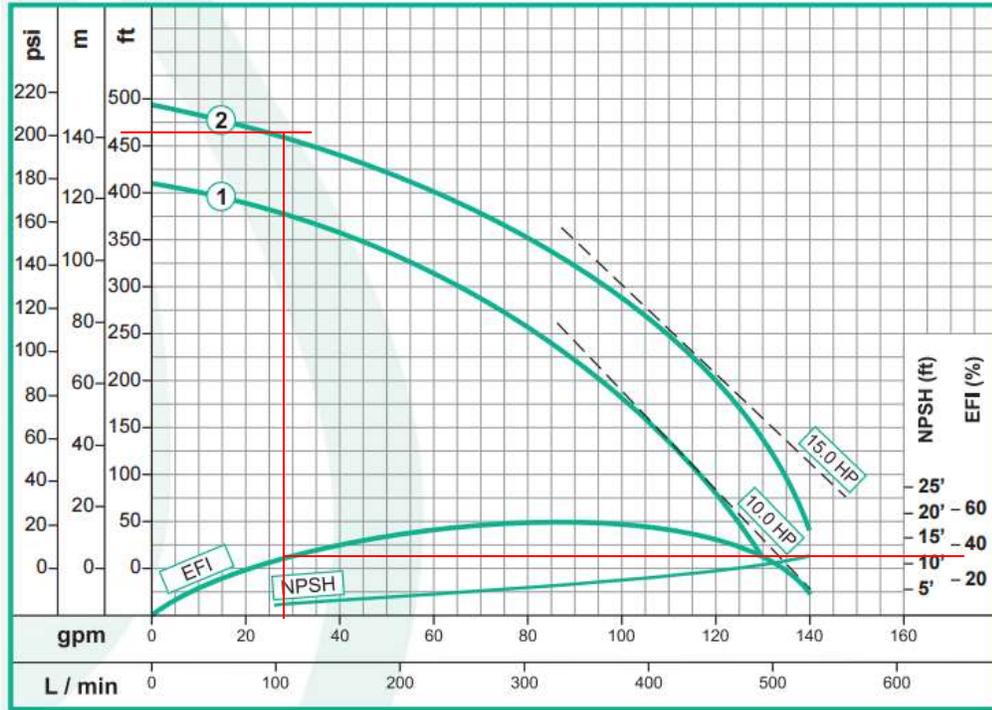
Figura 20. Características HE 2 150-2

Características de la bomba							
Tipo de bomba	Acoplamiento		Tipo de impulsor				
Centrífuga	Monobloque		Cerrado, balanceado dinámicamente (ISO G6.3)				
Etapas	Cierre del eje		Temperatura máx. líquido				
2	Sello mecánico 1 1/4" Tipo 21		70°C (158°F) Continua				
Modelo	Ref.	Ø Succión	Ø Descarga	Ø Impulsor	Peso (kg)	H máx. (mca) *	Q máx. (gpm) **
1 HE 2 100-2	1E0546	2" NPT	2" NPT	7,350"	93,0	124	130
2 HE 2 150-2	1E0547	2" NPT	2" NPT	7,800"	98,0	150	140

Características del motor			
Alimentación		Velocidad (rpm)	
Eléctrica		3.600 (nominal)	
Cerramiento		Frecuencia (Hz)	
TEFC		60	
Potencia (hp)	Fases	Voltaje (V)	Frame
10,0	3	220/440	NEMA 213JML
15,0	3	220/440	NEMA 215JML

Fuente: www.barnes.com.co [9]

Figura 21. Curva de rendimiento HE 2 150-2



Fuente: www.barnes.com.co [9]

Tabla 17. Comparación de la bomba HE 2 150-2 con el sistema instalado

EQUIPO	Potencia suministrada por día <i>kWh</i>	Eficiencia %	Pérdidas <i>kWh</i>	Caudal Q <i>Gpm</i>
Equipos Instalados	278,79	13,72	240,64	45
Bomba HE 2 150-2	109,995	35	71,47	34

Fuente: autor del proyecto

Ventajas

- Es considerable el aumento en la eficiencia y la disminución en el consumo, que se ve reflejado en la una reducción de las pérdidas en un 70.41%.
- El diámetro de descarga es compatible con los ductos instalados.
- Es un equipo de una marca reconocida que ofrece soporte técnico y asesoría.

- Las dimensiones del equipo permiten su fácil su instalación en el tanque tambor del veinte.
- La tensión de alimentación es la misma que tiene los equipos instalados.
- El caudal es mucho más alto lo que implicaría que el equipo estará un menor tiempo en operación.

