



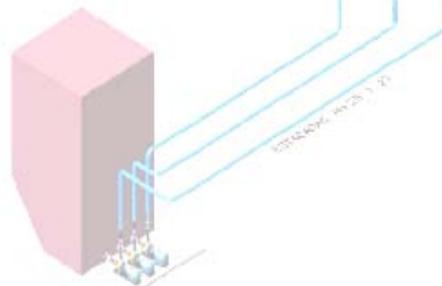
REPUBLICA DE CUBA
MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO DE MOA
Dr. Antonio Núñez Jiménez
MAESTRÍA DE ELECTROMECAÁNICA

TESIS EN OPCIÓN AL TÍTULO DE MASTER EN ELECTROMECAÁNICA

Título: Sistema de transporte de colas desde la Planta de Recuperación de Amoniaco hasta el Nuevo Depósito de la Empresa Cdte. “Ernesto Che Guevara”

Autor: Ing. Elizabeth Rodríguez Carrazana

**Tutores: Dr.C. Raúl Izquierdo Pupo
MS.C Isnel Rodríguez González**



Moa 2009



Pensamiento

*“ . . . La Revolución,
no se lleva en los labios para vivir de ella,
se lleva en el corazón
para morir por ella. . . ”*



علي



AGRADECIMIENTO

Quiero dejar constancia de mi agradecimiento, a todos aquellos que de una forma u otra contribuyeron a la realización de este trabajo, especialmente a:

Los tutores Isnel Rodríguez González y Raúl Izquierdo Pupo, por sus ideas, asesoría y enseñanza,

Al arquitecto José Erick Sosa Peña, por su apoyo incondicional

Al ingeniero Rafael Rodríguez Samalea, por nutrirme con su experiencia y sabios consejos

A las compañeras del archivo técnico de Ceproniquel Odalis Matos e Isabel Zarzabal, por su ayuda en todo momento,

A todos,

Muchas gracias



DEDICATORIA

A la Revolución y al Che por su ejemplo,

A mis amigos y familiares, especialmente a mis hijos Patricia María y Dino Enmanuel.



RESUMEN

El presente trabajo propone la proyección del nuevo sistema de hidrotransporte desde la Planta de Recuperación de Amoniaco hasta el nuevo depósito de colas que estará situado en la parte Este de las facilidades metalúrgicas en el Valle del río Yagrumaje.

Se hace un análisis de los factores atmosféricos, sismicidad y propiedades del terreno así como la traza de la red para realizar la proyección de un nuevo sistema de red debido a que la instalación actual se encuentra en un estado desfavorable, presentando tuberías deterioradas y puentes en mal estado técnico, a su vez existen dificultades de explotación de los equipos de bombeo que no trabajan en regímenes eficientes de trabajo.

El proyecto incluye además la valoración económica e impacto medioambiental, que responda a indicadores técnicos, económicos y medioambientales con un costo total de **CUC 6.691.169,55**.

SUMMARY

The present work proposes the projection of a new system of transport of waste from the Plant of Ammonia Recovery to the new waste damp that will be located in the East part of the metallurgical facilities in the Valley of the Yagrumaje River.

It is also made an analysis of the atmospherical factors, seismic and properties of the land as well as the situation of the pipelines to carry out the projection of a new system, because the current installation is in an unfavourable state, presenting deteriorated pipes and bridges in bad technical state, in turn difficulties of exploitation of the pumping equipment that does not work in efficient conditions.

This job also includes the economic valuation and environmental impact that according to technical, economic and environmental indicators with a total cost of 6.691.169,55.





TERMINOLOGÍA, SÍMBOLOS Y DEFINICIONES

CO ₂	Dióxido de carbono
Co	Cobalto
Ni	Níquel
NH ₃	Amoníaco
TK	Tanque
Bo	Bomba
SU	Pozo de Cola
Fe	Hierro
ρ	Alargamiento
σ	Tensión límite de fluencia
g/l	Gramos por litro
r.p.m	Revoluciones por Minuto
PPM	Partículas por millón
NC	Norma cubana
mm/año	Milímetros al año
Km	Kilómetros
t	Toneladas
CCM	Centro de control de motores
ITP4	Pizarra de alimentación
HSS	Codificación de fluidos (Colas)
GV	Válvula de Guillotina
GA	Válvula de compuerta
μm	Micrones
CD	Cabeza dinámica

Colas: Es el proceso residual de las plantas de Lixiviación y Lavado y Recuperación de amoniaco.

Licores: Es la mezcla de varios componentes en forma líquida.



Diagrama de pareto: Una forma de gráfico de barras verticales que separa los problemas muy importantes de los menos importantes, estableciendo un orden de prioridades.

CAI y LCPC: Ensayos ó equipos utilizados para determinar la abrasividad de las rocas.

AWG: (American Wire Gauge) Norma utilizada para enumerar cables en función del diámetro.

Field Bus Foundation: Tecnología novedosa de instrumentación que permite conectar varios elementos (comunicación digital).

SOKKIA 3010: Instrumento de gran precisión utilizado para hacer trabajos preliminares para cada proyecto. Permite determinar las coordenadas x, y, z, hacer replanteos, caminos, carreteras, levantamientos topográficos.



INDICE

<u>TABLA DE CONTENIDOS</u>	<u>PAG.</u>
INTRODUCCION.....	1
CAPITULO I: MARCO TEORICO.....	6
Introducción.....	6
1.1 Revisión bibliográfica.....	6
1.2 La cavitación en bombas centrífugas.....	9
1.3 Sistemas de Bombeo.....	13
1.3.1 Clasificación general de las bombas centrífugas.....	17
1.3.2 Ventajas de las bombas centrifugas.....	18
1.4 Situación actual de la instalación de bombeo de cola.....	18
1.5 Consideraciones generales sobre tuberías.....	20
1.5.1 Instalación de tuberías en el terreno.....	23
1.6 Conclusiones parciales.....	23
CAPITULO II: MATERIALES Y METODOS.....	24
Introducción.....	24
2.1 Esquema de la nueva instalación.....	25
2.2 Criterios Generales de diseño.....	26
2.2.1 Propiedades físico-mecánicas del fluido.....	26
2.2.2 Selección de las bombas.....	26
2.2.2.1 Estación de bombeo.....	27
2.3 Variables de diseño.....	28
2.3.1 Abrasividad de las Rocas.....	29



2.3.2 Determinación de la sismicidad.....	30
2.3.3 Análisis de la presión.....	30
2.3.4 Influencia de la temperatura.....	31
2.3.5 Determinación del trazado de la red.....	32
2.4 Instrumentación.....	32
2.5 Protección anticorrosiva de la instalación.....	34
2.6 Soportería para el sistema de tuberías.....	34
2.7 Metodología de cálculo para el nuevo sistema de transporte de colas.....	34
2.7.1 Cálculo y selección del diámetro de la tubería.....	35
2.7.2 Cálculo del espesor de la tubería.....	36
2.7.3 Cálculo de las pérdidas de carga por fricción.....	37
2.7.4 Cálculo de la caída de presión.....	38
2.7.5 Cálculo de la velocidad de la hidromezcla.....	38
2.7.6 Cálculo de la velocidad crítica.....	38
2.7.7 Altura neta positiva.....	39
2.7.8 Cálculo de la dilatación térmica de la tubería.....	40
2.7.9 Determinación de la potencia necesaria.....	40
2.8 Conclusiones parciales.....	40
CAPITULO III: VALORACION DE LOS RESULTADOS.....	41
Introducción	41
3.1 Análisis de la Abrasividad de las Rocas.....	41
3.1.2 Comportamiento de la sismicidad del área.....	42
3.1.3 Influencia de la temperatura en el sistema.....	44



3.2	Mantenimiento y eficiencia de la instalación.....	45
3.3	Diseño del sistema de tuberías.....	47
3.3.1	Cálculo del diámetro de la tubería.....	47
3.3.2	Cálculo del espesor de la tubería.....	48
3.3.3	Cálculo de las pérdidas de carga por fricción.....	48
3.3.4	Cálculo de la caída de presión.....	49
3.3.5	Cálculo de la velocidad de la hidromezcla.....	49
3.3.6	Cálculo de la velocidad crítica.....	49
3.3.7	Cálculo de la altura neta positiva.....	50
3.3.8	Cálculo de la dilatación térmica de la tubería.....	51
3.3.9	Cálculo de la potencia necesaria.....	52
3.4	Características del equipamiento.....	52
3.5	Especificaciones técnicas de las tuberías.....	53
3.6	Protección anticorrosivo.....	55
3.7	Trazado de la red.....	55
3.8	Valoración Medioambiental.....	57
3.8.1	Efectos ambientales en la instalación de bombeo de cola.....	58
3.8.2	Medidas constructivas para eliminar estos problemas.....	58
3.8.3	Afectaciones a la salud por el amoníaco.....	58
3.8.4	Medidas de seguridad.....	59
3.8.5	Medios de seguridad.....	59
3.8.6	Afectaciones sufridas por el ruido en las instalaciones de bombeo en un régimen cavitacional.....	60
3.8.7	Medidas para la disminución del ruido.....	60



3.9 Valoración económica.....	61
3.9.1 Estimado de materiales, cantidades y costo.....	61
4.0 Conclusiones parciales.....	66
Conclusiones	
Recomendaciones	
Bibliografía.	
Anexos.	



