

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA



**DISEÑO DE SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA PARA
ABASTECIMIENTO A PLANTA CONCENTRADORA**

INFORME DE SUFICIENCIA

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

MARTIN RUBER PAUL REQUEJO ARLEON

PROMOCION 2007-II

LIMA-PERU

2011

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PRÓLOGO.....	1
CAPÍTULO 1.....	3
INTRODUCCIÓN.....	3
1.1 ANTECEDENTES	3
1.2 OBJETIVO.....	4
1.3 ALCANCES	5
1.4 LIMITACIONES.....	5
1.5 JUSTIFICACIÓN	5
CAPÍTULO 2.....	6
GENERALIDADES SOBRE SISTEMAS DE BOMBEO.....	6
2.1 CRITERIOS DE DISEÑO	6
2.1.1 Criterios de Diseño para la Captación de agua	6
2.1.2 Criterios de selección de la Tubería de Conducción de Agua - Pipeline.....	7
2.1.3 Criterios de selección del trazo (ruta) de la tubería	8
2.1.4 Criterios de selección de la configuración de la estación de bombeo.	10

2.2	NORMAS	11
2.3	BASES DE CÁLCULO	12
2.3.1	Dimensionamiento Hidráulico.....	12
2.3.2	Espesor de pared de la tubería	17
2.3.3	Estación de bombeo (bombas centrífugas).....	19
2.3.4	Sobrepresiones y fenómenos transitorios	22
2.3.5	Fundamento económico	24
2.4	DATOS DE PARTIDA.....	26
CAPÍTULO 3.....		28
DEMANDA DE AGUA PARA EL PROCESO DE CONCENTRADO DE		
MINERALES		28
3.1	DEMANDA DE AGUA	28
3.2	UBICACIÓN DE LA CAPTACIÓN DE AGUA.....	28
3.3	INGRESOS DE AGUA A LA PLANTA CONCENTRADORA.....	28
3.4	SALIDAS DE AGUA DE LA PLANTA CONCENTRADORA	30
3.5	CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RECUPERADA.....	31
CAPÍTULO 4.....		33
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE		
BOMBEO		33
4.1	DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES	33
4.2	ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO DE BOMBEO	36
4.3	ESPECIFICACIONES DE LA TUBERÍA DE CONDUCCIÓN	40
4.3.1	Tubería de acero	41

4.3.2	Tubería de HDPE	42
4.3.3	Accesorios de acero	42
4.3.4	Bridas.....	43
4.3.5	Pernos y espárragos	43
4.3.6	Empaquetadura.....	43
4.4	ESPECIFICACIONES DE LAS VÁLVULAS.....	43
CAPÍTULO 5.....		45
DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA PARA ABASTECER A LA PLANTA CONCENTRADORA.....		45
5.1	ANÁLISIS TÉCNICO – ECONÓMICO PARA DETERMINAR EL DIÁMETRO DE LA TUBERÍA DE CONDUCCIÓN.....	45
5.1.1	Resultado de cálculos para las tuberías	45
5.1.2	Resultado de cálculos para las bombas.....	50
5.1.3	Resultado de costos y evaluación económica	52
5.2	DIMENSIONAMIENTO DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO.....	56
5.2.1	Dimensión y Selección de bombas	56
5.2.2	Cálculo y selección de válvulas y accesorios	58
5.2.3	Línea de Impulsión	60
5.2.4	Resultados del modelamiento de sobrepresiones	62
CAPÍTULO 6.....		66
COSTOS		66
6.1	COSTOS TOTALES DE INVERSIÓN	66

CONCLUSIONES	68
RECOMENDACIONES.....	70
BIBLIOGRAFÍA	71
PLANOS	72
APENDICE	72

PRÓLOGO

El presente informe de suficiencia está basado en el diseño de un sistema de bombeo de agua recuperada de relaves para el abastecimiento a una Planta Concentradora de Cobre que procesa 40 000 toneladas de mineral por día.

Los sistemas de bombeo son ampliamente utilizados en el campo de la minería y en la industria en general para el manejo de diversos tipos de fluidos. El agua es el elemento fundamental para el proceso del mineral en una planta concentradora y es de vital importancia el transporte, las características químicas del fluido, la presión, temperatura y caudal requerido. Tanto el diseño, la construcción como el mantenimiento son etapas en donde se deberá cumplir con las normas internacionales establecidas e indicadas en el presente informe.

El trabajo presenta un procedimiento que parte desde la concepción del problema, el planteamiento, el análisis de alternativas y la correcta selección de los subsistemas que comprende un sistema de bombeo, describiéndose en seis capítulos:

En el capítulo 1 se resumen los objetivos, alcances y limitaciones del presente informe, describiremos en forma breve los aspectos generales que llevaron a desarrollar la ingeniería del bombeo de agua recuperada para abastecer a una planta concentradora de Cobre.

En el capítulo 2 se presentan las definiciones, conceptos y términos usados en sistemas de bombeo, los criterios de diseño y de selección de los componentes que comprende un sistema de bombeo de agua. Un punto muy importante dentro de este capítulo es la definición de los datos de partida, que son los valores definidos de donde parten los cálculos de todo el sistema.

En el capítulo 3 se analiza el problema principal que demanda la implementación de este sistema de bombeo, que es el agua. Se cuantifica la demanda de agua que requiere la planta según el balance del proceso, como los flujos de agua de entrada y de salida y la cantidad que se necesita reponer. Se caracteriza los parámetros del agua recuperada para determinar su calidad. De esta manera se tomarán las provisiones en cuando a calidad de materiales, sistemas auxiliares de filtración, tratamientos, etc.

En el capítulo 4 se realiza la descripción general y las especificaciones técnicas que deben cumplir los componentes del sistema de bombeo, las especificaciones técnicas de las bombas en la estación de bombeo, la tubería de conducción (pipeline), las válvulas y los accesorios de la tubería.

En el capítulo 5 se presenta el análisis técnico económico para determinar el diámetro de la tubería y la potencia de las bombas centrífugas, presentando los resultados económicos como el valor actual de costos y la tasa de descuento. Se resumen además los resultados de los cálculos de la selección óptima de los equipos principales que forman el sistema de bombeo.

En el capítulo 6 se muestra los costos de inversión (CAPEX) necesarios para ejecutar la construcción del sistema de bombeo propuesto. Cada partida de los costos de inversión está representado por la disciplina que lo involucra, ya sea mecánica, civil, eléctrica o instrumentación.

Finalmente se resumen las conclusiones principales del proyecto realizado.

Siendo el agua uno de los principales recursos de la minería en el Perú, el uso racional de la misma y por ende el consumo de energía requerido para el transporte, nos lleva a optimizar el dimensionamiento de los equipos para garantizar la disponibilidad de agua en la planta concentradora para la capacidad actual y futura de las operaciones.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

En los últimos años, debido al crecimiento demográfico, económico e industrial, la demanda de agua para el uso agrícola y de consumo humano ha venido aumentando considerablemente en zonas de la costa y sierra. Este factor, además de las exigencias de la población para el cuidado de las fuentes acuíferas naturales para el desarrollo sostenible de la agricultura y de las comunidades, ha restringido el uso de agua para las aplicaciones industriales, y en principal para la minería.

Este panorama se presenta en las fuentes de agua fresca cuyas vertientes se dirigen hacia el océano pacífico. El Perú cuenta con 3079 kilómetros de costa, donde se ubican 10 departamentos costeros. Cuenta con 53 ríos que vierten sus aguas al Océano Pacífico. El 100% del agua que se consume en las ciudades costeras proviene de los ríos o del subsuelo.

El cambio climático (calentamiento global) ha generado una disminución en el caudal de agua en los ríos que desembocan al mar, y estos ríos son las fuentes de abastecimiento de agua para las ciudades costeras, generando una preocupación de la disponibilidad del recurso hídrico para las siguientes generaciones. Esto (el cambio climático) generará que de alguna manera, el costo por la obtención de agua fresca, tratada o potable pueda incrementarse en los próximos años.

El crecimiento de la economía del país, basado principalmente en la minería, genera una utilización de los recursos naturales a mayor escala para el proceso productivo. El recurso más utilizado e importante es el agua.

La minería desarrolló sistemas de aprovechamiento y reutilización de agua del proceso de concentración de minerales, como el espesamiento de relaves, recuperan y recirculan el agua para nuevamente utilizarlo en el proceso. Esta se denomina agua recuperada de relaves. El punto donde se recupera el agua de los relaves no siempre está cerca del punto de almacenamiento y consumo de la planta concentradora. Para esta recirculación de agua recuperada, se emplean sistemas de bombeo.

Para establecer un sistema de bombeo eficiente, confiable y con alta disponibilidad, es necesario dimensionar, ubicar y especificar correctamente los equipos que comprende la estación de bombeo y línea de impulsión desde el punto de vista técnico y económico, para que el costo de inversión y los costos operativos que demanda el sistema, sea lo más rentable, además de tener un sistema confiable y con alta disponibilidad.

El estudio para el diseño de un sistema de Bombeo de agua comprende los criterios, bases de estudio, alcances, memorias de cálculo, planos, memoria descriptiva, listado de equipos, costos de inversión y conclusiones.

1.2 OBJETIVO

El presente estudio se ha elaborado a nivel de Ingeniería Básica y tiene por objetivo diseñar un sistema eficiente de bombeo y conducción de agua recuperada, definiendo la capacidad y dimensión de los equipos mediante parámetros técnicos y económicos, para abastecer a la planta concentradora con una alta disponibilidad.

1.3 ALCANCES

Los alcances de este informe permitirán definir los componentes mecánicos principales del sistema de bombeo de agua y son los siguientes:

- Configuración y Capacidad de la estación de bombeo.
- Diámetro Óptimo y material de la tubería de Impulsión.
- Costos de Inversión, de Operación y Mantenimiento del sistema de bombeo.
- Planos de Arreglo General del Sistema de Bombeo.

1.4 LIMITACIONES

Las limitaciones que se presentaron para la realización de este proyecto son:

- Dependencia de suministro de Agua de sistemas de recuperación de relaves.
- Variación en la Calidad de agua, que obliga a especificar materiales resistentes y con un mayor factor de seguridad en las bombas, válvulas y tubería.
- La oscilación del costo internacional del acero para determinar los cálculos económicos.

1.5 JUSTIFICACIÓN

La Justificación de este trabajo se basa en la necesidad del sector minero en utilizar sistemas de bombeo eficientes, de bajo costo operativo, para el transporte de agua desde fuentes lejanas a los yacimientos mineros para abastecer la demanda del proceso que requiere la Planta Concentradora para la obtención de los minerales concentrados.

CAPÍTULO 2

GENERALIDADES SOBRE SISTEMAS DE BOMBEO

2.1 CRITERIOS DE DISEÑO

2.1.1 Criterios de Diseño para la Captación de agua

La captación de agua para el proceso de la planta concentradora, para que pueda ser eficiente y estar bajo las normas regulatorias, se realizará en base a los siguientes criterios:

- El punto de captación de agua debe estar lo más cerca posible a la línea de succión de las bombas. En el caso de ser un tanque, las pérdidas no serán mayores a 3 veces la altura de velocidad de la línea de succión.
- La captación de agua deberá estar lo más cerca a la planta concentradora, con el fin de acortar longitud de tubería y ahorro de energía.
- El agua captada debe cumplir con los requerimientos de calidad mínimas para que pueda ser impulsada por las bombas centrífugas y evitar su desgaste excesivo.
- La captación no debe afectar o alterar el medio ambiente circundante (presencia de fauna y flora).
- La localización de la captación de agua debe tomar en cuenta las condiciones del lugar, es decir: zonas pobladas, temperatura, vientos, fauna, flora y materias en suspensión.

2.1.2 Criterios de selección de la Tubería de Conducción de Agua - Pipeline

Las líneas de tuberías de transporte a largas distancias recibe el nombre técnico de pipeline.

Para tener un óptimo resultado en el transporte de agua, es necesario realizar estudios técnicos y económicos para decidir el diámetro, material, presión, protección de la tubería de conducción, trazado de la ruta, considerando lo siguiente:

- Las propiedades del fluido generan un impacto importante en el diseño de la tubería. Se deberán determinar y caracterizar las propiedades físicas y químicas del fluido tales como la viscosidad, densidad, pH, porcentaje de sólidos en suspensión, tamaño de partícula, temperatura, etc.
- El medio ambiente afecta en el diseño de la tubería. Sea una instalación expuesta o enterrada. Para una instalación enterrada se deberá determinar la temperatura promedio del terreno, la conductividad, densidad, calor específico y la profundidad de instalación. En el caso de una instalación expuesta (sobre terreno), la temperatura y la velocidad del aire tendrán un impacto significativo en el diseño.
- La estabilidad del terreno donde se realizará la instalación (enterrada o expuesta) influenciará en el diseño del sistema de soporte. Las variaciones en la elevación del terreno causado por movimientos sísmicos pueden afectar el diseño de la tubería y su integridad frente a fenómenos climatológicos.
- El material de la tubería debe evitar que el agua ocasione erosión y corrosión mayor que las tolerancias de diseño en el tiempo de su funcionamiento.
- La tubería debe considerar los espesores adecuados para resistir cargas internas como externas. Las cargas internas comprende la presión de bombeo, sobrepresiones causadas por el arranque y parada de las bombas.

2.1.3 **Criterios de selección del trazo (ruta) de la tubería**

- El trazo de la tubería deberá ser lo más recto posible, manteniendo una pendiente positiva desde el punto de inicio del bombeo hasta el punto final de entrega del agua. Este criterio estará limitado por las condiciones geográficas y ambientales del lugar.
- El trazo de la tubería deberá realizarse en zonas donde se cuente con accesos para brindar facilidades de almacenamiento y control del suministro de tuberías, así como realizar los trabajos de instalación y supervisión. Se deberán identificar puntos críticos en el trazado, como cruce de carreteras o vías de bajo y alto tránsito, cruce de ríos o quebradas, cruce de vías ferroviarias, zonas de alto deslizamiento de rocas, cursos de aguas y cruce de zonas pobladas.
- El trazo de la tubería debe evitar zonas donde la expansión poblacional puede generar impactos negativos en la infraestructura de la tubería o generar efectos barrera en los accesos a las comunidades cuando la tubería está sobre terreno. Asimismo, se debe evitar que el trazo cruce áreas protegidas por el I.N.C. (Instituto Nacional de Cultura) como restos arqueológicos existentes en la zona de la instalación.
- Para realizar la selección de la ruta de la tubería, se deben realizar las siguientes actividades:
 - Estudio preliminar de alternativas de ruta, identificando dificultades que deberán remarcar áreas no deseadas, como zonas pobladas que puedan generar conflictos sociales, identificación de accesos existentes y proyectados, presencia de ríos y quebradas, recopilando la información geográfica del lugar del trazo. Como información disponible se cuenta con planos cartográficos e imágenes satelitales.
 - Desarrollo del estudio de factibilidad, donde se determinará técnica y económicamente la mejor alternativa de trazo de la tubería. En este

estudio se definirá el tamaño y características de los equipos principales. Se realiza viajes de reconocimiento en campo para verificar la aceptabilidad de la ruta.

- Estudio legal de la ruta de la tubería, que brindará los permisos para obtener la franja de servidumbre para la instalación de la tubería. Como la compañía minera tiene la concesión de los terrenos por donde pasa la tubería, este punto no es muy crítico.
- Ingeniería básica, donde se desarrollarán los estudios ambientales, geológicos, geotécnicos, levantamiento topográfico, estudios de suministro de energía, elaboración de especificaciones técnicas y hoja de datos de los equipos.
- Ingeniería de detalle, donde se realizarán los planos para la construcción de la obra.

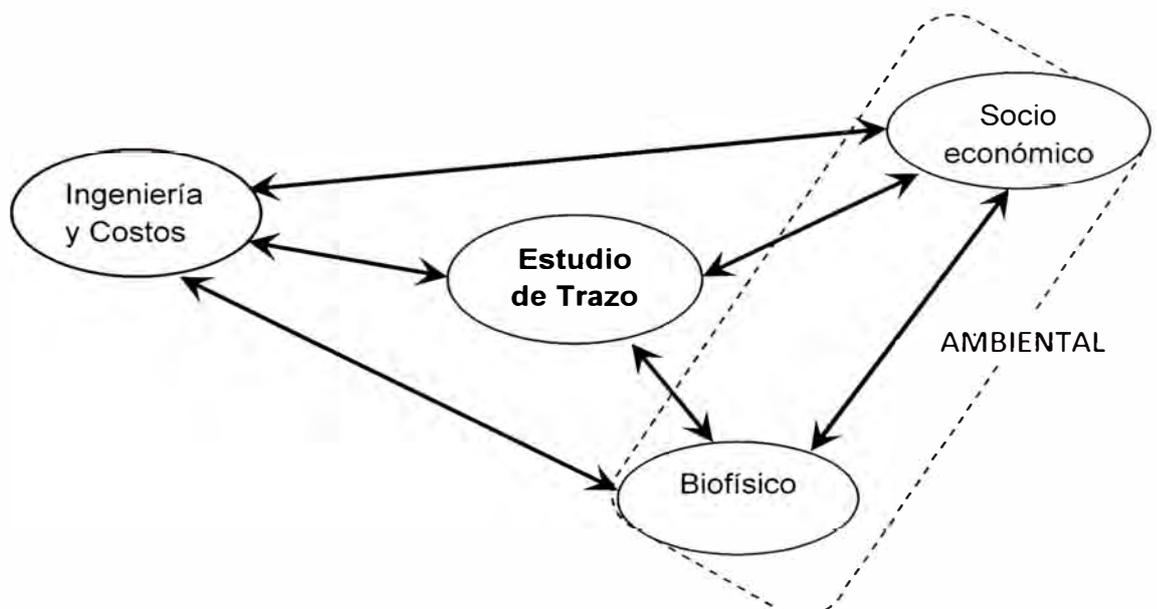


Gráfico N° 1.- Consideraciones para la selección de la ruta [Passey and Woooley 1980]

2.1.4 Criterios de selección de la configuración de la estación de bombeo.

El equipo de bombeo y sus sistemas auxiliares, son seleccionados para las condiciones de máxima demanda. Teniendo en cuenta esta premisa, se debe tener en cuenta la demanda de agua que requiere la planta, a flujo constante 24 horas al día. Se analiza los siguientes puntos:

- Tipo de bomba a utilizar. En el gráfico 2 se presenta la clasificación de bombas existentes para el bombeo de líquidos. Para este caso se utiliza la bomba centrífuga de flujo radial, de succión simple y de múltiples etapas. Sus características principales son:
 - Son los más comunes y preferidos para bombeos en pipelines.
 - Tienen una pulsación mínima en la descarga.
 - Presenta buena eficiencia en rango amplio de presiones y caudales.
 - La presión de descarga está en función de la densidad del fluido.
 - Los componentes que conforman la bomba son menos costosas que otros tipos de bombas.
 - Alta confiabilidad.
 - Pueden ser de múltiples etapas para altas presiones.
- Potencia y capacidad de bombas: 3 x 50% (dos en operación y uno en reserva).
- Punto de operación (presión y caudal de diseño), eficiencia, pérdidas de carga y consumo de energía.
- Altura neta de succión positiva NPSH disponible.
- Alimentación eléctrica: capacidad y longitud de las líneas de transmisión, subestación de llegada, sistemas de comunicación, protección y medición.

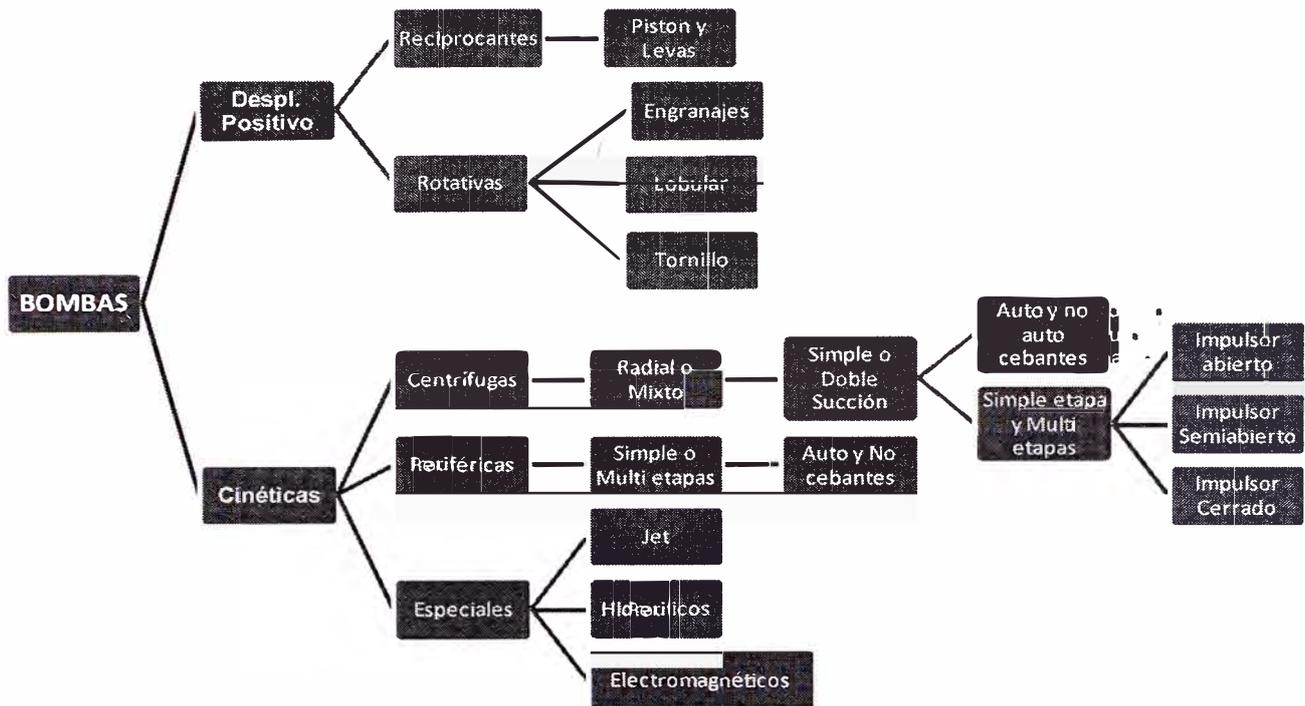


Gráfico N° 2.- Clasificación de Equipos de Bombeo

2.2 NORMAS

El desarrollo de los diseños está basado en las siguientes normas y códigos internacionales:

- ANSI American National Standards Institute
- ASME American Society of Mechanical Engineers
- ASTM American Society of Testing Material
- AISI American Iron and Steel Institute
- AWS American Welding Society
- API American Petroleum Institute
- MSHA Mine Safety and Health Administration
- OSHA Occupational Safety and Health Association

- PPI Plastic Pipe Institute
- ISO International Organization for Standardization
- DIN Deutsche Industries Norm
- NTP Normas Técnicas Peruanas
- AWWA American Water Works Association (AWWA C906)
- HIS Hydraulic Institute Standard

2.3 BASES DE CÁLCULO

2.3.1 Dimensionamiento Hidráulico

La ecuación de la conservación de la energía o la ecuación de Bernoulli es el punto de partida para dimensionar desde el punto de vista hidráulico del sistema de bombeo. Esta ecuación indica que en un fluido en movimiento sometido a la acción de la gravedad, la suma de las alturas geométrica, manométrica y cinética es constante para los diversos puntos de una línea de corriente.

Es así, que la energía total que posee el fluido incompresible en movimiento, referida a un punto de referencia del sistema se determina empleando la ecuación (1).

$$H = \frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} + Z \quad (1)$$

Donde:

H: energía total [m]

P: presión manométrica [N/m²]

V: velocidad [m/s]

g: aceleración de la gravedad [9.807 m/s²]

γ : peso específico [N/m³]

Z: elevación respecto al plano de referencia [m]

Un principio elemental de la física establece que en toda transformación energética existe una degradación, es decir, los rozamientos convierten en calor parte de la energía transformada, por lo que existen pérdidas de energía y se conocen como pérdidas de carga. Las pérdidas de carga pueden ser de dos tipos:

Pérdidas de carga continuas o por rozamiento (h_f): Se deben a la viscosidad del líquido y se producen a lo largo de toda la conducción. Suelen expresarse como producto de la longitud del tramo de la tubería considerado (L).

Pérdidas de carga locales o singulares (h_s): Son producidas por perturbaciones de la corriente líquida en puntos concretos, como derivaciones, válvulas, cambios de sección, etc.

Considerando las pérdidas de cargas continuas y locales, la energía total de bombeo (H) necesaria para el transporte de agua desde el punto inicial (1) al punto de destino (2) se determina empleando la ecuación (2).

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 + H = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + h_f + h_s \quad (2)$$

Graficando estos valores en un plano de referencia, se obtiene el plano de carga, presentado en el gráfico N°3.

La trayectoria de la tubería define la línea de alturas geométricas, que corresponde en cada punto a la cota Z del eje longitudinal de la tubería referido a un plano de referencia.

La línea piezométrica (LP) es la suma de las alturas de presión y de posición, y se determina uniendo los puntos que alcanzaría el fluido circulante en distintos piezómetros conectados a lo largo de la tubería.

La línea de alturas totales se obtiene sumando para cada punto de la tubería la cota piezométrica y la altura de velocidad, y representa la energía total del fluido.