Desventajas

- Al ser un equipo de alta presión existe la posibilidad que los acoples entre los ductos experimenten un desgaste mayor.
- En la compañía no se cuenta con equipos de la marca Barnes.
- Su mantenimiento es de un nivel más técnico y crítico.

5.2 BOMBA MULTIETAPAS IHM

La segunda propuesta en una bomba multietapas horizontal de la marca IHM de la serie D y se encuentra en el portafolio con la referencia D12-25X4, es un equipo de una marca reconocida con la cual se cuenta buena experiencia dentro de la compañía, en el Anexo N se presentas las curvas características del equipo a las necesidades del sistema.

Figura 22. Multietapas D Eje libre



Fuente: www.igihm.com.co [10]

Tabla 18. Comparación de la D12-25X4 con el sistema instalado

EQUIPO	Potencia suministrada por día <i>kWh</i>	Eficiencia %	Perdidas <i>kWh</i>	Caudal Q <i>Gpm</i>
Equipos Instalados	278,79	13,72	240,64	45
Bomba D12-25X4	220	54	102,2	71,33

Fuente: autor del proyecto

Ventajas

- Es un equipo con el cual el personal mecánico y eléctrico están familiarizados.
- Se tiene experiencia en el mantenimiento de este tipo de equipos dentro de la compañía.
- Se encuentra en el portafolio de una reconocida compañía la cual tiene sede principal en la ciudad de Medellín lo que facilitaría los trámites de compra.
- Ya que es un equipo de eje libre es posible acoplar un motor de 30HP con los que cuenta la compañía cumpliendo con las características exigidas por la norma para áreas clasificadas [11] [12].
- Claramente es un equipo con mayor eficiencia reduciendo las pérdidas en un 58% en comparación con los equipos instalados en la actualidad.
- La tensión de alimentación es la misma que tiene los equipos instalados.
- El caudal es mucho más alto lo que implicaría que el equipo estará un menor tiempo en operación.

Desventajas

- El diámetro del ducto de descarga es media pulgada más pequeño que el de los ductos instalados, lo cual se verá reflejado en la reducción del caudal.

6.CONCLUSIONES

- Como se puede evidenciar el punto más crítico del sistema es el bajo nivel de eficiencia que se tienen las estaciones 1 y 2, en solo este trayecto del sistema se tiene una perdida mensual aproximada de un millón de pesos; por lo tanto es necesario hacer el análisis de costo-beneficio de la instalación de otro tipo de equipo para este trayecto; la sobre carga con la que operan los equipos de estas dos estaciones repercute en los daños continuos de sellos mecánicos y daños en las turbinas que se están presentando.
- Con lo expuesto en el capítulo 5 en el cual se tiene dos opciones para cambiar los equipos de las estaciones uno y dos, el equipo que se recomienda es la bomba multietapas por las ventajas ya expuestas, los valores comerciales de cada uno de estos equipos están sujetos a las variaciones del mercado por lo cual no están incluidos.
- Por lo expuesto en la sección 3.2, el $NPSH_D$ se encuentra un 10,5% por debajo del $HPSH_R$ recomendada por el fabricante, para la estación de bombeo 6 se prevé la aparición del fenómeno de cavitación en la succión con todas las repercusiones que esta conlleva para la eficiencia y vida útil del equipo.
- La bomba multietapas que se encuentra instalada en la estación de bombeo número 3, está operando con un motor de 50 HP como se muestra en anexo D y por lo expuesto en la sección 3.5 está requiriendo aproximadamente 30 HP del sistema eléctrico, por lo que se concluye que el traslado de esta estación de bombeo planteado por el superintendente de minería de la compañía debido a las constantes fugas en el depósito 2, es de una manera técnica y más eficiente realizarlo metros abajo de la bajada 9000.
- Con lo expuesto en el proyecto sabemos que las estaciones de bombeo ubicadas en la bajada 9000 están en un nivel de eficiencia razonable y no se evidencia esfuerzos excesivos en sus componentes, por lo cual se atribuyen los constantes daños en los sellos mecánicos y en las bridas de acople, a las condiciones de operación como la mala alineación, un cebado no adecuado, cavitación y la omisión de filtros en la succión.
- En general el sistema de bombeo de la compañía cuenta con una eficiencia de 32,4%, este valor deriva principalmente en las altas pérdidas que se presenta en las estación 1 y 2, el estado de los equipos e instalaciones y la pérdida deliberada en fluido en los algunos depósitos que aumentan el número de

arranques de los equipos, generado más corrientes de arranque y un desgaste mayor en los impulsores.

