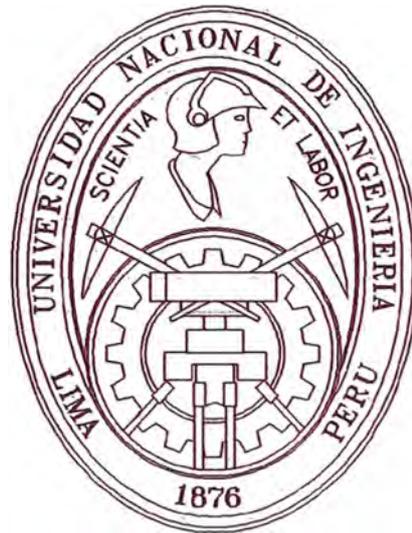


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA



**“MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE UNA BOMBA
SUMERGIBLE TIPO TURBINA”**

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECANICO

EDWAR JHOEL DIAZ LARA

PROMOCION 2003-II

LIMA- PERU

-2009-

INDICE

LOGO

INTRODUCCION	1
1. Descripción de la Empresa	1
2. Descripción del Proceso Productivo	2
1.2.1. Proceso de Extracción	2
1.2.2. Chancado	2
1.2.3. Lixiviación	3
1.2.4. Planta de Procesos	4
1.2.5. Fundición	5
3. Objetivo	5
GENERALIDADES DE BOMBAS CENTRIFUGAS	6
1. Bombas Centrifugas	6
2. Conceptos fundamentales	6
2.2.1. Densidad	6
2.2.2. Gravedad	8
2.2.3. Peso Específico	9
2.2.4. Viscosidad	10
2.2.5. Viscosidad Dinámica	11
2.2.6. Viscosidad Cinemática	13
2.2.7. Presión Absoluta y Manométrica	13
2.2.8. Presión de Vapor	15

2.2.9. Flujo Volumétrico	16
2.2.10. Ecuación de la continuidad	16
2.3. Velocidad de Flujo Recomendable en Tuberías y Ductos	17
2.3.1. Velocidad Mínima	18
2.3.2. Velocidad Máxima	18
2.4. Ecuación de General de la energía	20
2.5. Numero de Reynolds	21
2.6. Perdidas de Energía	22
2.6.1. Perdidas Primarias	22
2.6.1.1. Factor de Fricción para Flujo Laminar	22
2.6.1.2. Factor de Fricción para Flujo Turbulento	23
2.6.2. Perdidas Secundarias	24
2.7. Bombas en Serie	24
2.8. Curvas Características	25
2.9. Puntos de Operación de las Bombas	25
2.10. Cavitación	26
2.10.1. Consecuencias de la Cavitación	27
2.10.2. Tipos de Cavitación	28
2.10.3. Factores que Afectan la Cavitación	29
2.11. NPSH Requerido de la bomba	29
2.12. NPSH Disponible del sistema	29
2.13. Sumergencia mínima	31
2.14. Potencia que Requieren las Bombas	31

2.15.	Eficiencia Mecánica de las Bombas	32
3.	GENERALIDADES DE BOMBAS SUMERGIBLES	33
3.1.	Definiciones básicas	33
3.1.1.	Nivel de Referencia	34
3.1.2.	Nivel Estático	34
3.1.3.	Nivel Dinámico	34
3.1.4.	Longitud de Bomba	34
3.1.5.	Empuje axial total	34
3.1.6.	Juego axial o estiramiento	35
4.	CONSIDERACIONES PARA LA MODIFICACION DE LA BOMBA	37
4.1.	Antecedentes de la Modificación de la Bomba	37
4.2.	Calculo de la Línea de Bombeo	38
4.2.1.	Datos Requeridos	38
4.2.1.1.	Características del Fluido a Transportar	38
4.2.1.2.	Condiciones Generales del Sitio	38
4.2.1.3.	Condiciones de Operación	38
4.2.1.4.	Materiales	43
4.2.2.	Calculo de la Altura de Perdidas	44
4.2.2.1.	Calculo de las Perdidas Primarias	44
4.2.2.2.	Calculo de las Perdidas Secundarias	48
4.2.3.	Calculo de la Carga Total de la Bomba	50
4.2.4.	Calculo del Numero de Impulsores	51
4.2.5.	Calculo de la Potencia de Entrada a la Bomba	52

4.2.6.	Calculo de la Potencia de Línea	54
4.2.7.	Análisis del Empuje Axial Total	55
4.2.8.	Calculo del Estiramiento de la Bomba	56
4.2.9.	Análisis del NPSH	57
4.3.	Instalación de la bomba	58
4.3.1.	Separación Entre Anillos de Desgaste	58
4.3.2.	Ajuste de los impulsores	59
4.4.	Resultados del Mejoramiento de la Bomba	59
5.	ESTRUCTURA DE COSTOS	62
5.1.	Costos de Inversión e Instalación	62
5.2.	Costos de mano de Obra	63
5.3.	Costos de Operación	63
5.3.1.	Costos de Energía Eléctrica	63
5.3.2.	Costos de Personal de Operaciones	63
5.4.	Costos de Mantenimiento	64
5.4.1.	Costos de Personal de Mantenimiento	64
5.4.2.	Costos de Repuestos	64
5.5.	Costo Total	65
	RECOMENDACIONES	66
	CONCLUSIONES	67
	BIBLIOGRAFIA	68
	PLANOS	69
	ANEXOS	70

PROLOGO

El presente Informe de Suficiencia tiene por objetivo modificar la bomba sumergible marca Johnston, modelo 12CC que trabaja a condiciones de diseño: altura dinámica total 44 mca, 210 m³/h y con longitud de 20.5 m; para que funcione a otras condiciones de operación.

En el Capítulo uno, se presenta la descripción de la empresa Minera Barrick Misquichilca S.A; donde, se describirá las actividades principales, reseña histórica y ubicación geográfica.

En Capítulo dos, se presenta todos los conceptos necesarios de bombas centrífugas utilizados para el cálculo de la modificación; además, se presentan tablas para las correcciones de los valores densidad, gravedad las cuales se ven afectadas por la altitud.

En Capítulo tres, se presenta los conceptos específicos para bombas sumergibles, los cuales apoyan a definir de manera más exacta las diferentes definiciones para el caso de estas bombas en particular.

En Capítulo cuatro, se presenta todo el cálculo de la bomba modificada, así como también se muestra los detalles de instalación considerados para esta; además, se presenta los resultados obtenidos después de instalada la bomba.

En Capitulo cinco, se presenta los costos de de instalación, operación y mantenimiento de la modificación de la bomba.

CAPITULO I

INTRODUCCION

1.1. Descripción de la Empresa

La mina Pierina está ubicada en el distrito de Jangas, provincia de Huaraz, departamento de Ancash, a 13 kilómetros del pueblo de Jangas, entre los 3800 y 4200 metros de altura. El yacimiento inició su producción en 1998 y actualmente emplea a 500 trabajadores, de los cuales el 98% son peruanos. Además, da trabajo en forma rotatoria a un promedio 450 pobladores provenientes de las comunidades aledañas que se desempeñan en actividades complementarias, tales como reforestación, control de erosión y obras de desarrollo para sus propias comunidades.

Mediante exploraciones intensivas se ubicaron 7,2 millones de onzas en reservas auríferas con una ley promedio de 2,15 g/t. que garantizan una vida útil de la mina de 11 años.

Previo al inicio de la construcción, Barrick presentó al Ministerio de Energía y Minas un Estudio de Impacto Ambiental el cual da cuenta de la forma en que se protegerá el medio ambiente durante las etapas de desarrollo y vida útil de la mina y cómo se recuperará el terreno luego de su cierre.

1.2. Descripción del Proceso Productivo

1.2.1. Proceso de Extracción

Pierina está diseñada como una mina a tajo abierto construida con formación tipo gradas con bancos de 10 metros de alto.

Para obtener mineral se utiliza perforadoras que realizan excavaciones en 10.5 metros de profundidad donde se coloca anfo (mezcla de petróleo con nitrato de amonio) para realizar el proceso de voladuras controladas.

El material removido es recogido por palas y transportado por camiones mineros con capacidad de hasta 190 toneladas métricas hacia la estación de chancado. Diariamente se mueven más de 40.000 toneladas métricas entre mineral y escombros.

1.2.2. Chancado

Las instalaciones de la planta de chancado han sido diseñadas para procesar 29000 tons/día pero, actualmente estamos procesando más de 35000 tons/día. En el chancado primario, el tamaño del mineral es reducido desde aproximadamente 34 pulgadas hasta un tamaño de 6 pulgadas.

En el chancado secundario, el tamaño del mineral es reducido hasta aproximadamente 1,5”.

El mineral, ya reducido de tamaño, recorre 2,4 kilómetros en una faja transportadora para ser depositado en una tolva, que permite dosificar el carguío de los camiones mineros que luego lo transportarán a la cancha de lixiviación para la siguiente etapa el proceso.

1.2.3. Lixiviación

El mineral transportado por volquetes es depositado en pilas en la cancha de lixiviación para luego aplicarles por goteo una solución lixivante de cianuro de sodio disuelta en agua para separar el oro y la plata contenidos en el mineral. Mediante un sistema de tuberías, la solución recolectada en el fondo de la cancha de lixiviación- solución rica en oro y plata- es enviada, mediante un sistema de tuberías hacia la Planta de Procesos. Las canchas de Lixiviación son zonas especialmente diseñadas para trabajar con productos químicos y evitar la contaminación del suelo, ya que en su estructura tienen capas de material aislante (geomembrana 2 mm).

Se presentan algunas características de la celda:

- Altura: 10 m
- Angulo de reposo Del mineral: 2,5: 1
- Tiempo de llenado: 5-7 días (180000 - 200000 Ton)
- Tiempo de Lixiviación: 60 días
- Densidad de riego: 10 litros/m²/hora
- Concentración de CN: 500 ppm (0,2 Kg/Ton)
- PH: 10,5
- Consumo de Cal Hidratada: 1 Kg/Ton
- Extracciones: Au: 70 % en 60 días, Ag: 30 % en 240 días

1.2.4. Planta de Procesos

La solución producto del proceso de lixiviación y que contiene oro y plata es filtrada, se le extrae el oxígeno mediante una torre de vacío, se le añade polvo de zinc para lograr la precipitación de los metales valiosos. Esta solución se bombea a los filtros de prensa donde se queda atrapado el metal valioso. El líquido sobrante es devuelto al proceso de lixiviación, produciéndose así un circuito cerrado. Este proceso no produce relaves.

1.2.5. Fundición

Una vez completado el proceso anterior, periódicamente se extrae de los filtros-pressa el precipitado que luego es secado en las retortas. Una vez seco se mezcla con fundentes y se carga en hornos donde es fundido y moldeado. Obteniéndose así las barras de oro y plata (dore).

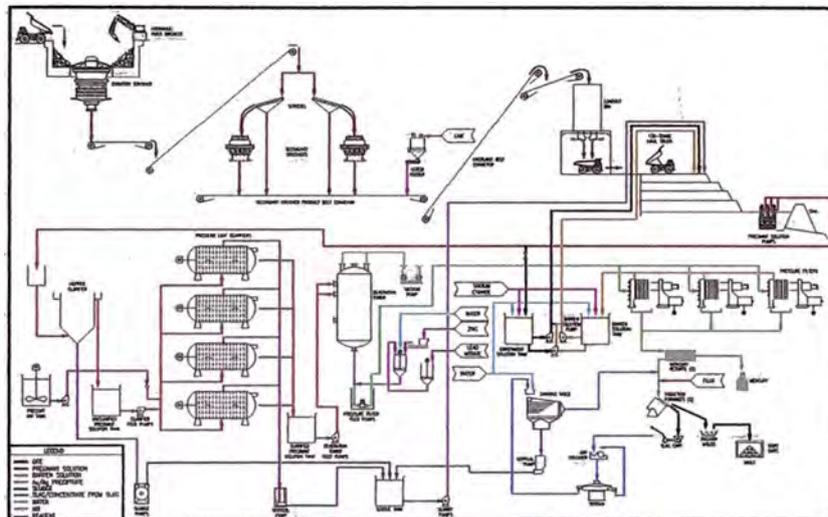


Figura 1.1 Diagrama de Flujo de la Mina Pierina

Fuente: Minera Barrick Misquichilca S.A.

1.3. Objetivo

Que la bomba sumergible marca Johnston, modelo 12CC que trabaja a condiciones de diseño: altura dinámica total 44 mca, 210 m³/h, eficiencia de 83,5% y con longitud de 20,5 m; se modifique a fin de brindar servicios a condiciones de 300 m³/h en una nueva ubicación de operación.

CAPITULO II

GENERALIDADES DE BOMBAS CENTRIFUGAS

2.1. Bombas Centrifugas

La bomba centrífuga, lo mismo que cualquier otra bomba, es utilizada para generar caudal. El caudal es una de las magnitudes físicas más importantes en la posterior selección de la bomba, pues con este dato se evalúan, el volumen de fluido suministrado al tanque de descarga y el tiempo establecido para que esto suceda.

Por otro lado, la bomba centrífuga, imprime una energía a un fluido procedente de una energía mecánica que se ha puesto en su eje por medio de un motor.

2.2. Conceptos Fundamentales

2.2.1. Densidad

La densidad se define como la cantidad de masa por unidad de volumen de una sustancia; sus unidades son kg/m^3 .

La densidad del agua no varía con la altura por tratarse de un fluido incompresible; en cambio, cuando el agua se expone a diferentes temperaturas se nota una ligera variación en la densidad. En la tabla 2.1 se muestra la variación de la densidad del agua con respecto a la temperatura.

Temperatura °C	Densidad del Agua g/cm ³
0	0.99984
10	0.99970
15	0.99896
20	0.99821
30	0.99565
40	0.99222
50	0.98802
60	0.98320
70	0.97778
80	0.97182
90	0.96535
100	0.95840

Tabla 2.1 Variación de la densidad del agua con la temperatura a la presión de 101325 Pa (Atmosfera Estándar).

Fuente: CRC Handbook Of Chemistry & Physics-87thEd, paginas 6-2

La densidad del aire varía con la altura. En la tabla 2.2 se muestra la variación de la densidad del aire con respecto a altura.

Altitud m	Densidad del aire kg/m ³
0	1.225
500	1.1673
1000	1.1116
1500	1.0581
2000	1.0065
2500	0.95686
3000	0.90912
3500	0.86323
3950	0.82346
4000	0.81913
4500	0.77677
5000	0.73612

Tabla 2.2 Variación de la densidad del aire con la altitud.

Fuente: U.S. Standard Atmosphere, 1976 NOAA-S/T76-1562. Washington DC: National Oceanic and Atmospheric Administration.

2.2.2. Gravedad

Es la fuerza teórica de atracción que experimentan entre si los objetos con masa.

La fuerza de gravedad en la superficie de la Tierra no es exactamente igual en todos los sitios. Existen pequeñas variaciones de un lugar a otro. En la tabla 2.3. Se muestran la variación de la gravedad con respecto a la altitud.

Altitud m	Gravedad m/s ²
0	9.8066
500	9.8051
1000	9.8036
1500	9.802
2000	9.8005
2500	9.7989
3000	9.7974
3500	9.7959
3950	9.7945
4000	9.7943
4500	9.7928
5000	9.7912

Tabla 2.3 Variación de la gravedad con la altitud.

Fuente: U.S. Standard Atmosphere, 1976 NOAA-S/T76-1562. Washington, DC: National Oceanic and Atmospheric Administration.

2.2.3. Peso Específico

Es la cantidad de peso por unidad de volumen de una sustancia. Se denota el peso específico con la letra griega γ (gamma); sus unidades son N/m^3 .

Es muy frecuente que el peso específico de una sustancia deba encontrarse cuando se conoce su densidad, y viceversa. La conversión de uno a otro se lleva a cabo por medio de la ecuación.

$$\gamma = \rho g \quad (2.1)$$

Donde:

γ : Peso específico de la sustancia (N/m^3)

ρ : Densidad de la sustancia (kg/m^3)

g : Aceleración de la gravedad (m/s^2)

2.2.4. Viscosidad

Es la resistencia que presenta un fluido al movimiento provocado por una fuerza cortante; es su fricción interna. Esta resistencia se debe a dos fenómenos:

- La cohesión de las moléculas
- La transferencia molecular de una capa a otra.

En los líquidos, predomina la cohesión y como esta disminuye al aumentar la temperatura, del mismo modo disminuye la viscosidad de estos líquidos. En los gases, la cohesión es relativamente débil; como consecuencia, la mayor actividad molecular que se produce al aumentar la temperatura con un aumento consecuente en la viscosidad. La viscosidad de los líquidos aumenta exponencialmente con la presión.

El agua por debajo de 30°C es la única excepción, en la que disminuye en un primer momento, a continuación del cual el comportamiento es normal. Para presiones que difieren poco de la atmosférica, del orden de un bar, los cambios son bastante pequeños. Por esta razón en los usos de la mayoría de los fluidos este factor apenas se toma en consideración; pero hay casos, como en la industria de lubricantes, donde las medidas de viscosidad han de tomarse a elevadas presiones.

2.2.5. Viscosidad Dinámica

Conforme un fluido se mueve, dentro de él se desarrolla un esfuerzo cortante, cuya magnitud depende de la viscosidad del fluido. Se define el esfuerzo cortante, denotado con la letra τ (tau), como la fuerza que se requiere para que una unidad de área de una sustancia se deslice sobre otra.

La viscosidad dinámica estaría dada por la siguiente expresión:

$$\mu = \tau / \left(\frac{dU}{dy} \right) \quad (2.2)$$

Donde:

μ : Viscosidad dinámica, en (N.s)/m²

τ : Esfuerzo cortante unitario

dU/dy : Razón de deformación de la sustancia

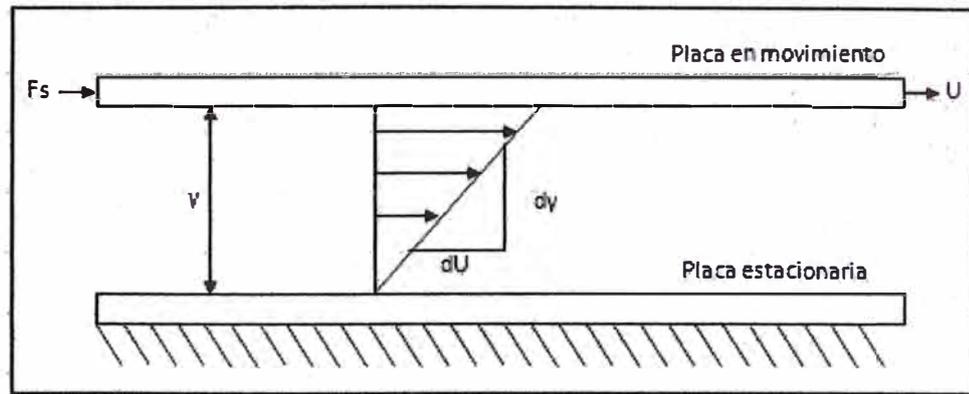


Figura 2.1 Flujo de una sustancia entre placas paralelas.

Fuente: Mecánica de Fluidos – Robert L. Mott.

En la siguiente tabla se muestra la variación de la viscosidad del agua con respecto a la temperatura.

Temperatura °C	Viscosidad del Agua μPa.s
0	1793.0
10	1307.0
15	1154.5
20	1002.0
30	797.7
40	653.2
50	547.0
60	466.5
70	404.0
80	354.4
90	314.5
100	281.8

Tabla 2.4 Variación de la viscosidad dinámica del agua con la temperatura a presión de 101325 Pa (Atmosfera Estándar).

Fuente: CRC Handbook Of Chemistry & Physics-87thEd, pagina 6-175

2.2.6. Viscosidad Cinemática

La viscosidad cinemática de un fluido es su viscosidad dinámica dividida entre su densidad.

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2.3)$$

Donde:

ν : Viscosidad cinemática (m^2/s)

μ : Viscosidad dinámica, en $(\text{N}\cdot\text{s})/\text{m}^2$

ρ : Densidad (kg/m^3)

2.2.7. Presión Absoluta y Manométrica

Al hacer cálculos que involucren la presión de un fluido, se deben efectuar en relación con alguna presión de referencia. Es normal que la atmosfera sea la presión de referencia. Así, la presión que arroja la medición del fluido se llama presión manométrica. La presión que se mide en relación con un vacío perfecto se denomina presión absoluta. Tiene importancia extrema que se conozca la diferencia entre estas dos maneras de medición de presión, para poder convertir una en la otra.