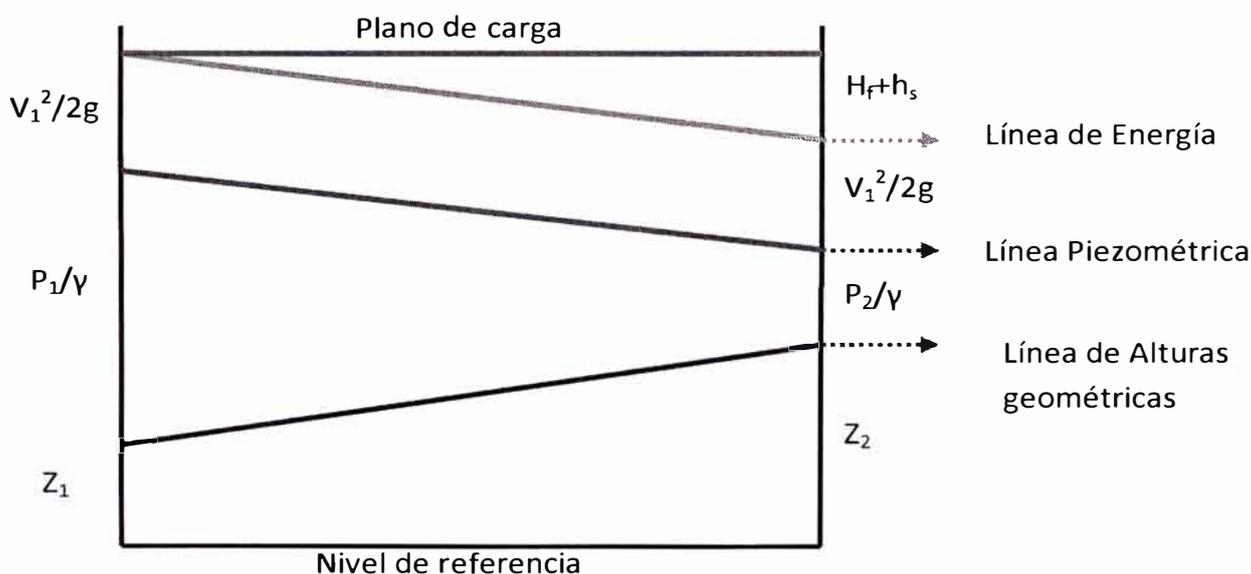


Gráfico N°3.- representación gráfica de la energía de un flujo en movimiento

La velocidad del agua a través de una tubería de un determinado diámetro (D) y caudal (Q), se calcula utilizando la ecuación (3).

$$V = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2} \quad (3)$$

El cálculo de pérdidas de carga en la tubería por fricción (h_f) se realiza utilizando la ecuación de Darcy - Weisbach (4).

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (4)$$

Para Darcy - Weisbach, el coeficiente de fricción (f) se calcula según la expresión de Colebrook-White (5).

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \cdot \log \left(\frac{\varepsilon}{3,71 \cdot D} + \frac{2,51}{\text{Re} \cdot \sqrt{f}} \right) \quad (5)$$

Donde:

Q: caudal [m³/s]

D: diámetro de la tubería [mm]

ε : rugosidad de la tubería [mm]

Re: número de Reynolds

ν : viscosidad cinemática del fluido

f: factor de fricción

El número de Reynolds es un parámetro adimensional que relaciona cuantitativamente las fuerzas viscosas e inerciales y cuyo valor determina la transición de flujo laminar a turbulento y viene expresado en la ecuación (6).

$$\text{Re} = \frac{V \cdot D}{\nu} \quad (6)$$

Complementariamente a las pérdidas por fricción en tuberías se considera las pérdidas locales en válvulas y accesorios. Para el cálculo de las pérdidas locales se utiliza la ecuación (7):

$$h_s = k \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (7) \quad \text{k: factor experimental. Depende de la válvula o accesorio.}$$

A continuación se entrega un resumen de los coeficientes de pérdidas por fricción (k) para flujo turbulento de fluidos newtonianos para válvulas y accesorios.

Codo 90° R/D > 1	→	k = 0.9
Codo 45° R/D > 1	→	k = 0.4
Entrada a 90° con T	→	k = 1.0
Salida a 90° con T	→	k = 1.3
Descarga tanque	→	k = 1.0
Reducción	→	k = 0.35
Ampliación	→	k = 0.7
Válvula mariposa	→	k = 0.3
Válvula retención	→	k = 3.0

La rugosidad (ϵ) es un parámetro característico propio del material de la tubería. Se consideran los siguientes valores de rugosidad Darcy:

$\epsilon = 0.00015$ m	Acero carbono
$\epsilon = 0.00007$ m	HDPE

El aumento de la rugosidad absoluta de la tubería en el tiempo queda determinado por la fórmula de Colebrook – White:

$$\epsilon_T = \epsilon_0 + c.n \quad (8)$$

Donde:

ϵ_T : Rugosidad de la tubería después de T años de servicio.

ϵ_0 : Rugosidad inicial de la tubería

n: número de años de servicio de la tubería

c: coeficiente de incremento de la velocidad de rugosidad

2.3.2 Espesor de pared de la tubería

El espesor de las tuberías de acero dentro de la estación de bombeo se calcula según la norma ASME B31.3 y considerando las tolerancias de espesor de la tubería (1.6 mm por corrosión). Se utiliza la ecuación (9).

$$t_m = \frac{P.D}{2.(S.E + P.Y)} + A \quad (9)$$

Donde:

t_m : Espesor mínimo para soportar presión máxima de trabajo de las tuberías (pulg).

P: Presión máxima de trabajo de la tubería (lb/pulg²)

D: Diámetro exterior de la tubería (pulg)

S: Esfuerzo máximo admisible (lb/pulg²)

E: Factor de calidad de soldadura longitudinal.

Y: Factor por efecto de la temperatura. (Y=0.4 Norma ASME B31.3)

A: Tolerancia por corrosión y erosión (A = 1.6 mm)

Para el pipeline, tomando como referencia la norma ASME B31.4, el espesor de tuberías de acero debido a la presión interna se calcula según la ecuación (10), considerando las tolerancias de espesor por corrosión (A=1.6 mm).

$$t_m = \frac{P.D}{2S} + A \quad (10)$$

Donde:

t_m : Espesor mínimo para soportar presión máxima de trabajo (pulg).

P: Presión máxima de trabajo de la tubería (lb/pulg²)

D: Diámetro exterior de la tubería (pulg)

- S: Esfuerzo admisible (lb/pulg²)
- E: Factor de calidad de soldadura longitudinal.
- A: Tolerancia por corrosión y erosión (A = 1.6 mm)

El valor del Esfuerzo Admisible (S) a ser considerado en los cálculos del diseño para tubería nueva de especificación listada en la norma será establecida como sigue:

$$S = 0.72 * E * (\text{Mínimo Esfuerzo de fluencia de la tubería especificado en la norma}).$$

Donde el factor de diseño (0.72) está basado en el espesor de pared nominal de la tubería debido a tolerancias por bajo espesor e imperfecciones en la tubería.

“E” es el factor de junta de soldadura longitudinal para una tubería ERW (Electric Resistant Weld). En este caso E = 1.

El Mínimo Esfuerzo de fluencia de la tubería de acero ASTM A53 Gr. B especificado en la norma es 35000 psi.

Para tuberías de HDPE, los cálculos hidráulicos se rigen bajo la norma ASTM y utiliza la Base Hidrostática de Diseño (HDB), para determinar la presión de diseño de la tubería de polietileno. Los valores de HDB son validados y publicados por la Plastic Pipe Institute (PPI TR-4).

Para hallar la presión hidrostática máxima de servicio de la tubería (P), se utiliza la siguiente ecuación:

$$P = \left(\frac{2 \cdot HDB}{SDR - 1} \right) \cdot DF \quad (11)$$

$$SDR = \frac{D}{t_m} \quad (12)$$

Donde:

HDB: 2000 PSI para aplicaciones de agua a 23°C y un material PE4710 según norma ASTM D 3350.

DF: factor de diseño, que para aplicaciones de agua toma el valor de 0.5

SDR: Ratio Dimensional de la tubería

D: diámetro exterior de la tubería

t_m : espesor mínimo de la tubería

2.3.3 Estación de bombeo (bombas centrífugas)

El caudal y la presión de diseño determinarán el punto de operación de la bomba y se resume en las ecuaciones (13) y (14).

Caudal de diseño: $Q_{diseno} = 1.15 * Q_{no\ min\ al}$ (13)

Altura dinámica total (TDH): $H = Z + h_f + h_s$ (14)

La potencia hidráulica y el consumo energético al eje de una bomba se determinan a través de la siguiente expresión:

Potencia Hidráulica (P_H)

$$P_H = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{1000} \quad [\text{kW}] \quad (15)$$

Potencia al eje (BHP)

$$BHP = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{1000 \cdot \eta} \quad [\text{kW}] \quad (16)$$

Donde:

H:	altura dinámica de bombeo [m c.a.]
Q:	caudal [m ³ /s]
g:	aceleración de la gravedad [m/s ²]
ρ:	densidad del agua [kg/m ³]
η:	rendimiento de la bomba (%)

De forma complementaria se determinará la energía y el costo anual que demanda el funcionamiento de las bombas, como parámetro de decisión y para lo cual, se aplica la siguiente ecuación:

$$E = \frac{BHP \cdot t_{OP}}{\eta_{MOTOR}} \quad (17)$$

$$C_{ANUAL} = E \cdot C_{energía} \quad (18)$$

Donde:

BHP:	Potencia al eje de la bomba [kW]
E:	Energía eléctrica consumida [kWh]
t _{OP} :	Horas de operación anual [h]
η _{MOTOR} :	Eficiencia del motor eléctrico
C _{ANUAL} :	Costo anual de energía eléctrica [US\$]
C _{energía} :	Costo energía eléctrica [US\$/kWh]

La altura neta de succión positiva disponible (NPSH_D) es la altura de succión total en metros de columna de agua menos la presión de vapor absoluta del líquido a ser bombeado. Debe ser un valor positivo y será calculado con la siguiente expresión:

$$NPSH_D = p_o + Z - p_v - h_f - h_s \quad (19)$$

Donde:

p_o : presión atmosférica absoluta. La presión barométrica del lugar es de 69 kPa.

p_v : la altura en metros correspondiente a la presión de vapor del líquido a la temperatura media de bombeo ($T=12^\circ\text{C}$) es 1.67 kPa.

Z : altura estática en metros.

h_f : pérdidas en la línea de succión por tuberías.

h_s : pérdidas en la línea de succión por válvulas y accesorios.

La altura neta de succión positiva requerida ($NPSH_R$) se puede estimar con la velocidad específica de succión (S) que generalmente es una constante que no varía con la velocidad de la bomba ($8000 < S < 11000$). Se define como:

$$S = \frac{N\sqrt{Q}}{NPSH_R^{3/4}} \quad (20)$$

Donde:

N : Velocidad de giro de la bomba [RPM]. $N = 1790$ rpm.

Q : Caudal de la bomba en el punto de diseño [GPM].

S : Velocidad específica de succión. Se considera $S = 9000$ como valor razonable, valor recomendado por fabricantes producto de la experiencia.

$NPSH_R$: Altura neta de succión positiva requerida por la bomba [pies].

El caudal y la presión de bombeo pueden cambiar variando la velocidad de giro de la bomba o variando el diámetro del impulsor, los cuales causan un cambio de velocidad del líquido que sale del impulsor. Por lo general, los impulsores pueden ser

reducidos hasta llegar a un 80% del diámetro original sin disminuir la eficiencia significativamente.

Para bombas centrífugas con impulsor radial, la relación que describe el cambio se denomina leyes de afinidad.

Para cambios de diámetro del impulsor (D):

$$Q_2 = Q_1 \left(\frac{D_2}{D_1} \right) \quad H_2 = H_1 \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^2 \quad BHP_2 = BHP_1 \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^3 \quad (21)$$

Para cambios de velocidad de giro (N):

$$Q_2 = Q_1 \left(\frac{N_2}{N_1} \right) \quad H_2 = H_1 \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^2 \quad BHP_2 = BHP_1 \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^3 \quad (22)$$

2.3.4 Sobrepresiones y fenómenos transitorios

Se conoce con el nombre de transitorios a los fenómenos de variación de presiones en tuberías, motivadas por variaciones proporcionales a las velocidades de flujo.

Cuando esta variación es tal que implica que la velocidad del flujo sea nula, y además, las oscilaciones de presión por este motivo son grandes, al fenómeno se le denomina Golpe de Ariete, llamado así por el ingeniero ruso Joukowski.

En tuberías de conducción (pipelines) es muy importante analizar el golpe de ariete, la separación de columna y la generación de vacío que genera los fenómenos transitorios. Estos fenómenos ocurren en situaciones eventuales, analizados en los siguientes escenarios:

- Cuando se produce un corte de energía y las bombas paran bruscamente.
- El tiempo de parada de las bombas no es suficientemente prolongado para evitar la generación de sobrepresiones.
- Cerrar bruscamente la válvula de descarga de las bombas.

Cuando se cierra bruscamente la válvula, las partículas de fluido que se han detenido son empujadas por las que vienen inmediatamente detrás y que siguen aún en movimiento. Esto origina una sobrepresión que se desplaza por la tubería a una velocidad que puede superar la velocidad del sonido en el fluido. Esta sobrepresión tiene dos efectos: comprime ligeramente el fluido, reduciendo su volumen, y dilata ligeramente la tubería. Cuando todo el fluido que circulaba en la tubería se ha detenido, cesa el impulso que la comprimía y, por tanto, ésta tiende a expandirse. Por otro lado, la tubería que se había ensanchado ligeramente tiende a retomar su dimensión normal. Conjuntamente, estos efectos provocan otra onda de presión en el sentido contrario. El fluido se desplaza en dirección contraria pero, al estar la válvula cerrada, se produce una depresión con respecto a la presión normal de la tubería. Al reducirse la presión, el fluido puede pasar a estado gaseoso formando una burbuja mientras que la tubería se contrae. Al alcanzar el otro extremo de la tubería, si la onda no se ve disipada, se reflejará siendo mitigada progresivamente por la propia resistencia a la compresión del fluido y a la dilatación de la tubería.

La variación de los parámetros del fluido y de la tubería en el tiempo, se describen mediante las ecuaciones de conservación de la masa y del momento, como se presenta a continuación:

Conservación de la masa (ecuación de continuidad):

$$V \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{\partial H}{\partial t} + \frac{a^2}{g} \frac{\partial V}{\partial x} = 0 \quad (23)$$

Conservación del momento:

$$g \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{fV|V|}{2D} + V \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial t} = 0 \quad (24)$$

Donde (**H**) es la altura piezométrica, (**V**) es la velocidad del flujo, (**x**) es la distancia a lo largo de la tubería, (**t**) es el tiempo, (**g**) es la aceleración de la gravedad, (**f**) es el

factor de fricción de la tubería, que se asume constante, (**D**) es el diámetro de la tubería y (**a**) es la velocidad de propagación de la onda de presión del fenómeno transitorio.

Las hipótesis involucradas para el desarrollo de las ecuaciones (23) y (24) son las siguientes:

- Flujo homogéneo y unidimensional.
- El agua y las paredes de la tubería son linealmente elásticas.
- Pérdidas de energía por viscosidad son similares a las de régimen permanente.
- Se utiliza la velocidad promedio y constante del flujo (**V**).

La velocidad o celeridad de propagación de la onda de presión del fenómeno transitorio en la tubería de pared delgada, se representa por la siguiente ecuación:

$$a = \frac{\sqrt{\frac{K}{\rho}}}{\sqrt{1 + \frac{K \cdot D}{e \cdot E}}} \quad (25)$$

Donde (**K**) y (**ρ**) son el módulo de compresibilidad y la densidad del agua, (**E**) es el módulo de compresibilidad del material de la tubería y (**D**) y (**e**) son el diámetro y es espesor de la tubería respectivamente.

2.3.5 Fundamento económico

La alternativa más rentable y óptima para dimensionar el sistema de bombeo y tubería se determina realizando el análisis económico dentro del enfoque de costo – eficiencia, con el objetivo de identificar la alternativa de menor costo para obtener los mismos beneficios.

Por ello, para poder aplicar este enfoque, es fundamental configurar alternativas que entreguen beneficios comparables, de tal forma de poder evaluar cuál de ellas es la más conveniente desde el punto de vista técnico – económico.

Se utiliza el concepto básico del valor actual de costos (VAC) que permite comparar alternativas de igual vida útil. El valor actual de costos (VAC) es el valor de la inversión inicial sumados a los costos anuales llevados al presente que implicaría su operación durante un tiempo determinado y se calcula utilizando la ecuación (26).

La inversión inicial (CAPEX: Capital Expenditure) están referidos a los costos de los equipos, las obras de instalación, pruebas y puesta en marcha del sistema.

Los costos anuales (OPEX: Operational Expenditure) están referidos a los costos asociados a la operación, mantenimiento, consumo de energía y mano de obra necesarios para mantener operativo el sistema en un determinado tiempo.

$$VAC = I + \frac{C.r}{1 - (1 + r)^n} \quad (26)$$

I: Inversión inicial (CAPEX)

C: Costo anual de operación (OPEX)

r: tasa de descuento

n: número de años

La Tasa de Descuento es aquella tasa que se utiliza para evaluar un proyecto de Inversión. Se utiliza para actualizar los flujos de Costos anuales de operación (Costos Futuros) del proyecto de Inversión, con el fin de expresar el valor presente de esos flujos de un período determinado.

En una situación de equilibrio de competencia perfecta, la tasa de descuento será igual a la tasa de interés, la que representa la mejor tasa de rentabilidad alternativa que puede obtener el inversionista.

2.4 DATOS DE PARTIDA

Los datos iniciales o de partida determinarán las premisas para los cálculos del sistema de bombeo de agua, como las características climáticas, espacios de terreno, régimen de operación, valores operacionales de la planta concentradora a la cual se le va a suministrar de agua, información de costos de energía actual de la planta y estándares de materiales con los que trabaja la planta.

Datos del Terreno:

- Nivel de agua en tanque: 3 010 m.s.n.m. (espejo de agua).
- Nivel base de tanque: 3 009 m.s.n.m.
- Nivel estación de bombeo: 3 005 m.s.n.m.
- Nivel de reservorios: 3 329 m.s.n.m. (espejo de agua)
- Temp. ambiente: 5 - 24 °C
- Presión barométrica: 69 kPa
- Presión vapor de agua: 1.67 kPa

Datos de tubería:

- Material de tubería: Acero al carbono ASTM A-53 Gr. B
- Tipo: ERW (Electric-Resistance-Welded Pipe)
- Factor de soldadura: 1 (ASME B31.4)
- Rugosidad de Tubería: 0.15 mm
- Incremento de rugosidad: 0.038 mm/año

- Esfuerzo Máx. Admisible: 25 200 psi (ASME B31.4)

Datos de Bomba:

- Eficiencia de Bomba: 75% (de curvas características)
- Eficiencia de Motor: 95% (de catálogos de fabricante)

Datos de operación:

- Costo de Energía: 0.1 US\$/kWh
- Horas al año: 8760 h (dato de planta)
- Factor de Servicio: 0.98 (dato de planta)
- Horas de Operación: 8585 h

CAPÍTULO 3

DEMANDA DE AGUA PARA EL PROCESO DE CONCENTRADO DE MINERALES

3.1 DEMANDA DE AGUA

La planta concentradora de cobre de 40 000 t/día de capacidad de procesamiento genera un requerimiento de agua de proceso que debe ser recuperada del espesamiento de los relaves de la Mina.

La demanda de agua que requiere la planta concentradora de cobre de 40 000 t/día de capacidad de procesamiento, se determina mediante un balance de masa de proceso de mineral. Esta demanda es necesaria para realizar los procesos de molienda, flotación colectiva y flotación selectiva en la planta concentradora de cobre.

3.2 UBICACIÓN DE LA CAPTACIÓN DE AGUA

Por la ubicación del lugar y a lo que se limita la zona de estudio, la captación está ubicada a 10 kilómetros de la planta concentradora, en el lugar denominado quebrada Cimarrona, departamento de Tacna, a 3010 msnm.

3.3 INGRESOS DE AGUA A LA PLANTA CONCENTRADORA

En el cuadro N°1, se presentan los flujos nominales de agua que ingresan a la planta concentradora necesarios para el procesamiento por flotación de minerales.

El agua fresca es necesario para abastecer los requerimientos destinados a: Agua de sello para las bombas de pulpa y de lechada de cal, agua para la preparación de lechada de cal, reactivos y floculante, y agua para el lavado de telas de los filtros.

El agua de proceso es necesario para abastecer los siguientes requerimientos: agua para molienda, agua para las canaletas y para servicios de limpieza y mantenimiento.

Cuadro N°1.- Ingresos de Agua a la planta concentradora

Molienda		
Humedad Mineral	55.43	m ³ /h
Agua Proceso	4,070.00	m ³ /h
Agua lechada de cal	15.85	m ³ /h
Agua sello	40.32	m ³ /h
Total Molienda	4,181.60	m³/h

Flotación Colectiva		
Agua sello	12.16	m ³ /h
Agua reactivos	25.07	m ³ /h
Agua cajones	481.22	m ³ /h
Agua Canaletas	151.55	m ³ /h
Agua Columnas	174.07	m ³ /h
Total Colectiva	844.08	m³/h

Flotación Selectiva		
Agua sello	2.25	m ³ /h
Agua reactivos	5.33	m ³ /h
Agua Canaletas	69.61	m ³ /h
Agua Columnas	2.85	m ³ /h
Agua Lavado Telas	11.70	m ³ /h
Total Selectiva	91.75	m³/h

Total Entradas	5,117.43	m³/h
-----------------------	-----------------	------------------------

Del total de ingresos, el 5.66% (290 m³/h) viene a ser agua fresca, el 93.26% agua de proceso y el 1.08% es agua húmeda propia del mineral a procesar.

3.4 SALIDAS DE AGUA DE LA PLANTA CONCENTRADORA

En el cuadro N°2 se presentan los flujos nominales de agua que salen de la planta concentradora producto del proceso.

Cuadro N°2.- Salidas de agua de la planta concentradora

Productos Comerciales		
Concentrado Cu	3.34	m ³ /h
Concentrado Mo	0.10	m ³ /h
Total Concentrados	3.44	m³/h
Relaves		
	1 186.00	m³/h
Recuperación Espesadores		
Colas limpieza	415.92	m ³ /h
Concentrado Scavenger	68.88	m ³ /h
Concentrado Cu - Mo	200.75	m ³ /h
Concentrado Cu	71.05	m ³ /h
Relaves	3 180.05	m ³ /h
Total Espesadores	3 936.65	m³/h
Total Salidas		
	5 126.08	m³/h

El caudal de agua que se tiene que reponer (make up) es lo que se pierde en la salida de los productos comerciales (humedad del concentrado final), sumado a la pérdida de agua que se va con los relave menos la humedad del mineral de ingreso a la planta.

$$\text{Reposición (make up)} = 3.44 \text{ m}^3/\text{h} + 1186.00 \text{ m}^3/\text{h} - 55.43 \text{ m}^3/\text{h} = 1134.01 \text{ m}^3/\text{h}.$$

El agua a reponer (make up) es **1134.01 m³/h**, de los cuales el 74.46% (844.40 m³/h) se destinará para agua de proceso y el 25.54% (289.61 m³/h) se destinará para agua fresca. Por lo tanto, la demanda de agua que necesita la planta concentradora es de **1134.01 m³/h**.

El caudal de diseño proviene de multiplicar el caudal nominal por el factor de diseño. Se aplica un factor de diseño de 1.15, lo que resulta un caudal total de diseño de **1304.11 m³/h**.

El valor que toma el factor de diseño se sustenta de las características de operación de la planta y del mineral a procesar. Como característica propia de la planta, la ley de mineral no es un valor constante y esto conlleva a variar el caudal para el proceso del mineral. Por lo tanto, se sobredimensiona en un 15% del valor nominal para obtener el flujo de diseño y cubrir las variaciones de flujo que requiere la planta para procesar el mineral.

3.5 CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RECUPERADA

La caracterización del agua recuperada se obtiene de la medición in situ de parámetros no preservables y otros parámetros que requieren un análisis en laboratorio. Estos parámetros son monitoreados continuamente para controlar la calidad del agua y evaluar la operación y eficiencia de los espesadores de relaves. Estos parámetros también nos permiten seleccionar los materiales de los componentes de la bomba, válvulas y tuberías.

Parámetros de campo:

- Conductividad: 3.2 mS/cm
- Densidad del agua: 1000 kg/m³
- pH: 8
- Temperatura: 8 – 15 °C

Parámetros fisicoquímicos:

- Sólidos en suspensión: < 50 ppm
- Viscosidad cinemática: 1.2×10^{-6} m²/s
- Sulfatos: 1850 mg/L
- Calcio: 620 mg/L

- Magnesio: 1.6 mg/L
- Potasio: 70 mg/L
- Sodio: 130 mg/L

Metales totales Grupo A:

- Arsénico: < 50 ppm
- Cobre: 0.03 mg/L
- Hierro: 0.6 mg/L
- Plomo: < 0.03 mg/L
- Selenio: < 0.002 mg/L
- Zinc: < 0.03 mg/L

Metales totales Grupo B:

- Antimonio: < 0.05 mg/L
- Cadmio: 0.08 mg/L
- Bario: < 0.01 mg/L
- Cromo: < 0.02 mg/L
- Manganeso: 0.3 mg/L
- Níquel: < 0.02

CAPÍTULO 4

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO

En este capítulo se especificará el equipamiento que involucra el diseño de un sistema de bombeo, donde se detallarán las características generales de las bombas, válvulas y tuberías del sistema de bombeo de agua recuperada.

4.1 DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES

En el Gráfico N°4 se presenta el diagrama de procesos que muestra el esquema simplificado del equipamiento del sistema.

El inicio del proceso empieza con la llegada de agua al tanque de agua recuperada. Este tanque tendrá una capacidad nominal de 750 m³ y tendrá una autonomía de dos horas de abastecimiento a las bombas sin reposición. Contará con un sensor de nivel ultrasónico que indicará la orden de arranque o parada de las bombas en los siguientes casos:

- Cuando el tanque esté en el mínimo nivel de llenado, el sensor indicará la orden de parada de las bombas. Esto evitará que las bombas puedan succionar aire y generar cavitación en los impulsores.
- Cuando el tanque esté en el máximo nivel de llenado, el sensor indicará la orden de arranque de las bombas. Esto evitará que el agua rebalse y el flujo descargue por la línea de rebose hacia el lugar de drenaje.

El tanque elevado contará con un manhole para inspección interna, una purga de Ø8" con una válvula mariposa, una línea de rebose de Ø18" y un venteo de Ø8". La conexión para la tubería de descarga al manifold de succión de las bombas será una conexión bridada de Ø30" con una válvula mariposa a la salida del tanque.

El nivel de la plataforma donde se ubicará el tanque está 4 metros por encima del nivel de la plataforma de la estación de bombeo. Esto permitirá incrementar el valor del NPSH disponible para evitar los efectos de la cavitación en las bombas.