- Referente al aporte generado por el proyecto, se determinó el volumen de aguas industriales que evacua la mina de Carbones San Fernando S.A.S. En promedio $4,2 m^3/h$ de agua se vierte al afluente del municipio; este parámetro no se tenía dentro de la compañía y es de utilidad para los departamentos de seguridad y la dependencia de medio ambiente.

7.RECOMENDACIONES

- Realizar el estudio técnico y el análisis costo-beneficio de la instalación de una bomba multietapas en la estación de bombeo 2, suprimiendo la estación 1; con el fin aumentar la eficiencia del sistema en este tramo del túnel San Joaquín.
- La capacitación del personal operativo de mantenimiento en la correcta nivelación e instalación de los equipos de bombeo.
- Realizar una codificación a los impulsores para llevar un seguimiento y un historial de mantenimiento, con el fin de conocer datos que permitan determinar su vida útil y un programa de cambio, para cuando las fallas continuas restrinjan la buena operación del sistema.
- La instalación de filtros o mallas en los ductos de succión permitirán alargar la vida útil de los equipos.
- Realizar la capacitación a operarios para no trabajar equipos en vacío, que ocasionan la disminución de la vida de los componentes de los equipos.
- La elaboración de plataformas de concreto en el terreno que permitan una mejor nivelación de los equipos.

BIBLIOGRAFÍA

[1] COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Unidad de planeación minero energética. (2012). Cadena del carbón. pág.43.

[2] Empresa Carbones San Fernando S.A. Departamento de Talento Humano, Auxiliar. Diana Paola Villa Jaramillo. (09-11-2015).

[3].ESPAÑA. MINISTERIO DE INDUSTRIA, ENERGÍA Y TURISMO. Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE). Madrid. Junio 2012. Guía técnica. Selección de equipos de transporte de fluidos.

[4]. J.M. ACEBEDO NIETO Y G. ACOSTA ÁLVAREZ. Manual de hidráulica, sexta ed. Ciudad de México. Harla. 1976.

[5]. JAVIER NIEVES HERMÁNEZ, Selección de equipo de bombeo para un sistema de suministro de agua. Ciudad de México, 2009.Trabajo de grado (Ingeniero mecánico). Instituto politécnico nacional. Escuela superior de ingeniería mecánica y eléctrica.

[6]. Miliarium.com, Ingeniería civil y medio ambiente. [Madrid (España) 2011]. [05-05-2016].

<<http://www.miliarium.com/Prontuario/MedioAmbiente/Aguas/PerdidaCarga.asp#Veronnesse-Datei>>

[7].MÉXICO. COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA. Subdirección general de agua potable, drenaje y saneamiento. Gerencia de estudios y proyectos de agua potable y redes de alcantarillado. Coordinación de electromecánica. (2009). Documento técnico. Eficiencia en sistemas de bombeo. Segunda edición.

[8] COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Decreto No 1886 (21-09-2015) Reglamento de Seguridad en las Labores Mineras Subterráneas.

[9] BARNES DE COLOMBIA SA, en línea disponible en: <http://barnes.com.co/>

[10] Ignacio Gomes IHM SAS, en línea disponible en: <http://www.igihm.com/>

[11] COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Resolución No 90708 (30-10-2013). Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas – RETIE. Bogotá D.C. Artículo 30. Instalaciones Eléctricas en Minas Subterráneas.

[12] COLOMBIA. MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO. INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Código Eléctrico Colombiano. NTC-2050. Bogotá D.C.: ICONTEC, 1998. CAPÍTULO 5. AMBIENTES ESPECIALES.

[13] COLOMBIA. DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA–DANE. INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI. Subdirección de Geografía y Cartografía. División de Geodesia. Bogotá DC, Octubre de 2004. Aspectos Prácticos de la Adopción del Marco Geocéntrico Nacional de Referencia MAGNA-SIRGAS.