Una ecuación sencilla que relaciona los dos sistemas de medición de la presión es:

$$P_{abs} = P_{man} + P_{atm} \quad (2.4)$$

Donde:

P_{abs} : Presión absoluta

P_{man} : Presión manométrica

P_{atm} : Presión atmosférica

A nivel del mar, la presión atmosférica estándar es de 101,3 kPa (abs). En la tabla se muestra la variación de la presión atmosférica con la altitud.

Altitud m	Presion Atmosferica kPa
0	101.325
500	95.46
1000	89.874
1500	84.555
2000	79.495
2500	74.682
3000	70.108
3500	65.764
3950	62.042
4000	61.64
4500	57.728
5000	40.518

Tabla 2.5 Variación de la Presión atmosférica con respecto a la altitud.

Fuente: U.S. Standard Atmosphere, 1976 NOAA-S/T76-1562. Washington, DC: National Oceanic and Atmospheric Administration.

2.2.8. Presión de Vapor

Es la propiedad del fluido que determina las condiciones en que se forma burbujas de vapor en un líquido.

Un líquido recibe el nombre de volátil si tiene una presión de vapor relativamente alta y se evapora con rapidez en las condiciones del ambiente.

Temperatura °C	Presion Vapor del Agua kPa
0	0.6113
10	1.2281
15	1.7835
20	2.3388
30	4.2455
40	7.3814
50	12.344
60	19.932
70	31.176
80	47.373
90	70.117
100	101.325

Tabla 2.6 Variación de la Presión de Vapor del agua con la temperatura a presión de 101325 Pa (Atmosfera Estándar).

Fuente: CRC Handbook Of Chemistry & Physics-87thEd, pagina 6-175

2.2.9. Flujo Volumétrico

Es el volumen de fluido que circula en una sección por unidad de tiempo. Se calcula con la siguiente ecuación:

$$Q = A \cdot v \quad (2.6)$$

Donde:

Q: Flujo del fluido (m^3/s)

A: Área de la sección (m^2)

v: Velocidad promedio del flujo (m/s)

2.2.10. Ecuación de Continuidad

La cantidad de fluido que circula a través de cualquier sección en cierta cantidad de tiempo es constante. Esto se conoce como flujo estable.

La ecuación de continuidad se utiliza para relacionar la densidad de fluido el área de flujo y la velocidad de este en dos secciones del sistema donde existe flujo estable. Es válido para todos los fluidos ya sean gases o líquidos. El enunciado matemático del principio de continuidad es el siguiente:

$$\rho_1 A_1 v_1 = \rho_2 A_2 v_2$$

Para el caso de un líquido incomprensible se cumple:

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

$$Q_1 = Q_2 \quad (2.7)$$

Donde:

ρ_1, ρ_2 : Densidad en el punto 1 y 2.

A_1, A_2 : Área en el punto 1 y 2.

v_1, v_2 : Velocidad promedio del flujo en el punto 1 y 2.

Q_1, Q_2 : Caudal en el punto 1 y 2.

2.3. Velocidad de Flujo Recomendable en Tuberías y Ductos

Son muchos los factores que influyen para lograr una velocidad de flujo satisfactoria en los sistemas de fluido. Lo más importante son el tipo de fluido, la longitud del sistema de flujo, el tipo de tubería o tubo, la caída de presión que puede tolerarse, los dispositivos (bombas, válvulas y otros mas) que han de conectarse a la tubería o tubo, temperatura, presión y ruido.

Tipo de servicio	Rango recomendado de velocidad (m/s)
Lineas de succion	0.6 - 1.2
Lineas de retorno	1.5 - 4
Lineas de descarga	2 - 5.5

Tabla 2.7 Velocidades de flujo recomendados para sistemas de fluidos de potencia.

Fuente: Mecánica de Fluidos autor Robert L. Mott página 164.

2.3.1. Velocidad Mínima

Para evitar deposiciones en las tuberías, la velocidad mínima generalmente es fijada entre 0,25 y 0,40 m/s, dependiendo de la calidad del agua. Para las aguas que contienen ciertos materiales en suspensión, la velocidad no debe ser inferior a 0,60 m/s (en el caso de cloacas por ejemplo). La velocidad mínima establecida no es válida para sistemas de distribución de agua potable.

2.3.2. Velocidad Máxima

La velocidad máxima del agua, en las tuberías, generalmente depende de los siguientes factores:

- Condiciones económicas.
- Condiciones relacionadas con el buen funcionamiento de los sistemas.
- Posibilidad de aparición de efectos dinámicos nocivos.
- Limitación de la pérdida de carga.
- Desgaste de las tuberías y piezas accesorios (erosión).
- Control de la corrosión.
- Ruidos desagradables.

El límite máximo es por lo tanto, recomendado para cada caso.

$$V_{MAX} = 0,6 + 1,5D \quad (2.8)$$

Donde:

V_{MAX} : Velocidad máxima (m/s)

D: Diámetro (m)

La velocidad se establece teniendo en cuenta condiciones económicas.

Generalmente es superior a 0,60 m/s y, rara vez sobrepasa 2,4 m/s.

2.4. Ecuación General de la Energía

Esta ecuación permite resolver problemas donde hay pérdida y ganancia de energía. Para un sistema tal, la expresión del principio de conservación de la energía es:

$$E'_1 + h_A - h_R - h_L = E'_2 \quad (2.9)$$

Donde:

h_A : Energía que se agrega al fluido con un dispositivo mecánico, como una bomba; es frecuente que se le denomine carga total sobre la bomba

h_R : Energía que se remueve del fluido por medio de un dispositivo mecánico, como un motor de fluido.

h_L : Pérdidas de energía del sistema por fricción en las tuberías, o pérdidas menores por válvulas y otros accesorios

E'_1 : Energía que posee el fluido por unidad de peso al inicio

E'_2 : Energía que posee el fluido por unidad de peso al final

Otra forma de expresar la ecuación de la energía es la siguiente:

$$\frac{p_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + h_A - h_R - h_L = \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} \quad (2.10)$$

2.5. Numero de Reynolds

El comportamiento de un fluido, en particular en lo que se refiere a las pérdidas de energía depende de que el flujo sea laminar o turbulento. La ecuación siguiente muestra la definición básica del número de Reynolds:

$$N_R = \frac{v \cdot D \cdot \rho}{\mu} \quad (2.11)$$

Donde:

N_R : Numero de Reynolds (a dimensional)

v : Velocidad media del fluido (m/s)

D : Diámetro de la tubería (m)

μ : Viscosidad dinámica (Pa.s)

ρ : Densidad del liquido (kg/m^3)

Para aplicaciones de flujo en tuberías, encontramos lo siguiente:

Si $N_R < 2000$, el flujo es laminar.

Si $N_R > 4000$, el flujo es turbulento.

Si $2000 < N_R < 4000$, el flujo es transitorio.

2.6. Pérdidas de Energía

2.6.1. Pérdidas Primarias

Las pérdidas de energía esta definidas de la siguiente manera:

$$h_p = f \frac{L v^2}{D 2g} \quad (2.12)$$

Donde:

h_p : Pérdida de energía debido a la fricción (N-m/N)

L: Longitud de la corriente de flujo (m)

D: Diámetro de la tubería (m)

v: Velocidad promedio del flujo (m/s)

f : Factor de fricción (adimensional)

2.6.1.1. Factor de Fricción Para Flujo Laminar

Para flujo laminar el factor de fricción se deduce por la siguiente fórmula:

$$f = \frac{64}{N_R} \quad (2.13)$$

Donde:

N_R : Numero de Reynolds (adimensional)

f: Factor de fricción (adimensional)

2.6.1.2. Factor de Fricción para Flujo Turbulento

Uno de los métodos más utilizados para evaluar el factor de fricción emplea el diagrama de Moody que se representa en el Anexo 2. El diagrama muestra la grafica del factor de fricción f versus el número de Reynolds N_R , con una serie de curvas paramétricas relacionadas con la rugosidad relativa D/ϵ .

Material	Rugosidad (m)
Vidrio	Liso
Plastico	3.00E-07
Tubo extruido, cobre, laton y acero	1.50E-06
Acero comercial o soldado	4.60E-05
Hierro galvanizado	1.50E-04
Hierro ductil, recubierto	1.20E-04
Hierro ductil, no recubierto	2.40E-04
Concreto, bien fabricado	1.20E-04
Acero remachado	1.80E-03

Tabla 2.8 Rugosidad promedio de pared de tuberías y tubos comerciales.

Fuente: Mecánica de Fluidos autor Robert L. Mott pagina 235.

2.6.2. Perdidas Secundarias

Son proporcionales a la carga de velocidad del fluido, conforme pasa por un codo, expansión o contracción de la sección de flujo, o por una válvula.

$$h_s = K \left(\frac{v^2}{2g} \right) \quad (2.14)$$

Donde:

h_s : Pérdida de energía secundaria (N-m/N)

K: Coeficiente de resistencia (adimensional)

v: Velocidad promedio del flujo en el tubo (m/s)

2.7. Bombas en Serie

Dirigir la salida de una bomba hacia la entrada de otra permite obtener la misma capacidad con una carga total igual a la suma de las dos.

Para el caso de bombas de etapas múltiples es posible obtener un rendimiento similar al que se logra con bombas en serie. Se dispone dos o más impulsor en la misma carcasa, de modo que el fluido pasa en forma sucesiva de uno al siguiente.

2.8. Curvas Características

Debido a que es posible utilizar diámetros de impulsor y velocidades distintos, los fabricantes de bombas cubren un rango amplio de requerimientos de capacidad y carga con unos cuantos tamaños básicos de bombas. La figura 2.2 muestra las curvas más comunes que los fabricantes proporcionan.

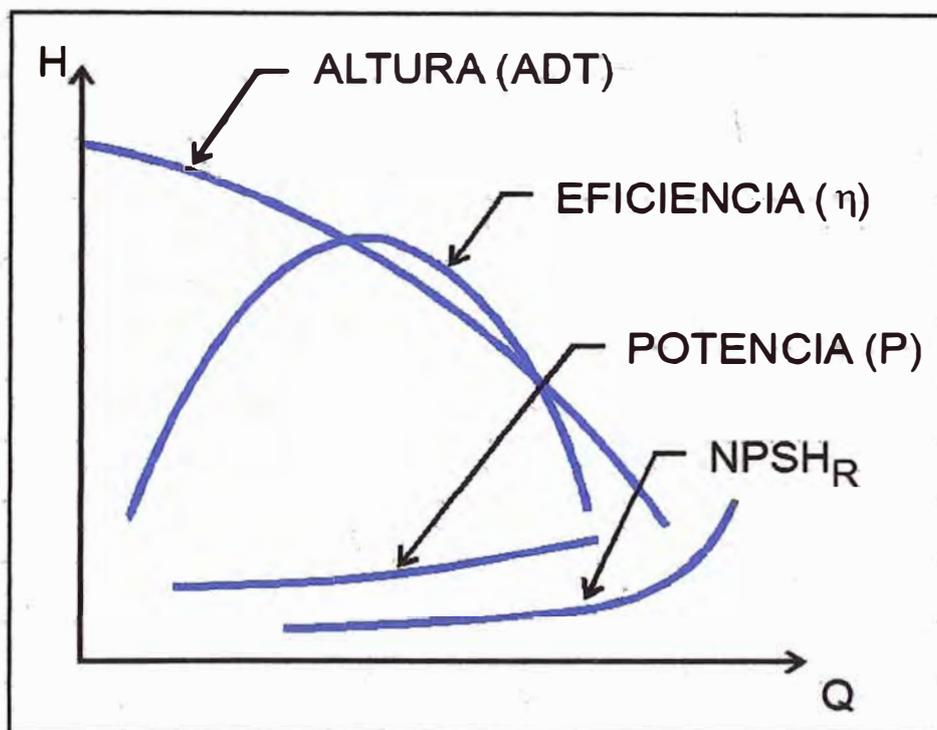


Figura 2.2 Curvas características de una bomba centrífuga.

Fuente: Curso de Bombas tipo Turbina – Enginzone

2.9. Punto de Operación de una Bomba

El punto de operación de una bomba se define como el flujo volumétrico que enviara cuando se instale en un sistema dado.

La carga total que desarrolla la bomba se determina por medio de la resistencia del sistema que corresponde a la misma del flujo volumétrico. La figura 2.3 muestra dos puntos de operación, uno cuando la válvula está completamente abierta y el otro punto es cuando la válvula se encuentra parcialmente estrangulada.

El punto de operación verdadero de la bomba de este sistema es donde se intercepta la curva de este con la curva de rendimiento de la bomba.

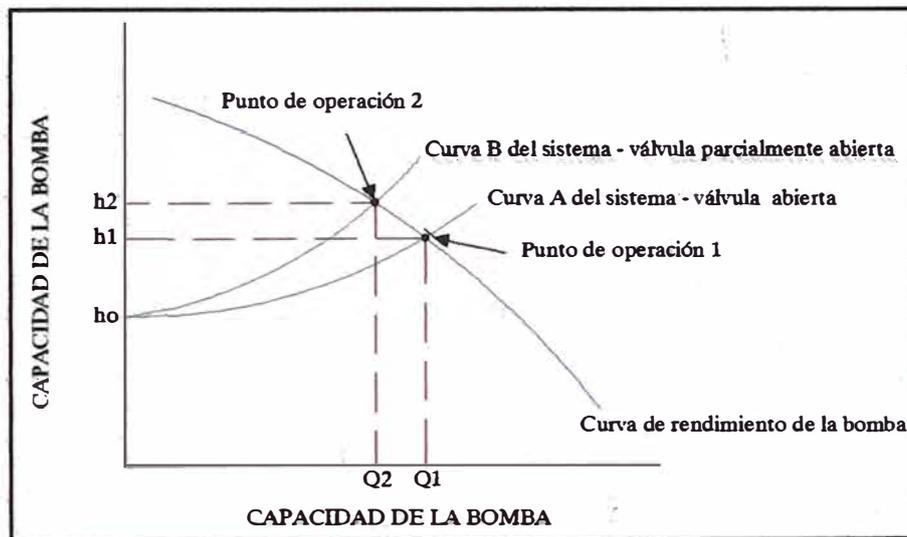


Figura 2.3 Puntos de operación de una bomba.

2.10. Cavitación

El nombre viene significando la formación de cavidades en el seno del líquido, definidas como burbujas de vapor dentro de la masa líquida y producidas por una vaporización local a causa de ciertas condiciones dinámicas, como puede ser alta

velocidad relativa y consecuentemente una reducción de la presión local hasta el valor de la tensión del vapor a la temperatura actual del líquido.

2.10.1. Consecuencias de la Cavitación

A continuación se describen algunas consecuencias de la cavitación:

- Eje roto
- Vida corta de rodamientos
- Daños severos al impulsor
- Rotura de sellos mecánicos
- Daños en el plato de desgaste.



Figura 2.4 Consecuencias de la cavitación den impulsores.

Fuente: Curso de Bombas tipo Turbina – Enginzone

2.10.2. Tipos de Cavitación

- *Cavitación en la succión*, ocurre en el ojo del impulsor.

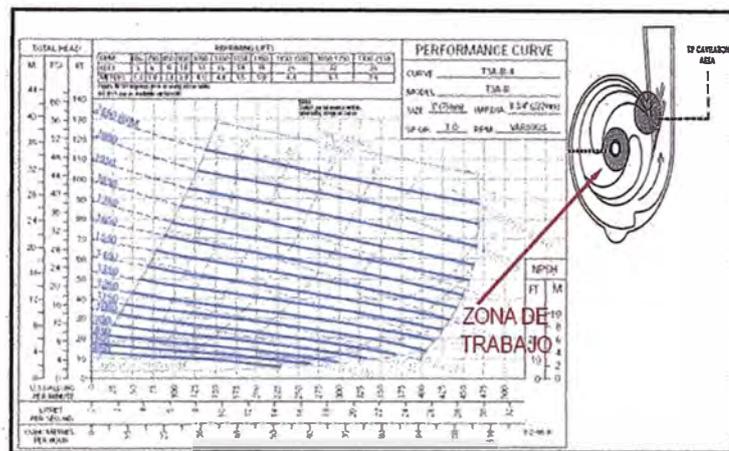


Figura 2.5 Cavitación en la succión.

Fuente: Curso de Bombas Centrifugas - Trialloy

- *Cavitación en la descarga*, ocurre en los extremos de los alabes.

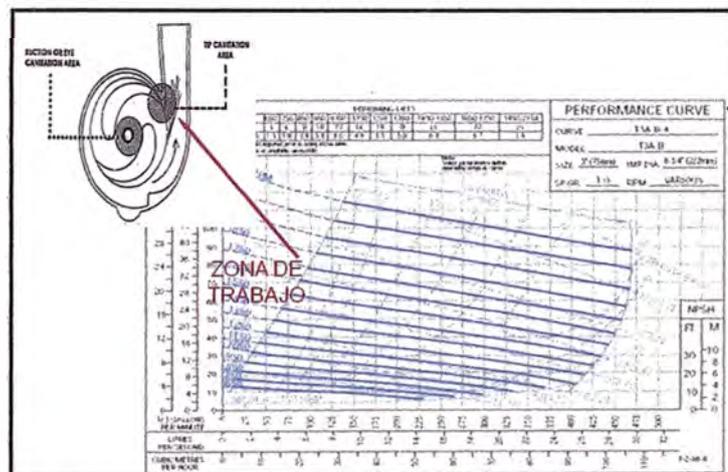


Figura 2.6 Cavitación en la descarga.

Fuente: Curso de Bombas Centrifugas - Trialloy

2.10.3. Factores que Afectan a la Cavitación

Los factores que afectan la cavitación se pueden clasificar en dos grupos:

- Factores producidos por el líquido: temperatura, velocidad viscosidad.
- Factores producidos por el sistema: elevación, presión externa y fricción (tuberías y accesorios).

2.11. NPSH Requerido de la Bomba

Los fabricantes de bombas prueban cada diseño para determinar el nivel de la presión de succión que se requiere, con el fin de evitar la cavitación, y reportan los resultados como la carga de succión positiva neta requerida, $NPSH_R$, en cada condición de capacidad de operación y carga total sobre la bomba.

2.12. NPSH Disponible del Sistema

El valor del $NPSH_A$ depende de la presión de vapor del fluido que se bombea, las pérdidas de energía en el tubo de succión, la ubicación del almacenamiento de fluido y la presión que se aplica a este. Esto se expresa como:

$$NPSH_A = h_{sp} \pm h_s + h_f + h_{vp} \quad (2.15)$$

Donde:

p_{sp} : Presión estática (absoluta) sobre el fluido en el depósito.

h_{sp} : Carga de presión estática (absoluta) sobre el fluido en el almacenamiento; se expresa en metros o en pies de líquido: $h_{sp} = p_{sp}/\gamma$.

h_s : Diferencia de elevación desde el nivel del fluido en el depósito a la línea central de la entrada de succión de la bomba; se expresa en metros o en pies.

Si la bomba esta debajo del depósito h_s es positiva.

Si la bomba está arriba del depósito, h_s es negativa.

h_f : Perdida de carga en la tubería de succión, debido a la fricción y pérdidas menores; se expresa en metros o pies.

P_{vp} : Presión de vapor (absoluta) del líquido a la temperatura de bombeo; se expresa en metros o en pies de líquido: $h_{vp} = P_{vp}/\gamma$

El American National Standards Institute (ANSI) y el Hydraulic Institute (HI) emiten juntos estándares que especifican un margen mínimo de 10% para el $NPSH_A$ sobre el $NPSH_R$. En ciertas aplicaciones críticas como el control de inundaciones, ductos y servicio de generación de energía, se espera márgenes más elevados, de hasta 100%. Algunos diseñadores solicitan un margen de 5 pies para sistemas de bombeo grandes. Para aplicaciones generales se cumple:

$$NPSH_A > 1,1 \times NPSH_R \quad (2.16)$$

2.13. Sumergencia Mínima

La altura del agua entre el nivel mínimo y la unión de la rejilla, o la boca de entrada de la tubería, deben poseer dimensiones mínimas necesarias para facilitar el asentamiento de las piezas, permitir el acceso y evitar grandes velocidades y agitación de las agua, (formación de torbellinos nocivos).