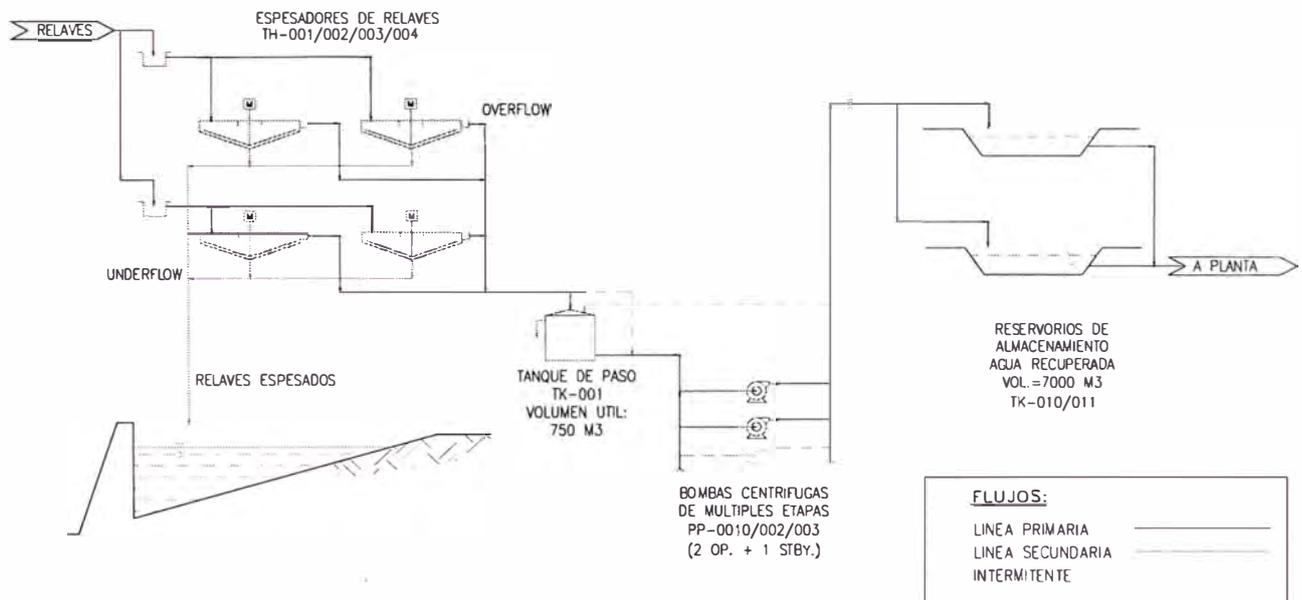


Gráfico N°4.- Esquema de Bombeo de agua recuperada a los tanques de la Planta Concentradora

La estación de bombeo está emplazada en una explanación de 1500 m² (plataforma de 25 x 60 m²) donde se construirán la losa de concreto y las cimentaciones de las bombas y tuberías. La instalación es outdoor, esto quiere decir, que los equipos de bombeo estarán a la intemperie.

La cimentación de las bombas se compone de zapatas de concreto armado con acero de refuerzo $f_y = 420$ MPa y concreto $f'_c = 20$ MPa, el cemento a utilizar es Cemento Portland Tipo V.

Al lado de la estación de bombeo se tiene el cuarto eléctrico y de control de motores (MCC) que está conformada por una estructura de concreto armado, conformado por pórticos de concreto de resistencia a la compresión de $f'c = 20$ MPa, el techo está compuesto por un aligerado de 20 cm de espesor y los cerramientos son de ladrillo de arcilla.

La cimentación del cuarto eléctrico y de control de motores está conformada por cimientos de concreto armado de resistencia a la compresión de $f'c = 20$ MPa y ensanches en la zona de las columnas, el cemento a utilizar es Cemento Portland Tipo V.

El cuarto eléctrico y el área de bombas tendrán comunicación y visibilidad entre ambos.

El cuarto eléctrico y de control será alimentado por una línea eléctrica en 10kV, para el suministro de energía a la estación de bombeo. Dentro de la estación, se instalará el transformador de potencia con una relación de transformación 10/4.16 kV, los tableros donde se alojarán el interruptor principal, los MCC's (Motor Control Center), los tableros de distribución y de servicios auxiliares.

La estación de bombeo está conformada por los siguientes componentes:

- Tres bombas centrífugas horizontales instaladas en paralelo, dos en operación y uno en reserva (stand by). Cada bomba tendrá sus respectivas válvulas de control y corte en las tuberías de succión y descarga.
- Manifolds de succión y de descarga con sus respectivos reforzamientos y anclajes de concreto para guiar y soportar los esfuerzos hidráulicos del bombeo de agua.
- La tubería de descarga de cada bomba se instalará una válvula check de cierre lento, una válvula mariposa "high performance" de operación ON/OFF, manómetros indicadores de presión y una derivación para una válvula de purga.

- En el manifold de descarga se instalará una derivación para línea de alivio de presión. Esta línea de alivio cuenta con una válvula mariposa de corte y la válvula anticipadora de onda de sobrepresión. Además se cuenta con una válvula de doble efecto, aire y vacío.

El manifold de descarga se conecta con la tubería de conducción de 9700 metros de longitud. Esta tubería será en un primer tramo de acero con los diferentes espesores estándares y en un segundo tramo de HDPE con diferentes espesores estándares. La tubería de conducción contará también con varias válvulas combinadas de aire, vacío y válvulas de purga. La instalación es sobre terreno.

El punto de llegada serán dos reservorios de 7000 m³ de capacidad de almacenamiento cada uno y desde allí se abastecerá de agua a la planta concentradora por gravedad.

4.2 ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO DE BOMBEO

4.2.1 Requerimientos generales

Todos los equipos y componentes de la bomba centrífuga deben ser de producción estándar del fabricante para uso en la industria minera, de diseño reciente y probado.

El equipo de bombeo estará conformado por el motor eléctrico de accionamiento, el acoplamiento de transmisión, el bastidor y la bomba centrífuga en sí.

Todas las bombas deben ser idénticas y todas las partes y componentes que cumplen la misma función deben ser intercambiables.

Las bombas deben suministrarse con cáncamos de levante para la instalación y mantenimiento.

La selección de materiales y construcción debe atender a las condiciones de servicio, características del agua a bombear, condiciones ambientales, capacidad y operación requeridas.

4.2.2 Funcionamiento de la bomba

El diseño del equipo debe permitir la rotación invertida de la bomba, causada por el vaciado de la línea de descarga, sin que dañe o afloje el impulsor, sistema de transmisión, motor o cualquier componente del sistema.

Las bombas serán centrifugas de varias etapas, succión estándar, conectada en forma directa a los motores a través de acoplamientos directos.

Para cualquier condición de operación, las bombas deben operar en un punto de su curva característica en que el rendimiento se encuentre entre el 75 y el 100% del máximo rendimiento BEP (Best Efficiency Point).

Para el caso de flujo de diseño o máximo, el punto de operación debe permanecer siempre a la izquierda del rendimiento máximo (BEP).

El NPSH requerido en las condiciones de diseño debe ser inferior al NPSH disponible, y en cualquier condición, para la selección de la bomba adecuada, deberá cumplirse la relación $NPSHD = 1,5 NPSHR$ (base agua fría).

4.2.3 Carcasa

La carcasa de la bomba debe ser diseñada para apertura rápida y provista de accesos al impulsor. El diseño de la bomba deberá considerar el mayor valor para paradas a presión entre el 150% de la presión en las condiciones de operación ó el 125% de la presión en condiciones de shut-off.

4.2.4 Conexiones y boquillas de bomba

Las bridas de conexión con las líneas de succión y descarga de la bomba serán ANSI B16.5.

4.2.5 Placas base de montaje de la bomba (bastidor)

Las bombas en conjunto con sus respectivos motores, serán suministradas sobre una base de acero estructural de montaje conforme a ASTM A36, de diseño estándar del fabricante, con agujeros para pernos de montaje en terreno. Esta base (bastidor) deberá ser lo suficientemente rígida y robusta de manera que no se generen deformaciones ni desalineamientos.

El fabricante deberá realizar el diseño sísmico de los pernos, indicada en la hoja de datos de la bomba, con la Norma UBC.

4.2.6 Impulsor

La fijación del impulsor al eje del cuerpo debe ser tal que un cambio en el sentido de giro del impulsor, provocado por el drain-back de la línea de descarga, no dañe el sello, el impulsor ni cualquier otro elemento de la bomba.

Cada impulsor de la bomba será estática y dinámicamente balanceado y no debe alcanzar la velocidad crítica en el rango hasta la velocidad de operación.

La velocidad crítica de la bomba deberá estar a lo menos un 10% por sobre el rango de velocidad.

La calidad del balanceo y tolerancia de fabricación se basará en los siguientes criterios:

- Impulsor tendrá un equilibrio grado G6.3 como define ISO 1940/1
- En el movimiento del eje este no exceda 0,05 mm
- La severidad vibratoria del sistema motor – bomba deberá ser evaluado conforme con la norma ISO 10816.

4.2.7 Rodamientos y Lubricación

Los rodamientos en las bombas tendrán un mínimo de vida útil (L-10) de 60.000 horas, basado en la norma Antifriction Bearing Manufacturer's Association (ABMA) y serán lubricados con grasa.

Se debe garantizar una vida útil mínima de 60.000 horas y deben ser adecuados para operar en una atmósfera polvorienta.

4.2.8 Eje

El eje será de acero inoxidable y estará cubierto por una camisa protectora de un material adecuado y como unidad reemplazable. La camisa del eje deberá estar sellada contra el impulsor con el fin de evitar fugas y corrosión en el eje.

4.2.9 Sello del eje

Los sellos del eje deberán ser sellos mecánicos tipo cartucho, adecuados a los requerimientos de operación especificados en la hoja de datos de las bombas y deben ser de fácil mantenimiento y reemplazo.

4.2.10 Motor

El diseño y fabricación del motor debe tomar en cuenta que este equipo debe operar satisfactoriamente, a plena carga bajo las condiciones especificadas en la hoja de datos y en todo el rango de la curva de la bomba. Además se deberá considerar el rateo para trabajar a la altura de operación. El aislamiento deberá ser tipo F o superior y deberá tener una cubierta para trabajo a la intemperie, totalmente cubierto y adecuadamente ventilado.

La potencia indicada en la placa no debe ser inferior a la potencia al freno a capacidad de diseño de la bomba.

Los sensores de temperatura del motor deberán estar de acuerdo a los requerimientos especificados en la hoja de datos de la bomba.

4.2.11 Acoplamiento

El sistema de transmisión de potencia motor-bomba será mediante acoplamiento flexible directo, el diseño de los descansos antifricción del motor y la bomba deben ser apropiados para resistir las cargas que se generan en este tipo de transmisión.

Los acoplamientos deben tener como mínimo un factor de servicio de 1,5 basado en la potencia del motor indicado en la placa.

Todas las partes rotatorias deben ser suministradas con protecciones de seguridad, de modo que no se puedan alcanzar los elementos en rotación sin primero retirar las partes integrales de la protección o abrir puertas de acceso. El diseño de las cubiertas debe cumplir con los requerimientos de Mine Safety and Health Administration (MSHA).

4.2.12 Pinturas

Todas las partes metálicas expuestas deben ser preparadas y protegidas con anticorrosivo y con pintura de terminación. Todas las partes metálicas que no sean de acero inoxidable o bronce, deben ser pintadas.

Durante el transporte y bodegaje las superficies maquinadas deben estar protegidas por una capa de anticorrosivo. Todo el equipo debe estar protegido contra la exposición atmosférica prolongada, durante su traslado y almacenamiento.

El sistema de pintura será de acuerdo a los estándares del Fabricante, para servicio pesado y corrosivo.

4.2.13 Instrumentación y Control

El equipo debe contar con sensores para la supervisión de temperaturas y vibraciones o cualquier otro instrumento requerido para el funcionamiento seguro.

4.3 ESPECIFICACIONES DE LA TUBERÍA DE CONDUCCIÓN

La instalación de la tubería de conducción es expuesta, sobre terreno perfilado en todo el trazo (above ground), paralela y en la margen izquierda del acceso existente a una distancia mínima de 2 metros. Para mantener esta distancia mínima se realizará cortes de talud para generar los espacios para la instalación en curvas cerradas y de esta forma disminuir la cantidad de codos mitrados en el caso del acero.

El tramo que corresponde a HDPE, será cubierta con una capa de tierra natural libre de piedras y rocas 0.3 metros por encima de la clave de la tubería.

La tubería de conducción cuenta con anclajes de concreto en todas las curvas pronunciadas y soportes a lo largo de la longitud tubería para atenuar los esfuerzos sin causar fuerzas locales y de fricción axial o lateral que puedan impedir el libre desplazamiento de la tubería.

Las tuberías y zapatas se deberán apoyar directamente sobre superficies de estructuras de acero. No se necesita barras redondas o rectangulares soldadas a la parte superior de la estructura de acero, con el objeto de minimizar la corrosión por contacto.

En los puntos donde la tubería de acero cruce canales de regadío, quebradas o cursos naturales de agua, se aplicará a la tubería de acero doble capa de protección anticorrosiva exterior.

En los puntos de cambio de pendiente positiva a negativa y viceversa, se colocará una válvula de venteo de doble efecto, aire y vacío. Purga de aire para evitar la acumulación de aire en el punto alto de la tubería (cambios de pendiente) y mitigar la presión de vacío cuando se genere separación de columna en paradas bruscas del bombeo de agua.

La tubería será controlada en cuanto a dilatación y contracción térmica debidas a condiciones ambientales del lugar.

4.3.1 Tubería de acero

Las tuberías de acero están definidas según la norma ASTM A53 Grado B, con costura tipo E, ERW (Electric Resistant Welded), con las dimensiones y pesos según la norma ASME B36.10, con ambos extremos biselados (BBE: Bevelled Both Ends) para la unión por soldadura. Los espesores varían según los diámetros y los estándares son los siguientes:

- Schedule 60
- Schedule 40
- Schedule 30
- Schedule 80S ó XS (Extra strong)
- Schedule 40S ó STD (Standard)

Según la norma ASME B36.10, para tuberías de diámetros estándares iguales o mayores a 12", el espesor de pared para STD (9.53 mm) y XS (12.70 mm) son constantes.

4.3.2 Tubería de HDPE

Tubería de polietileno alta densidad (HDPE), las dimensiones y requerimientos deben estar de acuerdo con la norma ASTM F714, los materiales (calidad de polímero) deben estar bajo la norma ASTM D3350, PE4710. Los extremos deben ser planos para la unión por termofusión. Se consideran los siguientes rating de presión:

- SDR 11 para una presión de diseño de 200 psi.
- SDR 13.5 para una presión de diseño de 160 psi.
- SDR 17 para una presión de diseño de 125 psi.
- SDR 21 para una presión de diseño de 100 psi.
- SDR 26 para una presión de diseño de 80 psi.

4.3.3 Accesorios de acero

Los materiales para los codos, tees, reducciones y accesorios en general son de acero carbono ASTM A234 Gr.WPB, dimensiones por ANSI B16.9, extremos biselados para los siguientes schedules: Sch 60, Sch 40, XS y STD.

4.3.4 Bridas

- Brida slip-on de acero carbono ASTM A105, Según ANSI B16.5, cara con resalte (RF), Clase #300 (740 psi) y Clase #150 (274 psi).
- Brida ciega, acero carbono ASTM A105, Según ANSI B16.5, cara con resalte (RF), Clase #300 (740 psi) y clase #150 (274 psi).
- Brida de Respaldo, Para Stubend HDPE de Resina PE4710, acero Carbono (ASTM A36 o equivalente), Perforaciones por ANSI B16.5, Clase #150.

4.3.5 Pernos y espárragos

- Pernos hexagonales y espárragos, acero carbono ASTM A193-Gr.B7, Tuerca acero carbono ASTM A194-Gr.2H, Roscas laminadas, arandela acero carbono.

4.3.6 Empaquetadura

- Empaquetadura libre de asbesto, Aglutinante NITRILO, Para bridas cara con resalte (RF), Según ANSI B16.21, Espesor 1/16", Clase #300 (740 psi) y #150 (274 psi).

4.4 ESPECIFICACIONES DE LAS VÁLVULAS

- Válvula Mariposa - Clase #300, Tipo Lug, Entre bridas ANSI B16.5, Cuerpo acero carbono (ASTM A216 Gr. WCB), Disco acero inoxidable (ASTM A351 Gr. CF8M), Tipo "High performance", Eje excéntrico, Bidireccional, Asiento teflón reforzado, Operación con reductor.
- Válvula Mariposa - Clase #150, Tipo Lug, Entre bridas ANSI B16.5, Cuerpo acero carbono (ASTM A216 Gr. WCB), Disco acero inoxidable (ASTM A351 Gr. CF8M), Tipo "High performance", Eje excéntrico, Bidireccional, Asiento teflón reforzado, Operación con reductor.

- Válvula Retención - Clase #300 de cierre lento, tipo wafer, HP (High performance), Disco simple tipo swing, con resorte, contrapeso y cilindro hidráulico de amortiguación, Cuerpo y resorte acero carbono (ASTM A216 Gr. WCB), Disco de acero inoxidable (ASTM A217-CA15), Instalación en horizontal, Entre bridas ANSI B16.5.
- Válvula de aire y vacío, clase 300, cuerpo de acero al carbono (ASTM A216 Gr. WCB), flotador de acero inoxidable (ASTM A351 Gr. CF8M), conexión bridada según ANSI B16.5.
- Válvula de alivio de presión (de seguridad), cuerpo de acero al carbono (ASTM A216 Gr. WCB), resorte de acero inoxidable (ASTM A351 Gr. CF8M), conexión bridada ANSI B16.5 en el ingreso Clase 300 y salida Clase 150.

CAPÍTULO 5

DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA PARA ABASTECER A LA PLANTA CONCENTRADORA

5.1 ANÁLISIS TÉCNICO – ECONÓMICO PARA DETERMINAR EL DIÁMETRO DE LA TUBERÍA DE CONDUCCIÓN

El diámetro de la tubería de conducción es uno de los parámetros más importantes de dimensionamiento del sistema de bombeo, pues permite limitar la capacidad de transporte, definir el punto de presión de las bombas centrífugas y estimar el consumo de energía del sistema de bombeo. Por lo tanto, se evalúa los costos de inversión inicial y los costos de operación para 20 años de cada alternativa, tomando como elección la alternativa que obtenga el menor valor actual de costos.

Para reducir el rango de diámetros estándares disponibles, tomando como criterio que la velocidad del flujo se mantenga en el rango de 1m/s a 3 m/s, evaluamos los siguientes diámetros nominales para la tubería de conducción: Ø18", Ø20" y Ø24".

5.1.1 Resultado de cálculos para las tuberías

La tubería de conducción de agua recuperada está compuesta por dos materiales, el acero y el polietileno (HDPE). Es necesario tener presente todos los espesores nominales disponibles en el mercado de ambos materiales para los diámetros analizados.

La premisa principal es el caudal y a partir de este dato se estiman las velocidades tanto para el caudal nominal como para el caudal de diseño.

En el cuadro N°3, se presenta las dimensiones y pesos de las tuberías de acero según ASME B36.10.

Cuadro N°3.- Dimensiones de tuberías de acero y velocidades de flujo.

DN	DIMENSIONES DE TUBERÍA				FLUJO NOMINAL		FLUJO DISEÑO	
	Sch	De (mm)	t (mm)	Di (mm)	Q (m³/s)	v (m/s)	Q (m³/s)	v (m/s)
18	STD	457	9.53	438	0.315	2.09	0.362	2.40
	XS	457	12.70	432	0.315	2.15	0.362	2.47
	40	457	14.27	429	0.315	2.18	0.362	2.51
	60	457	19.05	419	0.315	2.28	0.362	2.63
20	STD	508	9.53	489	0.315	1.68	0.362	1.93
	XS	508	12.70	483	0.315	1.72	0.362	1.98
	40	508	15.06	478	0.315	1.75	0.362	2.02
	60	508	20.62	467	0.315	1.84	0.362	2.12
24	STD	610	9.53	591	0.315	1.15	0.362	1.32
	XS	610	12.70	584	0.315	1.18	0.362	1.35
	40	610	17.45	575	0.315	1.21	0.362	1.40
	60	610	24.59	560	0.315	1.28	0.362	1.47

En el cuadro N°4, se presenta las dimensiones y pesos de las tuberías de polietileno de alta densidad (HDPE) según la norma .ASTM F714.

Cuadro N°4.- Dimensiones de tuberías de polietileno y velocidades de flujo.

DN	DATOS DE TUBERÍA				FLUJO NOMINAL		FLUJO DISEÑO	
	SDR	De (mm)	t (mm)	Di (mm)	Q (m³/s)	v (m/s)	Q (m³/s)	v (m/s)
18	11	457	41.56	374	0.315	2.87	0.362	3.30
	13.5	457	33.87	389	0.315	2.64	0.362	3.04
	17	457	26.89	403	0.315	2.46	0.362	2.83
	21	457	21.77	414	0.315	2.34	0.362	2.70
	26	457	17.58	422	0.315	2.25	0.362	2.59
20	11	508	46.18	416	0.315	2.32	0.362	2.67
	13.5	508	37.63	433	0.315	2.14	0.362	2.46
	17	508	29.88	448	0.315	2.00	0.362	2.30
	21	508	24.19	460	0.315	1.90	0.362	2.18
	26	508	19.54	469	0.315	1.82	0.362	2.10
24	11	610	55.42	499	0.315	1.61	0.362	1.85
	13.5	610	45.16	519	0.315	1.49	0.362	1.71
	17	610	35.86	538	0.315	1.39	0.362	1.59
	21	610	29.03	552	0.315	1.32	0.362	1.52
	26	610	23.45	563	0.315	1.27	0.362	1.46

Se realizan los cálculos de energía en la tubería de conducción y se estiman las pérdidas y determinación de los espesores de tubería, para todo el recorrido de la tubería, cuyo perfil del trazo se muestra en el Gráfico N°5.

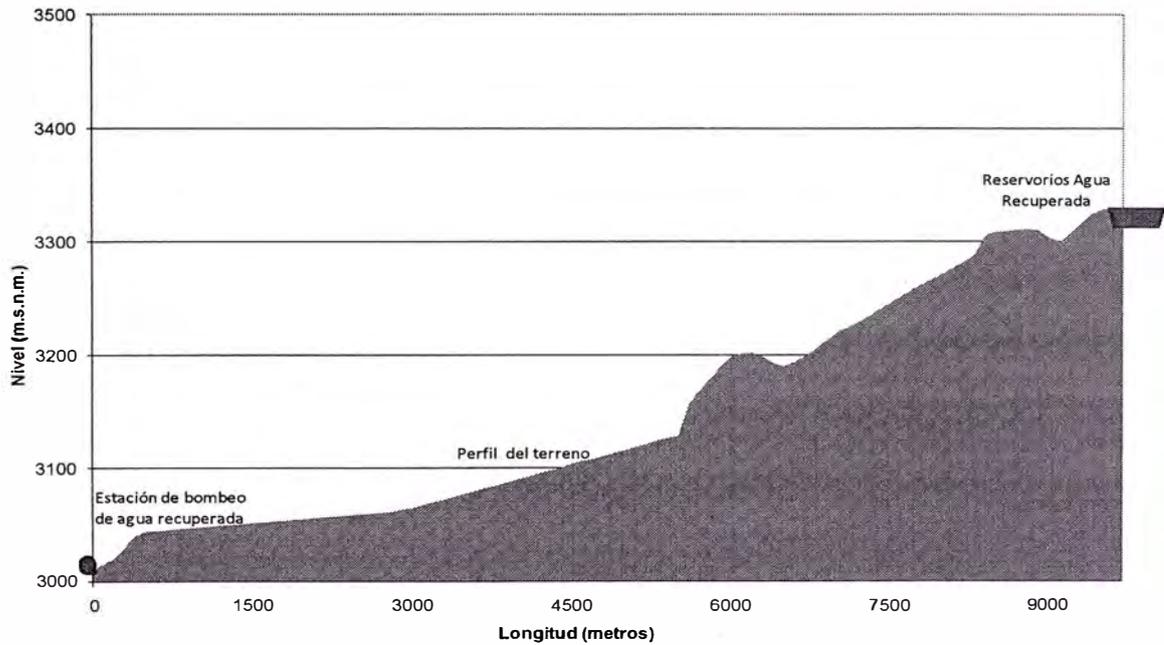
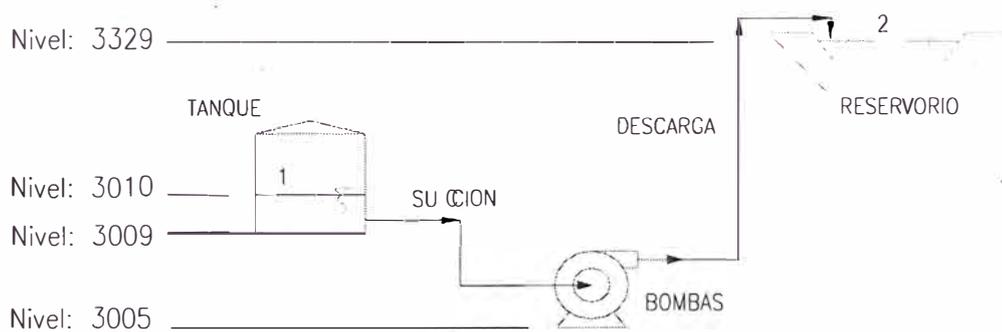


Gráfico N°5.- Perfil del terreno que sigue el trazo de la tubería de conducción



Esquema N°1.- Niveles de equipos del sistema de bombeo del punto 1 al 2.

Aplicando la ecuación (2) de las bases de cálculo:

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

Donde Z_1 es la cota de inicio, Z_2 es la cota de llegada y la diferencia resulta la altura estática. $Z_1 - Z_2 = 3329 - 3010 = 319$ m.

La presión P_1 es igual a P_2 . Las velocidades V_1 y V_2 son despreciables.

Las pérdidas primarias h_f (ecuación 4) se deben a la caída de presión en la tubería de acero y HDPE que en total resulta una longitud de 9700 metros.

Las pérdidas locales h_s (ecuación 7) se ve reflejada en la caída de presión en la válvula compuerta en las tuberías de succión y en las válvulas check, mariposa y compuerta localizados en la tubería de descarga, además de las pérdidas por codos y accesorios en la tubería de conducción.