INTRODUCCION

En nuestro país, la industria del níquel se ha convertido en unos de los principales renglones de nuestra economía y es una de las que enfrenta el reto del perfeccionamiento empresarial lo cual nos dará un nivel competitivo en el mundo.

La Empresa “Comandante Ernesto Che Guevara” (ECG), posee un proceso tecnológico carbonato amoniacal de los minerales lateríticos en forma de óxidos, este esquema permite procesar la mezcla de minerales lateríticos y serpentínicos, pero demanda una cantidad apreciable de energía y alto consumo de petróleo.

Una de las formas para hacer cumplir con el aprovechamiento energético, lo constituye el perfeccionamiento y aplicación de nuevas tecnologías en el transporte de las colas, que es un afluente generado por la Planta de Recuperación de Amoníaco y está compuesta por líquidos con sólidos en suspensión. Varios estudios realizados anteriormente en esta instalación, han demostrado que existe un alto consumo de energía y que la instalación no entrega la capacidad deseada. Por este motivo, la situación indica la necesidad de realizar el estudio, con el propósito de darle solución a los problemas existentes en la instalación y dar un paso importante, en la modernización de la empresa, con el objetivo de aumentar su capacidad. Este trabajo va encaminado, a elevar la eficiencia con nuevas variantes tecnológicas que encuentran su aplicación, en los sistemas de transportación de las colas del proceso amoniacal y en otros procesos tecnológicos industriales.

La Planta de Recuperación de Amoníaco tiene como función primordial recuperar el NH_3 y el CO_2 contenidos en el licor y la suspensión de sólidos residual procedentes de la planta de Lixiviación y Lavado.

La suspensión de sólido residual enviada desde la planta de Lixiviación se distribuye por los precalentadores cuya función es aumentar su temperatura antes de enviarla a las columnas de destilación donde se recupera del calor de los gases desprendidos de las propias columnas.

La pulpa caliente alrededor de 50°C , se descarga desde los precalentadores hasta los tanques de retención de colas, desde donde se bombea hasta las torres de destilación. La

pulpa descargada de estas torres a una presión aproximada de 1,3 Kg./cm², se envía por gravedad hasta los tanques despresurizadores, donde parte del agua se desprende en forma de vapor y sale a la atmósfera por la chimenea de estos tanques.

Después de despresurizar la pulpa, se envía por gravedad hasta el Pozo de Colas y de aquí es bombeada hasta el Dique. (Ver Fig. 1.0).

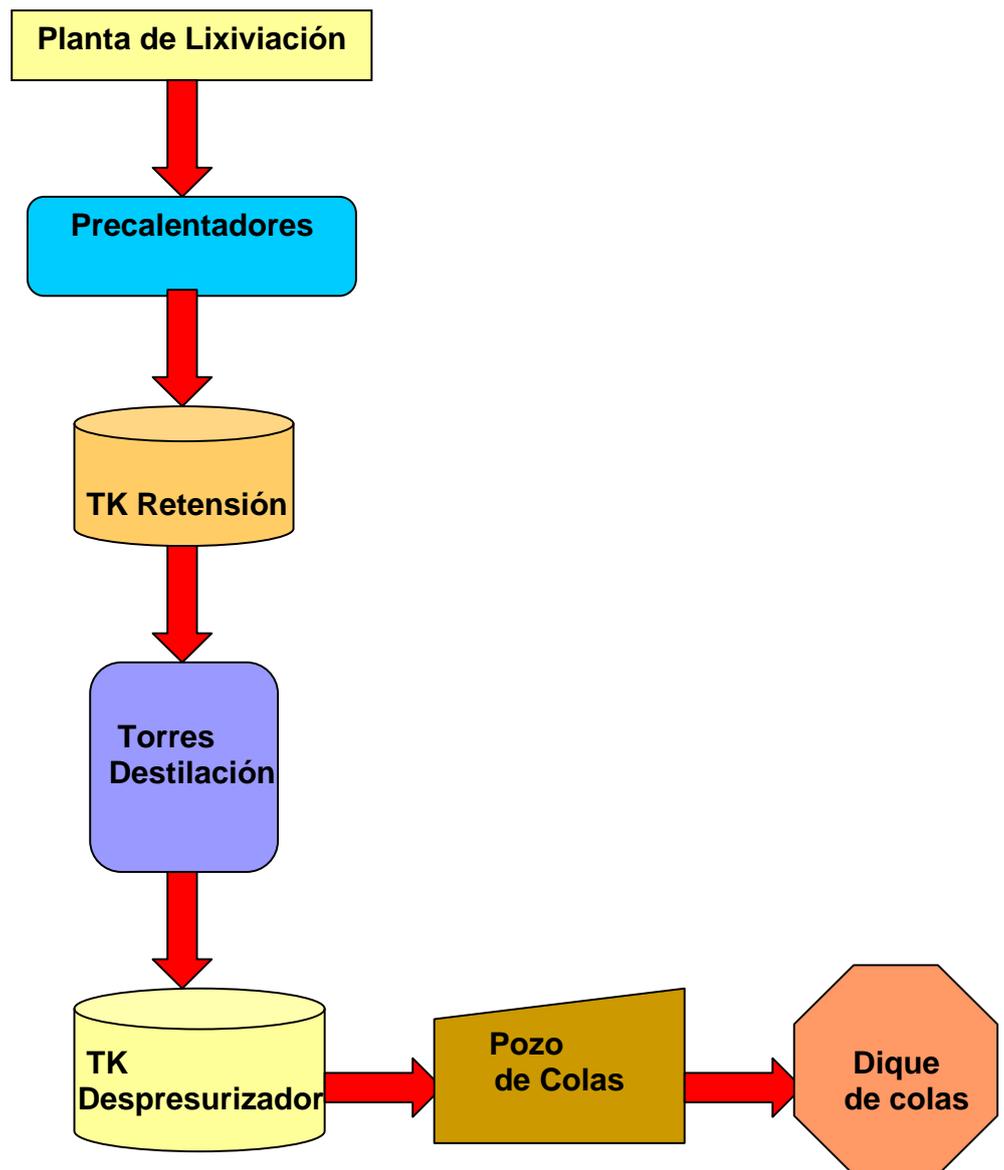


Fig. 1.0. Diagrama de Bloques Instalación Existente.

Para el sistema actual, el flujo tecnológico es como sigue:

La cola proveniente de la Planta de Recuperación de Amoniaco, obtenida como desecho, es enviada al Pozo de Colas (255-SU-1) actual, del cual se interconectarán las líneas de entrega de colas que consisten en un sistema de tuberías de acero soldadas (3 líneas,) que saldrán del pozo existente (255-SU-312) a través de un sistema de bombeo nuevo (3 montadas, una trabajando y dos de reserva) a una elevación de 24 m. Estas se dirigirán a través de un pipe rack (soportes) hacia el lugar donde estarán conectadas las tubería (Colector control de flujo) a una elevación de 65 m. Varias válvulas de espada controlarán la distribución de las colas.

Las dos líneas de distribución (Norte y Oeste) se encontrarán a una elevación de 70 m, se incluyen para maximizar la capacidad de almacenaje y controlar el lugar de la presa de agua flotante.

La línea Norte consistirá será de acero de 300 mm de diámetro que saldrá del Colector de control de flujo a la cortina. La línea Oeste será de acero, que saldrá también del Colector control de flujo hacia la cortina Este de la presa. (Ver Fig. 1.00).

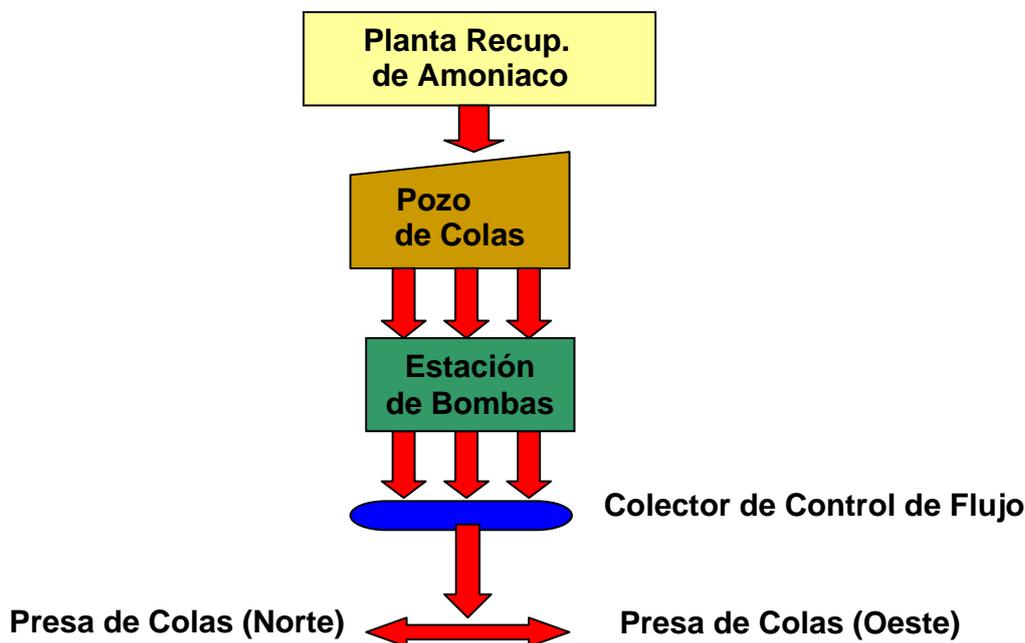


Fig. 1.00. Diagrama de Bloques Nueva Instalación.