La velocidad del agua en la entrada del tubo de aspiración debe ser inferior a 0.90m/s. La sumergencia mínima debe ser igual o superior a los límites siguientes:

- Condición hidráulica

$$S \geq \frac{v^2}{2g} + 0,20 \quad (2.17)$$

- Para impedir la entrada de aire

$$S \geq 2,5D + 0,10 \quad (2.18)$$

2.14. Potencia que Requieren las Bombas

La potencia se calcula con la multiplicación de la energía transferida por newton de fluido en peso. Es decir

$$P_A = h_A \cdot \gamma \cdot Q \quad (2.19)$$

Donde:

P_A : Potencia que se entrega al fluido (W)

h_A : Energía que se agrega al fluido con una bomba (N.m/N)

γ : Peso específico del fluido (N/m³)

Q : Flujo volumétrico que del fluido (m³/s)

2.15. Eficiencia Mecánica de las Bombas

El termino eficiencia se utiliza para denotar la relación de la potencia transmitida por la bomba al fluido a la potencia que se suministra a la bomba. Entonces la eficiencia mecánica se denota de la siguiente manera:

$$e_M = \frac{\text{Potencia transmitida al fluido}}{\text{Potencia de entrada a la bomba}} = \frac{P_A}{P_t} \quad (2.20)$$

El valor de la eficiencia mecánica de las bombas no solo depende del diseño de estas, sino también de las condiciones en que operan, en particular de la carga total y del flujo volumétrico.

CAPITULO III
GENERALIDADES DE BOMBAS SUMERGIBLES

3.1. Definiciones Básicas

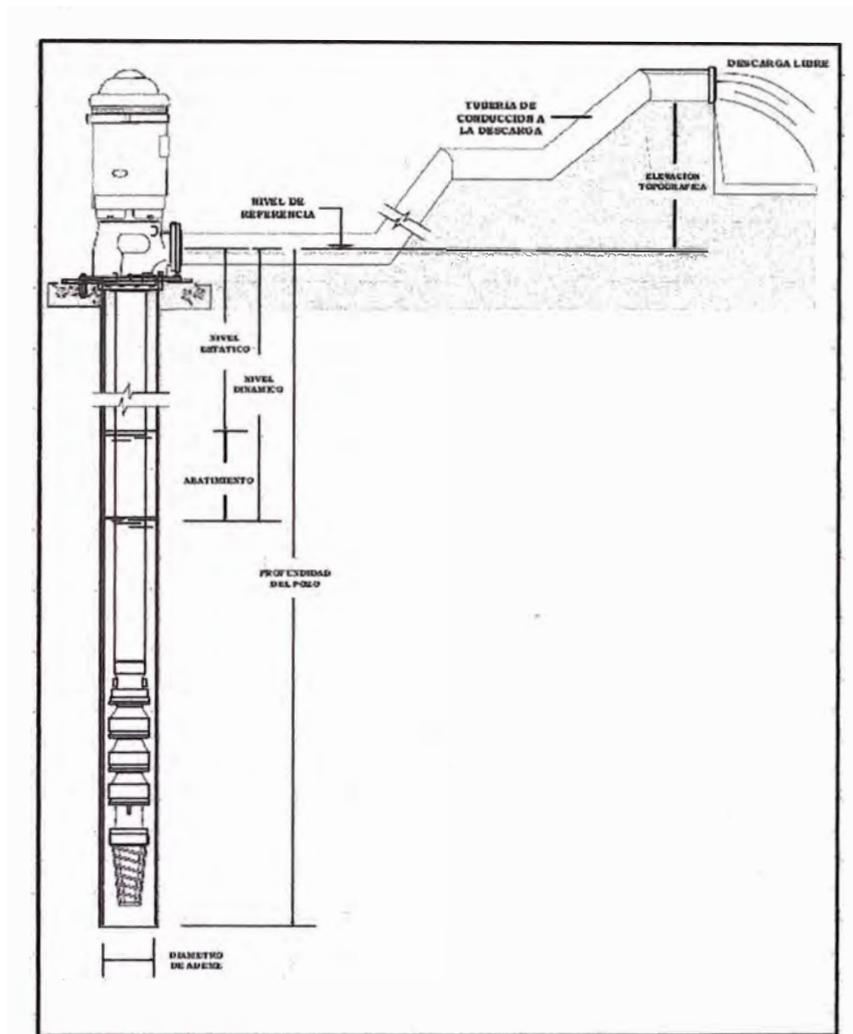


Figura 3.1 Definiciones básicas de bombas sumergibles.

Fuente: Manual de Diseño de Bombas Verticales Tipo Turbina, Ing. Raúl

Suarez González

3.1.1. Nivel de Referencia

Es el plano horizontal tomado como referencia para tomar las medidas de los parámetros de la bomba.

3.1.2. Nivel Estático

Es la distancia vertical entre el nivel de referencia y el nivel del agua cuando el equipo no funciona.

3.1.3. Nivel Dinámico

Es la distancia vertical entre el nivel de referencia y el nivel que alcanza el agua en el pozo al caudal de bombeo.

3.1.4. Longitud de Bomba

Distancia en entre el nivel de referencia y el punto más bajo de la bomba.

3.1.5. Empuje Axial Total

Está compuesto por la suma del peso de todos los componentes de rotación de la bomba, el peso de los ejes y el empuje hidráulico.

Para calcular empuje axial total se usa la siguiente fórmula:

$$E_A = F_{EA} \cdot h_A + n \cdot W_I + m \cdot W_F \quad (2.21)$$

Donde:

E_A : Empuje axial total (Kgf)

F_{EA} : Factor de empuje axial (Kgf/m)

h_A : Energía que se agrega al fluido con una bomba (m)

n : Numero de impulsores

m : Numero de flechas

W_I : Peso de impulsor (Kg)

W_F : Peso de flecha (Kg)

3.1.6. Juego Axial o Estiramiento

La flecha de la columna de la bomba (no la de los impulsores), experimenta un fenómeno de estiramiento, debido a que los impulsores producen una reacción o empuje hacia abajo, así como por el efecto del peso mismo de la flecha de la columna, por lo cual debemos calcular este fenómeno, para por medio de la tuerca de ajuste compensar dicho

estiramiento y eliminar el peligro de que dichos impulsores arrastren sobre el tazón así como para que nuestros impulsores trabajen en el lugar óptimo de eficiencia. Para calcular el estiramiento se usa la siguiente fórmula:

$$e = \frac{L \cdot E_A}{E \cdot A_F} \quad (2.22)$$

Donde:

e: Estiramiento (m)

L: Longitud total de las flechas (m)

E_A : Empuje axial total (N)

E: Modulo de elasticidad (Pa)

A_F : Área de la flecha (m²)

CAPITULO IV

CONSIDERACIONES PARA LA MODIFICACION DE LA BOMBA

4.1. Antecedentes de la Modificación de la Bomba

Luego que el mineral es chancado hasta el tamaño de ½ plg. es transportado hacia la zona de Leach Pad donde es regado mediante una solución cianurada, luego de lixiviarse la solución junto con el mineral desciende hasta dos pozas, una de estas es la Poza Caisson (nivel 3943) y la otra es la Poza Royal (nivel 4100). Luego de esta etapa la solución rica es transportada mediante dos sistemas de tuberías que se unen antes del ingreso a planta de Merrill Crowe, uno de esos sistemas de tuberías está compuesto por las bombas Caisson N°2 y N°3 y el otro sistema es una tubería instalada desde la Poza Royal donde la solución desciende por efectos de la gravedad, este ultimo sistema es utilizado cuando hay presencia de mayor mineral en la Poza Royal.

El proyecto de implementar la Bomba Caisson N°4 resulto por la necesidad de contar con una bomba de menor capacidad para cierre de mina donde tan solo se necesitara 300 m³/hrs para alimentar a la Planta de Procesos. Por tal motivo se realizo el estudio para modificar la Bomba ubicada en la Poza Polishing la cual no estaba en uso.

4.2. Cálculo de la Línea de Bombeo

4.2.1. Datos Requeridos

4.2.1.1. Características del Fluido a Transportar

- Tipo de líquido: Solución Cianurada.
- Concentración: 200 ppm de NaCN en solución.
- PH del líquido: 10 (para evitar la formación de gas Cianhídrico).
- Rango máximo de tamaño de partículas: 0,1 mm.
- Temperatura máxima: 15°C.
- Densidad: 0,998 Kg/cm³ (tabla 2.1 a la temperatura 15°C).
- Viscosidad: 1154,5 μPa.s (tabla 2.4 a la temperatura de 15°C).

4.2.1.2. Condiciones Generales del Sitio

- Altitud: 4000 m.s.n.m. (ubicación de la bomba modificada).
- Aceleración de la gravedad: 9,7943 m/s² (tabla 2.3).

4.2.1.3. Condiciones de Operación

- Servicio: Bombeo solución Cianurada desde la zona de Leach Pad hasta la Planta Procesos.

- Tipo de operación: continúa (24 horas/día).
- Tipo de succión: positiva.
- Caudal requerido: $300 \text{ m}^3/\text{h}.$
- Diámetro de Ademe: 36 plg.
- Tipo de impulsor: cerrado.
- Niveles para el cálculo
 - Nivel estático: $NE = 20 \text{ m}$
 - Nivel dinámico: $ND = 40 \text{ m}$
 - Asentamiento: $As = 20 \text{ m}$
 - Profundidad del pozo: $PP = 57 \text{ m}$

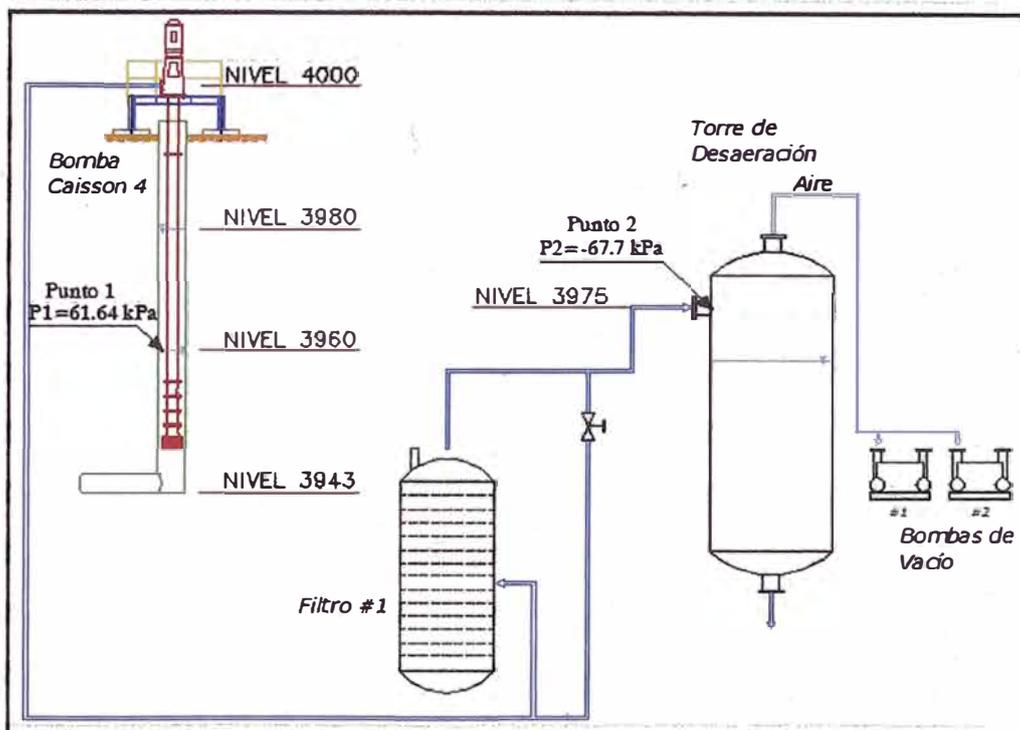


Figura 4.1 Niveles del sistema de bombeo.

- Diámetro interno de la tubería de la bomba: 203 mm (anexo 1).
- Espesor de la tubería de la bomba: 31,75 mm (anexo 1).
- Longitud de la bomba: 44,88 m. Los cálculos necesarios para hallar la primera aproximación de longitud de la bomba son los siguientes:

- *Calculo del área de la tubería de la bomba:*

$$D_i = 203 \text{ mm} = 0,203 \text{ m}$$

$$A = \frac{\pi \cdot D_i^2}{4} \rightarrow A = \frac{\pi \cdot 0,203^2}{4} \rightarrow A = 0,0324 \text{ m}^2$$

Calculo de la velocidad de la solución en la bomba:

$$Q = 300 \text{ m}^3/\text{hrs} = 0,0833 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$A = 0,0324 \text{ m}^2$$

$$V_1 = \frac{Q}{A} \rightarrow V_1 = \frac{0,0833}{0,0324} \rightarrow V_1 = 2,6 \text{ m/s}$$

Este valor esta dentro del rango recomendado de la tabla 2.7.

- *Calculo de la sumergencia mínima de la bomba:*

$$S > \frac{v^2}{2 \cdot g} + 0,20 \rightarrow S \geq \frac{2,6^2}{2 \cdot (9,79)} + 0,20 \rightarrow S \geq 0,55 \text{ m}$$

$$S \geq 2,5D + 0,10 \rightarrow S \geq 2,5(0,203) + 0,10 \rightarrow S \geq 0,6 \text{ m}$$

Estimación de la longitud de la bomba:

ND = 40 m (nivel dinámico)

S = 0,6 m (sumergencia mínima)

PP = 57 m (profundidad del pozo)

LBA = 20,5 m (longitud de la bomba actual)

LEB = 3,048 m (longitud de ejes de la bomba)

n = numero de ejes que se necesita aumentar para modificar la bomba

Entonces la longitud mínima de la bomba modificada (LBM) estará dada por la siguiente expresión:

$$LBM \geq ND + S$$

$$LBM \geq 40 + 0,6$$

$$LBM \geq 40,6$$

Además, la LBM estará limitada por la profundidad del pozo; por lo tanto se llegaría a la siguiente expresión:

$$40,6 \leq \text{LBM} \leq 57$$

$$40,6 < \text{LBA} + n \cdot \text{LEB} \leq 57$$

$$40,6 \leq 20,5 + n(3,048) \leq 57$$

$$6,6 \leq n \leq 11,9$$

Por lo tanto se escoge $n = 8$ por ser un valor intermedio. De donde resulta el siguiente valor de LBM:

$$\text{LBM} = \text{LBA} + n \cdot \text{LEB}$$

$$\text{LBM} = 20,5 + 8(3,048)$$

$$\text{LBM} = 44,88 \text{ m}$$

- Diámetro de la tubería: 16 plg.
- Schedule de la tubería: 40 (ASME B36.10 M)
- Longitud de la tubería: 1232 m. La tabla 4.1 muestra los datos tomados de los planos MB-0070 y MB-0071, de donde sumando ciertos tramos se pudo obtener la longitud aproximada de la tubería.

CALCULO DE LA LONGITUD DE LA TUBERÍA			
Leach Pad		Planta Procesos	
Tramo 0-1	: 4000.00	Tramo a	: 28.80
Tramo 1-2	: 34.18	Tramo b	: 1.68
Tramo 2-3	: 20.84	Tramo c	: 1.73
Tramo 3-4	: 151.76	Tramo d	: 4.08
Tramo 4-5	: 17.66	Tramo e	: 17.67
Tramo 5-6	: 72.63	Tramo f	: 13.19
Tramo 6-7	: 177.31	Tramo g	: 8.32
Tramo 7-8	: 146.25	Tramo h	: 5.33
Tramo 8-9	: 95.77	Tramo i	: 1.67
Tramo 9-10	: 79.13	Tramo j	: 9.09
Tramo 10-11	: 33.68	Tramo k	: 0.69
Tramo 11-12	: 215.21		
Tramo 12-13	: 95.55		
TOTAL	: 1139.97	TOTAL	: 92.25
Longitud de la tubería (m)			: 1232

Tabla 4.1 Longitud de la tubería. (Medidas tomadas de Plano 1 y 2)

4.2.1.4. Materiales

Los materiales del sistema son los siguientes:

- Carcasa, ejes, impulsores: acero 316 SS (ASTM A240 / A240M)
- Tubería de Bomba: 20,5 m con acero 316 SS (ASTM A240 / A240 M) y 24,384 m con acero ASTM A53.

Para evitar que se produzca corrosión galvánica, por ser materiales disimiles el 316 SS con el ASTM A53, se opto por usar pintura anticorrosiva en la primera tubería de acero ASTM A53 que está en contacto con la tubería de acero inoxidable.

4.2.2. Calculo de la Altura de Perdidas

4.2.2.1. Calculo de las Perdidas Primarias (h_p)

a) Perdidas en la tubería de la bomba (h_{p1})

Calculando el número de Reynolds con la ecuación (2.11).

$$N_R = \frac{v \cdot D \cdot \rho}{\mu}$$

Los datos para el cálculo son los siguientes:

$$\rho = 0,99896 \text{ gr /cm}^3 = 998,96 \text{ Kg/m}^3 \text{ (tabla 2.2 a } 15^\circ\text{C)}$$

$$g = 9,7943 \text{ m/s}^2 \text{ (tabla 2.3 a 4000 m.s.n.m.)}$$

$$\mu = 1154,5 \times 10^{-6} \text{ Kg/m.s (tabla 2.4 a } 15^\circ\text{C)}$$

$$L1 = 44,9 \text{ (cálculo del LBM)}$$

$$\varepsilon = 0,00004 \text{ (tabla 2.8)}$$

$$v = 2,6 \text{ m/s}$$

$D_i = 0,203 \text{ m}$ (anexo 1)

$\varepsilon/D = 0,0002$ (rugosidad relativa)

Reemplazando los datos en la formula se obtiene:

$$N_R = \frac{(2,6)(0,203)(998,96)}{0,0011545}$$

$$N_R = 456692$$

Entonces se trata de un flujo turbulento por ser mayor de 4000.

Al diagrama de Moody del anexo 5 se ingresa los datos de $\varepsilon/D = 0,0002$ y $N_R = 4,5 \times 10^5$, obteniéndose: $f = 0,0158$

Calculando las pérdidas con la ecuación (2.12)

$$h_{p1} = f \frac{L v^2}{D 2g}$$

$$h_{p1} = (0,0158) \cdot \frac{(44,9)}{(0,203)} \frac{(2,6)^2}{2(9,7943)}$$

$$h_{p1} = 1,2 \text{ m}$$

b) Pérdidas de la tubería de descarga (h_{p2})

Para el cálculo de las pérdidas en la tubería de descarga se hará uso de la fórmula (2.12).

Los datos para el cálculo se muestran a continuación:

$$\rho = 0,99896 \text{ gr/cm}^3 = 998,96 \text{ Kg/m}^3 \text{ (tabla 2.2 a } 15^\circ\text{C)}$$

$$g = 9,7943 \text{ m/s}^2 \text{ (tabla 2.3 a 4000 m.s.n.m.)}$$

$$\mu = 1154,5 \times 10^{-6} \text{ Kg/m.s (tabla 2.4 a } 15^\circ\text{C)}$$

$$L2 = 1232 \text{ m (tabla 4.1)}$$

$$\varepsilon = 0,000045 \text{ m (tabla 2.8)}$$

$$De = 16 \text{ plg} = 0,4064 \text{ m (anexo 6).}$$

$$t = 0,5 \text{ plg} = 0,127 \text{ m (anexo 6).}$$

$$Di = 0,381 \text{ m}$$

$$\varepsilon/D = 0,0001 \text{ (rugosidad relativa)}$$

$$A = \frac{\pi \cdot Di^2}{4} \rightarrow A = \frac{\pi \cdot 0,381^2}{4} \rightarrow A = 0,114 \text{ m}^2$$

$$Q = 300 \text{ m}^3/\text{hrs} = 0,0833 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V = \frac{Q}{A} \rightarrow V = \frac{0,0833}{0,114} \rightarrow V = 0,73 \text{ m/s}$$

Calculando el número de Reynolds con la ecuación (2.11)

$$N_R = \frac{v \cdot D \cdot \rho}{\mu}$$

$$N_R = \frac{(0,73)(0,381)(998,96)}{0,0011545}$$

$$N_R = 240659$$

Entonces se trata de un flujo turbulento por ser mayor de 4000.