Las pérdidas totales $h_{f_{total}}$ serán la suma de las pérdidas primarias h_f y la suma de las pérdidas locales h_s .

En el Cuadro N°5 se presenta los resultados de pérdidas de presión para cada diámetro y la determinación de la altura dinámica total (TDH) que debe tener la bomba para transportar el caudal de diseño.

Cuadro N°5.- Resultado de pérdidas y presión de trabajo para cada alternativa.

Tubería	Cotas		Altura	Longitud de tubería			Pérdidas	Presión de trabajo		
	Inicio	Llegada	Estática	Acero	HDPE	TOTAL	Hf tot	Altura Dinámica Total (TDH)		
\emptyset	(msnm)	(msnm)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m c.a.)	(kPag)	(psig)
18	3 010	3 329	319	7 500	2 200	9 700	157	476	4 666	677
20	3 010	3 329	319	7 400	2 300	9 700	89	408	3 996	580
24	3 010	3 329	319	7 100	2 600	9 700	35	354	3 474	504

En cada alternativa, se disgregan los metrados para los diferentes espesores de pared de las tuberías de acero y de HDPE, mostrados en los cuadros N°6 y N°7. Esto permite evaluar la reducción de costos que implicar reemplazar el tramo final de tubería de acero por HDPE para cada alternativa de diámetro.

Cuadro N°6.- Longitudes de tubería de acero para cada espesor y los costos de suministro respectivos.

TUBERÍA		PESOS Y COSTO			LONGITUD	PESO	COSTO	TOTAL
DN	Sch	kg/m	US\$/kg	US\$/m	m	t	US\$	US\$
18	STD	106.8	2.3	246	6 600	1 622	1 621 552	1 888 696
	XS	141.3	2.1	297	900	267	267 144	
	40	158.3	2.0	317	0	0	0	
	60	209.0	1.9	397	0	0	0	
20	STD	119.0	2.3	274	6 400	1 752	1 751 548	2 082 432
	XS	157.6	2.1	331	1 000	331	330 883	
	40	186.0	2.0	372	0	0	0	
	60	251.7	1.9	478	0	0	0	
24	STD	143.2	2.3	329	5 300	1 745	1 745 447	2 462 920
	XS	189.8	2.1	399	1 800	717	717 473	
	40	258.7	2.0	517	0	0	0	
	60	360.2	1.9	684	0	0	0	

Como resultado de los cálculos se puede apreciar que no es necesario tener una tubería de SCH 60 y SCH 40, ya que el sistema se evaluó para una sobrepresión que se origina para un tiempo de parada de bombas de 20 segundos. Un tiempo menor que este actuará la válvula de alivio de presión.

Cuadro N°7.- Longitudes de tubería de HDPE para cada espesor y los costos de suministro respectivos.

TUBERÍA		PESOS Y COSTO			LONGITUD	PESO	COSTO	TOTAL
DN	SDR	kg/m	US\$/kg	US\$/m	m	t	US\$	US\$
18	11	54.9	2.8	154	700	38	107 697	262 656
	13.5	45.7	2.8	128	0	0	0	
	17	36.9	2.8	103	1 500	55	154 959	
	26	24.7	2.8	69	0	0	0	
20	11	67.8	2.8	190	600	41	113 957	330 770
	13.5	56.4	2.8	158	0	0	0	
	17	45.5	2.8	128	1 700	77	216 813	
	26	30.5	2.8	85	0	0	0	
24	11	97.7	2.8	274	800	78	218 806	549 343
	13.5	81.2	2.8	227	0	0	0	
	17	65.6	2.8	184	1 800	118	330 537	
	26	43.9	2.8	123	0	0	0	

5.1.2 Resultado de cálculos para las bombas

Con los espesores de pared, los materiales y las longitudes de las tuberías definidas, y con ello, calculado las alturas dinámicas totales para cada alternativa, se determinarán la capacidad, potencia de las bombas y el consumo de energía que demanda la estación de bombeo.

En el cuadro N°8, se muestra el resumen de los resultados obtenidos.

Cuadro N°8.- Longitudes de tubería de HDPE para cada espesor y los costos de suministro respectivos.

Diámetro de tubería	Estado de la Bomba	H	Q	BHP		Pot. Instalada		Pot. eléctrica		E anual	
		m c.a.	(m³/s)	kW	hp	kW	hp	kW	hp	MWh	US\$/año
18	Operación	476	0.181	1 126	1 510	1 268	1 700	1 186	1 589	10 179	1 017 945
	Operación	476	0.181	1 126	1 510	1 268	1 700	1 186	1 589	10 179	1 017 945
	Stand By	0	0.000	0	0	1 268	1 700	0	0	0	0
20	Operación	408	0.181	965	1 293	1 119	1 500	1 016	1 361	8 719	871 916
	Operación	408	0.181	965	1 293	1 119	1 500	1 016	1 361	8 719	871 916
	Stand By	0	0.000	0	0	1 119	1 500	0	0	0	0
24	Operación	354	0.181	839	1 124	933	1 250	883	1 183	7 579	757 907
	Operación	354	0.181	839	1 124	933	1 250	883	1 183	7 579	757 907
	Stand By	0	0.000	0	0	933	1 250	0	0	0	0

Para esta evaluación se predeterminó lo siguiente:

- La eficiencia de las bombas para cada alternativa es de 75%. Este valor fue tomado como promedio de eficiencias mostradas en las curvas características de catálogo de bombas de proveedores con representación local.
- La eficiencia del motor para los rating de potencia mostrados es de 95% para determinar el consumo de energía a un costo de 0.1 US\$/kWh para un tiempo de 8585 horas al año.

5.1.3 Resultado de costos y evaluación económica

Teniendo la dimensión de las tuberías, bombas, válvulas y equipos eléctricos, realizamos los estimados de costos para cada alternativa.

Como se indicó en el fundamento económico (ítem 2.3.5), se desarrolló los estimados de costos de inversión y los estimados de costos de operación para evaluarlos en un período de 20 años.

Los costos de inversión vienen representados principalmente por lo siguiente:

- Costos de Suministro de tubería de acero y HDPE, mostrados en los cuadro N°6 y N°7.
- Costos de instalación de la tubería, que se determina mediante un análisis de costos y que se obtiene como resultado lo siguiente:
 - Tubería de acero: 236.34 US\$/m (tuberías 18" y 20")
 - Tubería de acero: 284.05 US\$/m (Tubería 24")
 - Tubería de HDPE: 120 US\$/m
- Costo de bombas, que incluye el suministro e instalación de bomba, motor y sistema de arranque. Estos son valores tomados de proveedores de bombas con representación local.
- Costo de instalaciones mecánicas, que implica el suministro e instalación de todas las válvulas y accesorios de la estación de bombeo y de la tubería de conducción.
- Costo de equipos eléctricos, que considera los tableros de control, los MCC's (Motor Control Center), iluminación, celda de llegada y el transformador.
- Costo de obras civiles, que considera la explanación del terreno, construcción de la sala eléctrica, las cimentaciones de las bombas y tuberías.

Cuadro N°9.- Costos de Inversión para cada alternativa

Costo de Inversión (CAPEX)							
Diámetro Tubería	Tubería		Bombas	Inst. Mec.	Equip. Elect.	Ob. Civiles	Subtotal
	Suministro	Instalación	Sum.+ Inst.	Sum.+ Inst.	Sum.+ Inst.	Obras	
∅	US\$	US\$	US\$	US\$	US\$	US\$	US\$
18	2 151 352	2 036 550	1 987 326	307 749	697 551	271 554	7 452 082
20	2 413 202	2 024 916	1 753 634	315 035	543 626	271 554	7 321 967
24	3 012 263	2 380 755	1 461 258	319 985	409 152	271 554	7 854 966

Los costos de operación anual vienen representados por lo siguiente:

- Consumo de energía, mostrado en el cuadro N°8.
- Costo de Seguro: 1% Costo Total Instalado.
- Mantenimiento de Tubería: 1.5% Costo Instalado de Tubería.
- Mantenimiento de Bomba: 3% Costo Potencia Instalada.

El costo unitario de la energía eléctrica es un valor constante durante todo el período de evaluación, debido a que la empresa minera, como cliente libre, firma un contrato privado a largo plazo con las empresas generadoras.

Para efectuar el mantenimiento anual de las bombas se requieren dos (02) mecánicos y un (01) supervisor. Además de los repuestos para un año de operación, que vienen representado por anillos de desgaste de la carcasa y de los impulsores, bocinas del eje, rodamientos y empaquetaduras.

El mantenimiento de la tubería implica las inspecciones visuales, pintado de la tubería de acero para evitar la corrosión, inspección de las válvulas de venteo y vacío, estado de las anclajes y soportes.

De esta manera obtenemos los resultados para cada alternativa presentado en el cuadro N°10.

Cuadro N°10.- Costos de Operación para cada alternativa

Diámetro Tubería	Costo Operación Anual (OPEX)		
	O & M	Energía	Subtotal
∅	US\$	US\$	US\$
18	229 982	2 035 890	2 265 872
20	220 611	1 743 831	1 964 442
24	227 152	1 515 813	1 742 965

Teniendo el valor de la inversión inicial, sumados a los costos anuales durante 20 años reflejados en tiempo presente, se determina el valor actual de costos (VAC) para cada alternativa en estudio.

Cuadro N°11.- Valor actual de costos para cada alternativa y diferentes tasas de descuento.

Diámetro Tubería	Valor Actual Costos (20 años)		
	Tasa de descuento		
	10%	12%	14%
∅	US\$	US\$	US\$
18	26 814 325	24 448 483	22 530 845
20	24 107 629	22 056 515	20 393 982
24	22 743 688	20 923 823	19 448 729

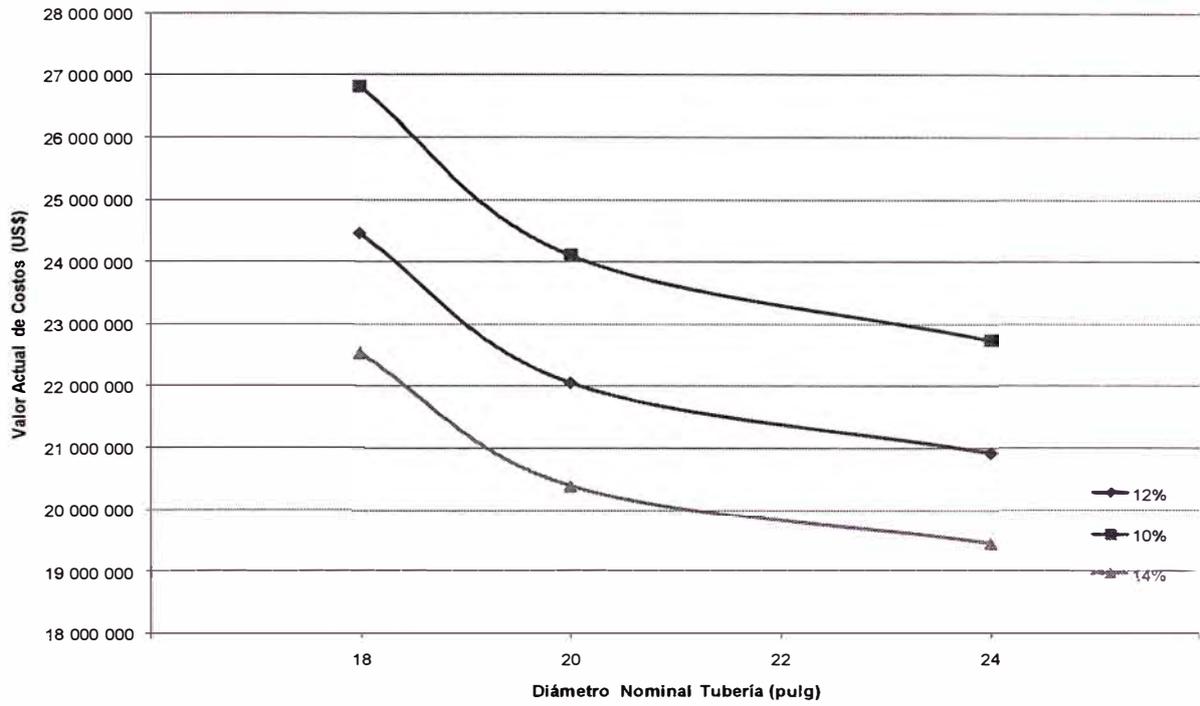


Gráfico N°6.- Resultados del diámetro económico.

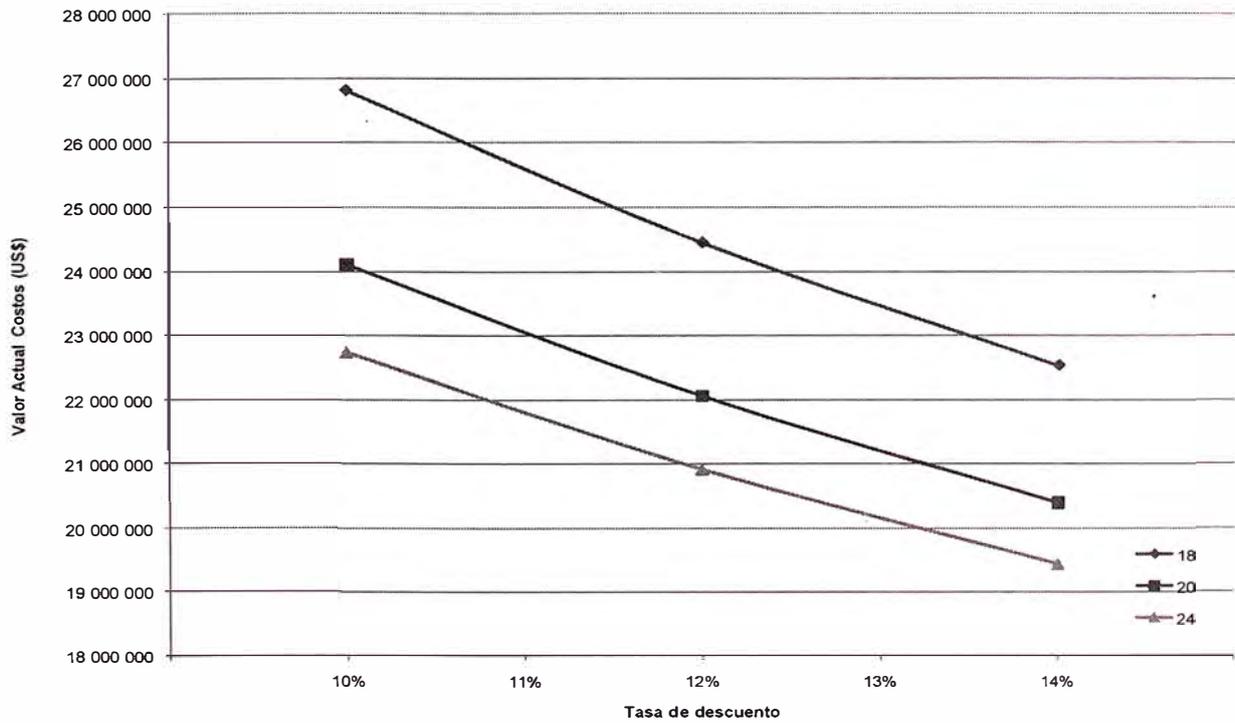


Gráfico N°7.- Gráfico comparativo Valor Actual de costos versus tasa de descuento.

Como resultado de la evaluación se selecciona la tubería de Ø24" por tener un menor valor actual de costos. Esto permite tener una menor potencia instalada en la estación de bombeo y equipos eléctricos y de protección de menor capacidad.

Según el cuadro N°11 y el gráfico N°7, se aprecia que cada punto porcentual que aumenta la tasa de descuento, el valor actual de costos se reduce aproximadamente en un millón de dólares. Este análisis es importante sabiendo que actualmente la rentabilidad de las empresas mineras ha permitido que se puedan trabajar con valores comprendidos entre el 14% al 19% de tasa de descuento.

5.2 DIMENSIONAMIENTO DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO

El dimensionamiento final tiene como punto de partida las bases de cálculo presentado en el informe y de catálogos de equipos estándares de proveedores de bombas, válvulas y tuberías.

5.2.1 Dimensión y Selección de bombas

Los requerimientos para los equipos de bombeo corresponden a los que se indica en el cuadro resumen siguiente:

Cuadro N°12.- Datos para la selección de la bomba centrífuga

Descripción	Cantidad	Caudal Nominal (m ³ /h)		Caudal de Diseño (m ³ /h)		H (m c.a.)
		Total	x Bomba	Total	x Bomba	
Bomba Centrífuga Horizontal de multiples etapas	3 bombas (2 operación + 1 stand by)	1 134	567	1 304	652	354

Cuadro N°13.- Cálculo de potencia

Diámetro de tubería	Estado de la Bomba	H	Q	BHP		Pot. Instalada	
		m c.a.	(m ³ /s)	kW	hp	kW	hp
24	Operación	354	0.181	762	1 022	932	1 250
	Operación	354	0.181	762	1 022	932	1 250
	Stand By	0	0.000	0	0	932	1 250

Tipo de bomba: Centrífuga Horizontal de dos etapas en serie.

Eficiencia: 82.5%

Nivel de Tensión: 4.16 kV, 60 Hz, 3 fases.

En el cuadro N°14, se estima el valor del NPSH disponible para la bomba centrífuga. Este dato es muy importante para que los fabricantes puedan diseñar o seleccionar las bombas, pues deben entregar una bomba con un valor de NPSH requerido menor al disponible para evitar cavitación y pérdida de eficiencia en el momento de la operación.

Cuadro N°14.- Cálculo del NPSH admisible

Presión Atmosférica	po	7.03 m
Presión vapor agua	pv	0.17 m
Altura estática	Z	5.00 m
Pérdidas de succión	hfs+hss	1.12 m
NPSH disponible		10.74 m

5.2.2 Cálculo y selección de válvulas y accesorios

Las válvulas en la estación de bombeo están ubicadas de manera que puedan ser operadas manualmente mediante volantes y cajas reductoras.

Las válvulas de retención o check se ubican en tramos de tubería horizontal y se proporcionarán drenajes aguas abajo de estas válvulas.

- **Válvula en el manifold de succión:**

Válvula Compuerta Ø30", Clase #150, bonete apernado, eje ascendente, Cuerpo acero carbono (ASTM A216 Gr. WCB), yugo exterior roscado (OS&Y), asientos integrados, extremos bridados de cara con resalte (RF) según ANSI B16.5 #150, Operación manual con volante.

- **Válvula en la tubería de succión de la bomba:**

Válvula Mariposa Ø16", clase #150, tipo Wafer, entre bridas ANSI B16.5 #150, cuerpo acero carbono (ASTM A216 Gr. WCB), disco acero inoxidable (ASTM A351 Gr. CF8M), tipo "High performance", eje excéntrico, bidireccional, asiento teflón reforzado, operación manual con volante y caja reductora.

- **Válvulas en la tubería de descarga de la bomba:**

- Válvula Retención Ø12", cl Clase #300 de cierre lento, tipo wafer, HP (High performance), Disco simple tipo swing, con resorte, contrapeso y cilindro hidráulico de amortiguación, Cuerpo y resorte acero carbono (ASTM A216 Gr. WCB), Disco de acero inoxidable (ASTM A217-CA15), Instalación en horizontal, Entre bridas ANSI B16.5.

Válvula Mariposa Ø12", Clase #300, tipo Lug, entre bridas ANSI B16.5 #300, cuerpo acero carbono (ASTM A216 Gr. WCB), disco acero inoxidable (ASTM A351 Gr. CF8M), tipo "High performance", eje doble excentricidad, bidireccional, asiento teflón reforzado, operación con actuador eléctrico ON/OFF.

- **Válvula de protección contra sobrepresión**

Válvula de alivio de presión (de seguridad), Ø6", cuerpo de acero al carbono (ASTM A216 Gr. WCB), resorte de acero inoxidable (ASTM A351 Gr. CF8M), conexión bridada ANSI B16.5 en el ingreso Clase 300 y salida Clase 150.

- **Válvulas de purga de aire (venteo) y vacío para la tubería de conducción**

Válvulas combinadas de doble efecto, aire/vacío y liberación de aire, Ø4", Clase #150 y #300, cuerpo de acero carbono (ASTM A216 Gr. WCB), flotador de acero inoxidable A316.

- **Válvulas en el manifold de descarga**

Válvulas compuerta Ø4", para purga, bonete apernado, eje ascendente, cuerpo y bonete de acero al carbono (ASTM A216 Gr. WCB), yugo exterior roscado (OS&Y), cuña de acero inoxidable (ASTM A351 Gr. CF8M), asientos integrados, extremos bridados de cara con resalte (RF) según ANSI B16.5 #300.

Válvula Compuerta Ø24", descarga del manifold, Clase #300, bonete apernado, eje ascendente, Cuerpo acero carbono (ASTM A216 Gr. WCB), yugo exterior roscado (OS&Y), cuña de acero inoxidable (ASTM A351 Gr. CF8M), asientos integrados, extremos bridados de cara con resalte (RF) según ANSI B16.5 #300.

5.2.3 Línea de Impulsión

Los espesores de la tubería de acero se calcularon según ASME B31.4 y se consideraron las tolerancias de espesor por corrosión (1.6 mm). Las dimensiones y rangos de presión de las tuberías de HDPE se rigen bajo la norma ASTM F714.

En los cuadros N°15 y N°16, se tabulan las presiones máximas por tramo de tubería y los espesores requeridos correspondientes.

Cuadro N°15.- Clase y cantidad de tubería de acero

Datos de Tubería de Acero					Flujo		Presión Diseño	Longitud
DN	Sch	De (mm)	t (mm)	Di (mm)	Q (m³/s)	v (m/s)	(psi)	(m)
24	STD	610	9.53	591	0.362	1.32	550	5 300
	XS		12.70	584		1.35	780	1 800

Cuadro N°16.- Clase y cantidad de tubería de HDPE

Datos de Tubería de HDPE					Flujo		Presión Diseño	Longitud
DN	SDR	De (mm)	t (mm)	Di (mm)	Q (m³/s)	v (m/s)	(psi)	(m)
24	11	610	55.42	499	0.362	1.85	200	800
	17		35.86	538		1.59	125	1 800

La presión de diseño de la tubería no será menor que la máxima presión de servicio esperada en la condición más severa.

En el tramo comprendido por la tubería de HDPE, se trabajó con dos clases (SDR) para disminuir la variedad de espesores disponibles en los catálogos del fabricante y definir la presión mínima de diseño (125 psi).

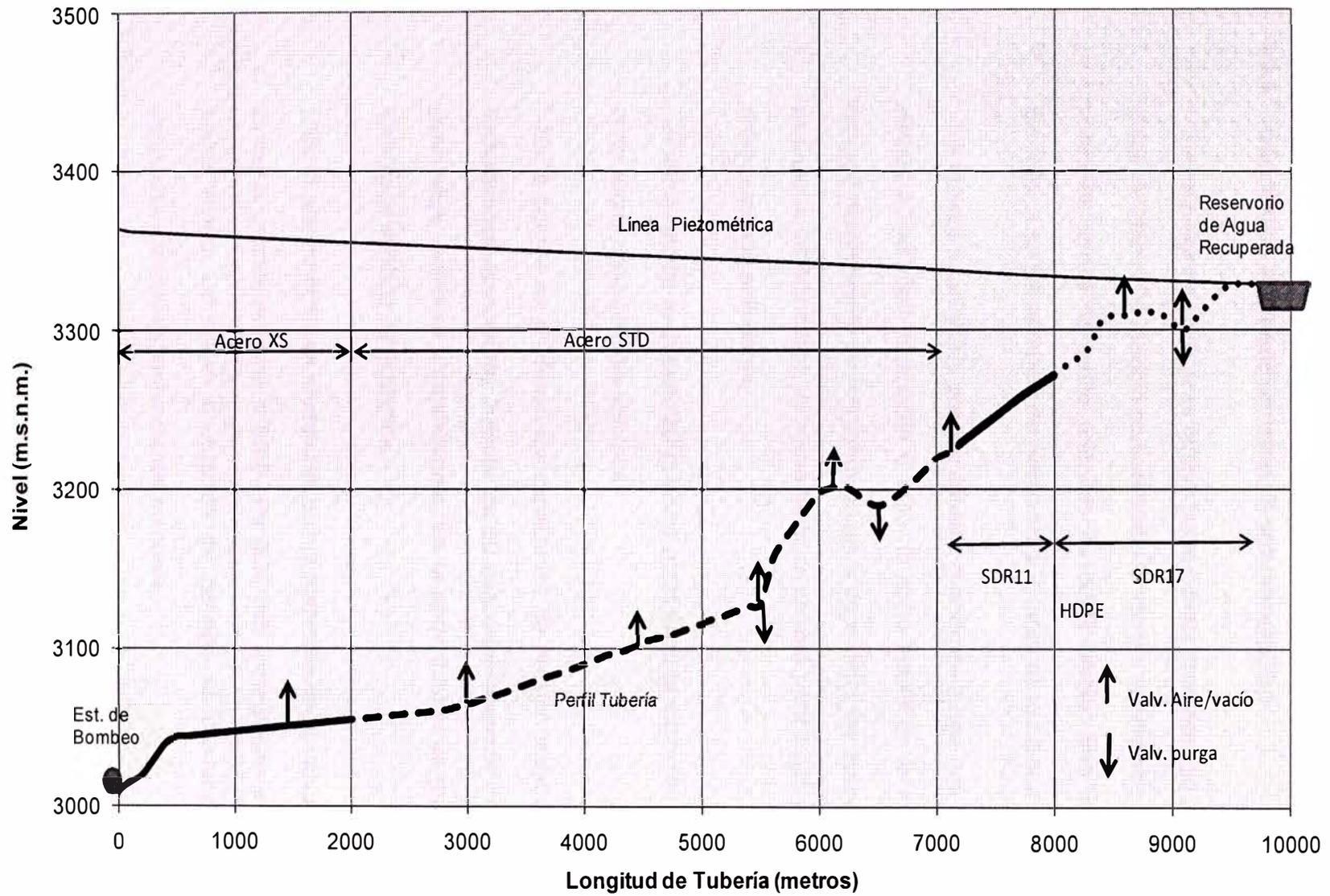


Gráfico N°8.- Plano de carga del sistema de bombeo para una diámetro de 24".