ANEXOS

ANEXO A. Desarrollo de las operaciones manto 1



ANEXO B. Proyección de las operaciones en manto 1



ANEXO D. Datos Bombas del sistema

ESTACION DE BOMBEO	REFERENCIA EN LA COMPAÑIA	CARCA	MODELO	LINEA	REFERENCIA	conexión de succion	conexión de descarga	Altura (CDT) max (m)	Caudal max GPM
E1	ABSCISA 250	IHM	20HH-15W	HY-FLO	64002000A2	2"	2"	140	120
E2	SUBESTACIÓN DEL 20	IHM	20HH-15W	HY-FLO	64002000A2	2"	2"	140	120
E3	BOMBA DE 50	IHM	D25-30X6	MULTIETAPAS	MULTITAPAS D	4"	4"	450	1050
E4	147	IHM	5X25 SM	EUROLINEA	63075000A2	2"	2"	115	260
E5	127	IHM	5X25 SM	EUROLINEA	63075000A2	2"	2"	115	260
E6	139	IHM	5X25 SM	EUROLINEA	63075000A2	2"	2"	115	260
E7	TAJO 5NW	IHM	5X25 SM	EUROLINEA	63075000A2	2"	2"	115	260

ANEXO C. Datos motores del sistema

ESTACIÓN DE BOMBEO	MARCA	NÚMERO DE FASES	FRAME	REFERENCIA	POTENCIA kW (HP)	RPM	FP	SF	EFF 100%	EFF 75%	TENSIÓN (V)	CORRIENTE (A)
E1	WEG	3	160M	21NOV07 CF17910	18.5(25)	3525	0.88	1.15	89.5	89.5	220/380/440	61,6/35,7/30,9
E2	WEG	3	160M	24JUN08 1001878323	18.5(25)	3526	0.88	1.15	89.5	89.5	220/380/440	61,6/35,7/30,9
E3	WEG	3	326TS	13MA11 011884562	37(50)	3555	0.88	1.15	92.2	92.2	208-230/400	NO ES LEGIBLE
E4	WEG	3	180M	21JUN03 1003962117	22(30)	3540	0.88	1	89.6	89.6	220/380/440	73,2/42,4/36,6
E5	WEG	3	286TS	27JUN12 1016725892	22(30)	3540	0.88	1.5	89.6	88.5	208-230/460	77,4-70,6/35,6
E6	WEG	3	132M	100TU11 101397925	7.5(10)	3630	0.88	1	87.9	87.9	220/440	12,7/
E7	WEG	3	215T	22JUN10 1008240575	7.5(10)	3550	0.88	1.15	87.9	87.3	208-230/460	26.9-24.3/12.1

ANEXO E. Ficha técnica estación de bombeo 7

		
ESTACIÓN DE BOMBEO NÚMERO 7		
Planta:	Túnel San Joaquín.	Hoja: 1 de 1
Localización:	Vereda Paso Nivel - Amagá - Antioquia.	
Hecha por:	Henry Ezequiel Corredor C.	Fecha: 15 de Abril de 2016
Aprobado por:	Juan Pablo Monsalve R.	
Referencia Interna:	Bomba Nivel Repartidora Tajo 5NW	
IMPULSOR		
Marca:	IHM	Modelo: 5X25 SM
Línea:	EUROLINEA	Referencia: 63075000A2
Costo:	2'100.350 + IVA	Curva: ANEXO L
Comportamiento		
Símbolo	Condiciones de Operación	Unidades
Líquido:	Agua de Manto Freático	
T_{bombeo} :	10	°C
Q :	0,00396	m^3/s
CDT :	88,13	$m c. a.$
P_H :	3,42	kW
η :	44,37	%
$NPSH_D$:	8,1	m
P_{atm} :	90400	N/m^2
P_V :	1176,4	N/m^2
N :	3500	rpm
MOTOR		
Marca:	WEG	Freme: 215T
Referencia:	22JUN10 1008240575	Potencia Kw(HP): 7,5(10)
FP:	0,88	η : 87,9 %
Tensión:	208-230/460	Corriente: 26,9-24,3/12,1
Comportamiento		
Tensión:	447,17	V
Corriente:	11,8	A
P_E :	7,07	kW

ANEXO F. Ficha técnica estación de bombeo 6

		
ESTACIÓN DE BOMBEO NÚMERO 6		
Planta:	Túnel San Joaquín.	Hoja: 1 de 1
Localización:	Vereda Paso Nivel - Amagá - Antioquia.	
Hecha por:	Henry Ezequiel Corredor C.	Fecha: 15 de Abril de 2016
Aprobado por:	Juan Pablo Monsalve R.	
Referencia Interna:	Bomba Clavada de la 9000 (139)	
IMPULSOR		
Marca:	IHM	Modelo: 5X25 SM
Línea:	EUROLÍNEA	Referencia: 63075000A2
Costo:	2'100.350 + IVA	Curva: ANEXO L
Comportamiento		
Símbolo	Condiciones de Operación	Unidades
Líquido:	Agua de Manto Freático	
T_{bombeo} :	10	°C
Q :	0,00354	m^3/s
CDT :	73,84	$m c. a.$
P_H :	2,56	kW
η :	52,27	%
$NPSH_D$:	7,6	m
P_{atm} :	90400	N/m^2
P_V :	1176,4	N/m^2
N :	3500	rpm
MOTOR		
Marca:	WEG	Freme: 132M
Referencia:	100TU11 101397925	Potencia Kw(HP): 7,5(10)
FP:	0,88	η : 87,9 %
Tensión:	220/440	Corriente: 12,7/
Comportamiento		
Tensión:	445,6	V
Corriente:	8,2	A
P_E :	4,9	kW