SITUACION PROBLEMICA:

Actualmente las bombas ubicadas en el pozo de colas de la Planta de Recuperación de Amoniaco, no disponen de las capacidades requeridas para bombear los volúmenes de pulpas estimados por la Planta, impactando esto de manera negativa al incrementar las acciones de mantenimiento, disminución de los indicadores de eficiencia y gastos adicionales de recursos materiales y financieros.

PROBLEMA:

Insuficiente capacidad de bombeo de colas desde la Planta de Recuperación de Amoniaco hasta el Nuevo Depósito.

HIPOTESIS:

Conociendo el comportamiento de variables como temperatura, presión, características del fluido a transportar, cargas térmicas y material, entonces, es posible diseñar un sistema de bombeo de colas que responda a indicadores técnicos, económicos y medioambientales desde la Planta de Recuperación de Amoniaco hasta un nuevo depósito.

OBJETIVO GENERAL:

Diseñar un sistema de manejo de colas desde la Planta de Recuperación de Amoniaco, hasta el nuevo depósito, que responda a indicadores técnicos, económicos y medioambientales.

OBJETIVOS ESPECIFICOS:

1. Establecer el estado de Arte de la temática.
2. Estudiar y analizar las ecuaciones fundamentales para el diseño de un sistema de bombeo para las colas.
3. Valorar el Sistema de bombeo y de tuberías.



TAREAS A REALIZAR PARA EL CUMPLIMIENTO DE ESTOS OBJETIVOS:

Las tareas principales para lograr los objetivos propuestos, son las siguientes:

1. Análisis de las fuentes bibliográficas.
2. Caracterización del sistema actual de transporte de colas.
3. Cálculos y proyección del sistema de bombeo de colas desde la Planta de Recuperación de Amoniaco, hasta el nuevo depósito.
4. Valoración económica e impacto del medio ambiente.

CAPITULO I: MARCO TEORICO

INTODUCCION

Las operaciones en la Empresa “Comandante Ernesto Guevara”, comenzaron a mediados de la década del 80. La minería de la laterita que contiene níquel y cobalto y la roca madre de serpentina, produce un concentrado por un proceso de tres fases de lixiviación amoniacal, intercambio iónico y extracción por solvente. Las dos corrientes principales de desechos del proceso, incluyen residuos de lixiviación (colas) que contienen los hidróxidos de metal y aguas residuales del proceso de recuperación de cobalto. Estas corrientes residuales, se depositan actualmente a 1 Km al noroeste de la planta, dentro de la planicie costera del Atlántico y el delta del río Moa. (Ver Anexo1).

1.1 Revisión Bibliográfica

La Reología es la ciencia del flujo que estudia la deformación de un cuerpo sometido a esfuerzos externos. Las características reológicas de un fluido son uno de los criterios esenciales en el desarrollo de productos en el ámbito industrial. Frecuentemente, éstas determinan las propiedades funcionales de algunas sustancias e intervienen durante el control de calidad, los tratamientos (comportamiento mecánico), el diseño de operaciones básicas como bombeo, mezclado y envasado, almacenamiento y estabilidad física.

Los autores clasifican los fluidos desde el punto de vista reológico en newtonianos y no newtonianos, según Skelland (1970), Rosabal y Garcell (1988), Perry y Col (1984), Toose (1995) y Darvy (2000). Los primeros cumplen con la Ley de Newton de la viscosidad, donde existe una relación lineal entre el esfuerzo cortante aplicado y la velocidad de deformación resultante, ecuación (1.1). En los no newtonianos la viscosidad es función del gradiente de velocidad, y por tanto, cambia con la variación de dicho gradiente, aun cuando se mantenga la temperatura y otras condiciones y pueden expresarse entre otros modelos por los modelos de Ostwald de Waele, ecuación (1.2) y de Bingham, ecuación (1.3).

$$\tau = \mu \cdot \left(- \frac{dv}{dr} \right) \quad (1.1)$$

$$\tau = K \left(-\frac{dv}{dr} \right)^n \quad (1.2)$$

$$\tau = \tau_0 + \mu \left(-\frac{dv}{dr} \right) \quad (1.3)$$

Turro (2002) determina que las colas del proceso CARON se clasifican como flujos pseudoplásticos a concentraciones de 25-30% y plásticos de Bingham para mayores de 40%, por lo tanto sólo se expondrán los modelos reológicos aplicados a éste fluido.

El proceso CARON está basado en el esquema de la lixiviación carbonato – amoniacal del mineral reducido. El mineral húmedo de la Mina es descargado en el área de almacenamiento con capacidad para 360 000 t húmedas, del área de almacenamiento el mineral es alimentado a los secaderos, pasando previamente por un sistema de trituración para disminuir las rocas que la acompañan hasta granulometría menor a 50 mm. El mineral es secado en 6 secaderos y molido en 4 molinos antes de ser reducido en 24 hornos de múltiples hogares Herreshoff. El mineral calcinado es lixiviado en solución de amoníaco-carbonato amoniacal y lavado en un circuito a contracorriente de 16 sedimentadores.

El licor producto obtenido contiene las amins de Ni y Co en concentraciones aproximadas de 10 g/l y 0,4 g/l respectivamente. El Co es precipitado como sulfuro utilizando el hidrosulfuro de amonio, alimentado al licor producto. El precipitado conteniendo cierta cantidad de Níquel, es secado y se envasa en big-bags. El licor después de la separación del Co es calentado con vapor directo para separar el amoníaco y el dióxido de carbono, precipitándose el Níquel en forma de carbonato básico. La pulpa de carbonato básico de níquel es espesada, filtrada y calcinada a 1300 °C, produciéndose una calcina de óxido de Níquel. El óxido de Níquel es sinterizado con carbón, obteniéndose como producto final el sinter de Níquel.

Estudios realizados por varios investigadores, Safonov (1970), Cheng (1980), León y Boger (1990), Sánchez y Cruz (2000), Muñiz y Simón (2001), demostraron que existen numerosas interacciones y factores que influyen sobre el comportamiento y las propiedades de flujo de suspensiones minerales.

La caracterización reológica de las colas reportada por Turro (2004) exhibe un flujo pseudoplástico a concentraciones de 25-40 % y un comportamiento plástico Bingham para valores mayores de 40 %, a todas las temperaturas estudiadas. (28-900°C). En la citada fuente se demuestra que las hidromezclas de las colas constituyen un sistema trifásico con mayores caídas de presión y magnitudes más elevadas de los factores de fricción que los requeridos en los sistemas bifásicos normales, bajo condiciones normales de operación.

Sobre el transporte hidráulico, Pakrovskaya (1985) realiza un amplio estudio técnico – práctico donde abarca temas muy importantes y novedosos entre los que se destacan: características, parámetros y regímenes de transportación de hidromezclas de diferentes grados de saturación; métodos para la preparación de pulpas para el hidrot transporte, desgaste hidroabrasivo de los sistemas de tuberías durante la transportación de materiales abrasivos; métodos de control y regulación de los parámetros de hidrot transporte. Sobre la base de las investigaciones teórico experimentales y el análisis de otros autores se determinaron los parámetros y se establecieron los regímenes racionales de hidrot transporte de minerales de hierro y concentrados, se elaboraron las recomendaciones sobre la modelación de las suspensiones, selección de los regímenes efectivos y la metodología para la determinación de los parámetros de materiales sólidos de alta densidad en flujos de alta densidad (hasta 40 % de sólido por volumen).

Suárez (1998) hace referencia a la elaboración del modelo físico–matemático del movimiento de suspensiones de serpentinita blanda por tuberías, basado en los resultados de las investigaciones de las propiedades reológicas, la determinación de las regularidades de la variación de los coeficientes de resistencia hidráulica en dependencia de la concentración másica en el intervalo de 40 a 80 % en régimen laminar; la determinación de las pérdidas específicas de presión para el movimiento de dichas suspensiones en régimen turbulento; la determinación de las ecuaciones para la obtención de la velocidad crítica y la velocidad límite de caída de los granos de serpentinita dura.

Izquierdo (1989) en su trabajo sobre la determinación de los parámetros y regímenes de hidrot transporte de mineral laterítico aplicable a las condiciones del proceso productivo de

la Empresa Comandante Pedro Soto Alba determinó las propiedades físico–mecánicas de las hidromezclas, formuló el modelo físico–matemático del flujo de las pulpas lateríticas; comprobó que durante el flujo dependiendo de la velocidad de las pulpas y de la concentración del sólido, se presentan los regímenes estructural, transitorio y turbulento, obtuvo las dependencias para determinar el coeficiente de resistencia hidráulica para el movimiento del régimen estructural y las pérdidas hidráulicas durante el movimiento de la hidromezcla en régimen turbulento.

Para la realización de este trabajo, nos basamos fundamentalmente en los trabajos relacionados con el estudio del Comportamiento Reológico de las suspensiones de Desechos Lixiviados del Proceso Industrial Caron y el trabajo Flujo por tuberías de Suspensiones de Minerales no Newtonianos (Garcell 2003), la Proyección del Sistema de Hidrotransporte de Pulpa Abrasiva (colas) del ISMM, el Estudio de Factibilidad Presa de Colas ECG, Rheological Properties of Che Guevara Tailings Sample. k.P. realizado por los especialistas de KP Canadá, así como el Handbook. Warman. Slurry Pumping/2000.