5.2.4 Resultados del modelamiento de sobrepresiones

Con el programa Surge se obtuvo las máximas presiones en la tubería de conducción por golpe de ariete. Se modeló considerando la válvula de alivio de presión más las válvulas de purga de aire y de vacío (válvulas de doble efecto) que se instalarán en los puntos elevados y en los cambios de pendiente a lo largo de la tubería.

La válvula de alivio de presión actuará cuando se tenga una interrupción brusca del flujo debido a una mala operación o ante un corte súbito de la energía eléctrica. La válvula actuará rápidamente descargando el agua para bajar las sobrepresiones generadas. Acto seguido la válvula check de cierre lento se cerrará para luego parar la bomba. Con ello se protegerá todo el sistema.

A continuación se presentan gráficos mostrando la variación de la sobrepresión ante un corte súbito de la energía eléctrica.

En la bomba se producen las variaciones de presión mostradas en el gráfico N°9, con fluctuaciones apreciables durante los 50 segundos después del corte de energía eléctrica para luego reducirse y estabilizarse. En la parte inferior se muestra las variaciones en la tubería de succión de la bomba.

En el gráfico N°10 se muestra el comportamiento de la válvula de alivio de presión para limitar la presión máxima a 4400 kPa (638 psi) protegiendo a la bomba y a toda la línea aguas abajo. La mayor fluctuación de presión se produce durante los 50 primeros segundos y le siguen fluctuaciones menores.

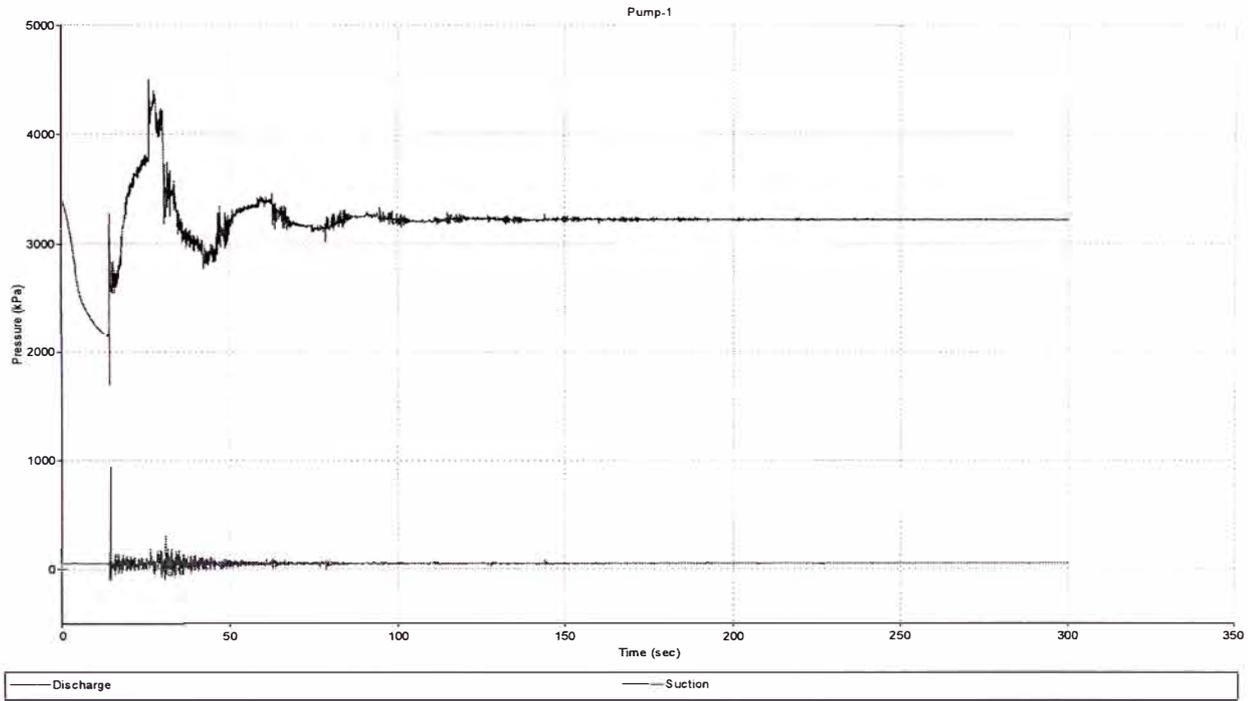


Gráfico N°9.- Sobrepresión en la bomba centrífuga.

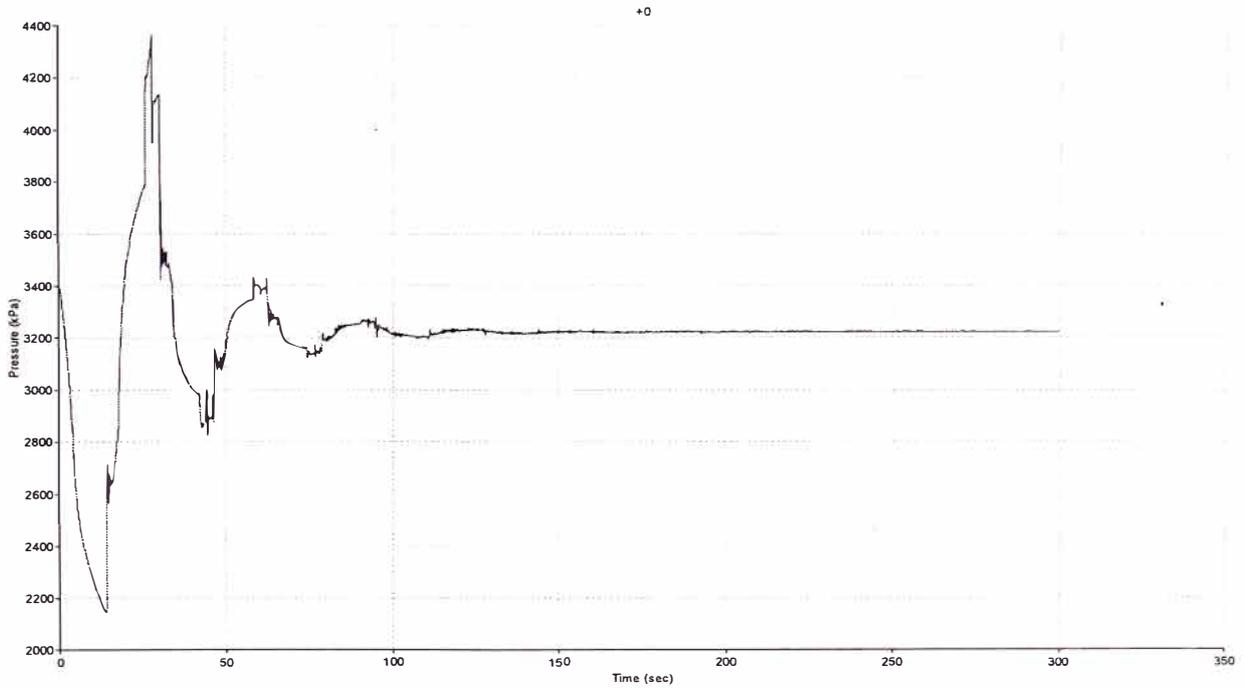


Gráfico N°10.- Presión en la válvula de alivio de presión

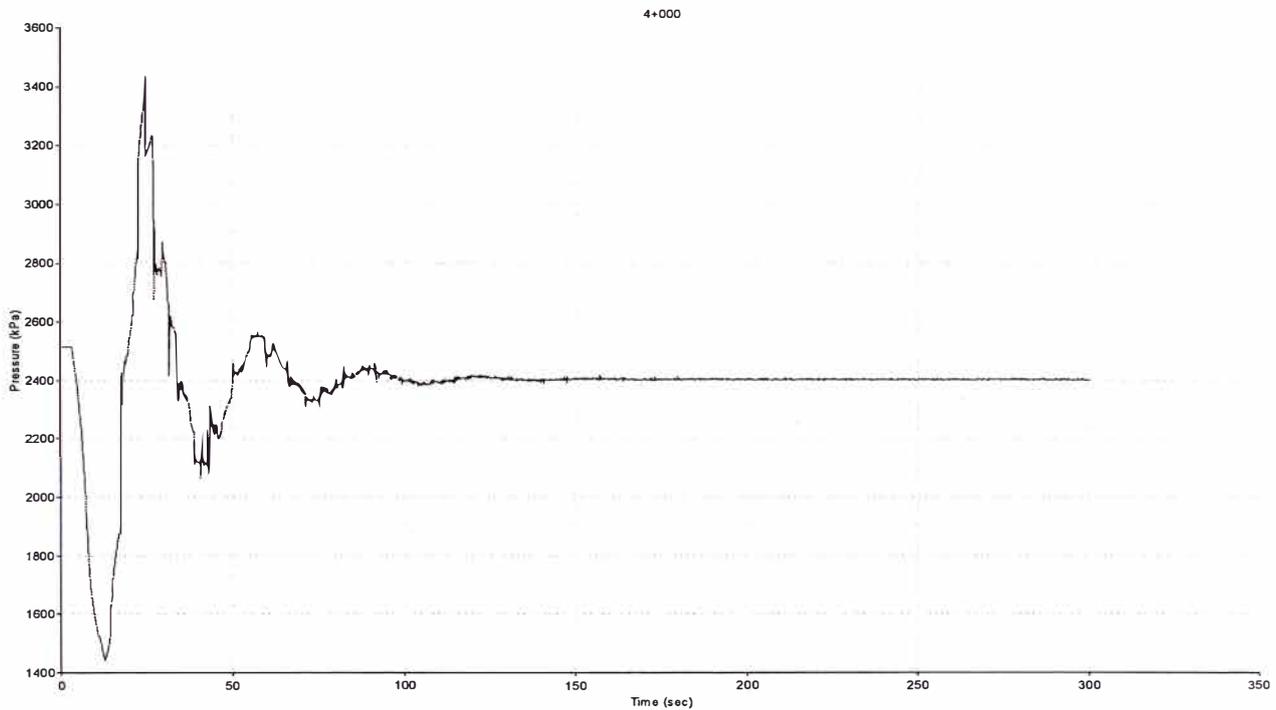


Gráfico N°11.- Presión en la progresiva 4+000 de la tubería

En el gráfico N°11 se indica la presión en la progresiva 4+000. Se muestra que al cabo de 20 segundos se levanta un pico de 3400 kPa (493 psi) para después estabilizarse a 2400 kPa (348 PSI) que es la presión estática en ese punto de la tubería.

En el gráfico N°12 el perfil de la tubería, donde se representa gráficamente las sobrepresiones y subpresiones del sistema, además de su fluctuación a lo largo de la línea.

Se ubican también las válvulas de aire y vacío. Estas válvulas permiten la expulsión de aire que se forma en los puntos altos de la tubería y admitir aire para prevenir las condiciones de vacío dentro de la tubería cuando se genere una separación de columna de agua durante el golpe de ariete.

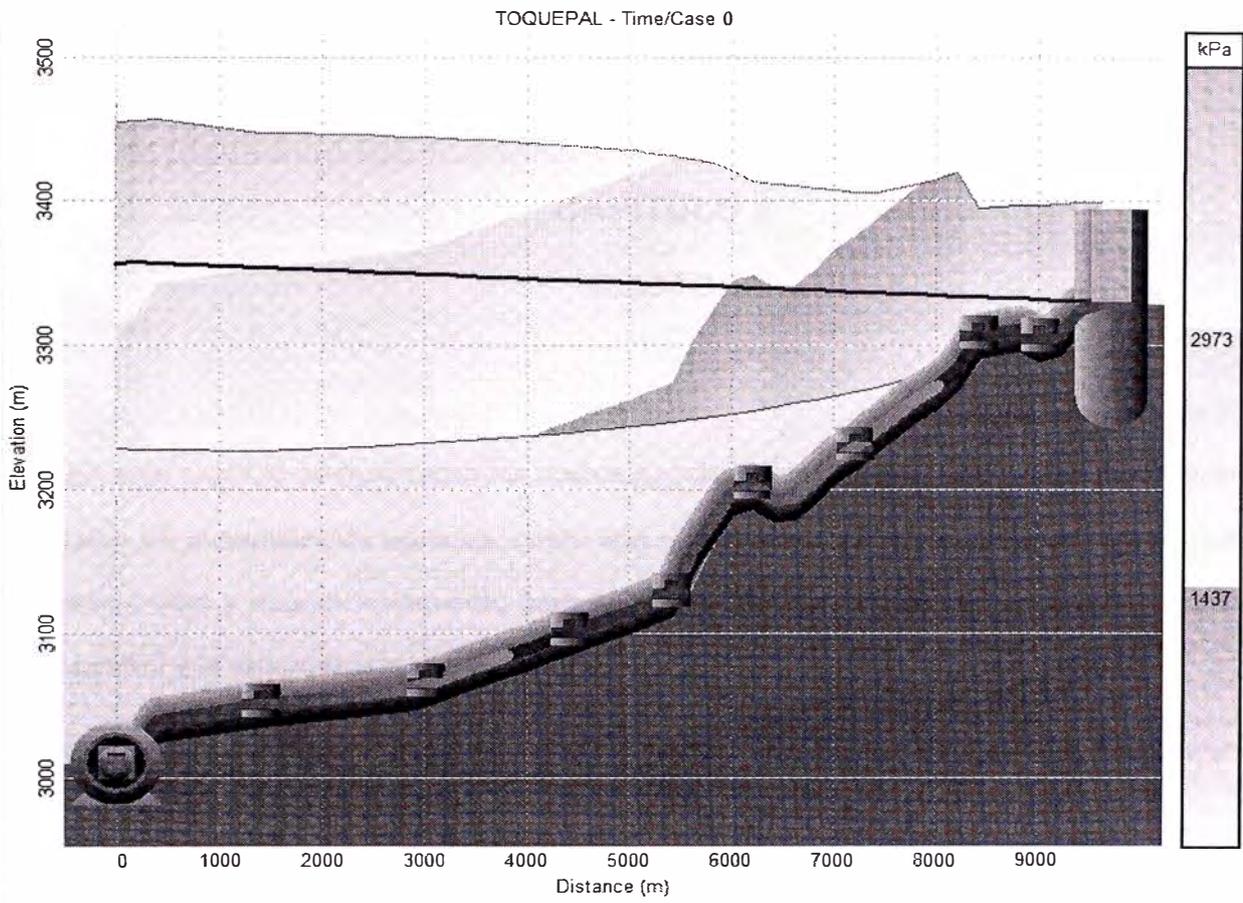


Gráfico N°12.- Gráfico del sistema

CAPÍTULO 6

COSTOS

En este capítulo se mostrarán los costos asociados al proyecto, los cuales involucran los costos de suministro de equipos, como son las bombas, válvulas, tuberías, los costos de obras civiles y acondicionamiento para la instalación, los costos del suministro eléctrico y el control y la automatización del sistema.

- Los costos de equipos se tomo de cotizaciones de fabricantes con representación local.
- Los costos de instalación y obras civiles son estimados en base a la compañía que realiza el montaje.
- Para el cálculo de la mano de obra, se incluyó a todo el personal con promedio de trabajo de 12 horas y sus respectivos jornales por categoría.

6.1 COSTOS TOTALES DE INVERSIÓN

En el cuadro N°17 se presenta el resumen de los costos de inversión de cada disciplina.

En este proyecto se puede apreciar que los costos de las instalaciones mecánicas representan aproximadamente el 85% de los costos totales de inversión. Las instalaciones mecánicas contemplan la compra, transporte e instalación de los equipos mecánicos en la estación de bombeo, las tuberías de acero y HDPE a lo largo del trazo, además de las válvulas.

Los costos por obras civiles representan el 7%, ya que el trazo de la tubería de conducción se encuentra paralelo a un acceso existente, en un terreno perfilado, cortes de taludes localizados y donde la excavación es mínima para una tubería instalada sobre terreno (expuesta).

Cuadro N°17.- Resumen de Costos de Inversión

ITEM	DESCRIPCION	Unidad	SUBTOTAL US\$
0.00	TRABAJOS PRELIMINARES	glb	112 582.40
1.00	OBRAS CIVILES (Movimiento de Tierras)	glb	140 448.00
2.00	OBRAS CIVILES (Concreto y Estructuras)	glb	355 713.33
3.00	INSTALACIONES MECÁNICAS	glb	6 757 488.85
4.00	INSTALACIONES ELÉCTRICAS	glb	312 652.00
5.00	CONTROL E INSTRUMENTACIÓN	glb	99 500.00
6.00	PRUEBAS Y PUESTA EN MARCHA	glb	271 770.71
	COSTO DIRECTO (C.D.)	US \$	8 050 155.29
	GASTOS GENERALES (5% C.D.)	US \$	402 507.76
	UTILIDADES (8% C.D.)	US \$	644 012.42
	INGENIERÍA Y SUPERVISIÓN (10% C.D.)	US \$	805 015.53
	TOTAL	US \$	9 901 691.01

En el apéndice A4 se presenta el detalle de los costos de inversión.

CONCLUSIONES

- El diseño eficiente de una estación de bombeo de agua se refleja principalmente en los costos de inversión necesarios y el consumo de energía que demanda transportar, a la presión y caudal requerido, al punto de almacenamiento y así satisfacer la demanda de agua de la planta concentradora.
- Los cálculos se realizaron considerando la longitud de la tubería, el desnivel a superar para el agua recuperada, así como los criterios de diseño y fórmulas indicadas en el ítem 5 para determinar la Altura Dinámica Total, con las pérdidas de presión según Darcy - Weisbach.
- El análisis consideró 3 diámetros nominales: 18", 20" y 24" para ejecutar el cálculo económico. Del análisis de costos y anualizando resulta que la tubería de 24" tiene el menor valor actual neto de costos.
- El sistema cuenta con válvulas de control para dar un arranque y parada suave a cada bomba. Dicha válvula de control estará completamente cerrada en el arranque, aumentando su apertura conforme se incrementa la presión de la bomba hasta llegar a la presión de trabajo. Al darse la orden de parada, la válvula comenzará a cerrarse lentamente y cuando esté totalmente cerrada, ordenará la parada de la bomba.

- La selección del diámetro y espesores de la tubería, además del tamaño de las bombas se realiza con criterios técnicos y económicos bien definidos, se logra resultados óptimos, teniendo un sistema confiable y un mejor costo beneficio de operación y mantenimiento.
- Las herramientas computacionales (software de análisis y diseño) ayudan a dimensionar, analizar, verificar y optimizar el proceso de selección y diseño de los sistemas de bombeo. Es un requerimiento indispensable realizar un análisis del sistema para garantizar la correcta selección de los equipos antes de realizar la compra.

RECOMENDACIONES

- Para evitar el golpe de ariete se instalará una válvula check de cierre lento y una válvula de alivio de presión que actuará cuando se tenga una interrupción brusca del flujo debido a una mala operación o ante cortes de energía eléctrica. Dicha válvula se debe seleccionar para actuar en un tiempo mínimo de 20 segundos. Con ello se protegerá todo el sistema. Además se instalará válvulas de doble efecto de aire y vacío para eliminar el aire y prevenir la formación de vacío dentro de la tubería.
- La investigación de los recursos hídricos disponibles y la calidad del agua es muy importante para el dimensionamiento del sistema de bombeo (ni sobredimensionado ni subdimensionado) analizado en un período de 20 años de operación de la planta.
- Es importante tener presente los impactos ambientales que pueda tener el sistema de bombeo de agua. Ante eventos impredecibles en el sistema, se deben tener en consideración las canalizaciones de los flujos eventuales de purga de agua en la tubería y tanque, además de los reboses por excesos de capacidad.

BIBLIOGRAFÍA

- The Transportation of Solids in STEEL PIPELINES – C. Harrison Townsend
- Steel Pipe. Design and Installation – American Water Works Association
- Pipelines. Design and Construction of steel pipelines in land – British Standards Institution.
- Pipelines rules of Thumb Handbook – E.W. McAllister, Editor – Seventh Edition
- Pipeline Design & Construction – M. Mohitpour, H. Golshan, A. Murray – Second Edition.
- Piping System & Pipeline- ASME B31 Code – Phillip Ellenberger.
- Pump Handbook – Igor J. Karassik, Joseph P. Messina, Paul Cooper, Charles C. Heald – Third Edition.
- Pumping Station Design – Robert L. Sanks – Second Edition
- ASME B31.4 – Pipeline Transportation System for Liquid Hydrocarbons and other liquids.
- ASME B31.3 – Process Piping.
- American Petroleum Institute (API) Specification 5L (line pipe).
- American Society of Testing Material ASTM A53.

PLANOS

- PL-01: Diagrama de Proceso del sistema de bombeo.
- PL-02: Arreglo General de la Estación de Bombeo – Vista en Planta.
- PL-03: Arreglo General de la Estación de Bombeo – Vista en Elevación.
- PL-04: Diagrama de Tuberías e Instrumentación del Sistema de Bombeo.
- PL-05: Site Plan Sistema de Recuperación de Agua de Relaves.

APENDICE

- A1.- Hoja de Datos (Data Sheet) del equipo de bombeo.
- A2.- Datos Técnicos de bomba, curvas, modelo, dimensiones y rango de operación.
- A3.- Datos Técnicos motor tipo jaula de ardilla en media tensión.
- A4.- Costos de Inversión detallado

A1.- HOJA DE DATOS (DATA SHEET)
DEL EQUIPO DE BOMBEO

HOJA DE DATOS / DATA SHEET

N°	DESCRIPTION	UNIT	SPECIFIED
----	-------------	------	-----------

1	I. GENERAL		
2	MATERIAL REQUISITION:		
3	EQUIPMENT TAG N°:		PP-001/002/003
4	SERVICE:		Agua Recuperada de relaves
5	TYPE:		Heavy Duty
6	QUANTITY REQUIRED:		Three (3)
7	ARRANGEMENT:		2 Operation + 1 Stand by

8	NOMENCLATURE		
9	NAP:	Not Applicable	
10	VTS:	Vendor to Specify	
11	NAV:	Not Available	
12	TBD:	To Be Defined	
13	TBA:	To Be Advised	

14	II. OPERATION		
15	SERVICE TYPE		HEAVY DUTY
16	DESIGN AMBIENT TEMPERATURE		
17	Min./Máx.	°C	5 / 24
18	DESIGN RELATIVE HUMIDITY		
19	Mean	%	45
20	INSTALLATION ALTITUDE	m.a.s.l.	3 000
21	OPERATION		
22	Indoor		
23	Outdoor		X
24	OPERATION TIME		
25	Hours/Year		8 585
26	Starts / Hour		VTS
27	ENVIRONMENT		
28	Clean		
29	Dusty		X
30	Dry		
31	Wet		X
32	SEISMIC ZONE		Zona 3 (NTP E.030)
33	WATER CHARACTERISTICS AND PROCESS REQUIREMENTS		
34	Type		Agua recuperada de espesadores de relaves (Overflow)
35	Specific gravity	-	1
36	pH	-	8
37	Viscosity	cP	1.2
38	Vapor Press	m	0.17
39	Pumping temp	°C	10 - 20
40			

41	III. PUMP IDENTIFICATION		
42	Manufacturer	-	Flowserve
43	Size	-	12 x 8
44	Model	-	Centrifuga Horizontal Multietapas
45	Drawing N°	-	VTS

HOJA DE DATOS / DATA SHEET

N°	DESCRIPTION	UNIT	SPECIFIED
46	IV. PUMP DATA		
47	Capacity and Power		
48	Total Dynamic Head (TDH) - design	m	354
49	Flow - nominal/design	m³/h	567 / 652
50	Efficiency - nominal/design	%	> 80%
51	Brake Power - design	kW	762
52	Pump Speed - design	rpm	1785
53	Discharge Head - nominal/design	m	354
54	NPSH required - nominal/max. (abs)	m	11
55	Maximum Brake	kW	914
56	Recommended Motor	kW	932
57	Minimum Flow	m³/h	567
58	Peripheral Speed - nominal/design	m/s	VTS
59	General Information		
60	Impeller Diameter	mm	VTS
61	Impeller Rotation	-	one rotation
62	Suction Connection	pulg	12
63	Suction Velocity	m/s	> 1.5
64	Discharge Connection	pulg	8
65	Discharge Velocity	m/s	> 2
66	Maximum Working Press	kPa	4482
67	Max. Allowable Speed	rpm	VTS
68	Construction		
69	Mounting Plate		
70	Material	-	ASTM A36
71	Casing		
72	Type	-	12 x 8
73	Material	°C	Carbon steel
74	Liner Thickness	mm	NAP
75	Liner Material	-	NAP
76	Split	-	VTS
77	Suction/Discharge Flange	-	ASME 16.5 Class 600
78	Impeller		
79	Type	-	Enclosed
80	Material	-	Inox. Duplex
81	Liner Material	-	NAP
82	Offered Diameter	mm	320
83	Diameter Max.	mm	340
84	Shaft		
85	Type	-	VTS
86	Material	-	Steel Inox. 416SS
87	Diameter At Bearings	mm	VTS
88	Length	mm	VTS
89	Sleeve Material	mm	VTS
90	Seals		
91	Type	-	mechanical seal
92	Packing Rings Number / Material	-	AISI 410 HT

HOJA DE DATOS / DATA SHEET

N°	DESCRIPTION	UNIT	SPECIFIED
93	Size	mm	VTS
94	Seal Water Flow/Pressure	m³/h / PSI	VTS
95	Bearings		
96	Type/Size	pulg	Balls / 3.5"
97	Manufacturer	-	VTS
98	Lubrication	-	Ring oil
99	Seal	-	VTS
100	Life (B-10) Rating (hrs)	hrs	VTS
101	Weight and Size		
102	Total Shipping Weight	kg	VTS
103	Heaviest Piece for Installation	kg	VTS
104	Heaviest Piece for Maintenance	kg	VTS
105	Overall Dimensions LxWxH	mm	VTS
106	Pump Test		
107	Hydrostatic Test Press	-	ok
108	Running Test	-	ok
109	Performance Test	-	ok
110			