ANEXO G. Ficha técnica estación de bombeo 5

		ESTACIÓN DE BOMBEO NÚMERO 5	
		Planta: Túnel San Joaquín.	Hoja: 1 de 1
Localización: Vereda Paso Nivel - Amagá - Antioquia.	Hecha por: Henry Ezequiel Corredor C.		
Aprobado por: Juan Pablo Monsalve R.	Fecha: 15 de Abril de 2016		
Referencia Interna: Bomba Tanque de la Clavada 9000 (127)			
IMPULSOR			
Marca: IHM	Modelo: 5X25 SM		
Línea: EUROLINEA	Referencia: 63075000A2		
Costo: 2'100.350 + IVA	Curva: ANEXO L		
Comportamiento			
Símbolo	Condiciones de Operación	Unidades	
Líquido:	Agua de Manto Freático		
T_{bombeo} :	10	°C	
Q :	0,00533	m^3/s	
CDT :	135	$m c. a.$	
P_H :	7,05	kW	
η :	52,27	%	
$NPSH$:	Succión Positiva		
P_{atm} :	89900	N/m^2	
P_V :	1176,4	N/m^2	
N :	3500	rpm	
MOTOR			
Marca: WEG	Freme: 286TS		
Referencia: 27JUN12 1016725892	Potencia Kw(HP): 22(30)		
FP: 0,88	η : 89,6 %		
Tensión: 208-230/460	Corriente: 77,4-70,6/35,6		
Comportamiento			
Tensión:	448,44	V	
Corriente:	22,9	A	
P_E :	14,03	kW	

ANEXO H. Ficha técnica estación de bombeo 4

		
ESTACIÓN DE BOMBEO NÚMERO 4		
Planta:	Túnel San Joaquín.	Hoja: 1 de 1
Localización:	Vereda Paso Nivel - Amagá - Antioquia.	
Hecha por:	Henry Ezequiel Corredor C.	Fecha: 15 de Abril de 2016
Aprobado por:	Juan Pablo Monsalve R.	
Referencia Interna:	Bomba Bajada de la 9000 (147)	
IMPULSOR		
Marca:	IHM	Modelo: 5X25 SM
Línea:	EUROLINEA	Referencia: 63075000A2
Costo:	2'100.350 + IVA	Curva: ANEXO L
Comportamiento		
Símbolo	Condiciones de Operación	Unidades
Líquido:	Agua de Manto Freático	
T_{bombeo} :	10	°C
Q :	0,00956	m^3/s
CDT :	94,2	$m c. a.$
P_H :	8,82	kW
η :	50,8	%
$NPSH_D$:	6,93	m
P_{atm} :	88760	N/m^2
P_V :	1176,4	N/m^2
N :	3500	rpm
MOTOR		
Marca:	WEG	Freme: 180M
Referencia:	21JUN03 1003962117	Potencia Kw(HP): 22(30)
FP:	0,88	η : 89,6 %
Tensión:	220/380/440	Corriente: 73,2/42,4/36,6
Comportamiento		
Tensión:	452,34	V
Corriente:	28,1	A
P_E :	17,36	kW

ANEXO I. Ficha técnica estación de bombeo 3

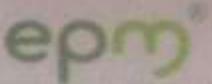
 <h2 style="text-align: center; margin: 0;">ESTACIÓN DE BOMBEO NÚMERO 3</h2>		
Planta:	Túnel San Joaquín.	Hoja: 1 de 1
Localización:	Vereda Paso Nivel - Amagá - Antioquia.	
Hecha por:	Henry Ezequiel Corredor C.	Fecha: 15 de Abril de 2016
Aprobado por:	Juan Pablo Monsalve R.	
Referencia Interna:	Bomba de 50 HP	
IMPULSOR		
Marca:	IHM	Modelo: D25 - 30X6
Línea:	MULTIETAPAS	Referencia: MULTITAPAS D
Costo:	+ IVA	Curva: ANEXO
Comportamiento		
Símbolo	Condiciones de Operación	Unidades
Líquido:	Agua de Manto Freático	
T_{bombeo} :	10	$^{\circ}C$
Q :	0,012	m^3/s
CDT :	172,67	$m c. a.$
P_H :	20,3	kW
η :	64,32	%
$NPSH$:	Succión Positiva	
P_{atm} :	87200	N/m^2
P_V :	1176,4	N/m^2
N :	3500	rpm
MOTOR		
Marca:	WEG	Freme: 326TS
Referencia:	13MA11 011884562	Potencia Kw(HP): 37(50)
FP:	0,88	η : 92,2 %
Tensión:	208-230/400	Corriente:
Comportamiento		
Tensión:	437	V
Corriente:	51,4	A
P_E :	31,56	kW