1.2 La cavitación en bombas centrifugas

La cavitación se produce cuando el líquido a bombear se mueve en una parte donde la presión es menor que su presión de vapor y vaporiza en forma de burbujas. Estas burbujas son arrastradas junto con el líquido hasta una parte donde se alcanza una presión más elevada y desaparecen.

Analizando los criterios de varios autores sobre la cavitación, Ramos Páez (1995), Pérez (2000), Gonzalo (2006) entre otros, podemos decir que: la cavitación consiste en la formación de vapor de agua a causa del descenso local de la presión por debajo de la de saturación del líquido a la temperatura del líquido y condensación brusca subsiguiente trayendo consigo golpes hidráulicos. Este fenómeno se ve muy frecuente en las bombas centrifugas, se puede decir que supone la ebullición del líquido a temperatura ambiente provocado por muy bajas presiones.

Existen varios factores que intervienen en la cavitación, entre ellos:

- Cantidad de aire disuelto en el líquido.

- Respuesta del material a la velocidad de erosión por cavitación y su acabado superficial.
- Altura de aspiración de la instalación para un caudal Q, altura H y una velocidad específica n_s .
- Altura neta de succión (NPSH).

La carga neta positiva de succión (NPSH) es la altura total en la zona de vacío, a la entrada de la bomba, medida en relación con el plano de referencia, aumentada de la altura correspondiente a la presión atmosférica y disminuida de la altura debido a la tensión de vapor del líquido.

La carga neta positiva de succión requerida (NPSH_r) es la presión por arriba de la del vapor del líquido que se bombea, medida en la brida de succión con un manómetro y es una variable que depende de las características de la bomba suministrada por el fabricante. (Según Pérez Franco 1983) se determina por:

$$NPSH_r = H_z + \frac{V_a^2}{2g} \quad (1.4)$$

Siendo:

H_z .- presión mínima necesaria a la entrada del rodete

$\frac{V_a^2}{2g}$.- presión cinética correspondiente a la velocidad de entrada del líquido en la boca de aspiración, (para V_a en m/s).

$$NPSH_d = P_a - H_a - P_{ca} - \frac{P_v}{\gamma} \quad (1.5)$$

Entre los elementos de las máquinas rotatorias (bombas centrifugas) que mas fallan (Palomino 1999), se encuentran los ejes, impulsores y rodamientos debido en gran medida a la cavitación cuando esta se encuentra en un alto grado.

El aumento del peso específico del líquido hidrotransportado en condiciones semejantes al agua, provoca la presencia de cavitación con antelación y por consiguiente el empeoramiento de la reserva cavitacional.

Las curvas características de la bomba para hidrotransportar líquidos de mayor viscosidad que el agua se modifica. El aumento de las pérdidas hidráulicas en los canales del rodete produce una disminución de la carga y el gasto; y el crecimiento de la potencia como resultado del aumento de las pérdidas por fricción en los discos.

La magnitud del empeoramiento de las características es diferente en dependencia de la viscosidad del líquido. La viscosidad en el orden de 20 ÷100 CST generalmente no afecta el gasto y la carga de la bomba, pero valores superiores de viscosidad empeoran significativamente la explotación de las bombas.

La complejidad se incrementa si tenemos en cuenta la presencia de partículas sólidas en el flujo, las cuales necesitan determinada agitación para mantenerse en suspensión.

El primer parámetro que interviene en la altura neta de succión es la presión atmosférica, este parámetro depende de la altura sobre el nivel del mar a que se encuentre la instalación.

La temperatura es otra variable que cambia, influyendo directamente en el balance de la carga en la tubería de succión. Existen instalaciones en las que el líquido de trabajo se encuentra a la temperatura de ebullición; esta situación produce un equilibrio con la presión atmosférica, dejando la instalación a expensas solo de la altura de posición H_s para evitar la cavitación. Aunque no todo se vuelve negativo, el aumento de la temperatura produce una disminución de la reserva mínima cavitacional, favoreciendo el trabajo de la bomba.

La cavitación es acompañada de un ruido peculiar y la disminución del caudal, la carga y el rendimiento. En la práctica la presencia de cavitación es detectada por el ruido y vibraciones características del fenómeno y la disminución del caudal en más de un 1%.

Las bombas centrifugas siempre tienen un componente de vibración importante en la frecuencia de paso de alabes de la impulsora por las RPM. La impulsora de la bomba produce un impulso de presión en el fluido bombeado, cuando cada alabe pasa el punto de salida, este excita la frecuencia de vibración del paso de alabes en la tubería, por lo tanto se transmite a través de la máquina.

Si la amplitud se incrementa de manera significativa, quiere decir que hay un problema interno como una desalineación, o daño en las alabes, Ver Fig.1.1. Los armónicos del paso de alabes también son común en estas bombas.

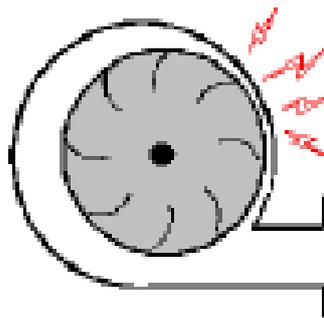


Fig.1.1 Desalineación de los alabes de la bomba.

El espectro siguiente, que contiene ruido de alta frecuencia de banda ancha indica que ocurre cavitación debido a una baja presión de entrada. La cavitación producirá este tipo de espectro a todos los puntos de medición de la bomba y del cárter. Fig.1.2.

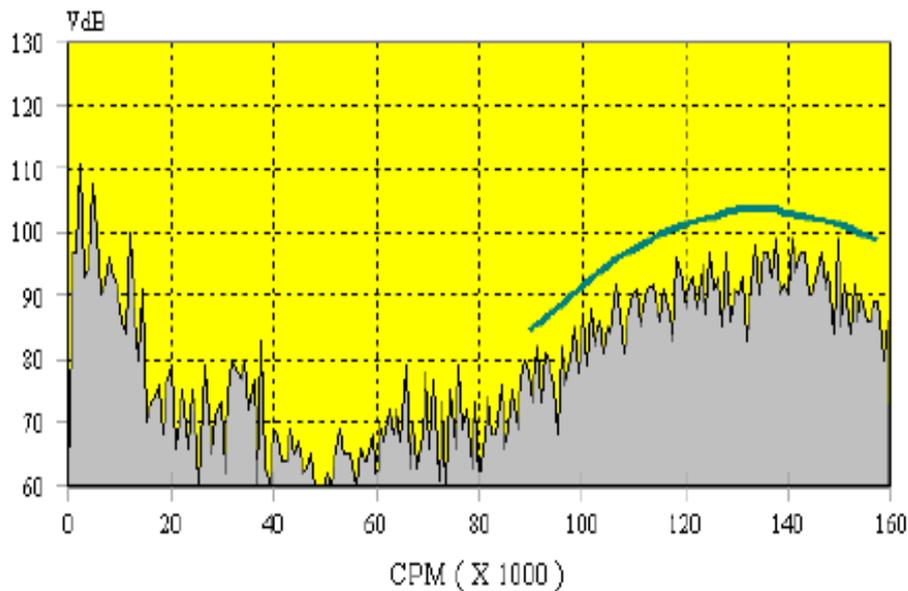


Fig. 1.2 Espectro para diferentes puntos de medición de una bomba centrífuga.

El trabajo de las bombas en regímenes de cavitación no debe permitirse, porque afecta los parámetros de trabajo, daña el equipo y termina por destruirlo, disminuye el rendimiento e incrementa el consumo energético.

1.3 Sistemas de Bombeo

Un equipo de bombeo, es un transformador de energía. Recibe la energía mecánica y la convierte en energía que un fluido adquiere en forma de presión, de posición o de velocidad. Las bombas son equipos mecánicos que sirven para elevar los líquidos y conducirlos de un lugar a otro, ó comunicarle cierta cantidad de energía, que les permita vencer la resistencia de las tuberías a la circulación, así como la carga que representa la diferencia de nivel entre el lugar a donde se pretende elevar. Los líquidos circulan del lugar de mayor al de menor energía. Al suministrarle energía la bomba al líquido, tiene el objetivo de producir el gradiente necesario para establecer la circulación y vencer las resistencias.

La característica de un sistema está dada por la curva de cabeza-caudal, la cual está dada por dos componentes; la cabeza estática total, TSH, (Fija. Independiente del caudal manejado) y la Cabeza Dinámica, CD, (Variable. Dependiente del caudal manejado).

Esta Cabeza Estática Total (TSH) se determina físicamente sobre el sistema, y generalmente se dan las dos configuraciones siguientes:

La bomba se encuentra por encima del nivel de succión (Fig.1.4).

La bomba se encuentra por debajo del nivel de succión (Fig.1.5).