V. MOTOR IDENTIFICATION			
111			
112	Manufacturer	-	Weg
113	Size	-	VTS
114	Model	-	VTS
115	Drawing N°	-	PP-001/002/003

VI. MOTOR DATA SHEET			
116			
117	Fill one data sheet for each individual motor		
118	MOTOR TAG NUMBER		
119	Quantity	und	3
120	Motor Service	-	Continuous duty
121	Innercial Momentum	kgm²	16.59
122	Weight	kg	4393
123	Noise	dB (A)	88
124	MOTOR REQUIREMENT DATA		
125	Power at 3000 m.a.s.l.	hp	1250
126	RPM / Poles	rpm	1785 / 4
127	Torque	Nm	4818
128	Motor Rotation	-	one rotation (clockwise)
129	Service Factor	-	1.1
130	Voltage / Connection	Volt	4160 / Y
131	Phase	-	3
132	Frequency	Hz	60
133	In	A	161
134	Efficiency (50% / 75% / 100%)	%	94 / 94.8 / 95
135	Power factor (50% / 75% / 100%)	%	76 / 83 / 85
136	Locked Rotor Current (Ip / In)	-	6
137	NEMA design	-	NEMA PREMIUM IEEE 841
138	Temp rise NEMA class	-	(80° over 40° amb)
139	Insulation Class	-	F
140	Altitude	m.a.s.l.	3 000

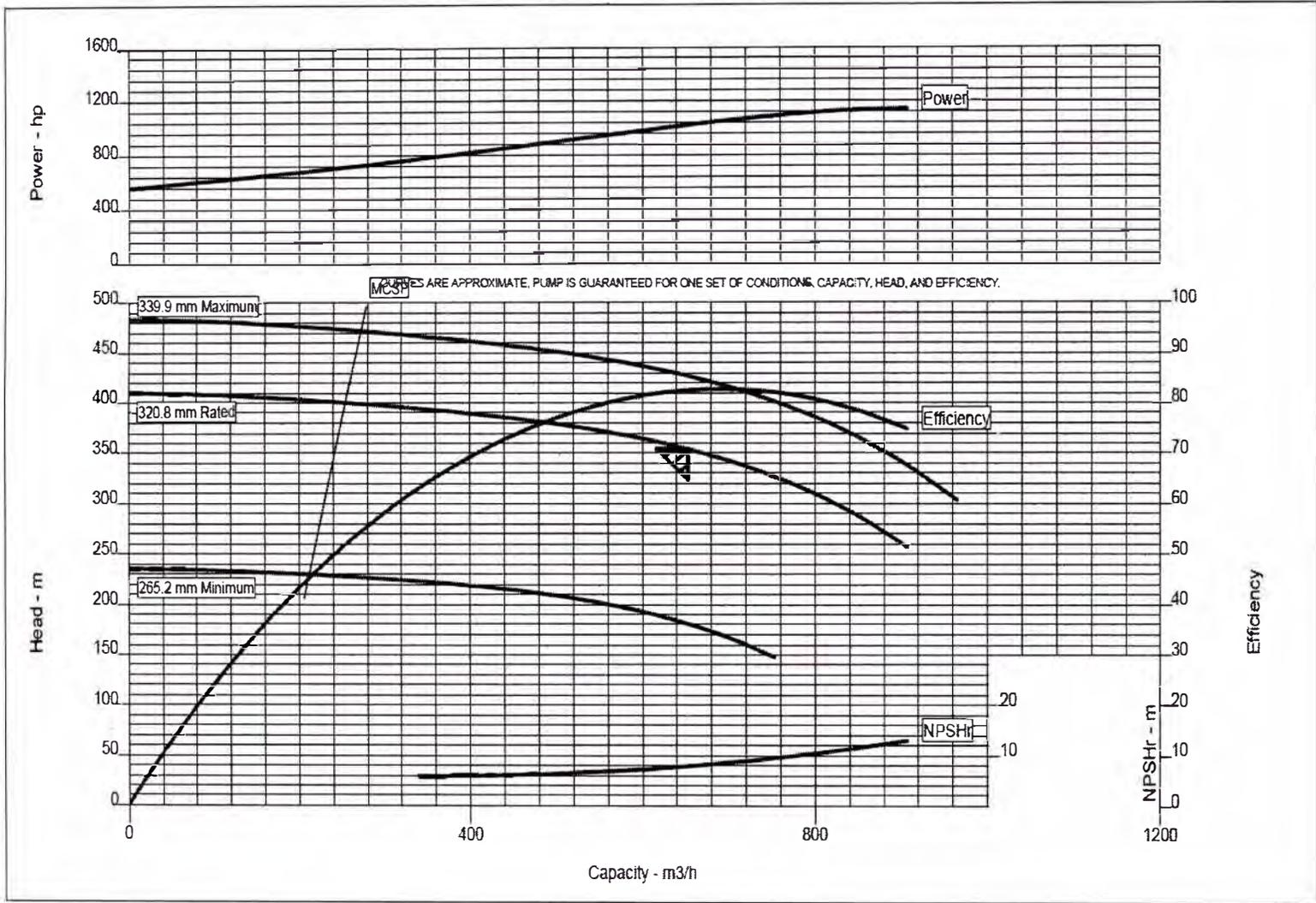
HOJA DE DATOS / DATA SHEET

N°	DESCRIPTION	UNIT	SPECIFIED
141	Efficiency	-	Premium
142	Enclosure	-	TEFC
143	Shaft	-	hollow shaft
144	Mounting	-	Horizontal
145	Orientation	-	VTS
146	Space Heater	-	VTS
147	Bearings (antifriction; sleeve; taconite seal)	-	VTS
148	Terminal Box	-	Oversize
149	Terminal Box Location	-	Left
150	Coupling	-	Direct

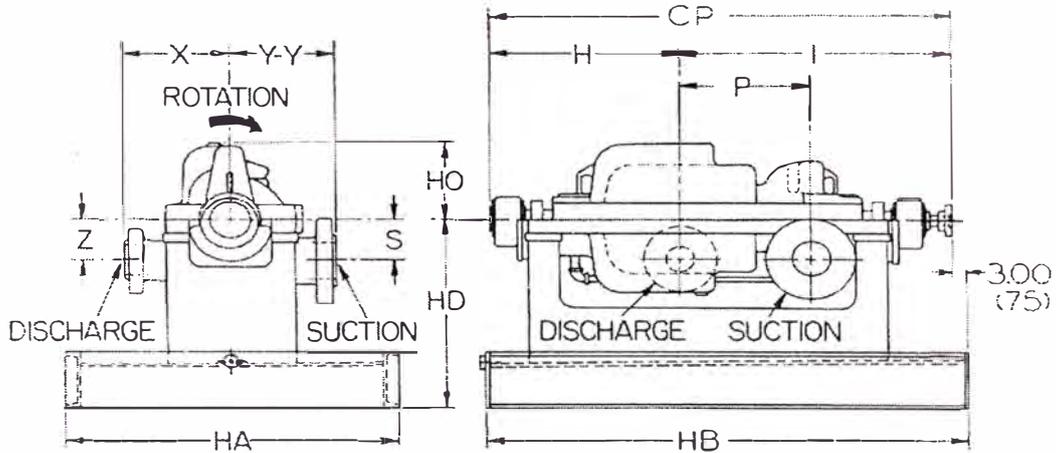
A2.- DATOS TÉCNICOS DE LA BOMBA

DATOS DE BOMBA, CURVAS, MODELOS, DIMENSIONES Y RANGO DE OPERACIÓN

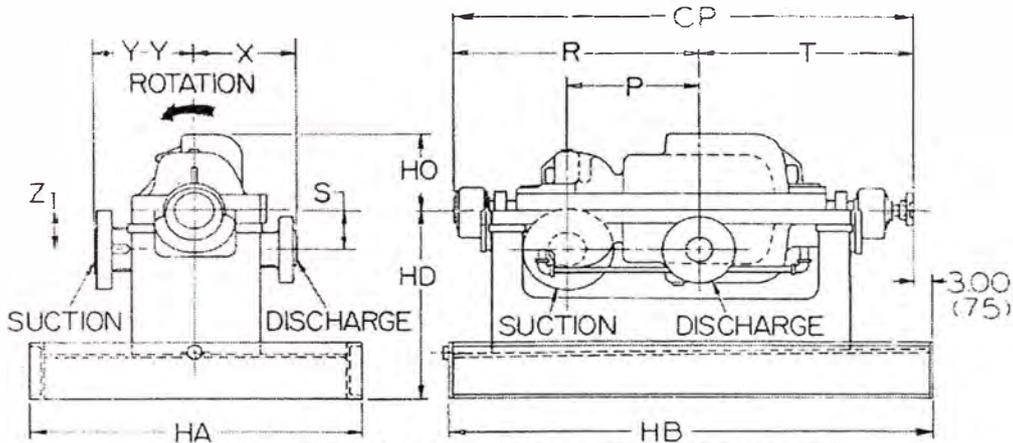
Liquid type	: Other
Temperature / SG	: 15 °C / 1.000
Solid Size - Actual / Limit	: - / 0.00 mm
Viscosity / Vapor pressure	: 1.0 cP / -
Efficiency (CE=1.00)	: 82.5 %
NPSH required (NPSHr)	: 7.9 m
Rated power	: 1022 hp
Maximum power	: 1141 hp
Driver power	: 1250 hp / 932 kW
Casing working pressure (based on shut off @ max dia)	: 48.3 kg/cm ² g
Maximum allowable	: 49.2 kg/cm ² g
Hydrostatic test pressure	: 73.8 kg/cm ² g
Est. rated seal chamb. press.	: -
Impeller diameter	
Rated	: 320.8 mm
Maximum	: 339.9 mm
Minimum	: 265.2 mm
Suction specific speed	: 11192 US units
Minimum continuous flow	: 256.2 m ³ /h
Maximum head @ rated dia	: 409.9 m
Flow at BEP	: 689.5 m ³ /h
Flow as % of BEP	: 94.7 %
Efficiency at normal flow	: -
Impeller dia ratio (rated/max)	: 94.4 %
Head rise to shut off	: 15.8 %
Total head ratio (rated/max)	: 82.9 %



APPROXIMATE DIMENSIONS (1)



DAD – STANDARD ROTATION (H.I.-CCW)



DAD – OPTIONAL ROTATION (H.I.-CW)

8X13 DAD

Stages	Nozzle(2)		X	YY	S	Z	HO	HD*	◆ Std. Rotation		◆ Opt. Rotation		P	◆ CP(3)	HA*	HB*(3)
	Suct	Disch.							H(3)	I	R(3)	T				
2							17.50 (445)		30.89 (779)	42.75 (1086)	36.06 (915)	37.38 (950)	12.12 (310)	73.44 (1865)		78.00 (1980)
3														83.44 (2120)		90.00 (2285)
4	12.00 (305)	8.00 (203)	22.88 (580)	22.88 (580)	10.88 (275)	10.88 (275)		40.00 (1015)		52.75 (1341)	46.06 (1170)		20.25 (515)	91.25 (2318)	48.00 (1220)	96.00 (2440)
5							22.65 (565)		38.50 (977)			45.19 (1148)		99.06 (2516)		102.00 (2590)
6									46.31 (1175)	60.56 (1539)	53.88 (1368)	53.00 (1346)	28.00 (710)	106.88 (2714)		108.00 (2745)

* will vary with driver selection

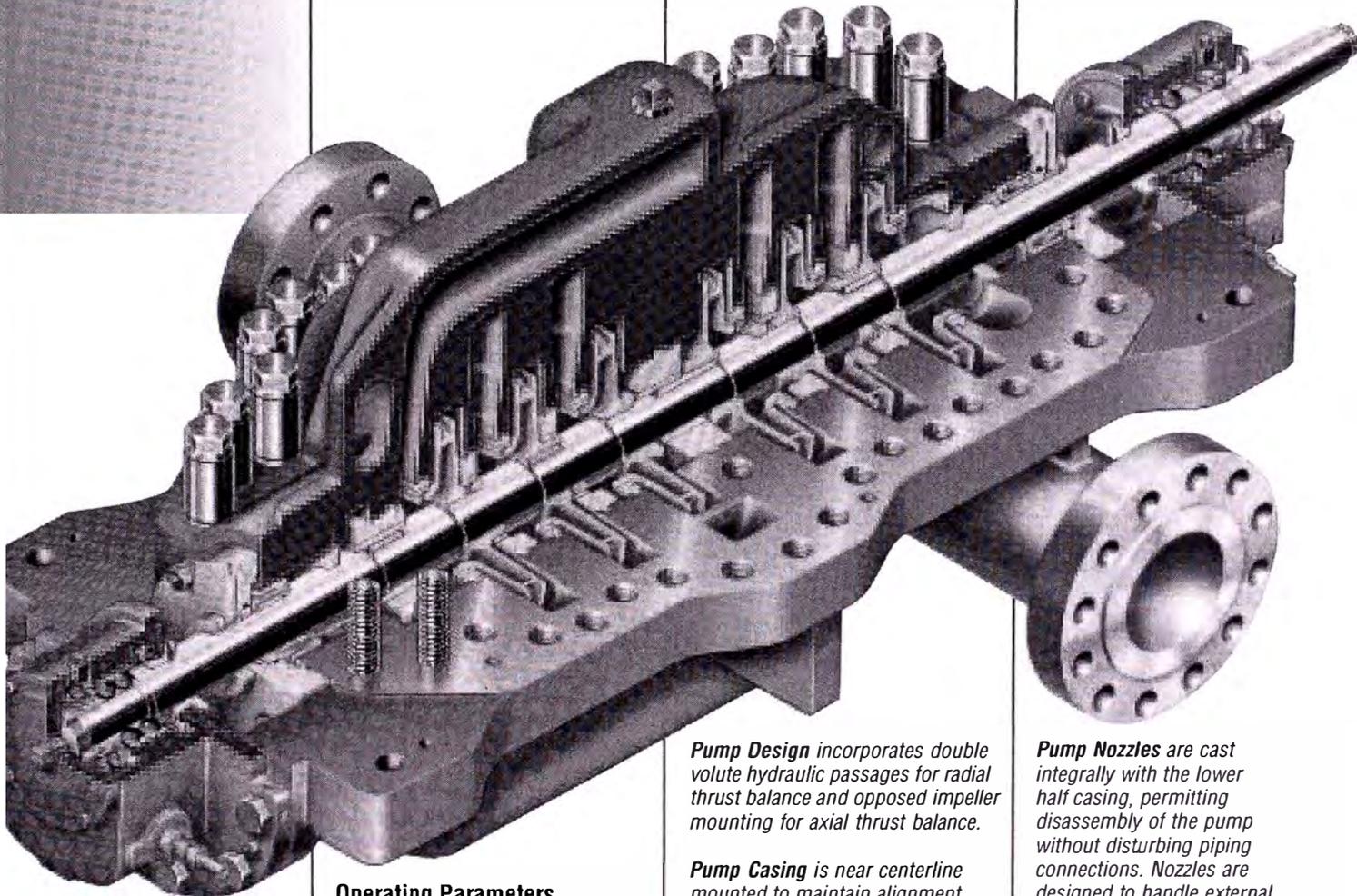
Footnotes:

- (1) Dimensions — inches (mm), for export-shipment cubage, add 4 in. (102 mm) to each.
- (2) Std. nozzle flange ratings. ANSI 600 # Suct./900 # Disch.
- ◆ (3) Based on ball/ball brgs. For slv./ball thrust, add 4.00(102) to H, R, & CP. For SLV/KTB add 8.00(203) to H, R, and CP. Add 36.00(915) to HB for force feed lube system. Dimensions do not include direct driven gear oil pump on SLV/KTB pumps.

DMX
Heavy-Duty,
Between Bearings,
Multistage Axially
Split Pumps

Flowserve's DMX pump is fully compliant with API 610, latest edition. The DMX is engineered and built for high-pressure heavy-duty applications.

Further, the DMX represents the most comprehensive range of hydraulic coverage available to industry, thereby permitting precise selection for best hydraulic fit, operating efficiency and stability. This helps to minimize operating expenses and extend mean time between repair.



Operating Parameters

- Flows to 2950 m³/h (13 000 gpm)
- Heads to 2130 m (7000 ft)
- Pressures to 275 bar (4000 psi)
- Temperatures to 205°C (400°F)
- Speeds to 8000 rpm
- Specific gravities down to 0.35

Pump Design incorporates double volute hydraulic passages for radial thrust balance and opposed impeller mounting for axial thrust balance.

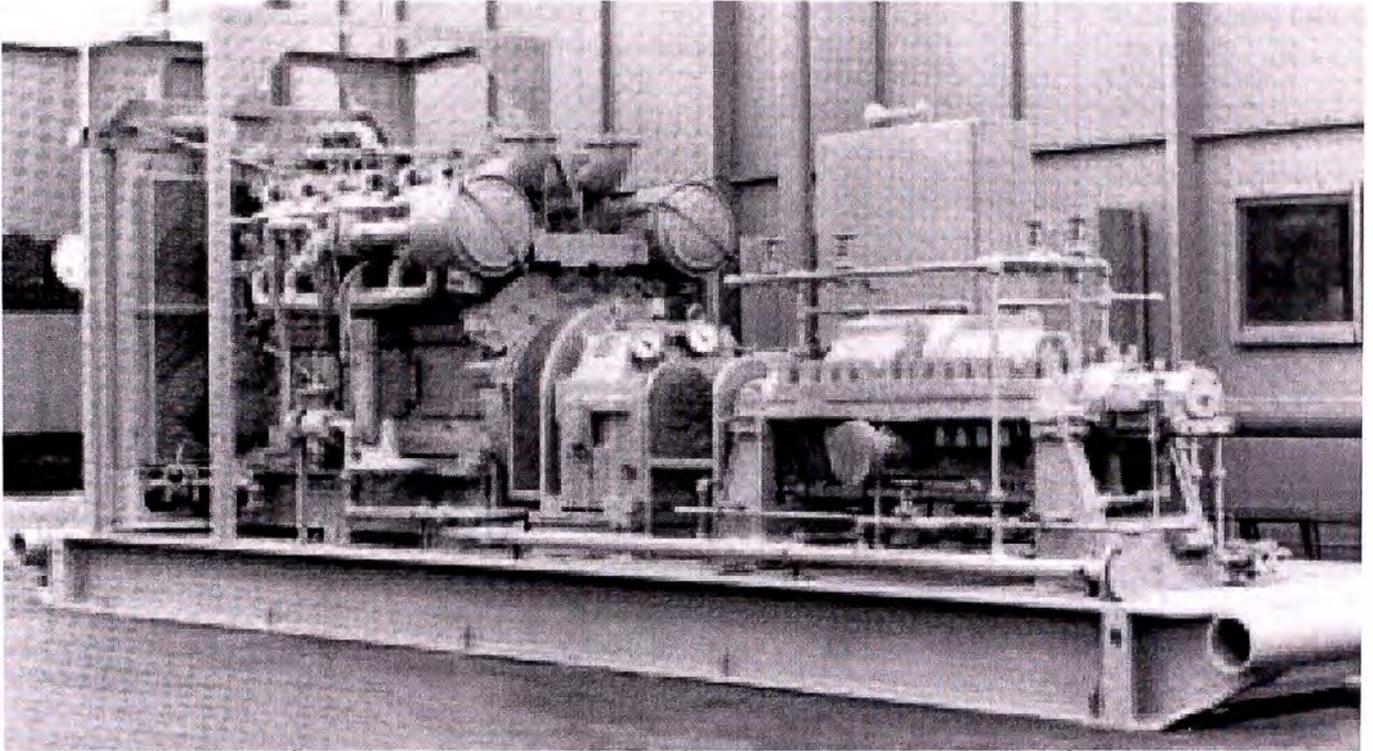
Pump Casing is near centerline mounted to maintain alignment during operation at elevated temperatures. Raised face flanges meet ASME B16.5 dimensional requirements.

Casing is supplied with minimum flange ratings of ASME B16.5 Class 600 suction and discharge. Class 900 and 1500 are also available to meet the required operating pressures.

Pump Nozzles are cast integrally with the lower half casing, permitting disassembly of the pump without disturbing piping connections. Nozzles are designed to handle external forces and moments equal to or in excess of API 610 specified figures.

Cap Nuts are arranged on the top half casing parting flange, allowing easy casing removal for rotor inspection and maintenance.

Seal Chambers to API 682 dimensional criteria allow for installation of cartridge design single, dual unpressurized and dual pressurized mechanical seals to meet the required safety and environmental requirements.



Rotating Elements include large diameter shafts and short bearing spans to minimize deflection. Final two plane dynamic balancing and TIR verifications are conducted on assembled rotors to assure optimum mechanical performance throughout the operating range. Pumps mounted with engine or turbine drivers and multiple pump modules are also available.

Shaft Options include double extension for connection to auxiliary pumps or hydraulic turbines, and special shaft end machining for hydraulic fitted couplings.

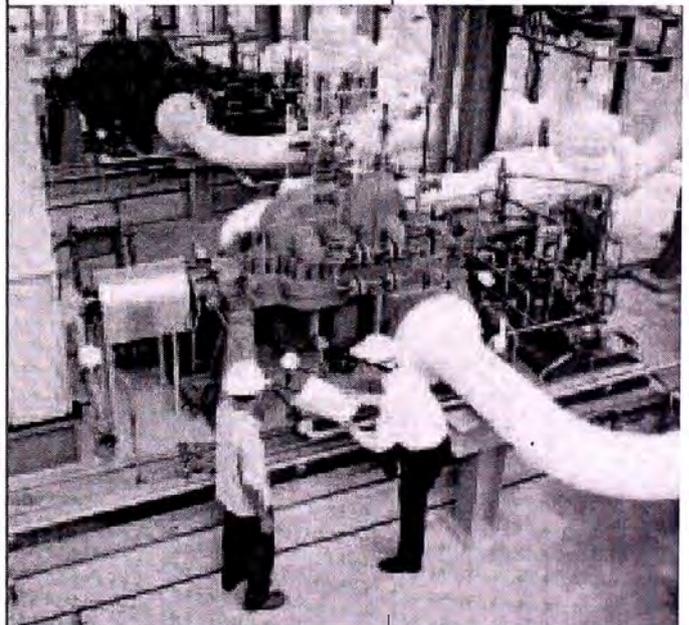
Renewable Casing and Impeller Rings control interstage leakage and provide hydraulic stability during operation. Optional laser hardened or non-metallic wear rings in Graphalloy®, PEEK® and other materials may be specified.

Axially Split Center Bushing facilitates replacement while simplifying inspection and dynamic balancing of rotor without dismantling. Split stationary rings on the back of impellers are available as an option.

Casing and Internal Material Combinations available to meet service requirements include carbon steel, 12% chrome, austenitic stainless steels, Monel® and duplex.

Standard Ring Oil-Lubricated Bearings assure complete oil penetration into the bearings without foaming, for increased bearing life. Optional bearing arrangements and lubrication systems are available to meet the requirements of any speed or application.

Baseplate Designs, engineered to contract requirements, include conventional welded steel with drain rim, sub base under pump only, 3-point design, pre-grouted and skid type non-grouted.



Pump Packages are provided to specifications, and include lube oil piping, seal systems, monitoring instruments and drive train mounting.

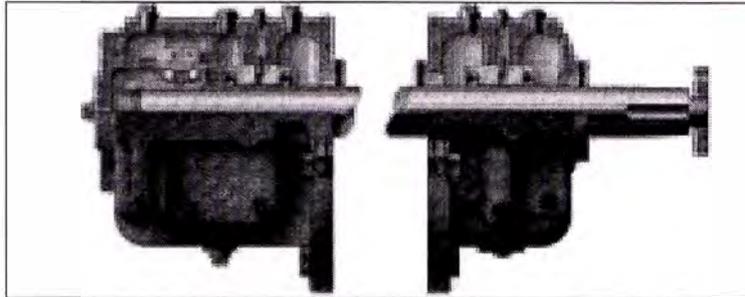
Certified Testing is performed on each pump prior to shipment.

© Graphalloy is a registered trademark of the Graphite Metallizing Corporation
 © PEEK is a registered trademark of Victrex plc Corp.
 © Monel is a registered trademark of International Nickel Co.