Al diagrama de Moody del anexo 5 se ingresa los datos de $\varepsilon/D = 0,0001$ y $N_R = 2,4 \times 10^5$, obteniéndose:

$$f = 0,016$$

Calculando las pérdidas con la ecuación (2.12)

$$h_{p2} = f \frac{L v^2}{D 2g}$$

$$h_{p2} = (0,016) \cdot \frac{(1232)}{(0,381)} \frac{(0,73)^2}{2(9,7943)}$$

$$h_{p2} = 1,4 \text{ m}$$

Calculando las pérdidas primarias totales:

$$h_p = h_{p1} + h_{p2}$$

$$h_p = 1,2 + 1,4$$

$$h_p = 2,6 \text{ m}$$

4.2.2.2. Cálculo de las Pérdidas Secundarias (h_s)

a) Cálculo de las pérdidas en accesorios de tubería (h_{s1})

En la tabla 4.2 se muestra la lista de accesorios presentes en el sistema de tuberías con sus respectivos coeficientes de resistencia:

CÁLCULO DE LA LONGITUD DE LA TUBERÍA			
Item	Descripción	Cant.	k
1	Codo 90° ø 8 plg	1	0.26
2	Reducción ø 12 a 8 plg	1	1
3	Valvula check de ø 12 plg	1	2
4	Valvula mariposa ø 12 plg	1	0.7
5	Codo 45° ø 12 plg	3	0.1
6	Codo 45° ø 16 plg	8	0.05
7	Codo 90° ø 16 plg	14	0.22
8	Valvula mariposa ø 16 plg	6	0.6
Coeficiente de resistencia total:			4.93

Tabla 4.2 Coeficiente de resistencia total por accesorios

Calculando las pérdidas secundarias con la fórmula (2.14)

$$h_{s1} = K \left(\frac{v^2}{2g} \right)$$

$$h_{s1} = 4,93 \left(\frac{0,73^2}{2(9,7943)} \right)$$

$$h_{s1} = 0,13 \text{ m}$$

b) Pérdidas en el Filtro Clarificador (h_{s2})

El Filtro Clarificador tiene los siguientes datos:

- Marca: U.S. Filter
- Tipo: Auto – Jet
- Modelo: 66AJ-1800F WCD
- Tamaño: 66 x 74 x 66 plg.
- Presión de diseño: 150 psig.
- ΔP : 40 psi = 28,15 mca

Por lo tanto la pérdida de presión será:

$$h_{s2} = 28,15 \text{ m}$$

Calculando las pérdidas secundarias totales:

$$h_s = h_{s1} + h_{s2}$$

$$h_s = 0,13 + 28,15$$

$$h_s = 28,28 \text{ m}$$

Calculando las pérdidas totales:

$$h_L = h_p + h_s$$

$$h_L = 2,6 + 28,28$$

$$h_L = 30,9 \text{ m}$$

4.2.3. Calculo de la Carga Total de la Bomba

Se hará uso de la formula (2.10) de la siguiente manera:

$$\frac{p_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + h_A - h_R - h_L = \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

Teniendo los siguientes datos:

$$p_1 = 61,64 \text{ kPa}$$

$$p_2 = -67,73 \text{ kPa}$$

$$z_1 = 3960 \text{ m}$$

$$z_2 = 3975 \text{ m}$$

$$v_1 = 0$$

$$v_2 = 0,73 \text{ m/s}$$

$$g = 9,7943 \text{ m/s}^2 \text{ (tabla 2.3 a 4000 m.s.n.m.)}$$

$$\rho = 998,96 \text{ Kg/m}^3 \text{ (tabla 2.2 a 15}^\circ\text{C)}$$

$$\gamma = \rho \cdot g = 9784,1 \text{ N/m}^3 \text{ (formula 2.1)}$$

$$h_R = 0$$

$$h_L = 30,9 \text{ m}$$

Reemplazando los datos anteriores en la ecuación (2.10) se obtiene la carga total de la bomba.

$$\frac{61640}{9789,1} + 3960 + h_A - 30,9 = \frac{-67728}{9789,1} + 3975 + \frac{0,73^2}{2(9,7943)}$$

$$h_A = 32,7 \text{ m}$$

4.2.4. Cálculo del Número de Impulsores

El número de pasos, tazonos o impulsores viene definido lógicamente por la relación:

$$n = \frac{h_A(\text{total})}{h_A(\text{por paso})}$$

Con el caudal se ingresa a la curva de la bomba en el anexo 2 y se obtiene 8,2 mca para un caudal de 300 m³/hrs. Por lo tanto, se entiende lo siguiente: $h_A(\text{por paso}) = 8,2 \text{ m}$

$$n = \frac{32,7}{8,2}$$

$$n = \frac{32,7}{8,23}$$

$$\mathbf{n = 4}$$

Por lo que se concluye que se tendrá que contar con 4 impulsores para la bomba teniéndose que aumentar uno más.

4.2.5. Calculo de la Potencia de Entrada a la Bomba

Calculando la potencia transmitida al fluido usando la formula (2.19)

$$h_A = 32,7 \text{ m}$$

$$\gamma = 9784,1 \text{ N/m}^3$$

$$Q = 300 \text{ m}^3/\text{h} = 0,0833 \text{ m}^3/\text{s}$$

Entonces:

$$P_A = h_A \cdot \gamma \cdot Q$$

$$P_A = (32,7)(9784,1)(0,0833)$$

$$P_A = 26651 \text{ W}$$

$$P_A = 35,7 \text{ HP}$$

Luego procedemos a calcular la Potencia de entrada a la bomba usando la fórmula (2.20). Entonces se tendrá:

$$P_A = 26651 \text{ W}$$

$$e_M = 73\% \text{ (se obtuvo de la curva de la bomba)}$$

Entonces:

$$e_M = \frac{\text{Potencia transmitida al fluido}}{\text{Potencia de entrada a la bomba}} = \frac{P_A}{P_t}$$

$$P_t = \frac{26651}{0,73}$$

$$P_t = 36508 \text{ W}$$

$$P_t = 49 \text{ HP}$$

Esta potencia es menor que la potencia nominal del motor actual por lo que no se tendrá que cambiar dicho motor.

4.2.6. Calculo de la Potencia de Línea

Calculando la potencia consumida en la línea.

$$P_A = 36508 \text{ W}$$

$$e_E = 96\% \text{ (dato de placa del motor)}$$

Entonces:

$$e_E = \frac{\text{Potencia de entrada a la bomba}}{\text{Potencia de línea}} = \frac{P_t}{P_e}$$

$$P_l = \frac{36508}{0,96}$$

$$P_l = 38029,17 \text{ W}$$

$$P_l = 51 \text{ HP}$$

4.2.7. Análisis del Empuje Axial Total

$$F_{EA} = 11,2 \text{ Lb/pie} = 16,67 \text{ Kgf/m (Anexo 2)}$$

$$h_A = 32,7 \text{ m}$$

$$n = 4$$

$$m = 14$$

$$W_I = 9 \text{ Kg (dato de fabricante)}$$

$$W_F = 34,3 \text{ Kg (dato de fabricante)}$$

$$E_{TM} = 1400 \text{ Kgf (empuje total máximo dato de fabricante)}$$

Se usa la formula (2.21), obteniéndose:

$$E_A = F_{EA} \cdot h_A + n \cdot W_I + m \cdot W_F$$

$$E_A = (16,67)(32,7) + (4)(9) + (14)(34,3)$$

$$E_A = 1061 \text{ Kgf}$$

$$E_A < E_{TM}$$

$$1061 < 1400 \quad \text{Correcto}$$

4.2.8. Calculo del Estiramiento de la Flecha

De la formula (2.22) se procede de la siguiente manera:

$$L = (14)(3,048) = 42,672 \text{ m}$$

$$E_A = 1061 \text{ Kgf} = 10408 \text{ N}$$

$$E = 193 \times 10^9 \text{ Pa (Anexo 4)}$$

$$d_F = 1 \text{ 11/16 plg.} = 0,04286 \text{ m (Anexo 2)}$$

$$A_F = \pi(0,04286)^2/4 = 0,001443 \text{ m}^2$$

$$e = \frac{L \cdot E_A}{E \cdot A_F}$$

$$e = \frac{(42,672)(10408)}{(193 \times 10^9)(0,001443)}$$

$$e = 0,0016 \text{ m}$$

Con este valor se tendrá que dar el juego axial en la bomba al momento del montaje.

4.2.9. Análisis del NPSH

Teniendo los siguientes datos:

$$h_{sp} = p_1 / \gamma = 61640 / 9784,1 = 6,3 \text{ m}$$

$$h_s = \text{LBM} - \text{ND} = 44,88 - 40 = 4,88 \text{ m}$$

$$h_f = (0,0158) \cdot \frac{(4,88)}{(0,203)} \frac{(2,6)^2}{2(9,7943)} = 0,13 \text{ m}$$

$$h_{vp} = 1783,5 / 9784,1 = 0,182 \text{ m}$$

$$\text{NPSH}_R = 4,9 \text{ m (Anexo 2)}$$

Se hará uso de la formula (2.15) de la siguiente manera

$$\text{NPSH}_A = h_{sp} \pm h_s + h_f + h_{vp}$$

$$\text{NPSH}_A = 6,3 + 4,88 + 0,13 + 0,18$$

$$\text{NPSH}_A = 11,5$$

$$\text{NPSH}_A > 1,1 \times \text{NPSH}_R$$

$$11,5 > (1,1)(4,9)$$

$$11,5 > 5,4 \text{ Correcto}$$

4.3. Instalación de la Bomba

4.3.1. Separación Entre Anillos de Desgaste

Los estándares típicos de separación entre anillos de desgaste se muestran en la figura 4.2.

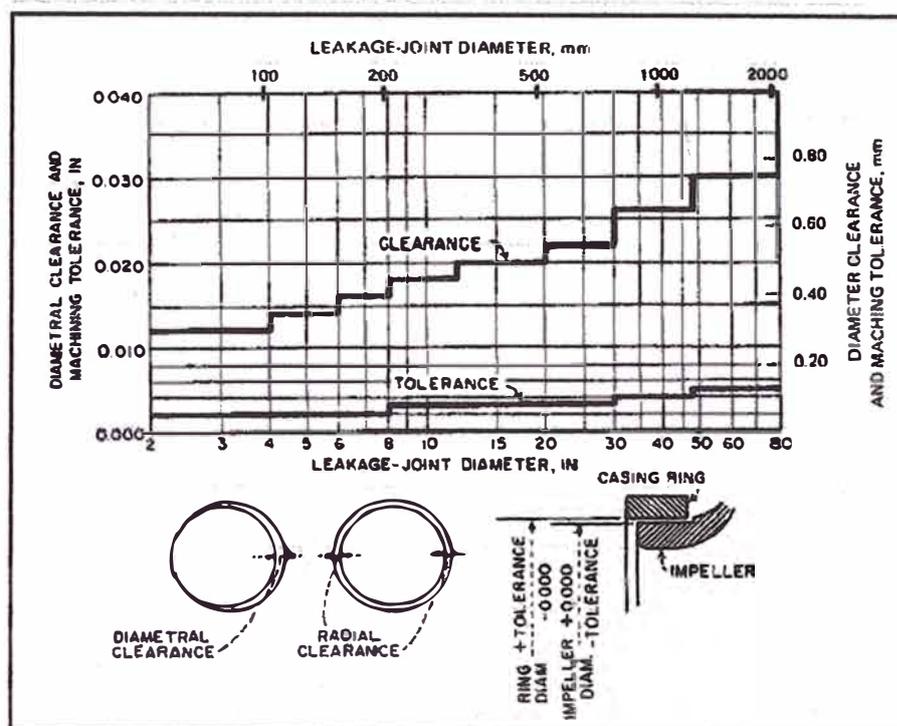


Figura 4.2 Separaciones Entre Anillos de Desgaste Para Bombas

Fuente: Pump Handbook Igor Karassik.

Para nuestro caso el impulsor tiene un diámetro de la junta de 166 mm; con esta medida se ingresa a la figura 4.2 y se obtiene una separación entre anillos de 0,4mm.

4.3.2. Ajuste de los Impulsores

El ajuste de montaje se determinaron en base a las recomendaciones dadas en el Prontuario de Maquinas (Nicolás Larburu). En la tabla 4.2 se muestran los ajustes seleccionados.

AJUSTES DE COMPONENTES DE LA BOMBA						
Descripcion de Componentes	Grado de Ajustes	Calidades Superficiales	Sistema	Ajustes	Asiento	
					Clase	Características
Impulsor - Anillo de desgaste del Impulsor	Precision		Eje Unico	h5, P6	Forzado muy duro	Piezas montadas por dilatacion o contraccion; no necesitan seguro contra giro
Eje de transmision - Manguito de soporte	Precision		Eje Unico	h5, N6	Forzado duro	Piezas montadas o desmontadas a presion; necesitan seguro contra giro.
Eje de motor - Manguito de desgaste	Precision		Eje Unico	h5, N6	Forzado duro	Piezas montadas o desmontadas a presion; necesitan seguro contra giro.
Soporte para eje Tuberia descarga	Fino		Eje Unico	h6, K7	Forzado medio	Montado y desmontado con gran esfuerzo (mediante martillo de plomo); necesita seguro contra giro y deslizamiento.

Tabla 4.3 Ajustes recomendados para los componentes de la bomba.

4.4. Resultados del Mejoramiento de la Bomba

De los resultados se realizara una comparación entre ambas condiciones para tener una idea de los cambios que se realizaron.

Descripcion	Unid.	Bomba original	Bomba modificada
Marca de la bomba	---	Johnston	Johnston
Modelo de la bomba	---	12CC	12CC
Numero de etapas de la bomba	---	3	4
Peso especifico de la solucion		9784.1	9784.1
Caudal	m ³ /hr	210	300
Altura total dinamica	mca	44.0	32.7
Potencia nominal motor	Hp	60	60
Potencia transmitida al flujo	Hp	33.7	35.8
Eficiencia de curva de la bomba	%	83.5	73
Potencia de entrada al flujo	Hp	40	49
Eficiencia de placa del motor	%	96	96
Potencia de linea	Hp	42	51
Voltaje nominal del motor	V	460	460
Velocidad de giro del motor	RPM	1790	1790
Longitud de la bomba	m	20.5	44.9
Costo de energia electrica	US\$/MW-hr	47	47
Horas de operacion al año	hr	8760	8760
Consumo anual	US\$	12898	15664

Tabla 4.4 Cuadro comparativo entre la bomba original y la bomba modificada.

En el siguiente cuadro se muestra la diferencia de costos entre una bomba nueva y la bomba modificada. Para obtener estos datos se asumió que el costo de la bomba modificada solo es influenciado por adquirir los accesorios para su modificación; esto se debe porque la bomba tiene 5 años antigüedad pero se mantiene en buenas condiciones.

Descripcion	Unid.	Bomba nueva	Bomba modificada
Costo de equipo	US\$	150000	22323

Tabla 4.5 Cuadro del costo de una bomba nueva y la bomba modificada.

Teniendo presente que la diferencia entre la compra de una bomba nueva y la implementación de la bomba modificada es US\$ 127677, se decidió por la alternativa de comprar los accesorios para implementar la bomba modificada.

Luego de la implementación de la bomba en la zona de Leach Pad se realizaron las pruebas de arranque obteniéndose los siguientes resultados:

- Corriente de arranque: 81 Amperios
- Flujo con la válvula completamente abierta: 310 m³/h
- Lectura de Presión a la salida de la bomba: 40 psi.

De los resultados se puede notar lo siguiente:

- La pérdidas de mayor magnitud son las generadas por el filtro clarificador (28,28 mca) comparado con las pérdidas de las tuberías (2,6 mca).
- La altura dinámica total recalculada (32,7 mca) es menor que la carga del sistema original (44 mca).
- El flujo se ve aumentado de 210 m³/h a 300 m³/h en el sistema modificado.
- La longitud de la bomba se tendrá que aumentar de 20,5 m a 44,9 m.
- El consumo de potencia es mayor en la modificación comparada con el sistema original, generándose una variación de US\$ 2766 con respecto al costo de energía eléctrica anual.

CAPITULO V
ESTRUCTURA DE COSTOS

5.1. Costos de inversión e Instalación

Descripcion	Unid	Cant.	Precio Unit. US\$	Parcial US\$
Gabinete arrancador para motor de 60 HP	Pza.	1	1600	1600
Open Lineshaft Bearing Retainer	Pza.	8	170	1360
Headshaft motor	Pza.	1	455	455
Manguito de desgaste del eje motor	Pza.	2	52	104
Pumpshaft	Pza.	1	558	558
Impeller	Pza.	2	485	970
Impeller Ring	Pza.	5	45	225
Intermediate Bowl	Pza.	2	1190	2380
Impeller Ring	Pza.	5	48	240
Lock Collet	Pza.	8	42	336
Column Pipe	Pza.	8	710	5680
Lineshaft	Pza.	8	650	5200
Shaft Coupling	Pza.	15	21	315
Pernos Ø5/8x2 1/2 UNC AISI 316	Pza.	100	5	500
Valvula Check de 12 plg ANSI 150	Pza.	1000	1	1000
Valvula Mariposa de 12 plg ANSI 150	Pza.	1400	1	1400

Total: US\$ 22323

5.2. Costos de Mano de Obra

Personal	Cant.	Horas	Costo por hora US\$	Total US\$
Supervisor	1	100	20	2000
Planificador	1	50	20	1000
Ingeniero de Diseño	1	50	20	1000
Tecnico Mecanico	4	100	15	1500
Tecnico Electricista	3	100	15	1500
Operador de grua	1	100	15	1500
Ayudantes	4	100	15	1500

Total: US\$ 10000

5.3. Costos de Operación

5.3.1. Costos de Energía Eléctrica

Costo de Energia US\$ / MW-HR	Operacion Continua HR	Potencia Consumida		Consumo Anual US\$
		HP	MW	
47	8760	51	0.038031	15658.00

Total: US\$ 15658.00

5.3.2. Costos de Personal de Operaciones

Personal	Cant.	Operacion Continua HR	Costo por hora US\$	Total US\$
Operador	1	8760	1	8760

Total: US\$ 8760

5.4. Costos de Mantenimiento

5.4.1. Costos de Personal de Mantenimiento

Personal	Cant.	Horas	Costo por hora US\$	Total US\$
Supervisor	1	20	20	400
Tecnico Mecanico	4	20	15	300
Tecnico Electricista	2	20	15	300
Operador de grua	1	100	15	1500
Ayudantes	4	100	15	1500

Total: US\$ 4000

5.4.2. Costos de Repuestos

Descripcion	Unid	Cant.	Precio Unit. US\$	Parcial US\$
Shaft Sleeve	Pza.	1	52	52
Impeller	Pza.	2	485	970
Impeller Ring	Pza.	4	45	180
Lock Collet	Pza.	4	42	168
Column Pipe	Pza.	4	710	2840
Shaft Coupling	Pza.	4	21	84
Inboard Bearing	Pza.	4	42	168
Outboard Bearing	Pza.	4	42	168

Total: US\$ 4630

5.5. Costo Total

El costo total en un año por concepto de instalación, operación y mantenimiento de la bomba será

$$\text{Costo total} = 22323 + 10000 + 15658 + 8760 + 4000 + 4630$$

$$\text{Costo total} = \text{US\$ } 65371$$

RECOMENDACIONES

- Se debe aumentar ocho ejes columna y ocho tuberías de descarga con sus respectivos accesorios.
- Para los ejes columna debe considerarse acero AISI 316L por estar en contacto directo con la solución.
- Para los tubos de descarga deberán ser de acero ASTM A53 por la razón de disminuir los costos y ya que por experiencia de las otras bombas no se ve corrosión excesiva.
- Para obtener estas condiciones se debe aumentar una etapa más; es decir, se deberá contar con cuatro impulsores.
- La potencia calculada para el sistema modificado es de 49 HP siendo el motor de 60 HP, por lo que, se podrá usar este mismo motor.
- Se recomienda que cuando se monte la bomba se tendrá que calibrar un juego axial de 1,6 mm.

CONCLUSIONES

- Las condiciones de servicio de la bomba sumergible marca Johnston, modelo 12CC: altura dinámica total 44 mca, 210 m³/h, eficiencia 83,5% y con longitud de 20,5 m; después de las modificaciones a la bomba han quedado en: altura dinámica total 32,7 mca, 300 m³/h, eficiencia 73% y con longitud de 44,9 m.
- El costo de la modificación mas otros costos necesarios son de US\$ 22323; inferior a que se hubiese colocado una bomba nueva con un costo de US\$ 150000.