ANEXO J. Ficha técnica estación de bombeo 1 Y 2

		<h3 style="margin: 0;">ESTACIÓN DE BOMBEO NÚMERO 1 Y 2</h3>	
Planta: Túnel San Joaquín.		Hoja: 1 de 1	
Localización: Vereda Paso Nivel - Amagá - Antioquia.			
Hecha por: Henry Ezequiel Corredor C.		Fecha: 15 de Abril de 2016	
Aprobado por: Juan Pablo Monsalve R.			
Referencia Interna: Bomba Abscisa 250 y Bomba del 20			
IMPULSOR			
Marca:	IHM	Modelo:	20HH-15W
Línea:	HY-FLO	Referencia:	64002000A2
Costo:	3'534.300 + IVA	Curva:	ANEXO M
Comportamiento			
Símbolo	Condiciones de Operación	Unidades	
Líquido:	Agua de Manto Freático		
T_{bombeo} :	10	$^{\circ}C$	
Q :	0,00283	m^3/s	
CDT :	140,23	$m c. a.$	
P_H :	3,89	kW	
η :	13,72	%	
$NPSH$:	Succión Positiva		
P_{atm} :	85660	N/m^2	
P_V :	1176,4	N/m^2	
N :	3500	rpm	
MOTOR			
Marca:	WEG	Freme:	160M
Referencia:	24JUN08 1001878323	Potencia Kw(HP):	18.5(25)
FP:	0,88	η :	89,5 %
Tensión:	220/380/440	Corriente:	61,6/35,7/30,9
Comportamiento Motor 1			
Tensión:	456	V	
Corriente:	20,08	A	
P_E :	12,94	kW	
Comportamiento Motor 2			
Tensión:	457,27	V	
Corriente:	24,7	A	
P_E :	15,41	kW	

ANEXO K. Factura de la energía eléctrica

Cuéntame



Empresas Públicas de Medellín S.A.S.

Conoce tus consumos

marzo de 2016

Información Básica: Categoría: Industrial - Estrato: Pendiente Planeación - 190030200760330000 - Antioquia - Amagá - Instalación: 190030200760330000 - Plan: Memoria Doble - N.º Antioquia Surte-1

Información consumo
Activa fuera de punta Medidor 20 17282070 84 82076-1 - Consumo del 04 feb al 03 mar

Presabido

120.643.000

Días de consumo

29

Lectura ant

1.781

Lectura ant

1.483

Diferencia Kwh

298

Constante

1.000.000

Consumo EPM

298.000

Componentes del costo		Pago período anterior \$167.237,714.00			Promedio consumo últimos 6 meses	
Costo Fuera De Punta		Valores facturados			Energía (Kwh) Costo Valor	
Generación	198.80	Energía fuera	408.000 x 204.610	83.280.000	Consumo mensual	
Transmisión	25.95	Intento mora Nz.1563 emv	2	1.224.024.44	Bar chart showing monthly consumption trends.	
Distribución	45.97	Ajuste	2	4.81		
Comercializac	48.19	Total Energía		\$ 125.095.454.00		
Pérdidas	10.14					
Restricciones	11.15					
Cu-opción	103.61					
Tar						
Costo En Punta						
Generación	198.79					
Transmisión	25.82					
Distribución	45.97					
Comercializac	48.19					
Pérdidas	9.48					
Restricciones	11.25					
Cu-opción	300.88					
Tar						

Información técnica
Operador: epm - Dto
Direccion: 50 Nro. 42 103 - Tel:
Direccion: 4444444444 - Antioquia 0113
Código: 04 - Circuito: 22324 -
Comp: 10 - Kwh - N/A
190030200760330000 - CII
123 23 - DII 24 Horas

Descarga la nueva versión de la aplicación móvil de EPM en AppStore o Google play. Tendrás a EPM en tus manos para pagar tu factura, consultar consumos, conocer el historico de pagos, reportar daños y muchas cosas más. Pruébala y conoce todo lo que tiene para facilitarte la vida.