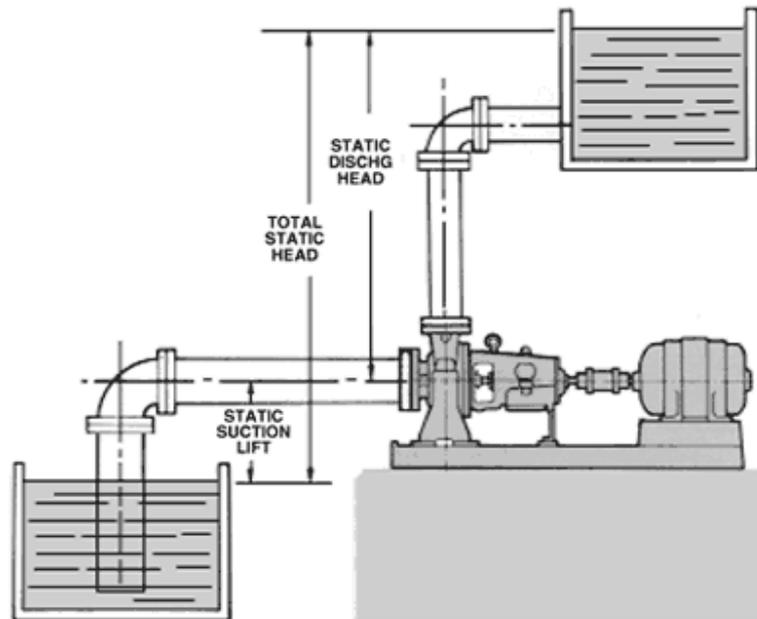


Fig. 1.4 Bomba por encima de la succión.

En este caso la Cabeza Estática Total (TSH) es la suma de la Elevación de Succión Estática (SSL), más la Cabeza Estática de Descarga (SDH).

$$TSH = SSL + SDH \quad (1.6)$$

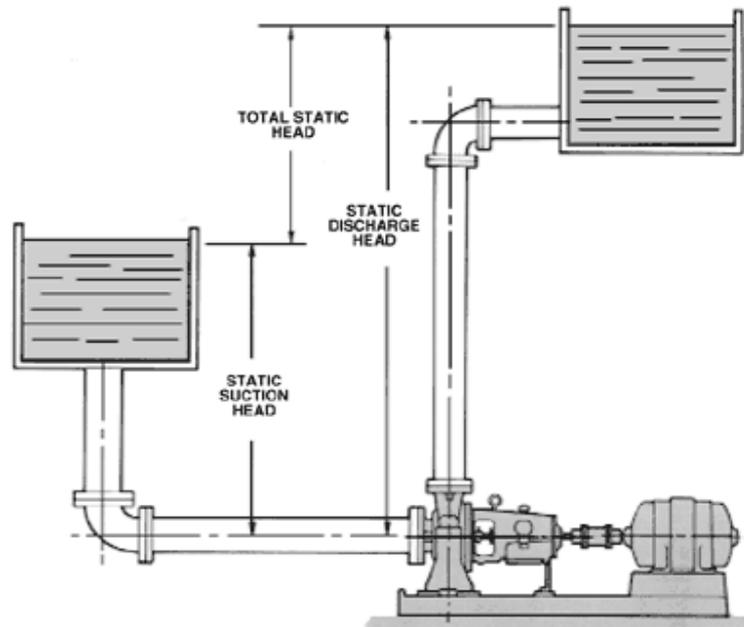


Fig. 1.5 Bomba por debajo de la succión.

En este caso la Cabeza Estática Total (TSH) es la diferencia entre la Cabeza Estática de Descarga (SDH), menos la Cabeza Estática de Succión (SSH).

$$TSH = SDH - SSH \quad (1.7)$$

La cabeza dinámica es variable, ya que depende de varios factores como son; caudal manejado por el sistema (velocidad de flujo), las características físicas de la tubería (diámetro y rugosidad) y la viscosidad del fluido (es función de la temperatura), forma general de la línea (accesorios y válvulas).

El trabajo realizado por una bomba es el producto del peso total de agua elevada, contra la carga dinámica total.

La eficiencia se define según Pérez-Franco (1983) como la relación entre la potencia entregada por la bomba y la potencia que es necesario suministrar a la misma para realizar trabajo.

La característica total del sistema está dada por (Fig. 1.6):

$$H - Q_{Sit} = TSH + CD \quad (1.8)$$

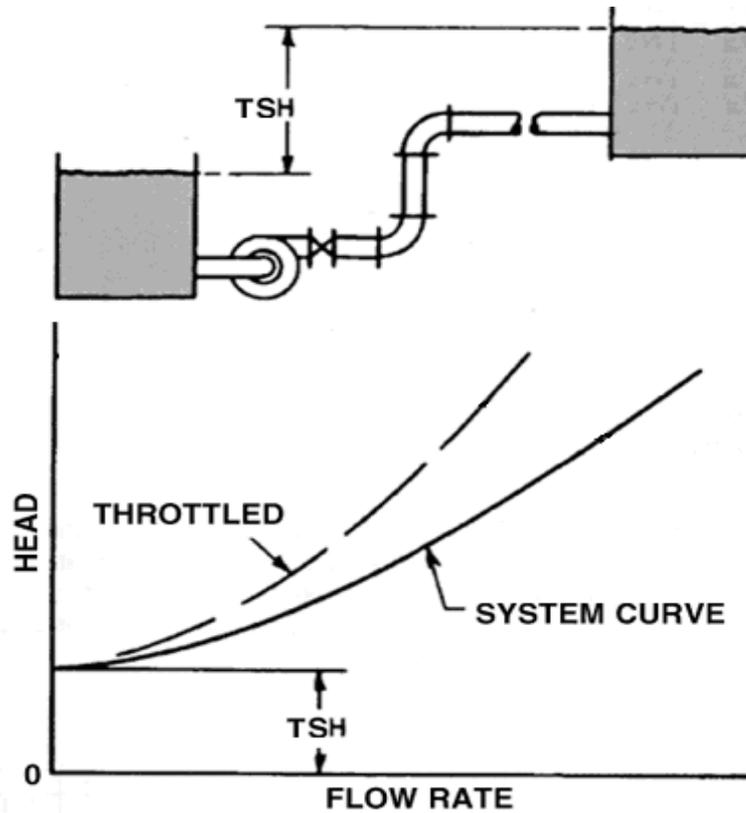


Fig. 1.6 Característica H-Q del Sistema.

Los fabricantes de bombas proveen las curvas características de la bomba, las cuales muestran la cabeza, la eficiencia, potencia y NPSH-R, versus el caudal manejado por la bomba (Fig. 1.7).

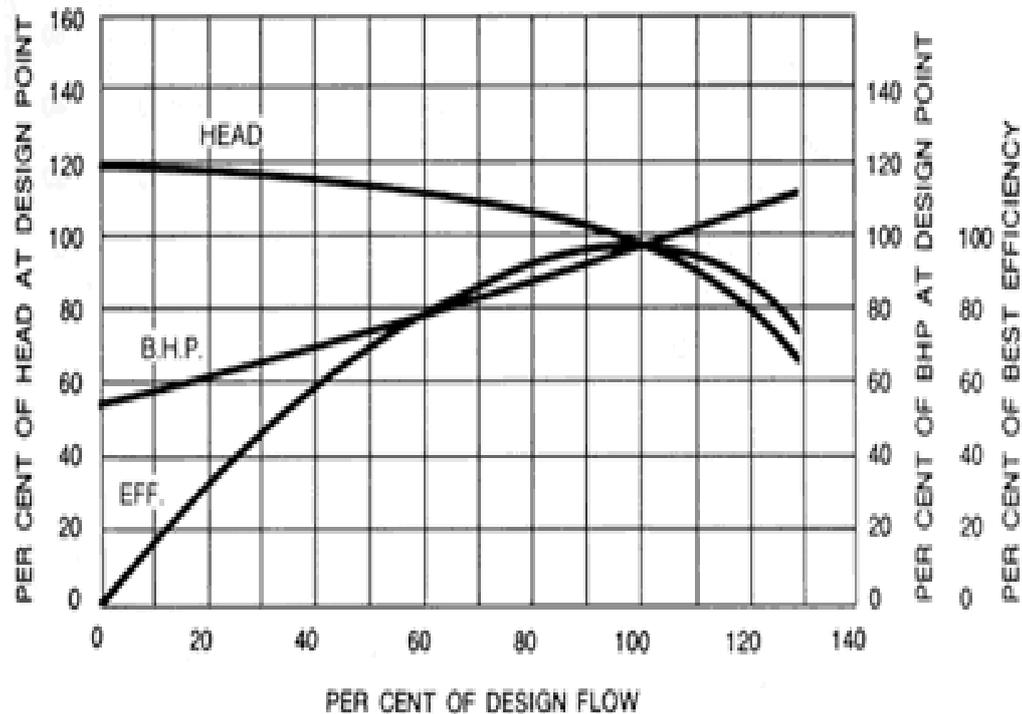


Fig. 1.7 Curvas características de la bomba

1.3.1 Clasificación general de las bombas

Las bombas de acuerdo a su uso general, se pueden clasificar en tres grupos:

1. Bombas de Desplazamiento Positivo (Reciprocantes y Rotatorias).
2. Bombas Dinámicas (Centrífugas, Periféricas y Especiales).

Para el uso de cola, se recomiendan las bombas centrífugas (Fig.1.8), que se encuentran en el segundo grupo.

Una bomba centrífuga es un tipo de bomba hidráulica que transforma la energía mecánica de un impulsor rotatorio llamado rodete en energía cinética y potencial requeridas. Las bombas centrífugas tienen un uso muy extenso en la industria ya que son adecuadas casi para cualquier servicio.