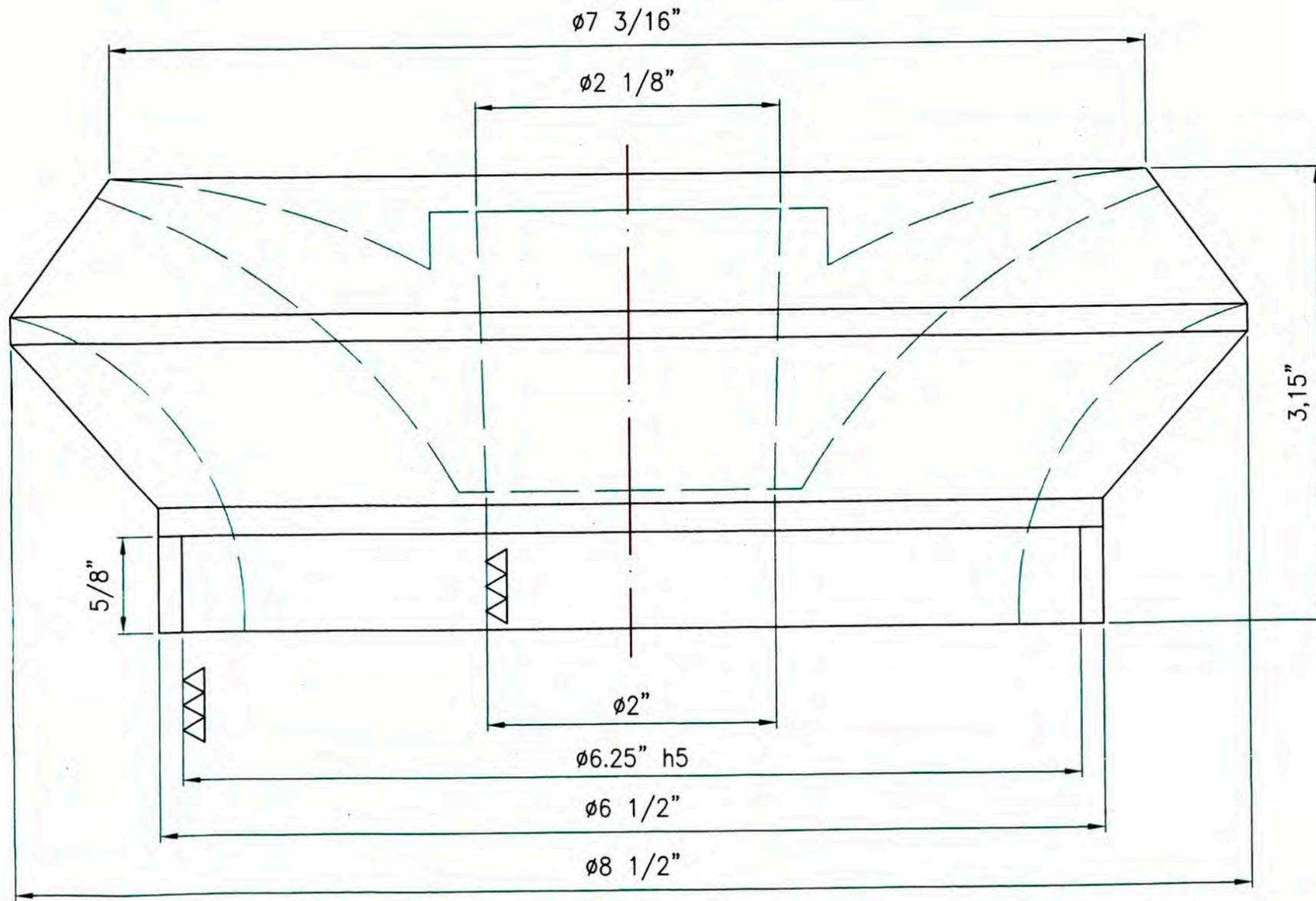
BIBLIOGRAFIA

- a. CRC Handbook Of Chemistry & Physics-87thEd.
- b. U.S. Standard Atmosphere, 1976 NOAA-S/T76-1562. Washington, DC:
National Oceanic and Atmospheric Administration.
- c. Mecánica de Fluidos – Robert L. Mott.
- d. <http://www.pdas.com/atmos.htm>
- e. <http://es.wikipedia.org/wiki/Gravedad>
- f. rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/3623/1/tema2RUA.pdf
- g. Marks - Manual del Ingeniero Mecánico, Novena edición en Ingles (Tercera edición en Español) McGraw-Hill, pagina 3-39
- h. <http://www.azom.com/Details.asp?ArticleID=863> (datos de material 316 SS)
- i. Norma ASTM A240 / A240 M (datos de material 316 SS)
- j. Norma ASTM A53
- k. Manual de Perdidas del Instituto de Hidráulica
- l. Manual de Diseño de Bombas Verticales Tipo Turbina, Ing. Raúl Suarez
González

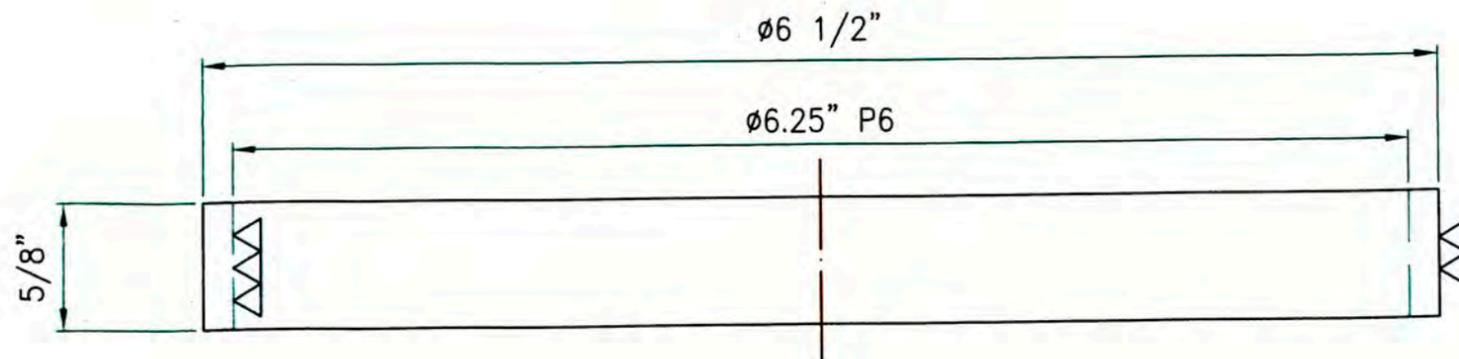
PLANOS

REVISION	DESCRIPCION DE LA MODIFICACION	FECHA	APROBADO	FIRMA
△				

PIEZA 1

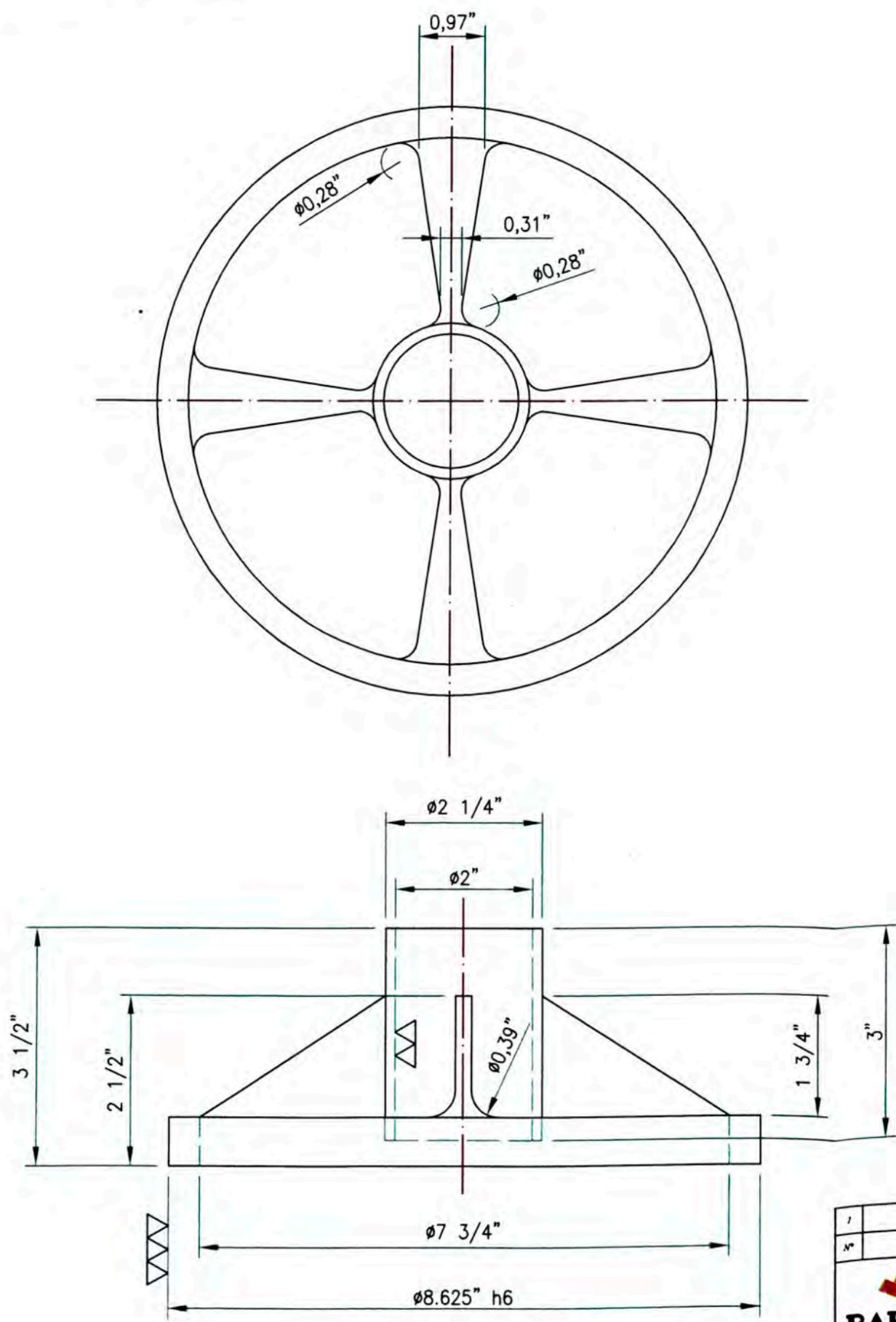


PIEZA 2



2	Anillo de Desgaste del Impulsor	5	Ac. AISI 316L					
1	Impulsor	2	Ac. AISI 316L					
N°	DESCRIPCION	CANT.	MATERIAL	PESO (Kg)	CODIGO ORACLE		OBSERVACIONES	
DESIGNACION :					FECHA	NOMBRE	FIRMA	FORMATO
IMPULSOR DE LA BOMBA					05/03/07	E. DIAZ	<i>E. Diaz</i>	A3
TITULO :					REVISADO			REVISION:
BOMBA CAISSON N°4					APROBADO			△
ESCALA 1=1					N° PLANO:		MB-0046	

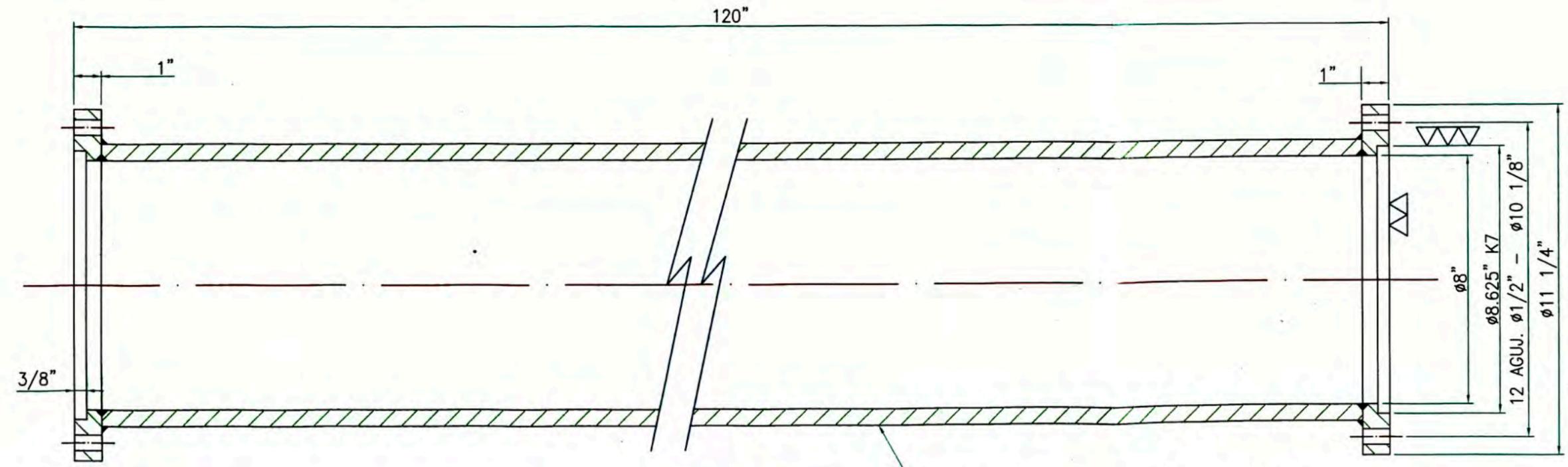
REVISION	DESCRIPCION DE LA MODIFICACION	FECHA	APROBADO	FIRMA
△				



N°	DESCRIPCION	CANT.	MATERIAL	PESO (Kg)	CODIGO ORACLE	OBSERVACIONES
1	Soporte para Eje Columna	8	Ac. AISI 316L			
DESIGNACION :		SOPORTE PARA EJE COLUMNA				
TITULO :		BOMBA CAISSON N°4				
ESCALA		1=2		N° PLANO:		MB-0047
DIBUJADO		16/06/07	E. DIAZ	FIRMA		FORMATO
REVISADO				FIRMA		REVISION:
APROBADO				FIRMA		△

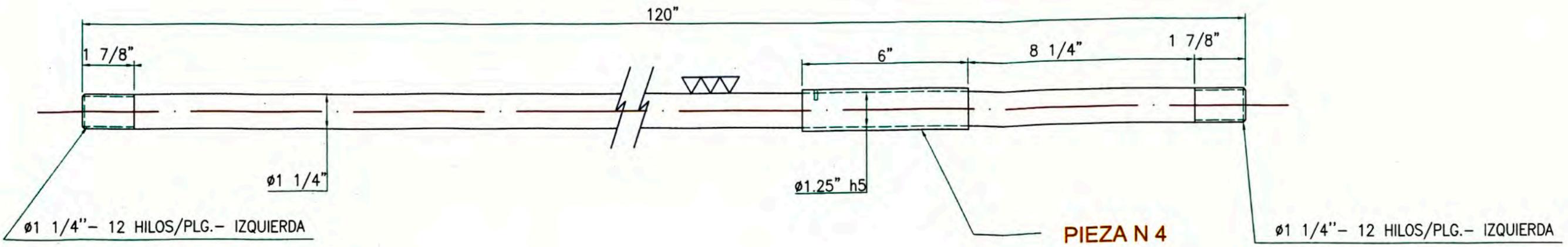
REVISION	DESCRIPCION DE LA MODIFICACION	FECHA	APROBADO	FIRMA
△				

PIEZA N 1



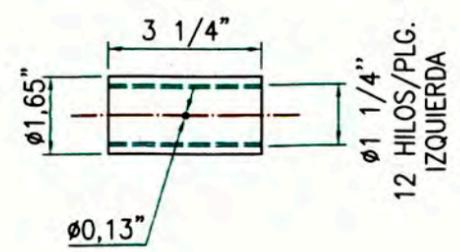
PIEZA N 2

TUBO DE Ø8" Sch. 40 / Ac. ASTM A53

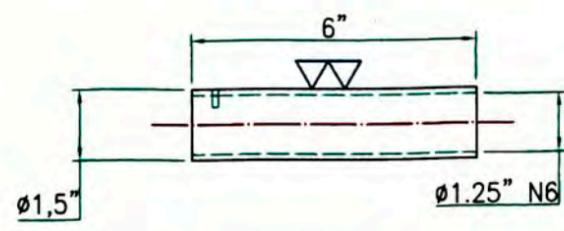


PIEZA N 4

PIEZA N 3



PIEZA N 4



N°	DESCRIPCION	CANT.	MATERIAL	PESO (Kg)	CODIGO ORACLE	OBSERVACIONES
4	Manguito Soporte	8	Ac. AISI 316L			
3	Acople de Ejes	15	Ac. AISI 316L			
2	Eje Columna	8	Ac. AISI 316L			
1	Tubo de Descarga	8	Ac. AISI 316L			

BARRICK

DESIGNACION : **ACCESORIOS DE BOMBA**

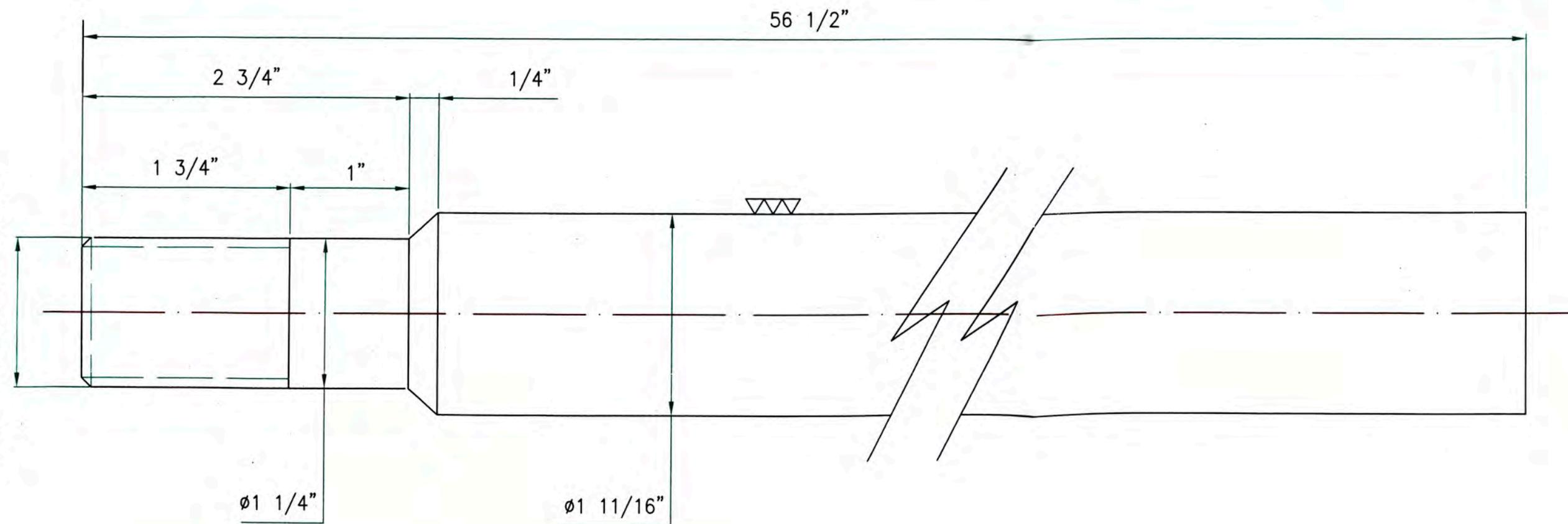
TITULO : **BOMBA CAISSON N°4**

ESCALA : 1=4

FECHA	NOMBRE	FIRMA	FORMATO
11/06/07	E. DIAZ	<i>[Signature]</i>	A3
REVISADO			REVISION:
APROBADO			△

N° PLANO: **MB-0048**

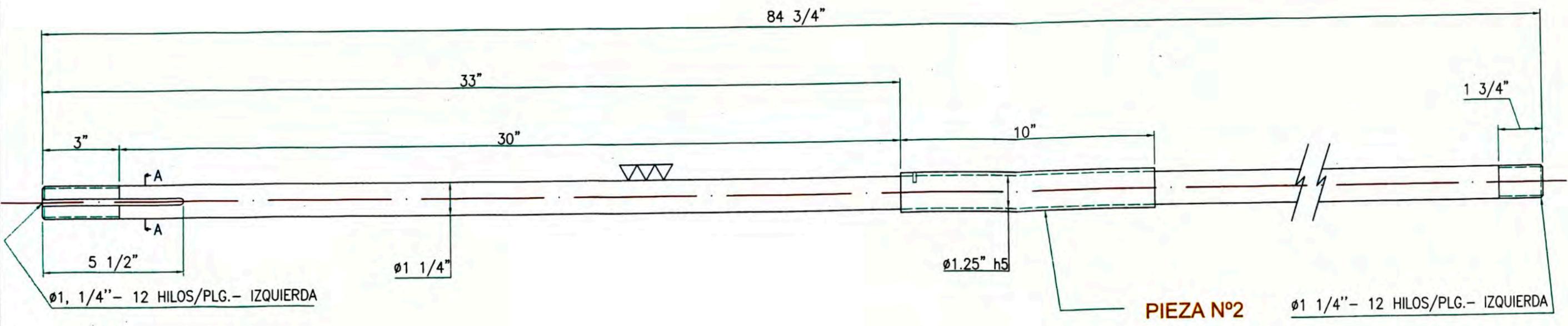
ϕ 1 1/4" - 12 HILOS/PLG. - IZQUIERDA



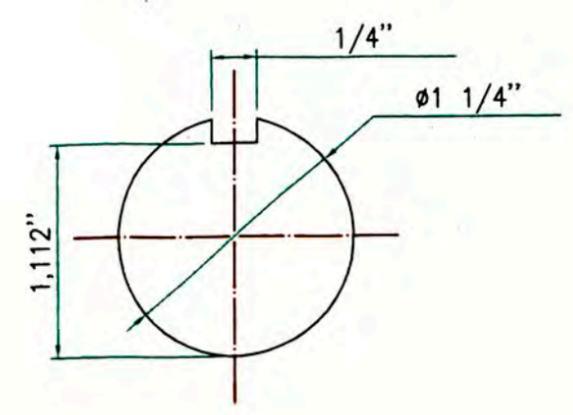
N°	DESCRIPCION	CANT.	MATERIAL	PESO (Kg)	CODIGO ORACLE	OBSERVACIONES			
1	Eje para impulsores	1	Ac. AISI 316L						
DESIGNACION :						FECHA	NOMBRE	NOMBRE	FORMATO
EJE PARA IMPULSORES						DIBUJADO	14/03/07	E. DIAZ	A3