Otras entidades diferentes a EPM

Alumbrado Público Amagá 121686983
hacienda@amaga-antioquia.gov.co

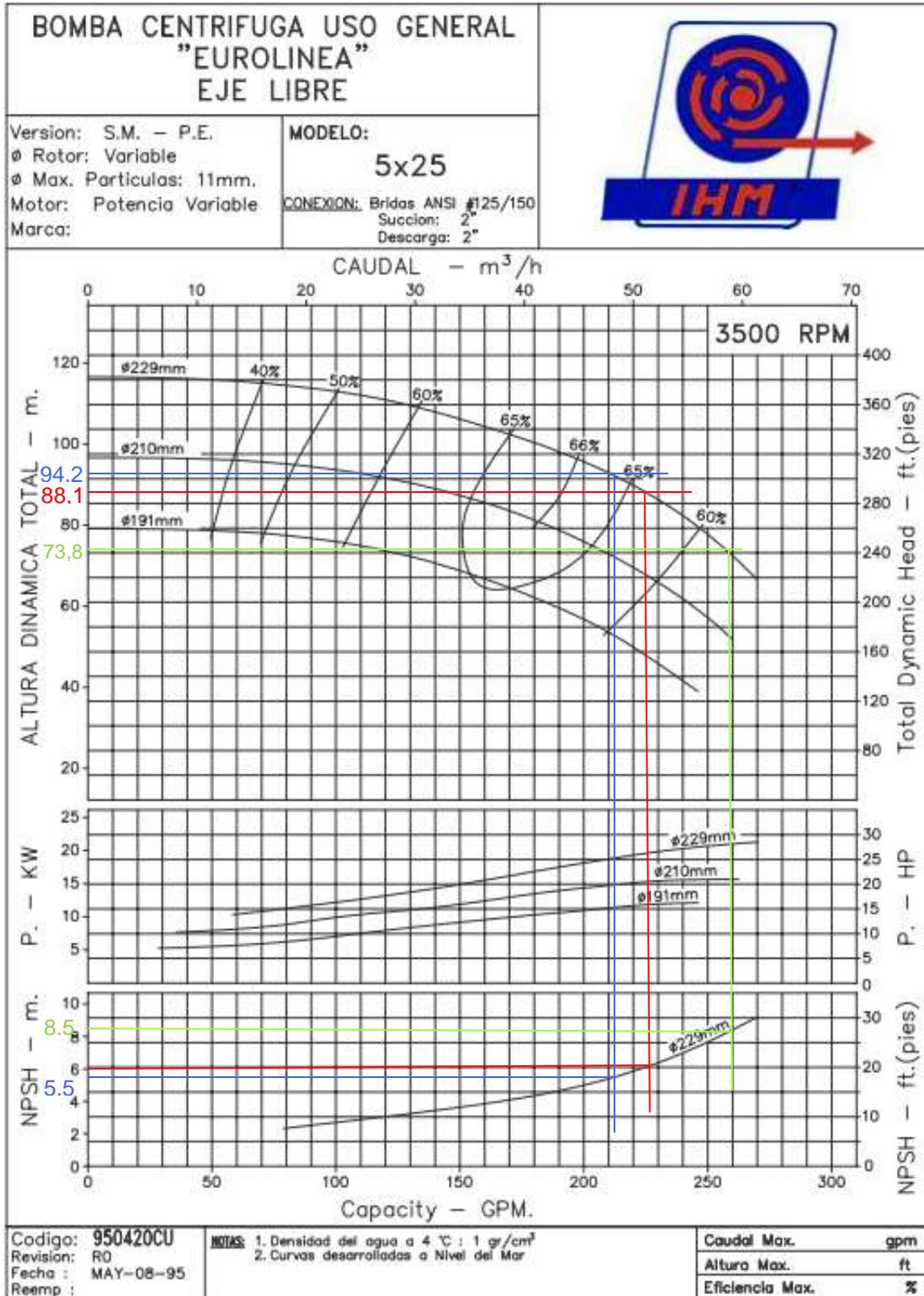
Información Básica: Usuario: Carbones San Fernando -
Categoría: Industrial - Estrato: Pendiente Planeación -
190030200760330000 - Antioquia - Amagá - Norma
Aprobación Imppto - Acuerdo Municipal N° 20-2-01-11 De Agosto
30 De 2012 - - Clausula Cond. Uniformes - Clausula 36
Paragrafo 3