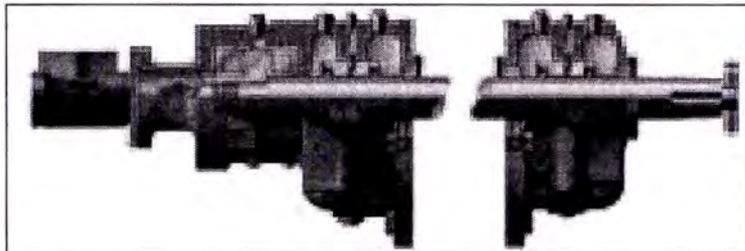
Options and Technical Data

Bearing Design Options

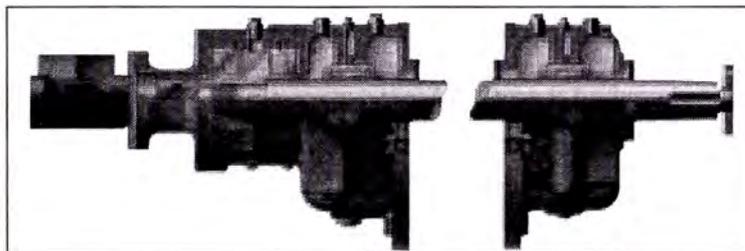
Split Sleeve Radial and Ball Thrust



Split Sleeve Radial and Tilting Pad Thrust



Tilting Pad Radial and Tilting Pad Thrust



Bearing Cooling Options

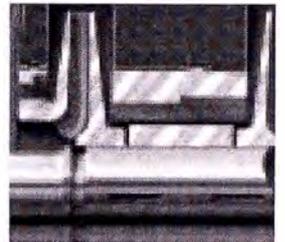
- Air cooling
- Water cooling
- Product cooling

Bearing Lubrication Options

- Ring oil
- Pressure lubricated

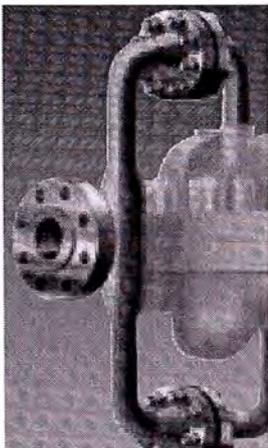
Non-metallic Rings

- Case wear rings
- Center bushing

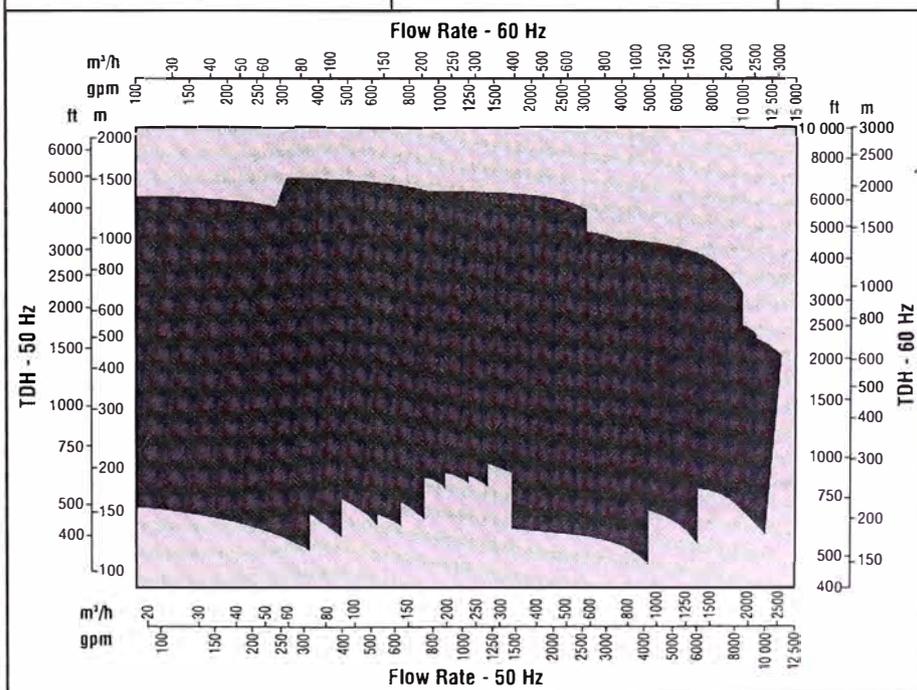


Interstage Take-Off

- Secondary fluid take-off line sized for pressure and flow required



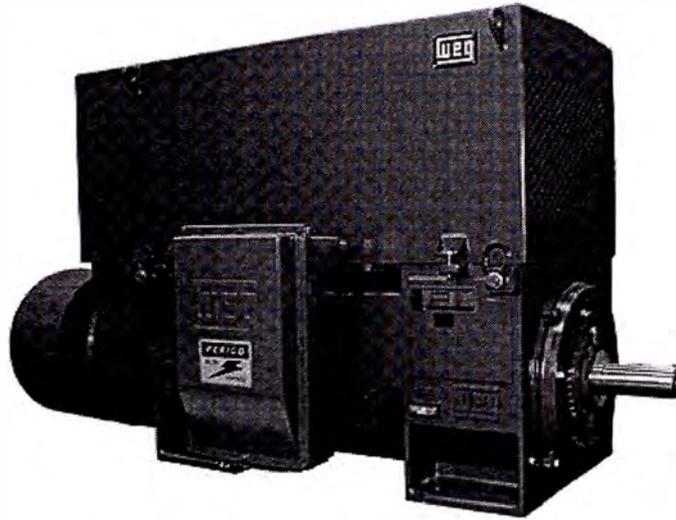
DMX Range Chart



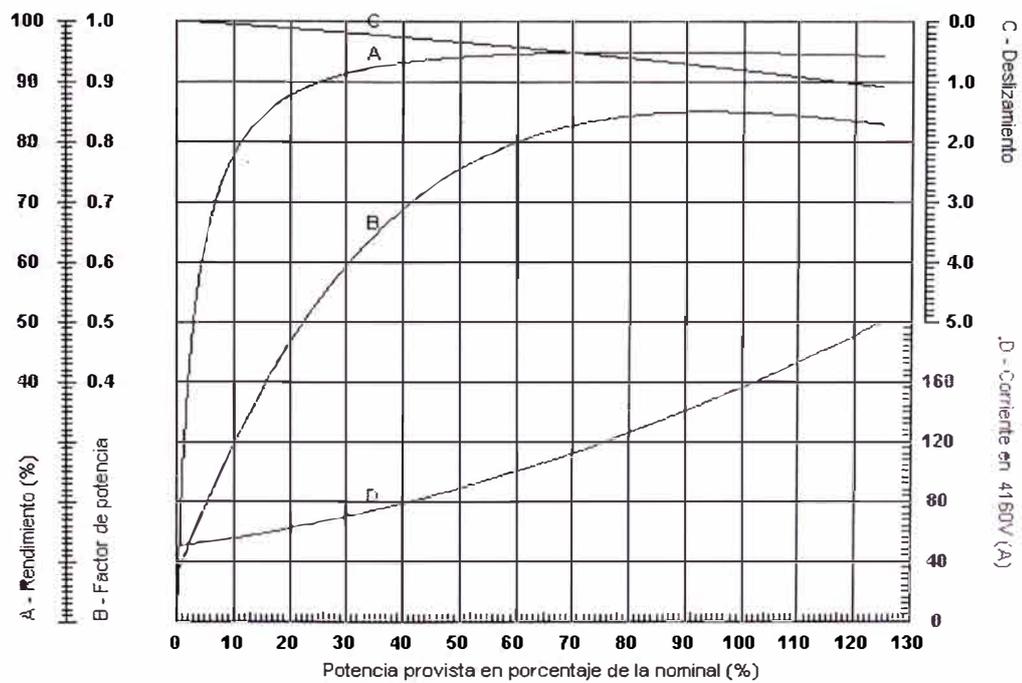
A3.- DATOS TÉCNICOS DEL MOTOR

DATOS TÉCNICOS

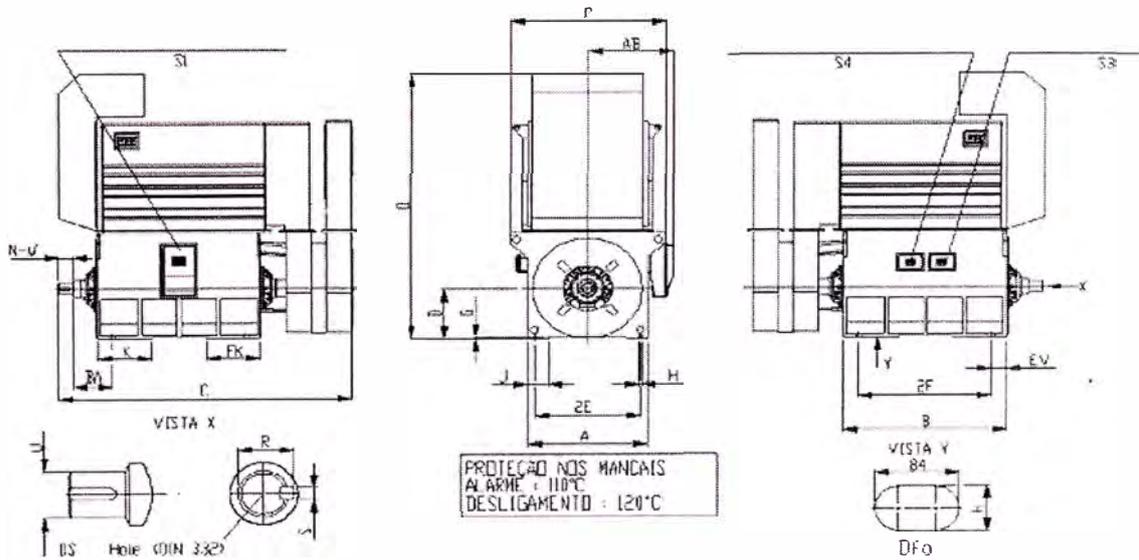
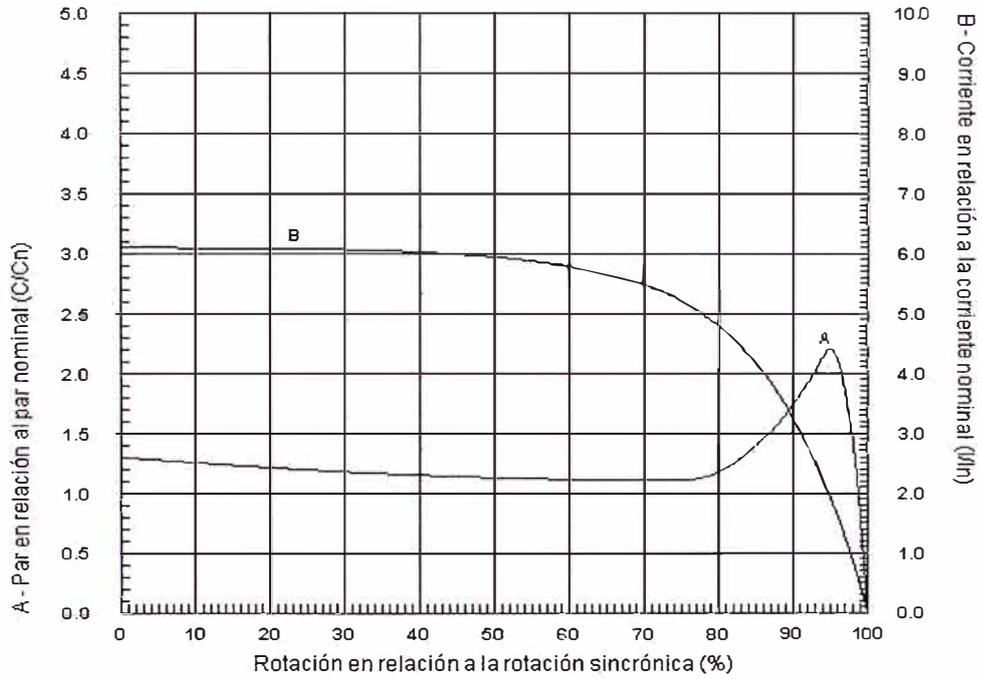
MOTOR WEG TIPO JAULA DE ARDILLA EN MEDIA TENSIÓN (4.16 Kv)



Curvas de desempeño



CURVAS DE PAR Y DE CORRIENTE



J	A	P	AB	2F	K	B	FK	EV	BA	FBA
7.9	37.4	49.6	44	45	15.7	67.5	15.7	6.4	11.5	---
U	d1	d2	N-W	S	Hole	GA	D	G	T	H
4.375	0	-0.001	8.5	1	UNC 1"	4.814	17	3	33.5	1.1
C			AA			S3		S4		2E
113.775			1 X NPT3"			---		---		27

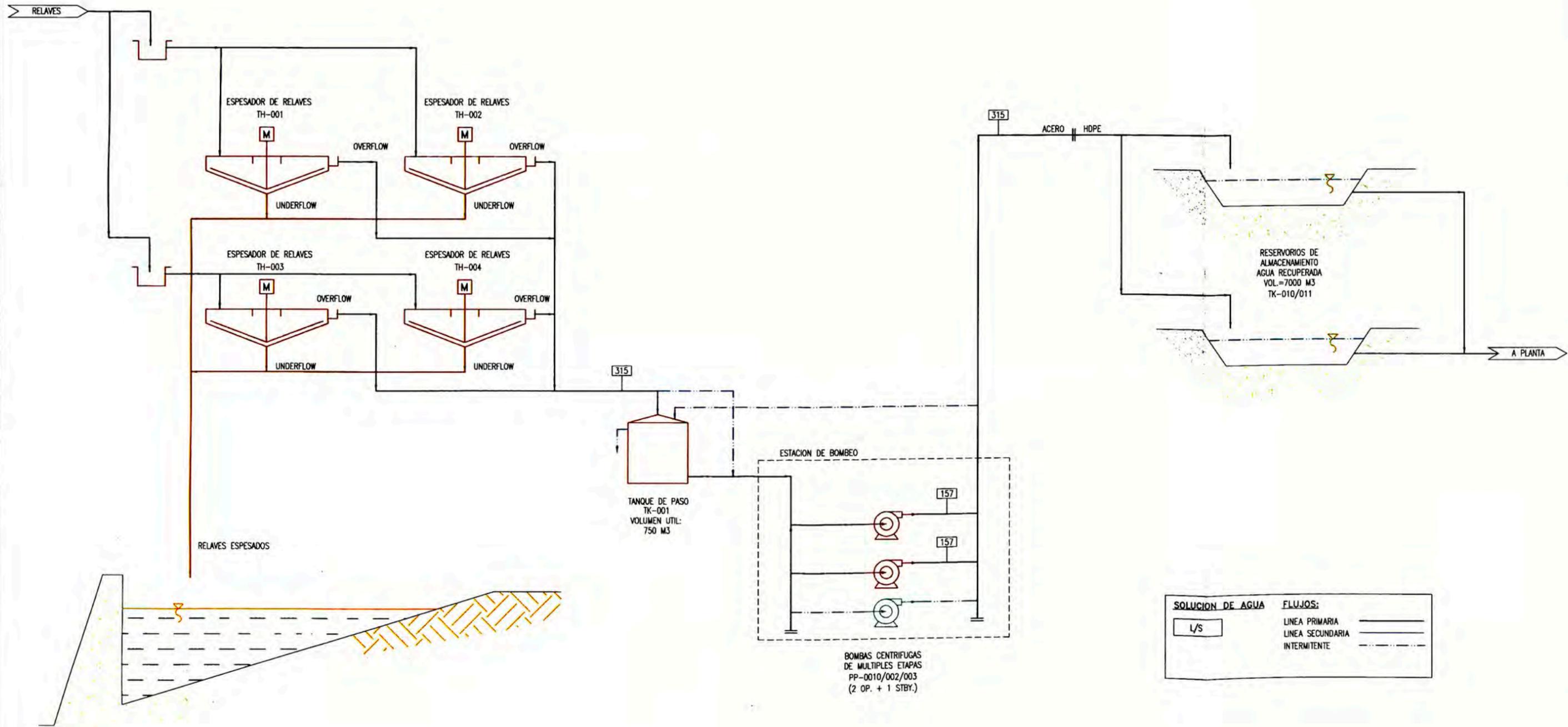
A4.- COSTOS DE INVERSIÓN DETALLADO

COSTOS DE INVERSIÓN

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	METRADO	P. UNITARIO US\$	P.PARCIAL US\$	SUBTOTAL US\$
0.00	TRABAJOS PRELIMINARES					112 582.40
0.01	Movilización y desmovilización	glb	1.00	45 000.00	45 000.00	
0.02	Trazo y replanteo	m²	11 640.00	0.66	7 682.40	
0.03	Obras Temporales y trabajos preliminares	glb	1.00	25 000.00	25 000.00	
0.04	Señalización	glb	1.00	6 000.00	6 000.00	
0.05	Suministro de Energía	glb	1.00	20 500.00	20 500.00	
0.06	Suministro de Agua	glb	1.00	8 400.00	8 400.00	
1.00	OBRAS CIVILES (Movimiento de Tierras)					140 448.00
1.01.00	Estación de Bombeo					
1.01.01	Corte y relleno	m³	1 200.00	25.00	30 000.00	
1.01.02	Explanación Caseta de Bombeo	m²	2 100.00	0.50	1 050.00	
1.01.03	Movilización de desmante	m³	600.00	3.60	2 160.00	
1.02.00	Tubería de conducción					
1.02.01	Corte y relleno	m³	2 328.00	25.00	58 200.00	
1.02.02	Perfil de Subrasante	m²	9 700.00	5.00	48 500.00	
1.03.00	Tanque de Almacenamiento					
1.03.01	Explanación Tanque de Almacenamiento	m²	500.00	0.50	250.00	
1.03.02	Movilización de desmante	m³	80.00	3.60	288.00	
2.00	OBRAS CIVILES (Concreto y Estructuras)					355 713.33
2.01.00	Estación de Bombeo					
2.01.01	Caseta de Bombeo, cimentación de bombas	glb	1.00	17 820.00	17 820.00	
2.01.02	Arquitectura Estación de bombeo, sala eléctrica, cerco.	glb	1.00	14 560.00	14 560.00	
2.02.00	Tubería de conducción					
2.02.01	Anclajes y apoyos de concreto	glb	1.00	323 333.33	323 333.33	
3.00	INSTALACIONES MECÁNICAS					6 757 488.85
3.01.00	Tanque					
3.01.01	Filtro Canastilla de succión	und	1.00	1 500.00	1 500.00	
3.01.02	Valv. Compuerta, ASTM A216 Gr. WCB, Ø30", Bridada ANSI B16.5 clase 150, op. Volante	und	1.00	9 500.00	9 500.00	
3.01.03	Brida ANSI B16.47, Ø30", acero, clase 150, ASTM A105	und	5.00	1 100.00	5 500.00	
3.01.04	Valv. Mariposa, ASTM A216 Gr. WCB, Ø10", Bridada ANSI B16.5 clase 150, op. Volante	und	1.00	2 220.00	2 220.00	
3.01.05	Tubería acero Ø10", ASTM A-53, sch std, ERW	m	15.00	150.00	2 250.00	
3.01.06	Brida ANSI B16.5, Ø10", acero, clase 150, ASTM A105	und	3.00	280.00	840.00	
3.01.07	Brida ciega ANSI B16.47, Ø30", acero, clase 150, ASTM A105	und	1.00	1 550.00	1 550.00	
3.01.08	Tanque acero A36, 750 m³, API 650, D=11.45 m, H=9m	glb	1.00	96 512.00	96 512.00	
3.02.00	Línea de Succión					
3.02.01	Valv. Mariposa, ASTM A216 Gr. WCB, Ø16", Bridada ANSI B16.5 clase 150, op. Volante	und	3.00	5 523.00	16 569.00	
3.02.02	Tubería acero Ø30", ASTM A-53, STD, ERW	m	18.00	350.00	6 300.00	
3.02.03	Brida ANSI B16.5, Ø16", acero, clase 150, ASTM A105	und	12.00	420.00	5 040.00	
3.02.04	Brida ANSI B16.5, Ø12", acero, clase 150, ASTM A105	und	3.00	280.00	840.00	
3.02.05	Brida ANSI B16.5, Ø2", acero, clase 150, ASTM A105	und	6.00	80.00	480.00	
3.02.06	Reductor excentrico 16" x 12" acero, clase 150, ANSI B16.5	und	3.00	180.00	540.00	
3.02.07	Válvula Bola Ø2"- 600 psi WOG, Paso total, Cuerpo bronce, Bola acero inox., Asiento teflón reforzado, Op.palanca, Ext. roscados.	und	3.00	50.00	150.00	
3.03.00	Línea de Descarga					
3.03.01	Tubería Ø12", ASTM A-53, ERW, SCH 40	m	12.00	250.00	3 000.00	

COSTOS DE INVERSIÓN						
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	METRADO	P. UNITARIO US\$	P.PARCIAL US\$	SUBTOTAL US\$
3.03.02	Tubería Ø6", ASTM A-53, ERW, STD	m	45.00	180.00	8 100.00	
3.03.03	Tubería Ø24", ASTM A-53, ERW, SCH 40	m	24.00	315.00	7 560.00	
3.03.04	Reductor concentrico 12" x 8" acero carbono, clase 300, ANSI/ASME B16.5	und	3.00	350.00	1 050.00	
3.03.05	Valv. check Ø12", ASTM A216 Gr. WCB, bridada ANSI B16.5, clase 300, cierre lento	und	3.00	2 850.00	8 550.00	
3.03.06	Valvula de alivio de presión, ASTM A216 Gr. WCB, Ø6", ANSI 300.	und	1.00	3 850.00	3 850.00	
3.03.07	Valv. mariposa tipo lug, Ø12", ASTM A216 Gr.B, Clase 300, actuador electrico, high performance.	und	3.00	4 750.00	14 250.00	
3.03.08	Valv. Aire-vacio, Ø4", Clase 300, ASTM A 216	und	1.00	3 240.00	3 240.00	
3.03.09	bridas slip on, ANSI B16.5, Ø12",clase 300, acero ASTM A105	und	24.00	420.00	10 080.00	
3.03.10	bridas slip on, ANSI B16.5, Ø24",clase 300, acero ASTM A105	und	10.00	850.00	8 500.00	
3.03.11	bridas ciega, ANSI B16.5, Ø24",clase 300, acero ASTM A105	und	1.00	1 150.00	1 150.00	
3.03.12	Valvula Compuerta Ø4" - Tipo Lug, ANSI B16.5 #300, acero carbono (ASTM A216 Gr. WCB), Disco acero inox., "High performance".	und	1.00	950.00	950.00	
3.03.13	Valv. Compuerta, Ø24", ASTM A216 Gr.B, Clase 300, operación manual con volante.	und	1.00	19 900.00	19 900.00	
3.03.14	Suministro y montaje polipasto 5 ton	glb	1.00	6 500.00	6 500.00	
3.04.00	Bombas					
3.04.01	Suministro e instalación de bombas centrifuga de multiples etapas H=354 m, Q=181 m³/h	und	3.00	390 000.00	1 170 000.00	
3.02.00	Tubería de Conducción					
3.02.01	Tubería Acero ASTM A53 Gr.B, tipo E, ERW, XS, DRL, BBE	m	1 800.00	398.60	717 472.56	
3.02.02	Tubería Acero ASTM A53 Gr.B, tipo E, ERW, STD, DRL, BBE	m	5 300.00	329.33	1 745 447.20	
3.02.03	Tubería HDPE, SDR 11, ASTM D3350 PE4710	m	800.00	273.51	218 806.36	
3.02.04	Tubería HDPE, SDR 17, ASTM D3350 PE4710	m	1 800.00	183.63	330 536.73	
3.02.05	Instalación Tubería de acero	m	7 100.00	284.05	2 016 755.00	
3.02.06	Instalación Tubería de HDPE	m	2 600.00	120.00	312 000.00	
4.00	INSTALACIONES ELÉCTRICAS					312 652.00
4.01.01	Transformador de 2100kVA 22.9/4.16 kV	und	1.00	71 130.00	71 130.00	
4.01.02	Transformador de 300kVA 4.16/0.22 kV	und	1.00	13 450.00	13 450.00	
4.01.03	Switchgear	und	1.00	9 500.00	9 500.00	
4.01.04	MCC en 4.16 kV, interruptores de salidas + arrancador	und	3.00	57 550.00	172 650.00	
4.01.05	Tablero de distribucion en 220 V.	und	2.00	5 500.00	11 000.00	
4.01.06	Pozo de Puesta a Tierra	und	1.00	10 500.00	10 500.00	
4.01.07	Cable 3-1x1000 MCM, THHN + 1x2/0 AWG, THHN	m	150.00	75.00	11 250.00	
4.01.08	Cable 3-1x4 AWG, THHN + 1x2 AWG, THHN	m	140.00	17.00	2 380.00	
4.01.09	Cable 3-1x300 MCM, THHN + 1x2 AWG, THHN	m	80.00	55.00	4 400.00	
4.01.10	Cable 3 x 8mm², NYY	m	100.00	8.00	800.00	
4.01.11	Cable 3 x 6mm², NYY	m	100.00	6.50	650.00	
4.01.12	Cable 2 - 1 x 4 mm² THWN	m	150.00	1.80	270.00	
4.01.13	Cable 1 x 4 mm² TW	m	200.00	0.90	180.00	
4.01.14	Tubería PVC SAP 2" Ø	m	150.00	1.50	225.00	
4.01.15	Tubería flexible, incluye cajas y accesorios	m	150.00	1.50	225.00	
4.01.16	Tendido de Cables de Baja tensión	glb	1.00	2 497.00	2 497.00	
4.01.17	Artefactos con dos lámparas fluorescentes de 40 W, montaje tipo suspensión	und	18.00	40.00	720.00	
4.01.18	Conductor de Cobre desnudo N° 4/0 AWG para PAT profunda, inc. Soldadura exotérmica	m	150.00	2.50	375.00	
4.01.19	Conductor de Cobre desnudo N° 2/0 AWG para PAT superficial, inc. Soldadura exotérmica	glb	1.00	450.00	450.00	
5.00	CONTROL E INSTRUMENTACIÓN					99 500.00
5.01.00	Estación de Bombeo					
5.01.01	Medidor de nivel ultrasónico - sensor mago 0-5m.	und	1.00	2 400.00	2 400.00	