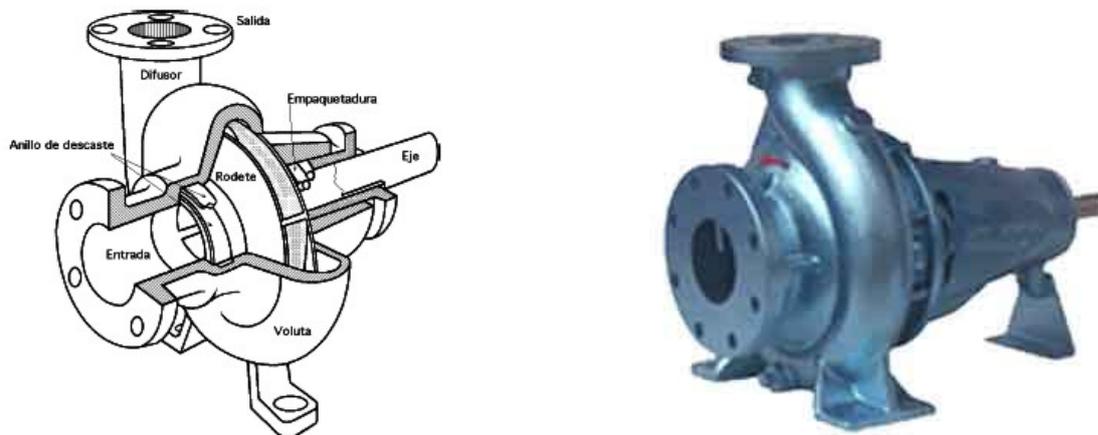


Fig. 1.8 Bomba Centrífuga

1.3.2 Ventajas de las Bombas Centrífugas

- Su construcción es simple y su precio es bajo.
- El fluido es entregado a presión uniforme, sin variaciones bruscas ni pulsaciones. Son muy versátiles, con capacidades desde 1.36 m³/h hasta bombas múltiples con 818.29 m³/h.
- La línea de descarga puede interrumpirse, o reducirse completamente, sin dañar la bomba.
- Puede utilizarse con líquidos que contienen grandes cantidades de sólidos en suspensión, volátiles y fluidos hasta de 455°C.
- Económicas y fáciles de mantener.
- No alcanzan presiones excesivas aún con la válvula de descarga cerrada.
- Se adaptan a servicios comunes, suministro de agua, hidrocarburos, disposición de agua de desechos, cargue y descargue de carro tanques, transferencia de productos en oleoductos.

1.4 Situación Actual de la Instalación de Bombeo de Cola

La actual estación de bombeo de la Planta de Recuperación de Amoníaco (Ver Fig.1.9), comprende un pozo donde están ubicadas cinco bombas centrífugas, cuatro de ellas, individualmente conectadas en su descarga a diferentes líneas de diámetro 200 mm,

encargadas de transportar las colas hasta el Dique, aproximadamente a 3000 m de distancia. Estas bombas succionan directamente de una cisterna existente a través de la pared del pozo a la cual descargan por gravedad los dos tanques separadores de vapor que reciben las colas de los alambiques.

Estas bombas en la práctica, no disponen de las capacidades requeridas para bombear los volúmenes de pulpa estimados por la planta.

A pesar de que las bombas inicialmente fueron incorrectamente seleccionadas, con un sobre diseño excesivo en cuanto a la presión de trabajo teórica requerida para vencer las pérdidas en las líneas, las mismas en la práctica no disponen de las capacidades requeridas para bombear los volúmenes de pulpas estimados por la Planta.



Fig. 1.9 Instalación actual de bombeo.

Independientemente de estas limitantes, el principal problema radica en la cavitación de las bombas al carecer éstas de la altura neta positiva de succión requerida; factor primordial a considerar cuando se bombean líquidos calientes. Además; las bombas están sometidas al empuje axial producido por el movimiento de dilatación de la tubería de descarga de la bomba; por lo que se requiere incluir en la línea, una junta de expansión térmica, que además de eliminar los esfuerzos de dilatación o cargas térmicas en la línea, compensa cualquier desviación geométrica que pudiera aparecer durante el montaje de los equipos y redes de tuberías tecnológicas.

En respuesta a estos problemas se elaboró un proyecto donde se propuso modificar la instalación actual, trasladando el pozo y la estación de bombas al nivel de la Planta de Lixiviación. Esta variante respondió a la medida de los problemas actuales; pero no satisfizo a una serie de alternativas tecnológicas que son requeridas por la Planta, además; de no cumplir con todos los requerimientos técnicos para el diseño de instalaciones de transporte de pulpas abrasivas.

En la industria minero metalúrgica, se utilizan diversas formas de transportación de mineral. En la actualidad ha cobrado gran auge el transporte hidráulico debido a que tiene gran efectividad económica. En el transporte de colas, se usa como equipo fundamental las bombas centrifugas que representan el 85% de las bombas existentes en la industria niquelífera.

1.5 Consideraciones Generales sobre las tuberías

Para el diseño del sistema de tuberías, se tienen en cuenta los siguientes aspectos:

1. Establecimiento de las condiciones de diseño incluyendo presión, temperaturas y otras, tales como la velocidad del viento, movimientos sísmicos, choques de fluido, gradientes térmicos y número de ciclos de varias cargas.
2. Determinación del diámetro de la tubería, el cual depende fundamentalmente de las condiciones del proceso, es decir, del caudal, la velocidad y la presión del fluido.
3. Selección de los materiales de la tubería con base en corrosión, fragilización y resistencia.



4. Cálculo del espesor mínimo de pared (Schedule) para las temperaturas y presiones de diseño, de manera que la tubería sea capaz de soportar los esfuerzos tangenciales producidos por la presión del fluido.
5. Establecimiento de una configuración aceptable de soportes para el sistema de tuberías.
6. Análisis de esfuerzos por flexibilidad para verificar que los esfuerzos producidos en la tubería por los distintos tipos de carga estén dentro de los valores admisibles, a objeto de comprobar que las cargas sobre los equipos no sobrepasen los valores límites, satisfaciendo así los criterios del código a emplear.
7. Los sistemas de tuberías deben poseer la flexibilidad suficiente, de manera que la expansión térmica, así como los movimientos de soportes y equipos, no conduzcan a fallas de la tubería o de los soportes por esfuerzos excesivos o fatiga, fugas en las juntas, falla de las boquillas de los equipos conectados (recipientes a presión, bombas, turbinas.), por reacciones excesivas.
8. Las tuberías para colas, deben desplazarse lo más directa posible, deben evitarse los trazados horizontales prolongados. Los diseños deben evitar la obturación y erosión, o sea, con tamaño apropiado (diámetro óptimo) y pendiente hacia el punto bajo.
9. Los cambios de dirección e intersecciones de las tuberías a presión, deben ser hidrodinámicas, para evitar el flujo a pulsaciones. Las obstrucciones deben ser mínimas y se deben evitar componentes que provoquen grandes pérdidas de presión, tales como codos de radios cortos, cambios bruscos o reducidos.
10. Los codos de radio corto no se recomiendan en los sistemas de tuberías para pulpas, ya que se someterán a la erosión intensa y pueden además, provocar la separación de los sólidos suspendidos de los líquidos. Lo recomendable son las curvas prolongadas de aproximadamente $3 \div 5$ veces el diámetro de la tubería.
11. Se consideraron las velocidades críticas para evitar la separación de las partículas del líquido, ocasionando la sedimentación o decantación de las partículas sólidas. La pulpa debe transportarse a una velocidad mayor que la velocidad crítica.
12. Las tuberías estarán situadas entre sí, según las normas establecidas correspondientes al diámetro, tipo de conexión y protección que requiera. Los soportes también serán diseñados según normas vigentes.



13. En todo el trazado de la tubería de cola, se colocarán fuelles para absorber la dilatación.
14. La selección del material y resistencia de las tuberías se realizarán sobre la base del cálculo analítico teniendo en cuenta la agresividad del medio y el líquido a transportar, así como las condiciones de trabajo de las líneas de pulpas y los requerimientos en cuanto a la conservación de las características del fluido en cuestión.
15. La construcción y composición de todos los elementos que integran las líneas de succión de las bombas, no podrán permitir la entrada ni formación de bolsas de aire, para lo cual estas tuberías se proyectarán con una pendiente de 0.2 a 0,5 % hacia las bombas instaladas. Todas las uniones o conexiones de los tramos de estas tuberías serán herméticas y lo más cortas posibles, para lo cual se basará la variante óptima de trazado. No tendrán cambios ni inflexiones bruscas y contarán con la menor cantidad de conexiones (especialmente de bridas y codos). Delante de las bombas tendrán un tramo recto de tubo que oscile entre 2 ÷ 3 veces el diámetro del tubo en cuestión.
16. Se deberán colocar los soportes metálicos para el apoyo de las tuberías de pulpa en las columnas de las estacadas existentes No.25, 27, 73 y 74, además de la prolongación del puente de las estacadas. No.75 y 76, así como facilitar las condiciones propicias durante el diseño y construcción de los elementos de la nueva soportería para permitir que las tuberías mantengan la altura desde el nivel de base y las pendientes normativas para el fluido en cuestión, además de lograrse en los cambios de elevación y planta las inflexiones estándares durante todo el recorrido del pipe rack proyectado.
17. El trazado de las tuberías de pulpa por todo el pipe rack desde la estación de bombeo hasta el dique de colas, se diseña aplicándose la variante de pórticos apoyados o independientes a los soportes existentes de la estacada en cuestión para lo cual se valoraron las condiciones existentes de las bases de hormigón, estructuras metálicas y del terreno, considerando en cada caso en específico para la solución definitiva en el diseño.