Datos del prestador del servicio		Pago período anterior		Valores facturados	
Operador: municipio de amagá		\$13.913.894.00		Imp. alum publico	\$ 8.675.968.00
Nit: 9005879320				Ajuste	\$ -31
Dirección: 50 Nro. 42-103				Int. mora a.g.	\$ 100.000.31
Tel: 8474437				Total	8.775.977.00
www.amaga-antioquia.gov.co					

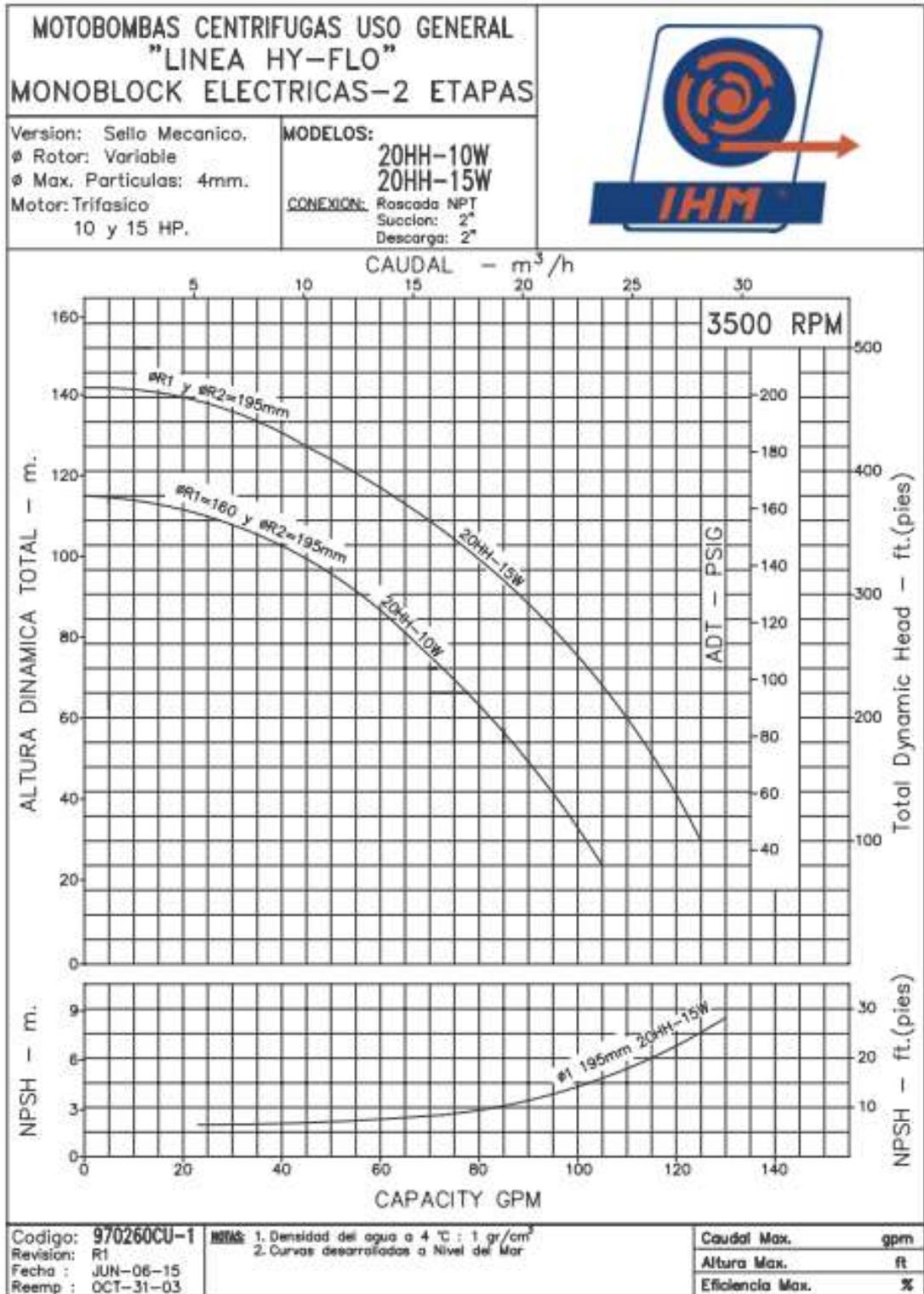
Total otras entidades diferentes a EPM \$ 8.775.977.00

190030200760330000-115-011504010

ANEXO L. Curvas características 5X25 SM



ANEXO M. Curvas características 20HH-15W



ANEXO N. Curvas características D12-25X4