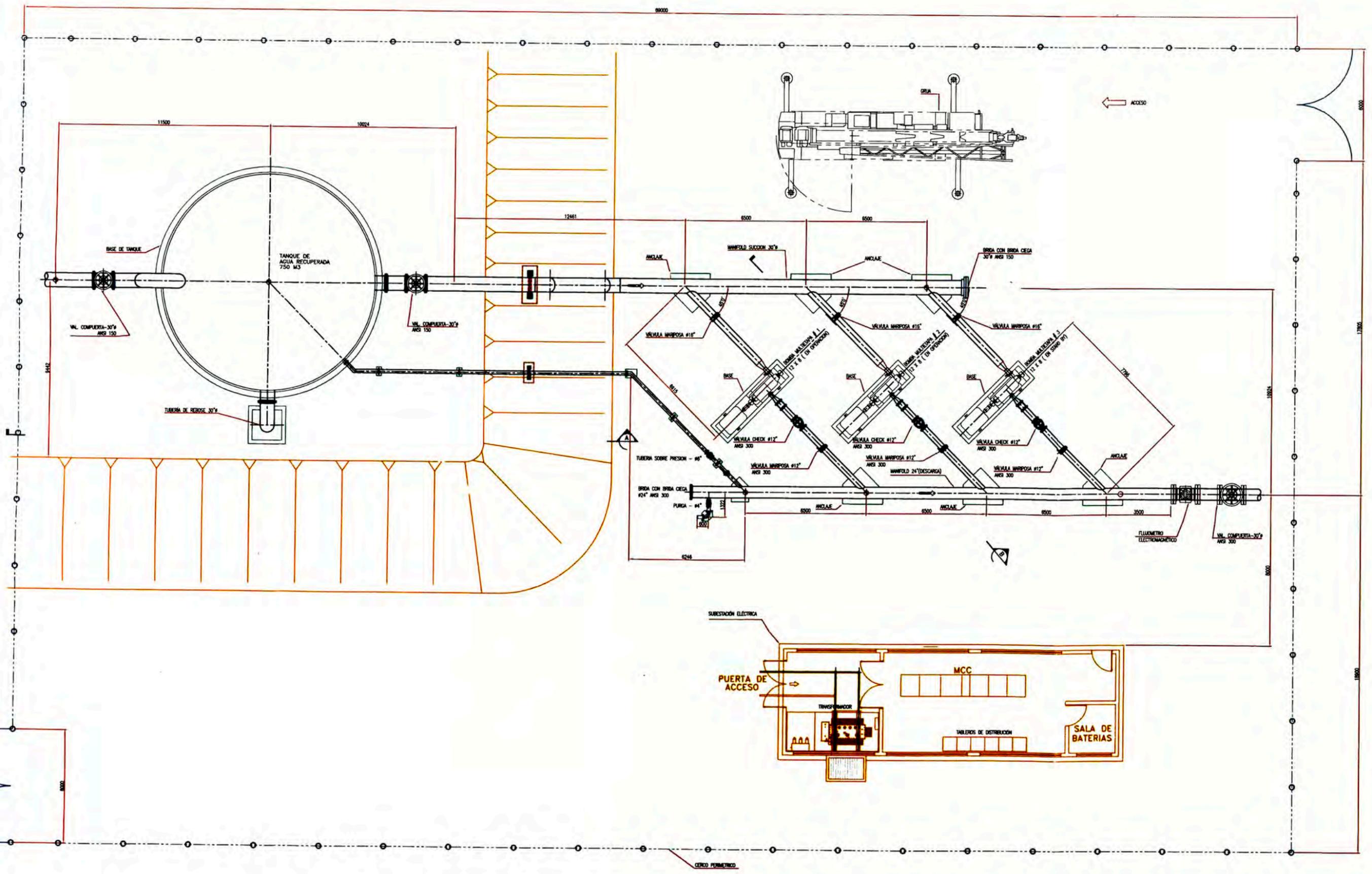
COSTOS DE INVERSIÓN						
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	METRADO	P. UNITARIO US\$	P.PARCIAL US\$	SUBTOTAL US\$
5.01.02	Medidor de pH	und	1.00	1 500.00	1 500.00	
5.01.03	Flujómetro electromagnético.	und	1.00	12 500.00	12 500.00	
5.01.04	Protector de sobre voltaje en panel	und	3.00	850.00	2 550.00	
5.01.05	Transmisor de presión 40 bar, salida 4-20 mA, conexión 1/2" NPT	und	3.00	850.00	2 550.00	
5.01.06	Actuador eléctrico Límitorque ON/OFF 330 Nm.	und	3.00	9 500.00	28 500.00	
5.01.07	Tablero metálico de 800X600X250mm, antenas, cables y protectores.	und	3.00	4 500.00	13 500.00	
5.01.08	Software de supervisión y control de SCADA	und	1.00	13 500.00	13 500.00	
5.01.09	Servidor, estación de trabajo	und	1.00	4 500.00	4 500.00	
5.01.10	UPS 10KVA	und	1.00	8 500.00	8 500.00	
5.01.11	Tablero metálico de 200X800X400mm, con PLC y Accesorios	und	1.00	9 500.00	9 500.00	
6.00	PRUEBAS					271 770.71
6.01.00	Estación de Bombeo					
6.01.01	Bombas y válvulas	glb	1.00	103 727.92	103 727.92	
6.01.02	Equipos eléctricos	glb	1.00	31 265.20	31 265.20	
6.01.03	Instrumentación	glb	1.00	6 810.00	6 810.00	
6.02.00	Tubería de Conducción					
6.02.01	Prueba Hidrostática	glb	1.00	115 490.79	115 490.79	
6.03.00	Tanque de Almacenamiento					
6.03.01	Prueba de estanqueidad	glb	1.00	14 476.80	14 476.80	
				COSTO DIRECTO (C.D.)	US \$	8 050 155.29
				GASTOS GENERALES (5% C.D.)	US \$	402 507.76
				UTILIDADES (8% C.D.)	US \$	644 012.42
				INGENIERÍA Y SUPERVISIÓN (10% C.D.)	US \$	805 015.53
				TOTAL	US \$	9 901 691.01



DISEÑO : MARTIN REQUEJO
 DIBUJO : MARTIN REQUEJO
 REVISO : MOISES CASAS
 ESCALA : -
 FECHA : 11/12/10

XI UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
 FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

TITULO :
 DIAGRAMA DE PROCESO SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA RECUPERADA
 PLANO N°: PL-01

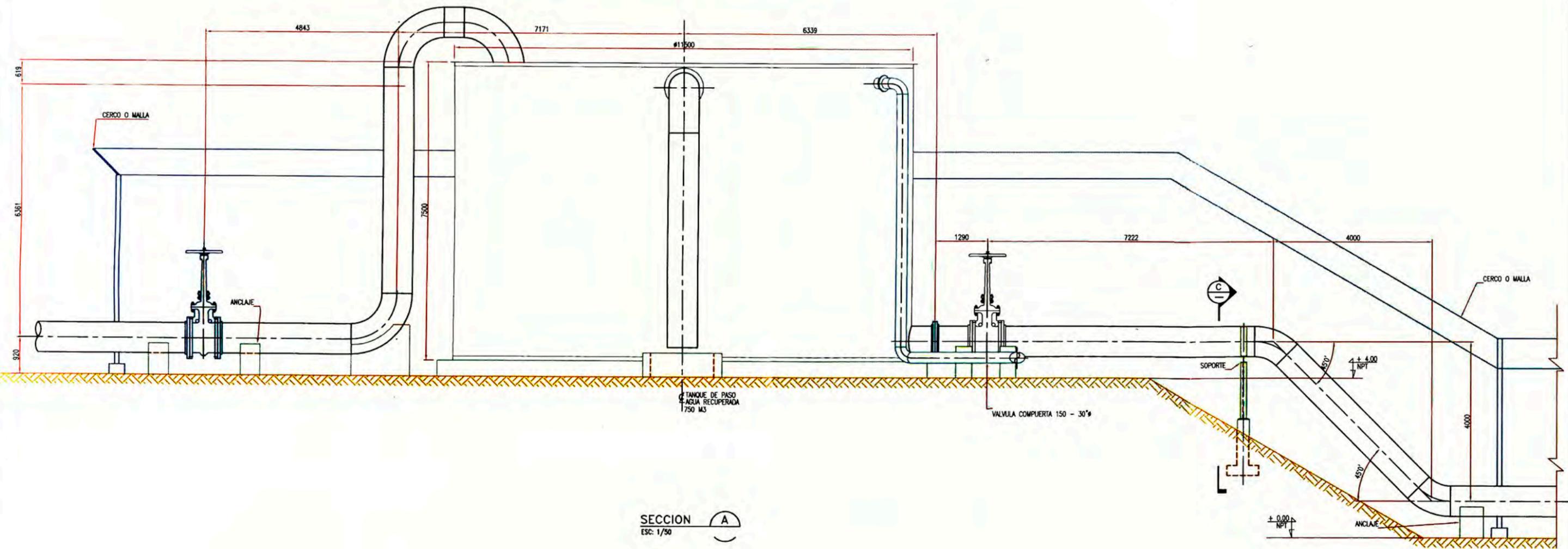


NOTAS :
 1.- LA ESCALA GRAFICA MOSTRADA ES PARA EL FORMATO A-1, PARA A-3 CONSIDERAR EL DOBLE
 2.- USAR SOLO DIMENSIONES INDICADAS EN LOS PLANOS.

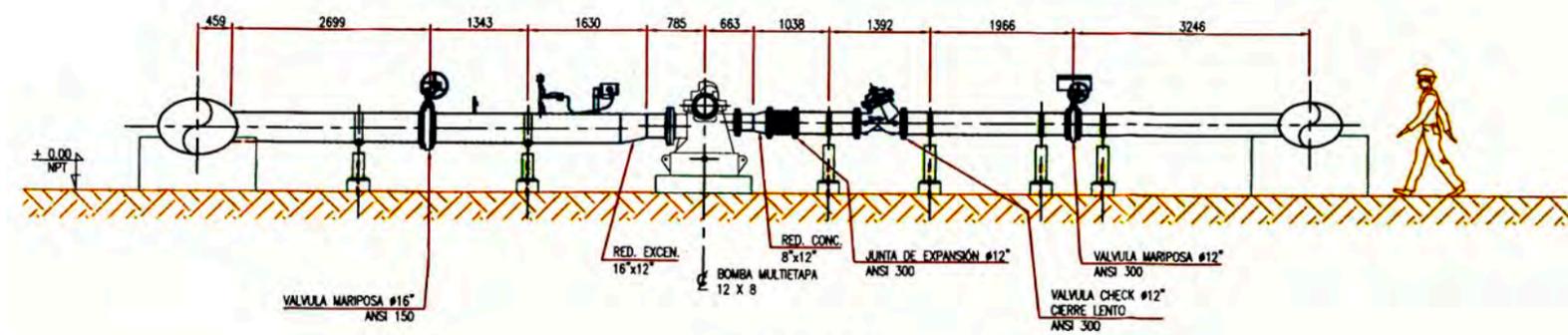
DISEÑO : MARTIN REQUEJO
 DIBUJO : MARTIN REQUEJO
 REVISO : MOISES CASAS
 ESCALA : 1 : 100
 FECHA : 11/12/10

XI UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
 FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

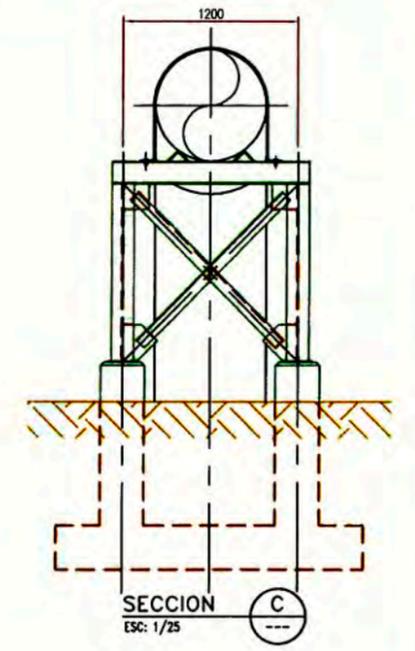
TITULO :
 ARREGLO GENERAL DE LA ESTACION DE BOMBEO
 VISTA EN PLANTA
 PLANO N°: PL-02



SECCION A
ESC: 1/50



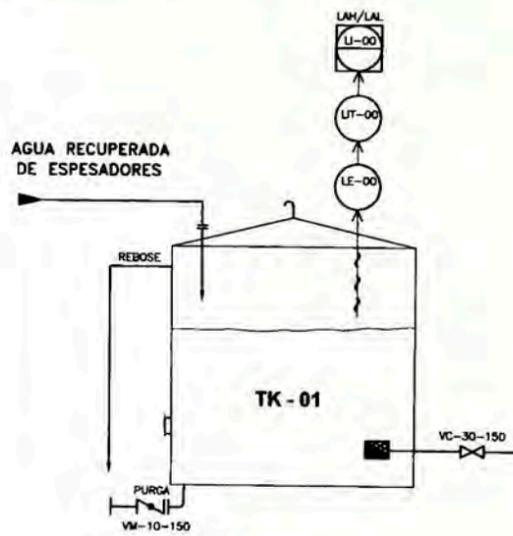
SECCION B
ESC: 1/50



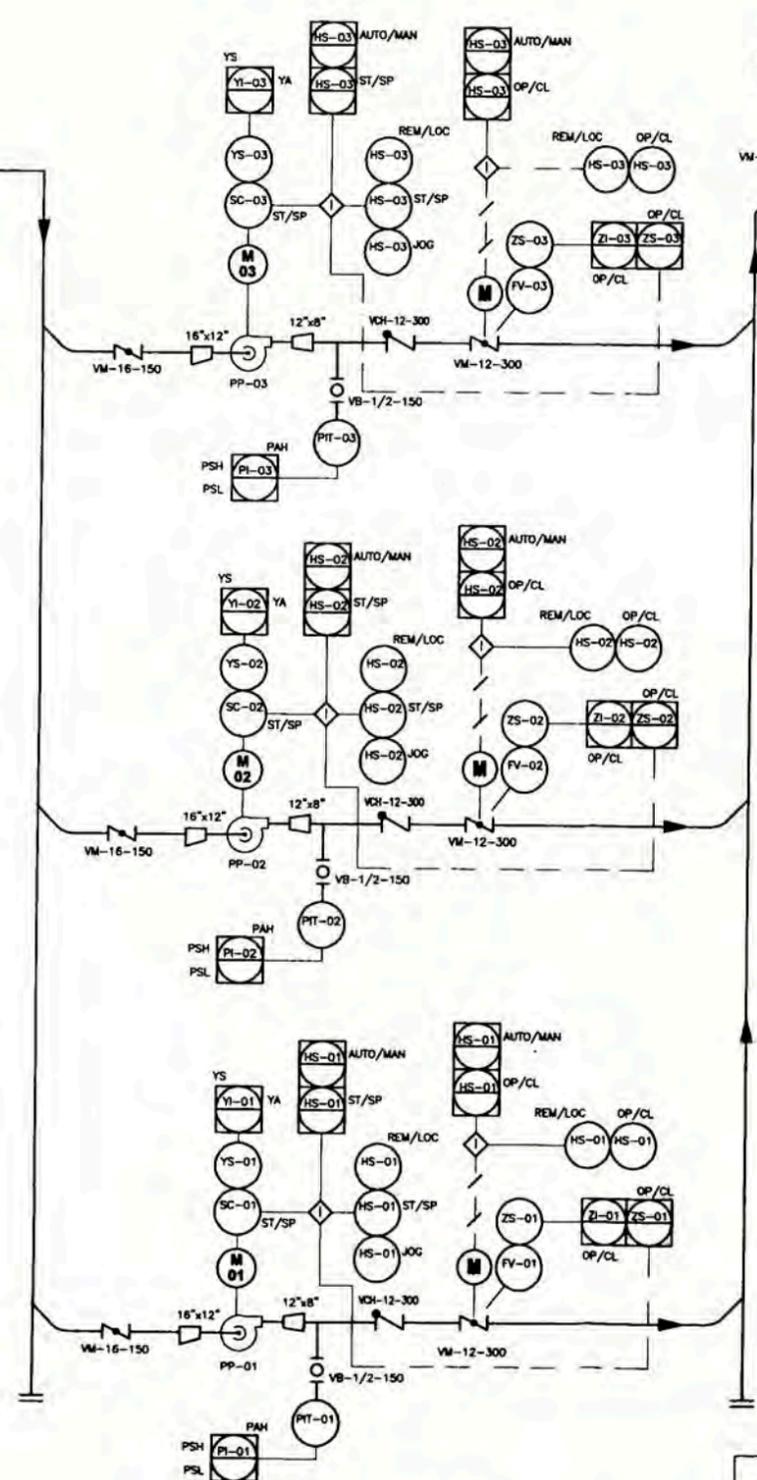
SECCION C
ESC: 1/25

NOTAS :
1.- LA ESCALA GRAFICA MOSTRADA ES PARA EL FORMATO A-1, PARA A-3 CONSIDERAR EL DOBLE
2.- USAR SOLO DIMENSIONES INDICADAS EN LOS PLANOS.

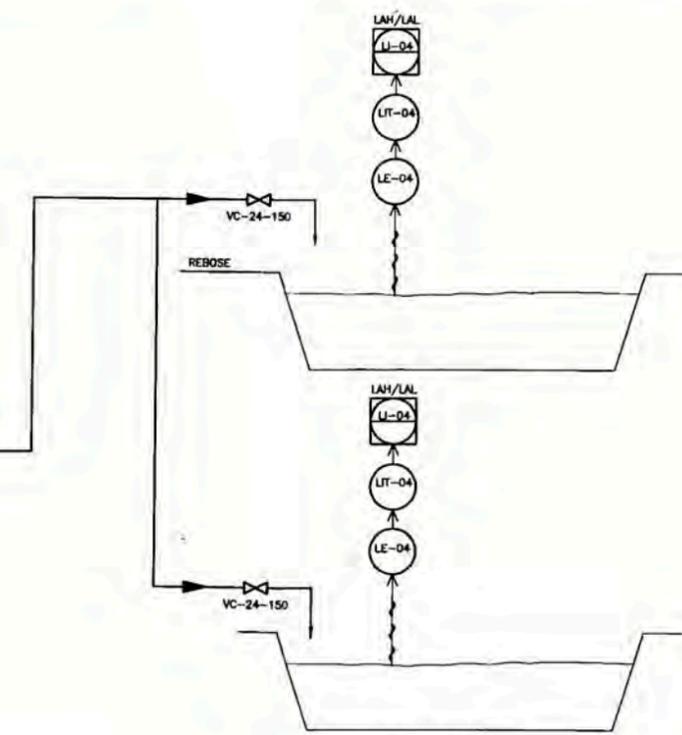
DISEÑO : MARTIN REQUEJO	 UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA	TITULO :
DIBUJO : MARTIN REQUEJO		ARREGLO GENERAL DE LA ESTACION DE BOMBEO
REVISO : MOISES CASAS		VISTA EN ELEVACION
ESCALA : 1 : 50		PLANO N°: PL-03
FECHA : 11/12/10		



TK-01
TANQUE DE PASO
 CAPACIDAD: 750 m³
 DIAMETRO: Ø11.46 m
 ALTURA: 9.00 m
 NORMA: ANWA



PP-01/02/03
ELECTRO BOMBA CENTRIFUGA
 CAUDAL: 1304 m³/h
 ADT: 354 m
 POTENCIA MOTOR: 1250 HP



TK-01/02
RESERVORIOS DE ALMACENAMIENTO
 CAPACIDAD: 7000 m³

LEYENDA	
	MEDIDOR DE FLUJO MAGNETICO
	VISUALIZACION DEL CONTROL DISTRIBUIDO COMPARTIDO
	INSTRUMENTO
	BOMBA CENTRIFUGA
	VALVULA CHECK
	VALVULA MARIPOSA
	VALVULA BOLA ABIERTA
	VALVULA BOLA CERRADA
	REDUCTOR DE DIAMETRO
	MOTOR ELECTRICO
	FILTRO VALV DE PIE

LEYENDA	
	ACTUADOR MOTORIZADO
	VALVULA DE ALMO
	VALVULA DE BOLA
	SIMBOLO DE CONTROL LOGICO Y SECUENCIAL
	UNION BRIDADA
	BRIDA CIEGA
	CONTROL DE NIVEL ULTRASONICO
	FLUJO PRINCIPAL
	SEÑAL ELECTRICA
	ENLACE POR SOFTWARE
(13)	CANTIDAD

NOMENCLATURA	
FE FLUJOMETRO	LSH SWITCH DE ALTO NIVEL
FIT TRANSMISOR DE FLUJO	LSL SWITCH DE BAJO NIVEL
FI INDICADOR DE FLUJO (DISPLAY)	FAH ALARMA DE ALTA VELOCIDAD DE FLUJO
PDI INDICADOR DE PRESION DIFERENCIAL (DISPLAY)	FAL ALARMA DE BAJA VELOCIDAD DE FLUJO
PIT TRANSMISOR DE PRESION	FQI INDICADOR TOTALIZADOR DE FLUJO
HS INTERRUPTOR MANUAL	ZI INDICADOR DE STATUS
LE SENSOR DE NIVEL	YI INDICADOR DE STATUS
LIT TRANSMISOR DE NIVEL	
LI INDICADOR DE NIVEL (DISPLAY)	

NOTAS

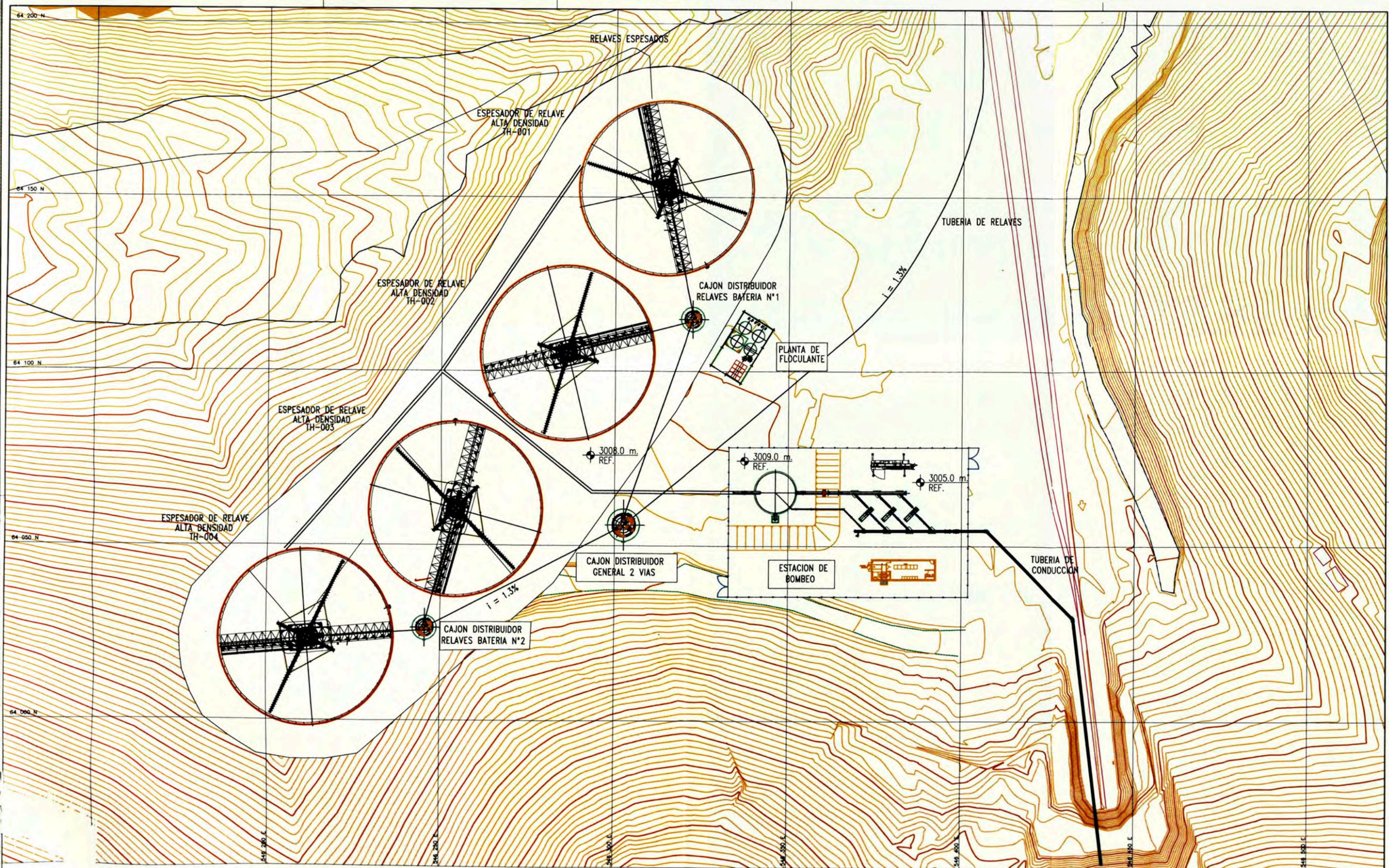
- 1) LAS BOMBAS ARRANCARAN EN SECUENCIA AUTOMATICA DESDE EL SISTEMA DE CONTROL
- 2) PREVIO AL ARRANQUE AUTOMATICO, EL SISTEMA DE CONTROL DEBERA MOSTRAR EL STATUS: HABILITADO/DESHABILITADO DE CADA BOMBA. SI UNA BOMBA NO ESTA HABILITADA, EL SISTEMA DEBERA MOSTRAR LA (S) CONDICION (ES) QUE DESHABILITAN A LA BOMBA PARA ARRANQUE AUTOMATICO. POR EJEMPLO NIVEL DE TANQUE DE PASO DEBAJO DEL 15%, PRESION DIFERENCIAL ALTA, ETC.
- 3) LOS MOTORES Y VALVULAS TENDRAN EN EL CAMPO ESTACIONES DE BOTONERA PARA ARRANQUE/PARADA LOCAL, SELECCION LOCAL/REMOTO, CIERRE/ABERTURA COMO CORRESPONDA.
- 4) LAS VALVULAS DE MARIPOSA CON ACTUADOR ELECTRICO AGUAS ARRIBA DE LAS BOMBAS SERAN OPERADAS PARA CONDICIONES ON/OFF. (COMPLETAMENTE ABIERTAS O CERRADAS). LA APERTURA Y CIERRE ESTARA COORDINADA CON EL ARRANQUE Y PARADA DE LAS BOMBAS.
- 5) LAS BOMBAS PARARÁN SI EL NIVEL DEL RESERVORIO LLEGA AL MÁXIMO PERMITIDO, ACTIVANDO UN SWITCH DE ALTO NIVEL PARA INICIAR LA PARADA DE LAS BOMBAS DE FORMA GRADUAL DE TAL MANERA QUE DISMINUYA LA PRESION DEL FLUIDO SALIENTE Y SE PRODUZCA EL CIERRE DE LAS VALVULAS MARIPOSA.
- 6) DATOS TRANSMITIDOS A LA SALA DE CONTROL.
 - CAUDAL
 - ESTADO DE LAS BOMBAS (MARCHA/PARADA).
 - POSICION DE LAS VALVULAS DE MARIPOSA CON ACTUADOR ELECTRICO
 - NIVEL DE TANQUE.
 - PRESION DE DESCARGA DE LA BOMBA.
- 7) PARA TODOS LOS SENSORES ULTRASONIDO CONSIDERAR DISPLAY EN CAMPO.
- 8) EL TANQUE TIENE SWITCH DE NIVEL BAJO LSL PARA PARAR LA BOMBA EN CASO DE TANQUE VACIO.

DISEÑO : MARTIN REQUEJO
DIBUJO : MARTIN REQUEJO
REVISO : MOISES CASAS
ESCALA : SIN ESCALA
FECHA : 11/12/10

XI UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

TITULO : DIAGRAMA DE TUBERÍAS E INSTRUMENTACIÓN (P&ID) DEL SISTEMA DE BOMBEO
PLANO N°: PL-04



NOTAS :
 1.- LA ESCALA GRAFICA MOSTRADA ES PARA EL FORMATO A-1, PARA A-3 CONSIDERAR EL DOBLE
 2.- USAR SOLO DIMENSIONES INDICADAS EN LOS PLANOS.

DISEÑO : MARTIN REQUEJO
 DIBUJO : MARTIN REQUEJO
 REVISO : MOISES CASAS
 ESCALA : 1 : 1000
 FECHA : 11/12/10

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

TITULO :
SITE PLAN SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE AGUA DE RELAVES
 PLANO N°: **PL-05**