Si el sistema de tuberías no posee suficiente flexibilidad y/o no es capaz de resistir las cargas sometidas (efectos de la gravedad) o las cargas ocasionales (sismos y vientos), se dispone de los siguientes recursos es necesario reubicar o modificar los soportes en

puntos específicos, utilizar soportes flexibles, modificar parte del recorrido de la línea en zonas específicas, entre otras.

La elección de una tubería es una actividad muy compleja que depende de los materiales de construcción, espesor de la pared del tubo, cargas y tipo de instalación.

El diseño de una tubería se basa en ciertas normas de diseños estandarizadas. Las más utilizadas son las normas conjuntas del American Estándar Institute y la American Society of Mechanical Engineers ANSI/ASME B31.1, B31.3, etc. Cada uno de estos códigos recoge la experiencia de numerosas empresas especializadas, investigadores, ingenieros de proyectos e ingenieros de campo en áreas de aplicación específicas.

1.5.1 Instalación de tuberías en el terreno

Para la instalación de tuberías en el terreno, es necesario tener en cuenta los siguientes aspectos:

- No deberán coincidir con las redes de tuberías soterradas o líneas eléctricas
- La instalación debe prever su protección contra deterioro de carácter mecánico.
- La altura desde el nivel del terreno, hasta la parte inferior de las tuberías, en los territorios libres de circulación, estará establecida por las necesidades de trabajo de reparación y mantenimiento, durante la etapa de explotación.
- La interconexión de los tramos de tuberías, será soldable, exceptuando las conexiones de las válvulas, que serán emplatilladas.
- Para el cruce de viales o carreteras, será aéreo a una altura mínima de 5 metros.
- Garantizar la distancia entre ejes de tuberías paralelas y la distancia entre apoyos.

1.6 Conclusiones parciales

En este capítulo se hizo una revisión bibliográfica del tema, se analizaron los procedimientos para elegir las bombas centrifugas, análisis del fenómeno de cavitación, características de la instalación actual la cual no dispone de las capacidades necesarias para bombear los volúmenes de pulpas estimados por la planta por lo que se decidió elaborar una variante que satisfaga las alternativas tecnológicas requeridas y cumpla con los requerimientos técnicos para el diseño de instalaciones de transporte de pulpas abrasivas.



CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS.

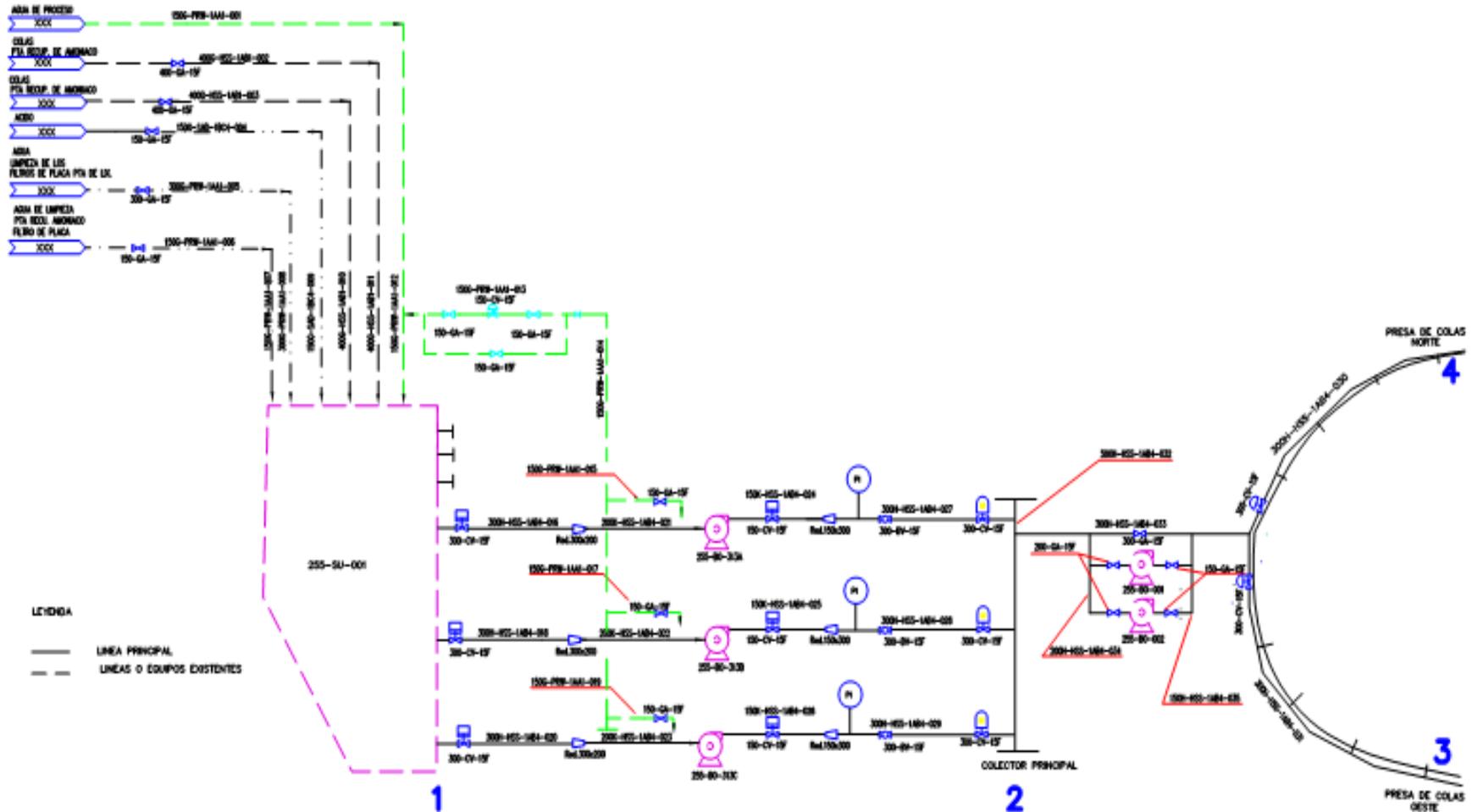
Introducción

En la realización de cualquier investigación es de vital importancia la utilización de las metodologías y métodos apropiados para lograr una mayor veracidad de los resultados esperados. Los métodos y materiales empleados en el objeto de estudio permiten detectar de forma preeliminar las diferentes características e interacciones que existen entre los múltiples elementos que están presentes en la investigación.

Definir los materiales y métodos que se utilizarán en cualquier investigación es de suma importancia pues estos definirán el cumplimiento de los objetivos trazados para dicha investigación, es necesario establecer los lineamientos a seguir para llegar a obtener los resultados del muestreo de la variable seleccionada, este capítulo tiene como objetivos:

- Realizar el diseño teórico de la investigación.
- Obtener las relaciones matemáticas fundamentales para el diseño de la red de tuberías.

2.1 Esquema de la nueva instalación



2.2 Criterios generales de diseño

Las bases fundamentales de diseño se fundamentan sobre Normas Internacionales, teniendo en cuenta determinados elementos. Como criterios generales, se han utilizado los siguientes:

- Capacidad de producción
- Producción anual y total
- Tiempo de operación (longevidad)
- Propiedades físico-mecánicas del fluido a transportar (gravedad específica, densidad seca, concentración de sólido en la pulpa, temperatura de la mezcla, granulometría de las partículas, entre otras)
- Capacidad y selección de las Bombas

2.2.1 Propiedades físico-mecánicas del fluido

La cola es un producto residual de la Planta de Lixiviación y Lavado y de color negro grisáceo, la cual se somete a destilación para recuperar el amoníaco y el CO₂ que contiene la misma. La resistencia mecánica es muy alta, lo que permite que en los diques se puedan mover libremente todo tipo de equipos sin que ocurran deslizamientos. Por su granulometría es de fácil arrastre por el viento, lo que provoca una alta contaminación en las zonas donde se deposita.

2.2.2 Selección de las bombas

Una gran parte de los gastos capitales durante el hidrotransporte lo constituyen los gastos de energía eléctrica, su economía es una de las direcciones estratégicas de la producción en la actual etapa. Una correcta selección y organización en la exploración del equipamiento de bombeo en régimen permite el ahorro de energía eléctrica y aumentar la efectividad del transporte hidráulico.

Para la selección de una bomba, lo primero que se tuvo en cuenta fue el diseño de la instalación para evitar detalles errados, presentando especial atención a la línea de

aspiración; evitando bolsas de aire, exceso de codos y malas disposiciones de estos; así como un correcto dimensionamiento de la tubería.

Seguidamente para el cálculo del sistema se tuvieron presente que los datos fueran lo más exactos en cuanto a caudales, presiones necesarias en la descarga, fluctuaciones de nivel o presión en la aspiración, recorrido geométrico de la tubería, peso específico del fluido, viscosidad, temperatura, presión de vapor y cualquier otro parámetro que pudiera influir en la determinación de la curva de carga del sistema.