REVISION	DESCRIPCION DE LA MODIFICACION	FECHA	APROBADO	FIRMA
△				

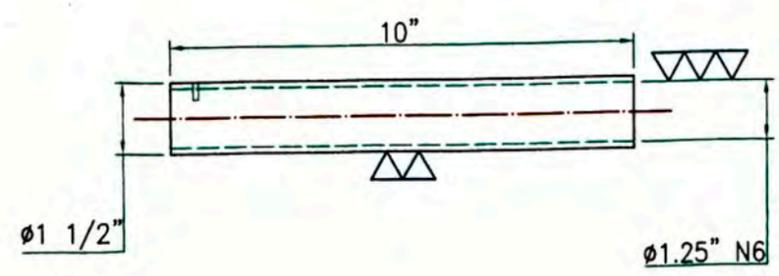
PIEZA N°1



VISTA A - A (ESCALA 1:4)



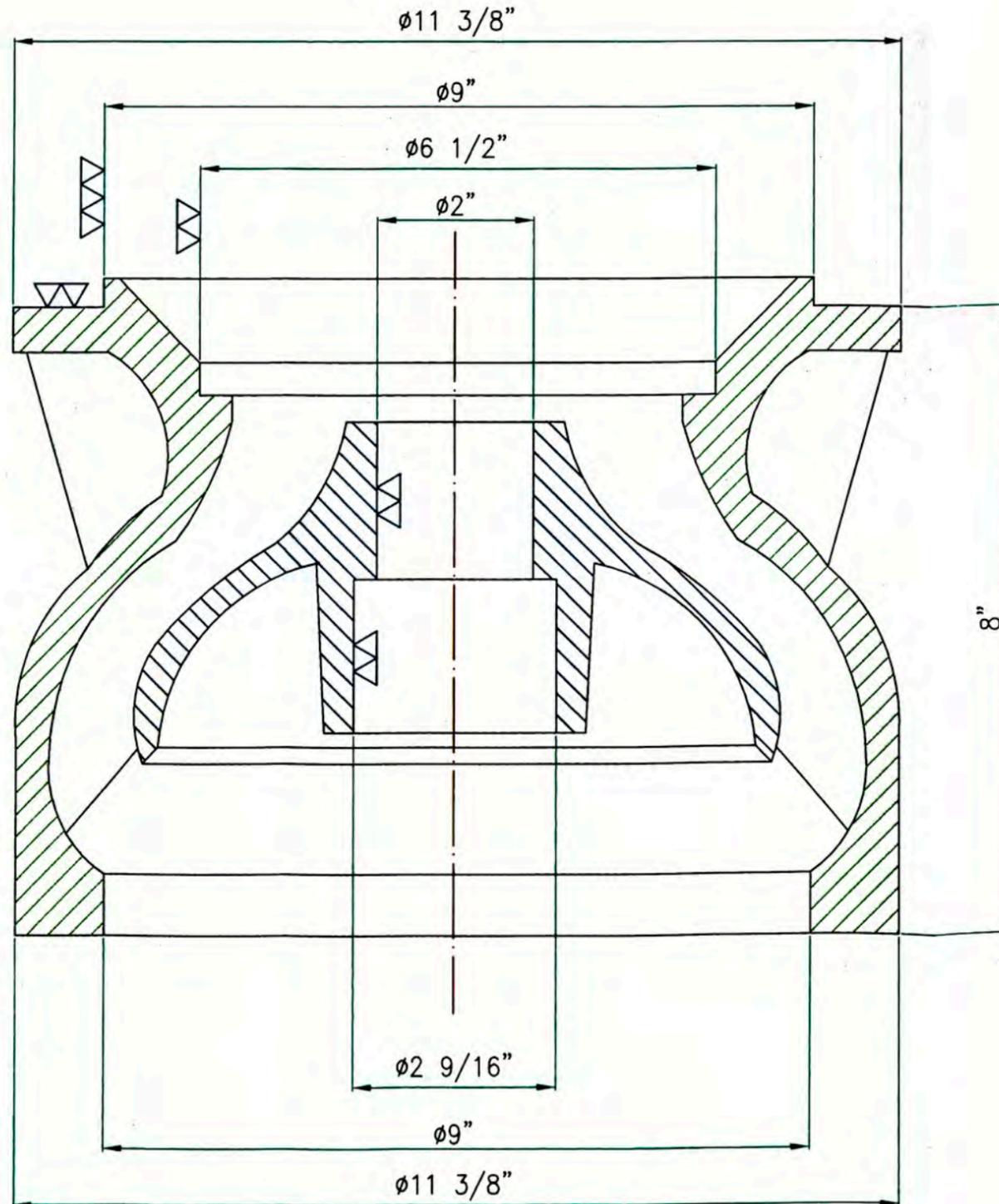
PIEZA N°2



2	Manguito de Dugate	1	Ac. AISI 316L					
1	Eje de Motor	1	Ac. AISI 316L					
N°	DESCRIPCION	CANT.	MATERIAL	PESO (Kg)	CODIGO ORACLE		OBSERVACIONES	
DESIGNACION :					FECHA	NOMBRE	FIRMA	FORMATO
EJE MOTRIZ DE LA BOMBA					DIBUJADO	28/06/07	E. DIAZ	A3
TITULO :					REVISADO			REVISION:
BOMBA CAISSON N°4					APROBADO			△
ESCALA 1=4					N° PLANO:		MB-0061	

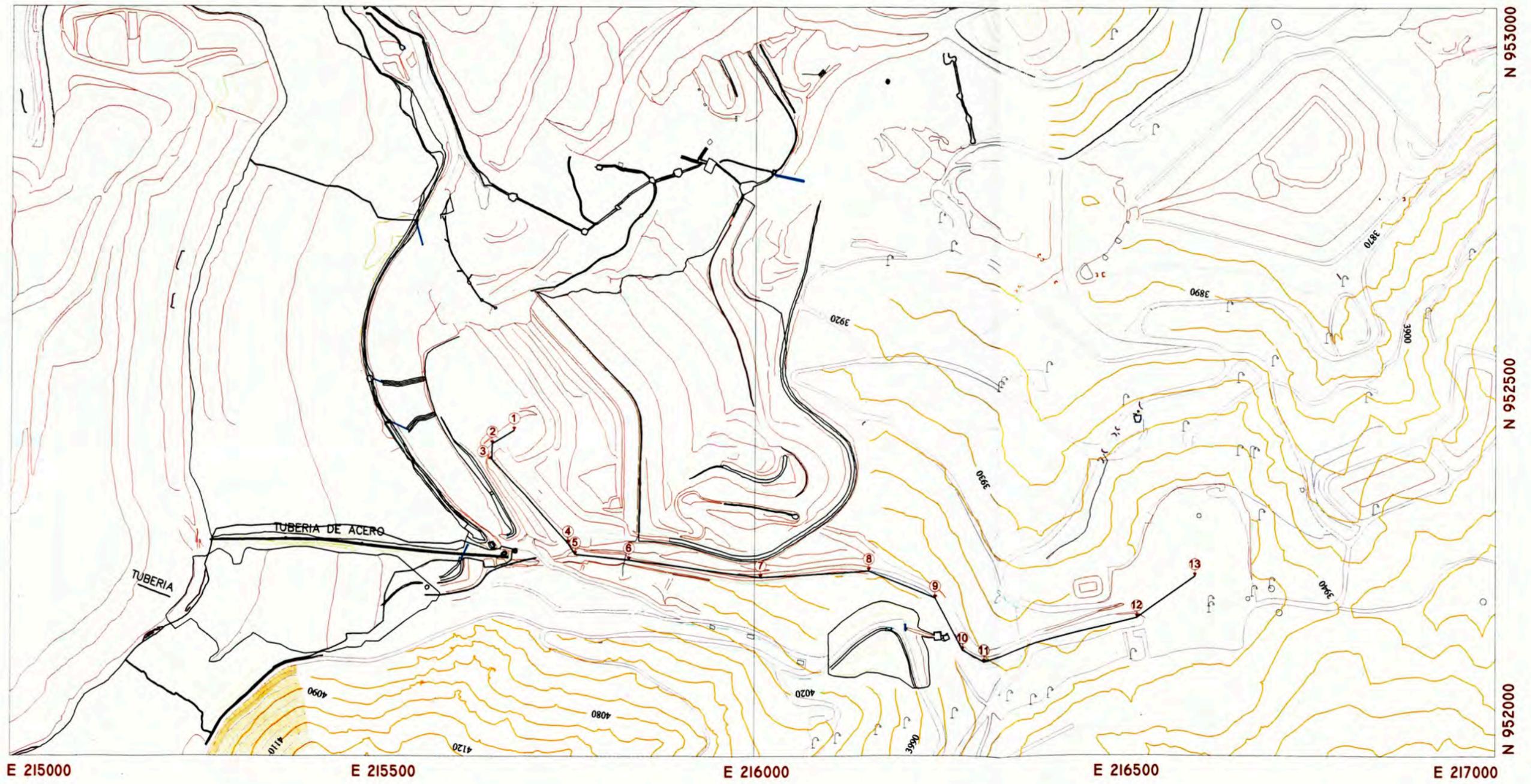
REVISION	DESCRIPCION DE LA MODIFICACION	FECHA	APROBADO	FIRMA
△				

PIEZA 1



N°	DESCRIPCION	CANT.	MATERIAL	PESO (Kg)	CODIGO ORACLE	OBSERVACIONES			
1	Carcasa para impulsor	1	Ac. AISI 316L			FECHA	NOMBRE	FIRMA	FORMATO
						DIBUJADO	15/06/07	E. DIAZ	A3
						REVISADO			REVISION:
						APROBADO			△
		DESIGNACION : CARCASA PARA IMPULSOR			TITULO : BOMBA CAISSON N°4				
ESCALA 1-2					N° PLANO: MB-0062				

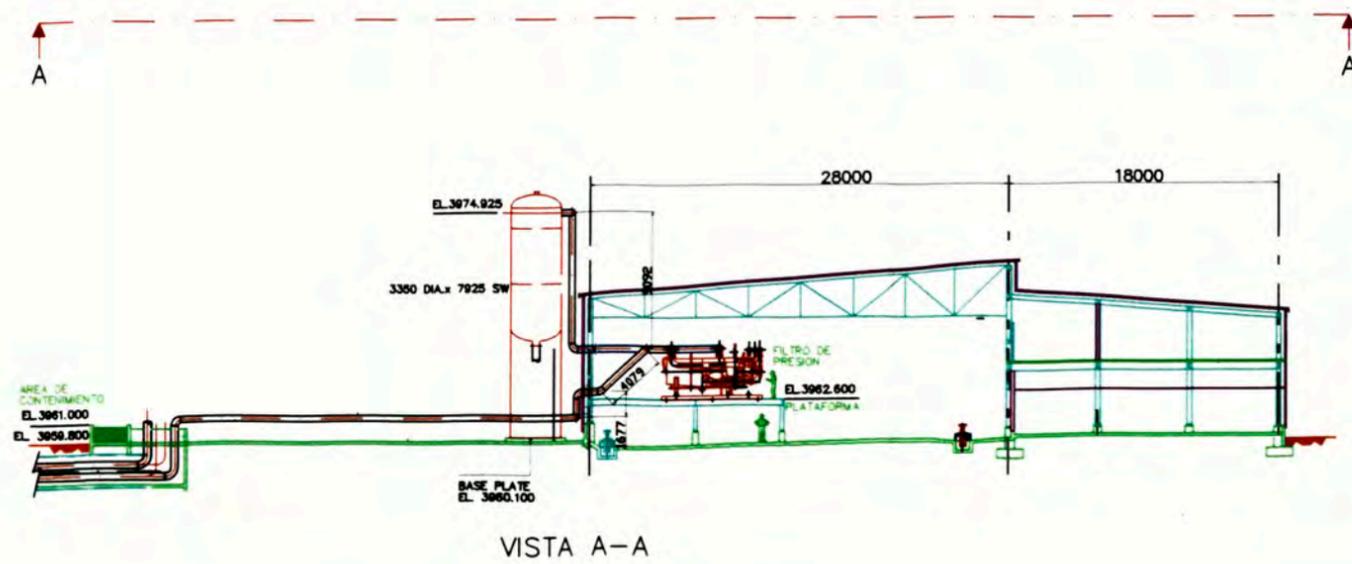
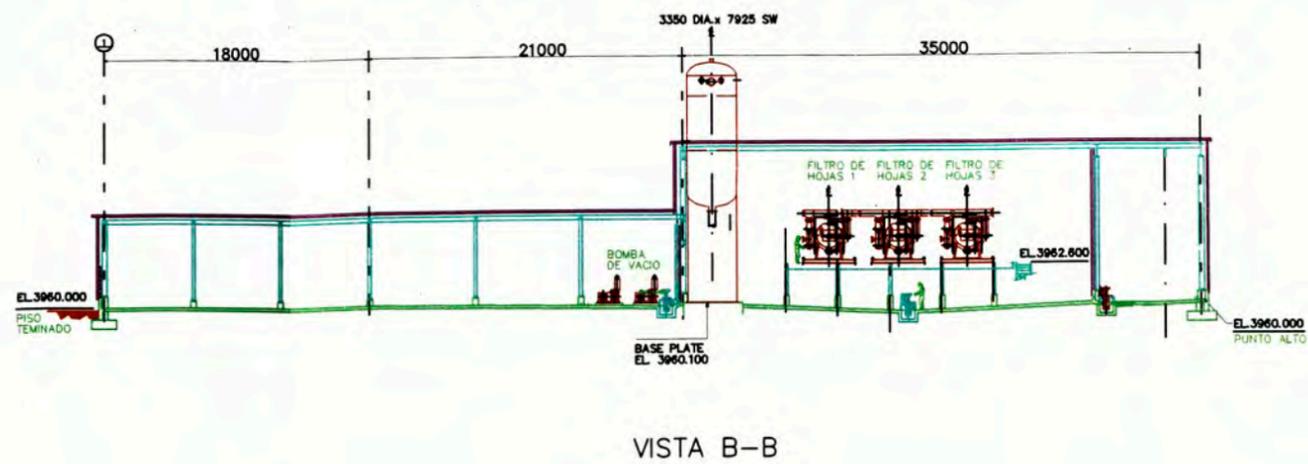
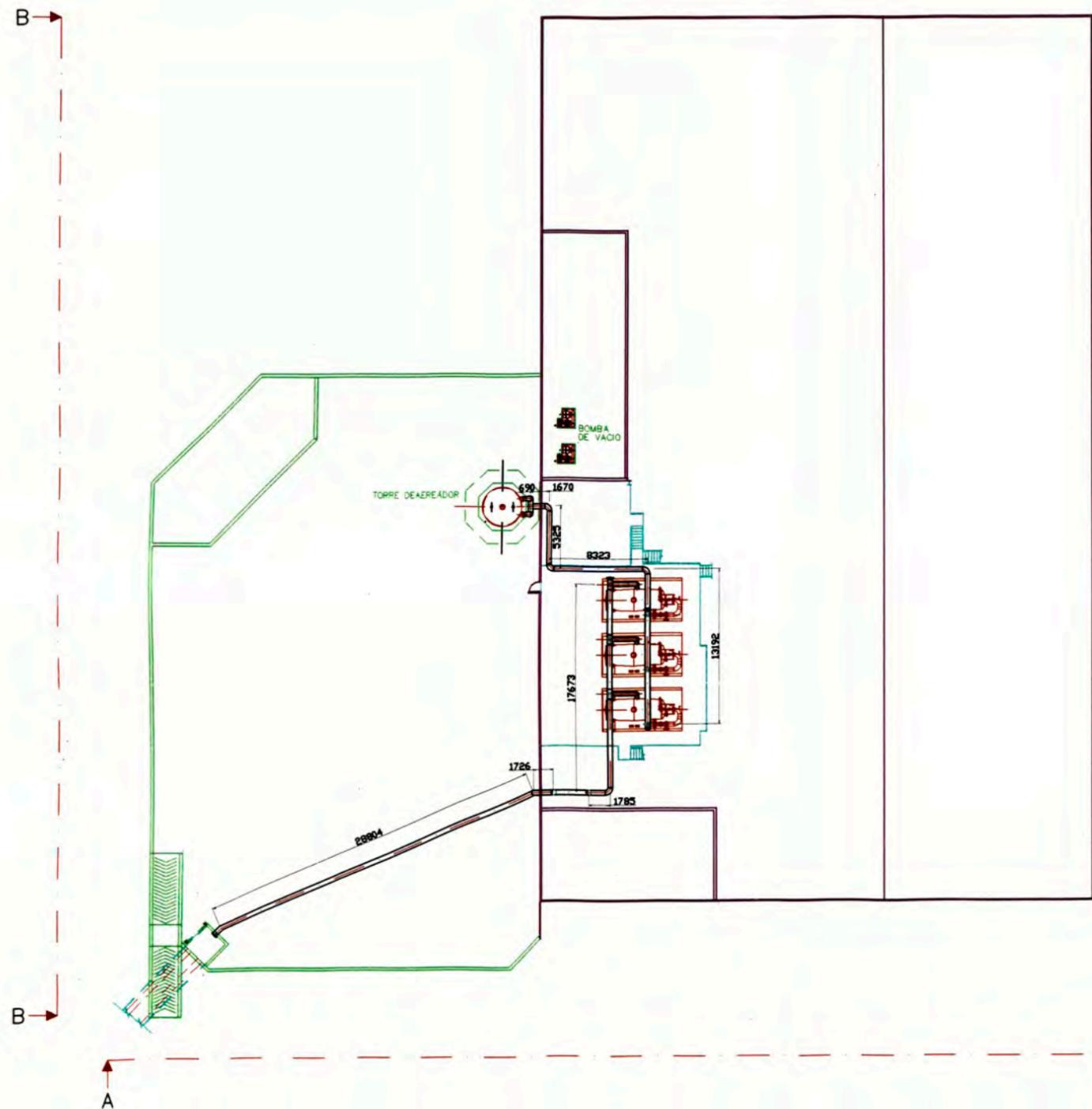
REVISION	DESCRIPCION DE LA MODIFICACION	FECHA	APROBADO	FIRMA
△				



13	INGRESO A PLANTA PROCESOS	216994.7895	951239.1699	3968.9841
12	COORDENADAS DEL PUNTO 12	216517.3673	951183.2665	3957.6738
11	COORDENADAS DEL PUNTO 11	216318.1198	951125.8348	3965.7228
10	COORDENADAS DEL PUNTO 10	216288.8515	951148.8756	3967.7798
9	COORDENADAS DEL PUNTO 9	216242.8148	951218.8888	3973.7915
8	COORDENADAS DEL PUNTO 8	216153.2795	951245.9266	3976.5698
7	COORDENADAS DEL PUNTO 7	216087.6857	951238.1784	3987.6135
6	COORDENADAS DEL PUNTO 6	215832.1485	951261.4156	3997.4458
5	COORDENADAS DEL PUNTO 5	215759.9288	951268.9517	3996.8792
4	COORDENADAS DEL PUNTO 4	215758.1838	951283.6234	3996.6981
3	COORDENADAS DEL PUNTO 3	215647.4884	951395.2722	4008.9595
2	COORDENADAS DEL PUNTO 2	215647.7475	951416.1896	4008.7628
1	UBICACION DE BOMBAS CAISSON	215676.7748	951434.1338	4008.8888

N°	DESCRIPCION	CANT.	MATERIAL	PESO (Kg)	CODIGO ORACLE	OBSERVACIONES				
	DESIGNACION : TUBERIA DE SOLUCION RICA					FECHA	NOMBRE	FIRMA	FORMATO	
	TITULO : LEACH PAD					DIBUJADO	18/01/07	E. DIAZ		A3
						REVISADO				REVISION:
						APROBADO				△
	ESCALA 1=6					N° PLANO:	MB-0070			

REVISION	DESCRIPCION DE LA MODIFICACION	FECHA	APROBADO	FIRMA
△				



N°	DESCRIPCION	CANT.	MATERIAL	PESO (Kg)	OBSERVACIONES				
					FECHA	NOMBRE	FIRMA	FORMATO	
	DESIGNACION :	TUBERIA DE SOLUCION RICA A TORRE DEAIRADORA			DIBUJADO	16/01/07	E. DIAZ		A3
	TITULO :	PLANTA PROCESOS			REVISADO				REVISION:
	ESCALA	1=500			APROBADO				△
					N° PLANO:	MB-0071			

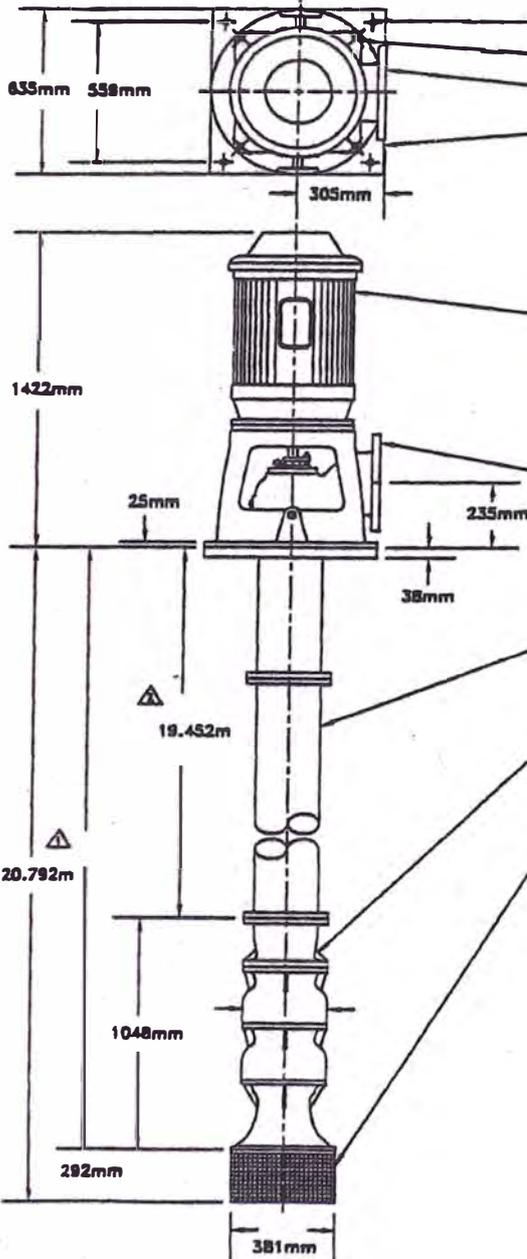
ANEXOS

ANEXO 1



JOHNSTON VERTICAL PUMPS

ARD PUMPS - 316 ST. STL. - ITEM NO. 1



- 4 X .22mm DIA. HOLES
- 4 X .22mm DIA. HOLES ON 648mm B.C.
- 203mm X 125# ANSI DISCHARGE FLANGE
- SUB-BASE: S. STEEL 38mm

CONDITIONS
 U.S. GALLONS PER MINUTE: 210 CuM/HR
 TOTAL DYNAMIC HEAD: 44m
 LIQUID: ACIDIC WATER PH-4
 SPECIFIC GRAVITY: 1.0

U.S. MOTORS - FRAME 385TP.16
 VERTICAL HOLLOW SHAFT MOTOR
 HP: 80 PHASE: 3 CYCLE: 60
 VOLTAGE: 460 RPM: 1800
 ENCLOSURE: TEFC W/NRR AND 1.15 SF
 SUITABLE FOR 4000 M ALTITUDE

TYPE "A" DISCHARGE HEAD: 419mm x 203mm

FLANGED COLUMN ASSEMBLY: 203mm X 31.75mm

BOWL ASSEMBLY: 3 STAGE 12CC

BASKET STRAINER: 316 ST. STL.

CUSTOMER: MINERA BARRICK MISQUICHILCA S.A.
 INQ NO.: 3992-4153-C
 ENGINEERS: KILBORN
 PROJECT NO.: 3992-16
 JOHNSTON SERIAL NO.: TJ-72020 AND 21
 JOHNSTON QUOTE NO.: JP-6133A
 EQUIPMENT NO.: 250-4153/004 AND 005

NOTE: DO NOT USE FOR CONSTRUCTION
 UNLESS CERTIFIED
 WEIGHTS: (APPROX) PUMP: 3283 LBS/1480 KGS
 MOTOR: 920 LBS/417 KGS
 TOTAL: 4183 LBS/1897 KGS

P.O. NO. 3992-1041 REV. 0			
CERTIFIED FOR CONSTRUCTION			
DATE	BY	DATE	BY
2/19/97	[Signature]	12/16/98	[Signature]

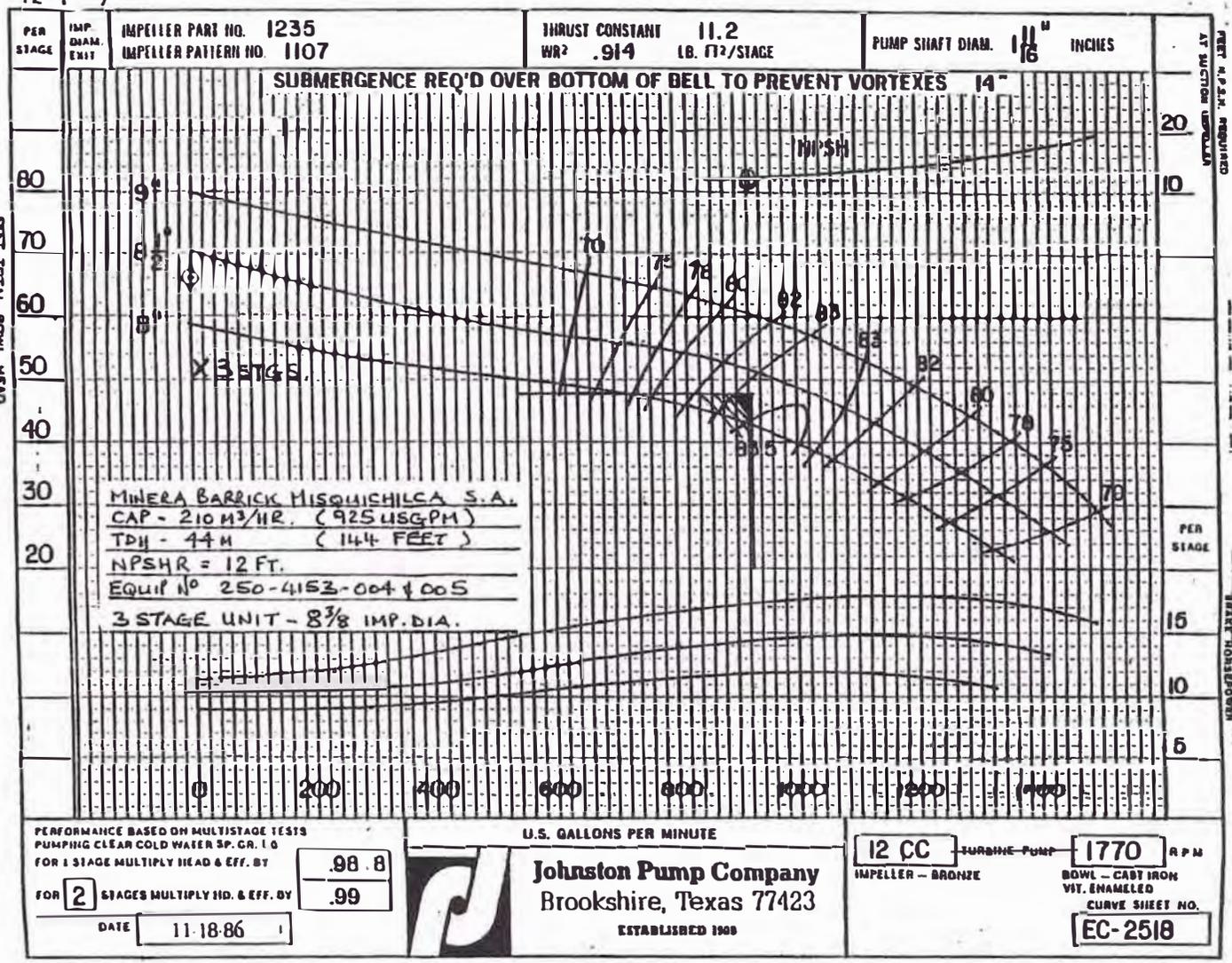
REVISIONS
 ▲ AND ▲
 INCREASED LENGTH.
 16TH DEC. 1997

JOHNSTON PUMP COMPANY
 REXDALE, ONTARIO CANADA

H-5757-A06

MERINA GOLD PROJECT YO: 3992-1041 REV-0 ITEM N° 1

12-9 7



166

ANEXO 2

ANEXO 3

QUOTATION - JP-6135A
MINERA BARRICK MISQUICHILCA S.A.
KILBORN ENGINEERING - VERTICAL TURBINE PUMPS

ITEM NO.1 ARD PUMPS

REQUIRED: QTY (2) 925 USGPM AT 144 HEAD (RATED)
VERTICAL TURBINE PUMPS TO OPERATE AT 1800 RPM
ELEVATION 4000 M A.S.L.

PROPOSED: JOHNSTON MODEL 12CC-3 STAGE HEAVY DUTY VTP'S - IN ALL 316
ST. STL WITH FOLLOWING CHARACTERISTICS

CAPACITY 925 USGPM, HEAD 144 FT.
MOTOR TO BE RATED FOR 187 FT. HEAD

EFFICIENCY 80%, BHP OP. PT. 42, BHP MAXIMUM 55 (AT 187 FT. HEAD)

NPSHR - 12 FT., SUBMERGENCE - 14" ABOVE BELL
THRUST (MAX.) AT SHUT-OFF, WITH DESIGN IMPELLERS 2700 LBS
IMP. DIA. ENVISAGED: 8 ½", IMP. DIA. MAXIMUM 9"

FLUID - ACIDIC WATER, S.G. 1.0 PH - 4.0

DESCRIPTION:

JOHNSTON MODEL 12CC-3 STAGE JTA H.D. VTP COMPRISING

- 16 ½" X 8" CAST DISCHARGE HEAD - STAINLESS STEEL
- 8" FLANGED, PRODUCT LUBRICATED COLUMN ASSY - STAINLESS STEEL
- 1 ¼" LINESHAFT ASSY. W/RUBBER BEARINGS
- 12CC-3 STAGE BOWL ASSY. WITH ST. STL BOWLS, 316 SS IMPELLERS AND SEAL RINGS, 316 SS. PUMPSHAFT WITH LOCK COLLET IMPELLER RETAINERS AND EPOXY / RUBBER DUAL BEARINGS
- 60 HP, 1800 RPM, 3-60-460V, VERTICAL HOLLOW SHAFT MOTOR IN TEFC. ENCLOSURE C/W NRR AND 1.15 SF.

ANEXO 4

A 240/A 240M

TABLE 1 Chemical Composition Requirements, %^a

UNS Designation ^a	Type ^c	Carbon ^d	Manganese	Phosphorus	Sulfur	Si ^e	Chromium	Nickel	Molybdenum	Nitrogen	Copper	Other Elements ^{f,g}
S31041	310HCb ^d	0.04-0.10	2.00	0.045	0.030	0.75	24.0-26.0	19.0-22.0	---	---	---	Cb 10 × C min, 1.10 max
S31050	310 MoLN ^d	0.020	2.00	0.030	0.010	0.50	24.0-28.0	20.5-23.5	1.60-2.60	0.09-0.15	---	---
S31254	---	0.020	1.00	0.030	0.010	0.80	19.5-20.5	17.5-18.5	6.0-6.5	0.18-0.22	0.50-1.00	---
S31266	---	0.030	2.0-4.0	0.035	0.020	1.00	23.0-25.0	21.0-24.0	5.2-6.2	0.35-0.60	1.00-2.50	W 1.50-2.50
S31600	316	0.030	2.00	0.045	0.030	0.75	16.0-18.0	10.0-14.0	2.00-3.00	0.10	---	---
S31603	316L	0.030	2.00	0.045	0.030	0.75	16.0-18.0	10.0-14.0	2.00-3.00	0.10	---	---
S31609	316H	0.04-0.10	2.00	0.045	0.030	0.75	16.0-18.0	10.0-14.0	2.00-3.00	---	---	---
S31635	316Ti ^d	0.08	2.00	0.045	0.030	0.75	16.0-18.0	10.0-14.0	2.00-3.00	0.10	---	Ti 5 × (C + N) min, 0.70 max
S31640	316Cb ^d	0.08	2.00	0.045	0.030	0.75	16.0-18.0	10.0-14.0	2.00-3.00	0.10	---	Cb 10 × C min, 1.10 max
S31651	316N	0.08	2.00	0.045	0.030	0.75	16.0-18.0	10.0-14.0	2.00-3.00	0.10-0.16	---	---
S31653	316LN	0.030	2.00	0.045	0.030	0.75	16.0-18.0	10.0-14.0	2.00-3.00	0.10-0.16	---	---
S31700	317	0.08	2.00	0.045	0.030	0.75	18.0-20.0	11.0-15.0	3.0-4.0	0.10	---	---
S31703	317L	0.030	2.00	0.045	0.030	0.75	18.0-20.0	11.0-15.0	3.0-4.0	0.10	---	---
S31725	317LM ^d	0.030	2.00	0.045	0.030	0.75	18.0-20.0	13.5-17.5	4.0-5.0	0.20	---	---
S31726	317LMN ^d	0.030	2.00	0.045	0.030	0.75	17.0-20.0	13.5-17.5	4.0-5.0	0.10-0.20	---	---
S31753	317LN ^d	0.030	2.00	0.045	0.030	0.75	18.0-20.0	11.0-15.0	3.0-4.0	0.10-0.22	---	---
S32050	---	0.030	1.50	0.035	0.020	1.00	22.0-24.0	20.0-23.0	6.0-6.8	0.21-0.32	0.40	---
S32100	321	0.08	2.00	0.045	0.030	0.75	17.0-19.0	9.0-12.0	---	0.10	---	Ti 5 × (C + N)

TABLE 2 Mechanical Test Requirements

UNS Designation	Type ^a	Tensile Strength, min		Yield Strength ^b , min		Elongation in 2 in. or 50 mm, min. %	Hardness, max ^c		Cold Bend ^{d,e}
		ksi	MPa	ksi	MPa		Brinell	Rockwell B	
Austenitic (Chromium-Nickel) (Chromium-Nickel-Titanium)									
Sheet and Strip		100	690	45	310	35.0	223	96	not required
Plate		95	655	45	310	35.0	223	96	not required
S31266	---	109	750	61	420	35.0	---	---	not required
S31600	316	75	515	30	205	40.0	217	95	not required
S31603	316L	70	485	25	170	40.0	217	95	not required
S31653	316LN	75	515	30	205	40.0	217	95	not required
S31609	316H	75	515	30	205	40.0	217	95	not required
S31635	316Ti ^d	75	515	30	205	40.0	217	95	not required
S31640	316Cb ^d	75	515	30	205	30.0	217	95	not required
S31851	318N	80	550	35	240	35.0	217	95	not required
S31700	317	75	515	30	205	35.0	217	95	not required

Typical physical properties for 316 grade stainless steels.

Grade	Density (kg/m ³)	Elastic Modulus (GPa)	Mean Co-efficient of Thermal Expansion (µm/m °C)			Thermal Conductivity (W/m K)		Specific Heat @ 100 °C (J/kg K)	Elec Resistivity (mΩ m)
			@ 100 °C	@ 315 °C	@ 538 °C	@ 100 °C	@ 500 °C		
316/L/H	8000	193	15.9	16.2	17.5	16.3	21.5	500	740

Grade specifications for 316 grade stainless steels.

Grade	UNS No.	Old British		Euro norm No.	Euro norm Name	Swedish SS	Japanese JIS
		BS	EN				
316	S31600	316S31	58H, 58J	1.4401	X5CrNiMo17-12-2	2347	SUS 316
316L	S31603	316S11	-	1.4404	X2CrNiMo17-12-2	2348	SUS 316L
316H	S31609	316S51	-	-	-	-	-

Note: These comparisons are approximate only. The list is intended as a comparison of functionally similar materials not as a schedule of contractual equivalents. If exact equivalents are needed original specifications must be consulted.

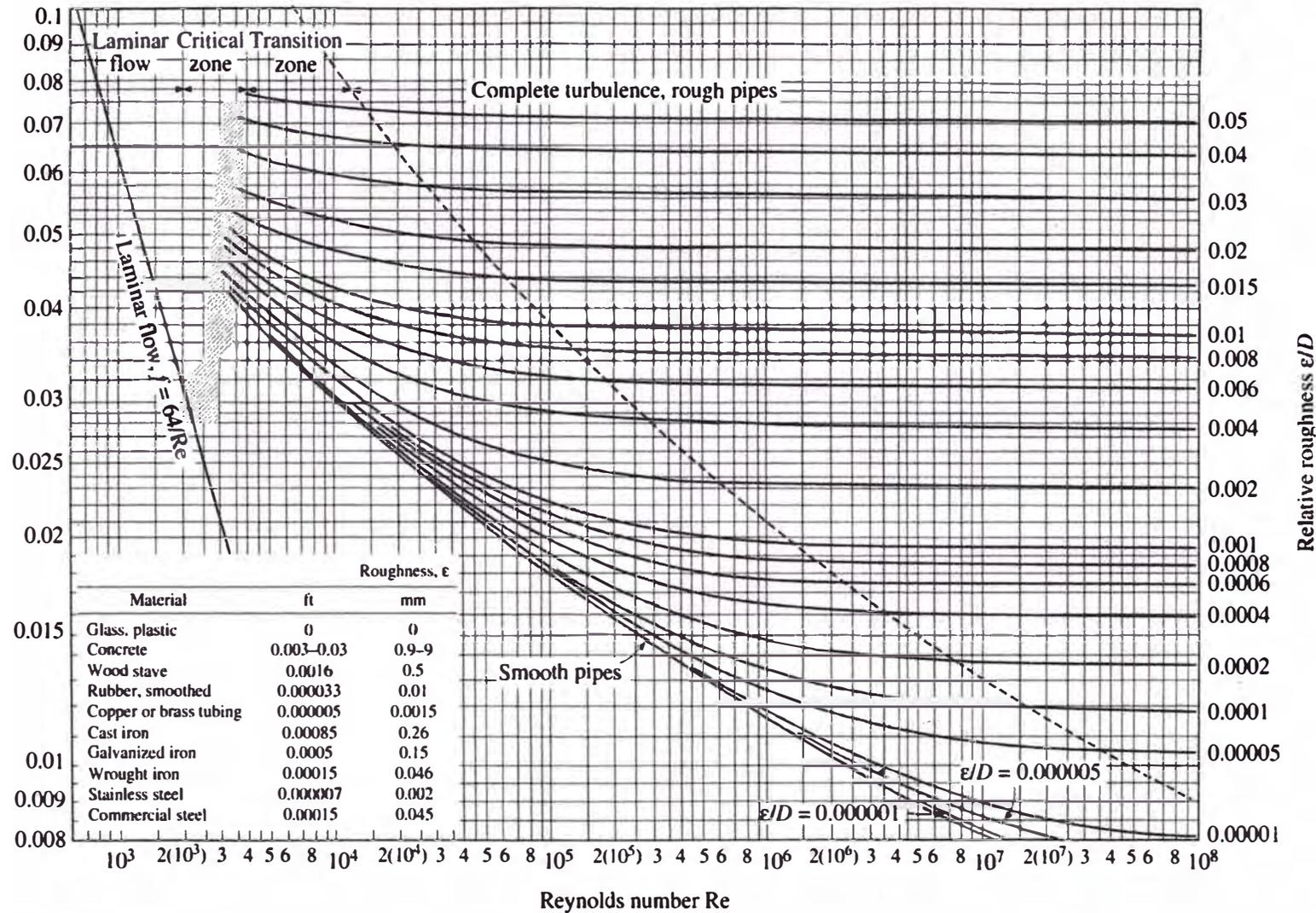


FIGURE A-27
The Moody chart for the friction factor for fully developed flow in circular tubes.

ANEXO 6

ASME B36.10M-1996

WELDED AND SEAMLESS WROUGHT STEEL PIPE

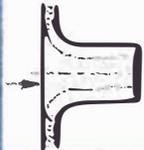
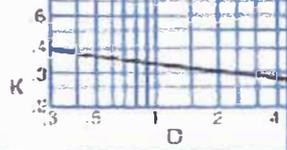
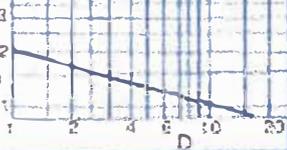
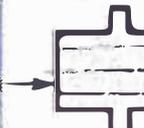
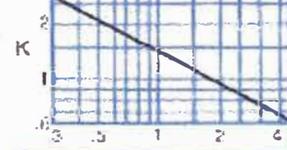
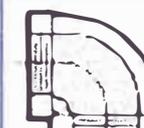
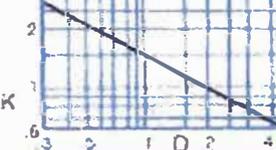
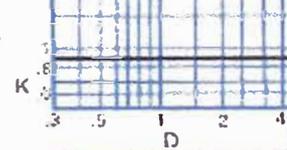
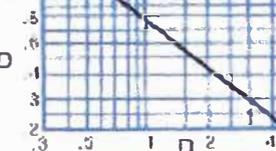
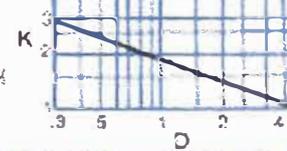
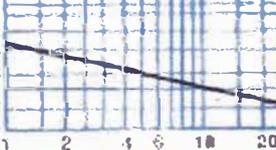
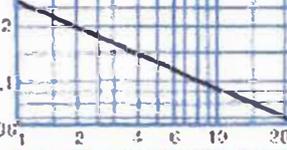
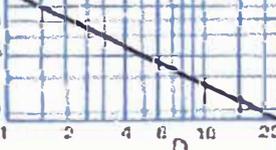
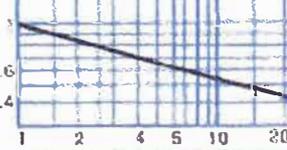
**TABLE 2 DIMENSIONS AND WEIGHTS OF WELDED AND SEAMLESS WROUGHT STEEL PIPE
(CONT'D)**

Customary Units				Identification		SI Units			
NPS [Note (1)]	Outside Diameter, in.	Wall Thickness, in.	Plain End Weight, lb/ft	Standard (STD) Extra-Strong (XS)		DN [Note (2)]	Outside Diameter, mm	Wall Thickness, mm	Plain End Mass, kg/m
				Double Extra-Strong (XXS)	Schedule No.				
16	16.000	0.165	27.90	...	5	400	406.4	4.19	41.56
16	16.000	0.188	31.75	...	...	400	406.4	4.78	47.34
16	16.000	0.203	34.25	...	...	400	406.4	5.16	51.06
16	16.000	0.219	36.91	...	...	400	406.4	5.56	54.96
16	16.000	0.250	42.05	...	10	400	406.4	6.35	62.64
16	16.000	0.281	47.17	...	...	400	406.4	7.14	70.30
16	16.000	0.312	52.27	...	20	400	406.4	7.92	77.83
16	16.000	0.344	57.52	...	...	400	406.4	8.74	85.71
16	16.000	0.375	62.58	STD	30	400	406.4	9.53	93.27
16	16.000	0.406	67.62	...	...	400	406.4	10.31	100.70
16	16.000	0.438	72.80	...	...	400	406.4	11.13	108.49
16	16.000	0.469	77.79	...	...	400	406.4	11.91	115.86
16	16.000	0.500	82.77	XS	40	400	406.4	12.70	123.30
16	16.000	0.562	92.66	...	...	400	406.4	14.27	137.99
16	16.000	0.625	102.63	...	...	400	406.4	15.88	152.93

ANEXO 7

IIIB-5 TYPICAL RESISTANCE COEFFICIENTS FOR VALVES AND FITTINGS

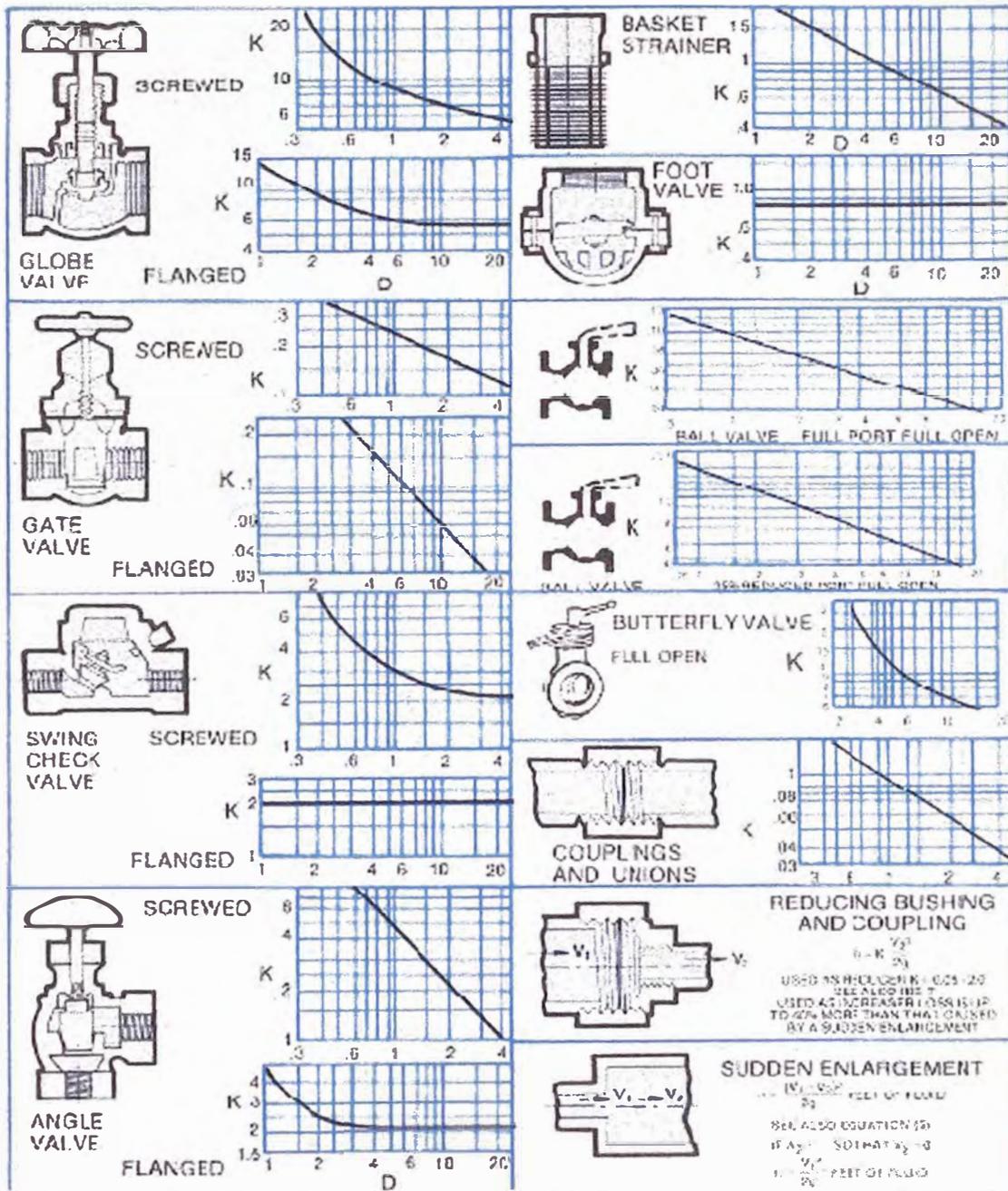
TABLE 32(a)

	<p>BELL-MOUTH INLET OR REDUCER K = 0.05</p>	 <p>REGULAR SCREWED 45° ELL.</p> 
	<p>SQUARE EDGED INLET K = 0.5</p>	 <p>LONG RADIUS FLANGED 45° ELL.</p> 
	<p>INWARD PROJECTING PIPE K = 1.0</p>	 <p>SCREWED RETURN BEND</p> 
<p>NOTE: K DECREASES WITH INCREASING WALL THICKNESS OF PIPE AND ROUNDING OF EDGES</p>		 <p>FLANGED RETURN BEND</p> 
	<p>REGULAR SCREWED 90° ELL.</p> 	 <p>LINE FLOW SCREWED TEE</p> 
	<p>LONG RADIUS SCREWED 90° ELL.</p> 	<p>BRANCH FLOW</p> 
	<p>REGULAR FLANGED 90° ELL.</p> 	 <p>LINE FLOW FLANGED TEE</p> 
	<p>LONG RADIUS FLANGED 90° ELL.</p> 	<p>BRANCH FLOW</p> 

$$h = K \frac{V^2}{2g} \text{ FEET OF FLUID}$$

ANEXO 8

IIIB-5 TYPICAL RESISTANCE COEFFICIENTS FOR VALVES AND FITTINGS
TABLE 32(b)



$$h = K \frac{V^2}{2g} \text{ FEET OF FLUID}$$

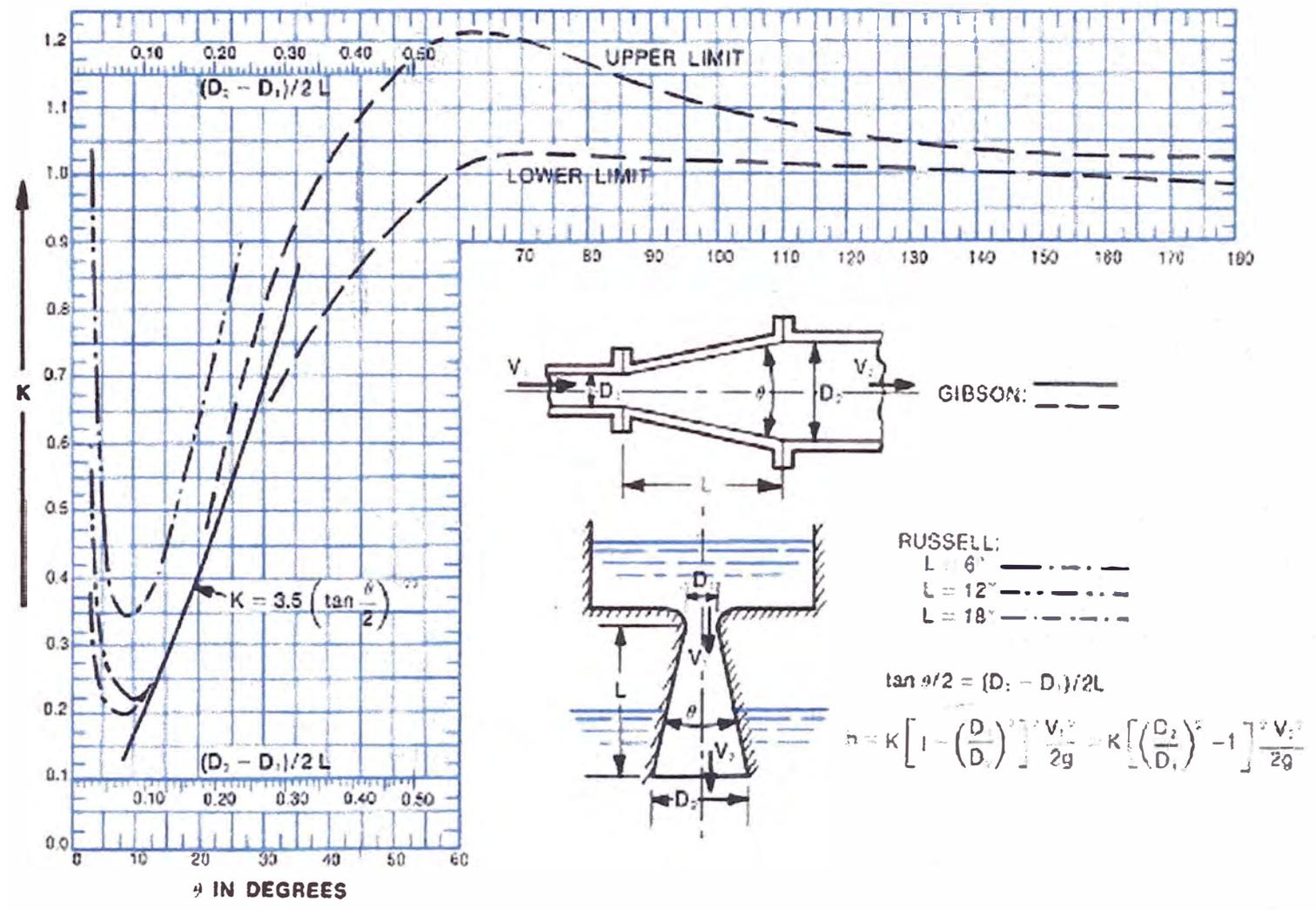
ANEXO 9

IIIB-5 RESISTANCE COEFFICIENTS FOR VALVES AND FITTINGS

TABLE 32(c)

Approximate Range of Variation For K		
Fitting	Fitting	Range of Variation
90 Deg. Elbow	Regular Screwed	± 20 per cent above 2 inch size
	Regular Screwed	± 40 per cent below 2 inch size
	Long Radius, Screwed	± 25 per cent
	Regular Flanged	± 35 per cent
	Long Radius, Flanged	± 30 per cent
45 Deg. Elbow	Regular Screwed	± 10 per cent
	Long Radius, Flanged	± 10 per cent
180 Deg. Bend	Regular Screwed	± 25 per cent
	Regular Flanged	± 35 per cent
	Long Radius, Flanged	± 30 per cent
Tee	Screwed, Line or Branch Flow	± 25 per cent
	Flanged, Line or Branch Flow	± 35 per cent
Globe Valve	Screwed	± 25 per cent
	Flanged	± 25 per cent
Gate Valve	Screwed	± 25 per cent
	Flanged	± 50 per cent
Check Valve	Screwed	± 30 per cent
	Flanged	{ + 200 per cent - 80 per cent
Sleeve Check Valve		Multiply flanged values by .2 to .5
Tilting Check Valve		Multiply flanged values by .13 to .19
Drainage Gate Check		Multiply flanged values by .03 to .07
Angle Valve	Screwed	± 20 per cent
	Flanged	± 50 per cent
Basket Strainer		± 50 per cent
Foot Valve		± 50 per cent
Couplings		± 50 per cent
Unions		± 50 per cent
Reducers		± 50 per cent

IIIB-6 RESISTANCE COEFFICIENTS FOR INCREASERS AND DIFFUSERS



ANEXO 11

AJUSTES RECOMENDADOS							
Grado de Ajustes	Calidades Superficiales	Sistema				Clase	Asiento
		Agujero Unico		Eje Unico			
		Agujero	Eje	Eje	Agujero		
PRECISION	▼▼▼▼	H6	h5	p5	P6	Forzado muy duro	Piezas montadas por dilatacion o contraccion; no necesitan seguro contra giro
				n5	N6	Forzado duro	Piezas montadas o desmontadas a presion; necesitan seguro contra giro.
				k5	K6	Forzado medio	Piezas que han de montarse o desmontarse con gran esfuerzo; seguro para giro y deslizamiento
	j5			J6	Forzado ligero	Montaje y desmontaje sin gran esfuerzo; necesitan seguro contra giro y deslizamiento	
	▼▼▼			h5	H6	Deslizante	Piezas lubricadas que se montan y desmontan sin gran trabajo a mano
				g5	G6	Giratorio	En piezas lubricadas el giro y deslizamiento puede efectuarse a mano
FINO		H7	h6	s6	S7	Forzado muy duro	Montaje por dilatacion o contraccion; no necesita seguro contra giro
	r6			R7	Forzado muy duro	Montaje por dilatacion o contraccion; no necesita seguro contra giro	
	n6			N7	Forzado duro	Montaje o desmontado a presion; necesita seguro contra giro	
	k6			K7	Forzado medio	Montado y desmontado con gran esfuerzo (mediante martillo de plomo); necesita seguro contra giro y deslizamiento.	
	j6			J7	Forzado ligero	Montado y desmontado sin gran esfuerzo (mediante mazo de madera); necesita seguro contra giro y deslizamiento	
	h6			H7	Deslizante	En piezas lubricadas, deslizamiento a mano	
	g6			G7	Giratorio	En piezas lubricadas, su juego es apreciable	
	▼▼			f7	F8	Holgado medio	En piezas lubricadas, su juego es apreciable
				e8	E8	Mas Holgado	En piezas lubricadas, el juego es muy apreciable
ESMERADO		H8	h9	j9	J8	Forzado ligero	Piezas que se han de montar y desmontar con facilidad
	h9			H8	Deslizante	Piezas que deben montarse sin esfuerzo y que deben desplazarse en s funcionamiento	
	e9			E8	Giratorio	Piezas moviles con juego desde perceptible a amplio	
	d9			D8	Holgado	Piezas moviles con juego muy amplio	
POCO ESMERADO	H11	h11	h11	H11	Deslizante	Montaje facil de gran tolerancia y pequeño juego	
			d11	E11	Giratorio	Piezas moviles con gran tolerancia y juego no excesivo	
			e11	C11	Holgado	Piezas moviles con gran tolerancia y juego	
			a11	A11	Muy holgado	Piezas moviles con gran tolerancia y mucho juego	

ANEXO 12

Universidad Nacional de Ingeniería
Facultad de Ingeniería Mecánica

CURSO; DIBUJO MECANICO

ACABADO SUPERFICIAL

Definición: Viene a ser el grado de aspereza que adquiere una superficie después de mecanizada, estas huellas pueden ser visibles, como también microscópicas.

Medición: Existen dos formas de evaluar el acabado de una superficie:

- Visualmente – es normalmente usado en los talleres mecánicos.
- Técnicamente – mediante “Rugosímetro”

Método visual: Para indicar en un dibujo técnico la aspereza máxima que puede tener una superficie se utiliza los siguientes símbolos:

	Tipo de acabado	Definición
	superficie bruta, tosca irregular	superficie no trabajada; laminada, forjada, etc.
	superficie bruta, fabricada cuidadosamente	superficie sin mecanizado alguno, forjado cuidadoso - colada cuidadosa
	desbastado por arranque de viruta	los surcos son palpables y visibles
	afinado por el arranque de viruta	los surcos de la superficie apenas son visibles
	afinado fino por el arranque de viruta	los surcos de la superficie son visibles a simple vista
	afinado superficial por lapeado o pulido	no quedan huellas de maquinado

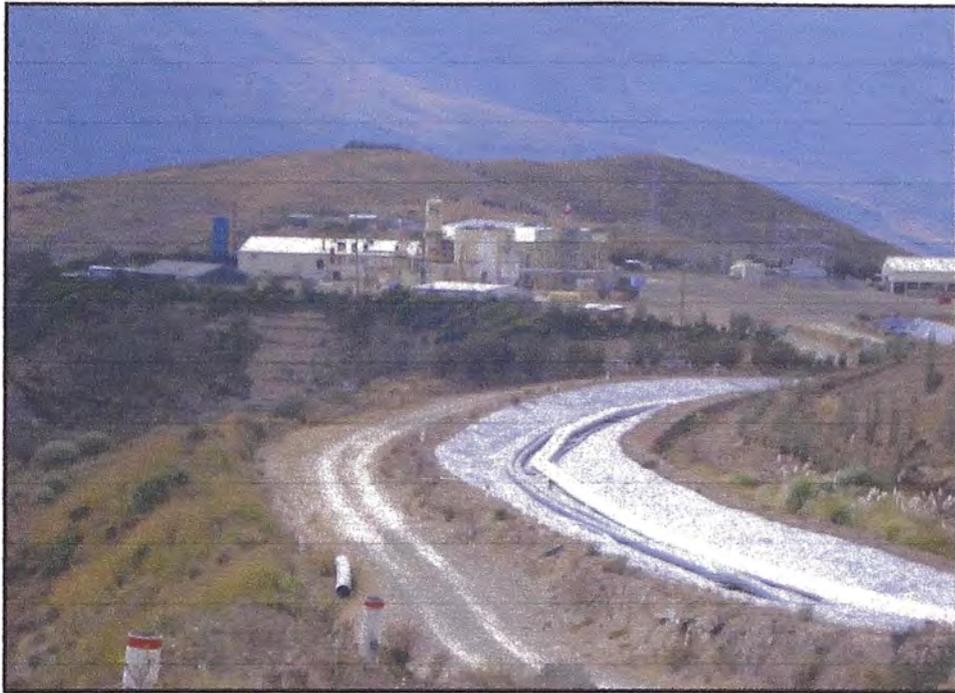
ANEXO 13



Ubicacion de la instalacion de la Bomba Caisson 4



Instalacion de Bomba Caisson 4



Planta Procesos



Filtro Clarificador



Torre Deairadora



Bombas de Vacío