Un factor importante para el funcionamiento satisfactorio de una bomba es evitar la cavitación, tanto para obtener un buen rendimiento como para evitar daños en el impulsor.

2.2.2.1 Estación de bombeo

- Las instalaciones de los grupos motobombas con mínimos problemas de funcionamiento, dependen no sólo del tipo y tamaño adecuado para el trabajo, también son esenciales las especificaciones detalladas de los accesorios auxiliares y de las condiciones de trabajo. Para lo cual han sido destinadas, así como de una vigilancia constante de los parámetros tecnológicos que caracterizan el sistema en cuestión. La explotación de las bombas requiere que el operador preste atención especial a todos los factores de funcionamiento, éstos incluyen aspectos de operación muy específicos, tales como presión, flujo y temperatura.
- El acceso hasta la estación de bombas será pavimentado. A lo largo de toda el área circundante, se preverá una capa de grava y cascajo mezclado con asfalto u otro aglutinante con una anchura no menor de un metro y una pendiente de 0,03 a 0,08%. El grupo motobombas tendrá fácil y rápido acceso estando protegida contra posibles interrupciones debido a inundaciones o incendios. La base de la estación será hecha preferiblemente de hormigón. Las bombas se montarán sobre un bastidor de acero soldado. Además de tener conectada una válvula de vástago saliente, de diafragma y una de cheque (retorno) en la tubería de impulsión en el lugar que permita la reparación de los equipos e instrumentos durante los períodos de reparaciones y mantenimiento.

- Los posibles derrames producidos en las estaciones de bombas y en el pozo de cola, se incorporarán al sistema por recirculación a través de la bomba de sumidero. Se deberán crear las condiciones en la instalación proyectada con accesos colaterales así como en la parte superior del pozo para facilitar los trabajos de limpieza de toda el área comprendida.
- El grupo motobombas será capaz de mantener toda la tubería de alimentación o descarga bajo una presión mínima de 55794.28Kg/m^2 . Además de garantizar el régimen óptimo de protección de los dispositivos, instrumentos de medición y de servicio de los fenómenos atmosféricos.
- Las características técnico-constructivas de todo el sistema de redes de tuberías tecnológicas que incluye trazados, diámetros, conexiones, entre otros, deberán satisfacer las demandas requeridas para la manipulación de los fluidos requeridos de la nueva instalación, para lo cual se ha elegido la variante óptima en cada sistema que integra la instalación proyectada.

Es de vital importancia tener en cuenta para el transporte y manejo de las colas:

1. El transporte debe ser por bombeo.
2. La velocidad de transporte debe evitar la sedimentación de las partículas y no ser muy alta para evitar desgaste de las tuberías.
3. Las velocidades de transporte estarán entre 1,1 y 4,2m/s.
4. Si las pendientes son muy altas, deben intercalarse partidores de agua.
5. Para el bombeo se utilizarán bombas centrifugas.
6. Las tuberías de impulsión de cola y recuperación de agua, deben ir en paralelo.

2.3 Variables de diseño

Para el diseño del sistema de tuberías es importante tener en cuenta elementos tales como, la selección de los materiales, espesor de pared (Schedule), de manera que la tubería sea capaz de soportar los esfuerzos tangenciales producidos por la presión del fluido. Si el espesor de la tubería es pequeño comparado con el diámetro exterior

$D(D/t > 6)$, puede suponerse que estos esfuerzos se distribuyen uniformemente a lo largo del espesor.

La selección del material y resistencia de las tuberías se realizan sobre la base del cálculo analítico teniendo en cuenta la agresividad del medio y el líquido a transportar, así como las condiciones de trabajo de las líneas de pulpas y los requerimientos en cuanto a la conservación de las características del fluido en cuestión.

Para el espesor de las tuberías es importante considerar la velocidad de corrosión que según criterios rusos, para países como Cuba, el coeficiente oscila entre 0.4 y 0.5 mm/año y según código americano, este valor es 1.58 mm x 12 años.

Otro aspecto a tener en cuenta es el análisis de esfuerzos por flexibilidad para verificar que los esfuerzos producidos en la tubería por los distintos tipos de carga estén dentro de los valores admisibles, a objeto de comprobar que las cargas sobre los equipos no sobrepasen los valores límites, satisfaciendo así los criterios del código a emplear. A medida que aumenta la presión, la temperatura disminuye, a su vez, la presión está en función del espesor de la pared y del diámetro de la tubería

Se tienen en cuenta además, otras variables que dependen de las características del terreno y de las condiciones ambientales:

- Abrasividad de las rocas
- Movimientos Sísmicos
- Trazado de la red
- Temperatura
- Presión

2.3.1 Abrasividad de las rocas

Esta variable no es de las más significativas pero hay que tenerla en cuenta para la parte de la soportería de las tuberías ya que si las características del terreno no son favorables, puede traer como consecuencia que los soportes de los “pipe rack”, se deformen y ocurrir su destrucción parcial o total.

Los ensayos de abrasión determinan la resistencia al desgaste de la roca para los diferentes tipos de suelos. Dichos ensayos incluyen el comportamiento de la roca cuando está sometida a un material abrasivo, al desgaste en contacto con metales o al producido por el contacto entre rocas. En los anexos 2 y 2.1, se muestran los diferentes dispositivos para determinar la abrasividad de las rocas.

2.3.2 Determinación de la sismicidad

La sismicidad tiene en cuenta las causas que producen los terremotos, el mecanismo por el cual se producen y propagan las ondas sísmicas y la predicción del fenómeno sísmico, dichos sismos se detectan con sismógrafos (Ver anexo 3), que registran los movimientos del suelo por donde pasan las ondas sísmicas del interior de la Tierra.

Se medirán empleando una masa suspendida por un resorte atado a un soporte acoplado al suelo, efectuando, cada 3 meses, 9 mediciones en los puntos más representativos para definir el área perimetral a estudiar con 3 réplicas cada una, las que se promediarán.

2.3.3 Análisis de la presión

La presión de diseño es considerada como la máxima diferencia de fuerza por unidad de área existente entre el interior y el exterior de un tubo, componente de tubería o entre cámaras adyacentes de una unidad. Esta presión de diseño no será menor que la presión a la condición más severa de presión y temperatura coincidentes que se espere en condición normal. La presión del fluido dentro de la tubería produce un esfuerzo tangencial o circunferencial que ocasiona un aumento en el diámetro de la tubería y un esfuerzo longitudinal que produce un aumento en la longitud de la misma.

Es medida con un manómetro (Ver anexo 4), determinando la diferencia de la presión entre el fluido y la presión atmosférica local. Se tomarán mediciones durante 3 meses cada 12 horas en la succión de la bomba.

2.3.4 Influencia de la temperatura

La temperatura influye en el tiempo de servicio de la instalación y en las propiedades del material. Esta se mide con un termómetro o termopar (Ver anexo 5) ubicado en la succión de la bomba, de tal forma que permita comprobar que el fluido a transportar llegue con los valores indicados, realizando 6 mediciones por un período de 3 meses.

La temperatura de diseño es la temperatura del metal a la condición más severa de presión y temperatura coincidentes, esperada durante operación normal. Los requisitos para determinar la temperatura del metal de diseño para tuberías son:

1. Para tuberías con aislamiento externo, la temperatura del metal para diseño será la máxima temperatura de diseño del fluido contenido.
2. Para tuberías sin aislamiento externo y sin revestimiento interno, con fluidos a temperatura mayor de 0°C, la temperatura del metal para el diseño será la máxima temperatura de diseño del fluido reducida, según los porcentajes.
3. Para tuberías aisladas internamente la temperatura será calculada usando la temperatura ambiental máxima sin viento (velocidad cero).

Las posibles cargas que se consideraron para el diseño son:

► Cargas por la presión de diseño.

Es la carga debido a la presión en la condición más severa, interna o externa a la temperatura coincidente con esa condición durante la operación normal.

► Cargas por peso.

Esto incluye el peso de las tuberías, accesorios, aislamiento, etc.

Cargas vivas impuestas por el flujo de proceso.

Efectos locales debido a las reacciones en los soportes.



► Cargas dinámicas.

Cargas por efecto del viento ejercidas sobre el sistema de tuberías expuesto al viento.

Cargas sísmicas debido a que el objeto de estudio está ubicado en un área con probabilidad de movimientos sísmicos.

Cargas por impacto u ondas de presión, tales como los efectos del golpe de ariete, caídas bruscas de presión o descarga de fluidos.

Vibraciones excesivas inducidas por pulsaciones de presión, por variaciones en las características del fluido, por resonancia causada por excitaciones de maquinarias o del viento.

2.3.5 Determinación del trazado de la red

Para el trazado de toda la red de tuberías, se utilizaron técnicas avanzadas como el método de posicionamiento global (GPS) (Ver anexo 6), que permite determinar la posición de cada objeto, con una precisión de hasta 5 centímetros, usando un GPS diferencial que transmite a los receptores, correcciones de los datos recibidos de los satélites, con el fin de proporcionar una mayor precisión en la posición calculada. Además del GPS, se utilizó la estación total SOKKIA 3010 (Anexo 6.1), que brinda la posibilidad de hacer la transformación de coordenadas de los puntos del levantamiento topográfico hacia cualquier sistema cartesiano.

Se analizarán varios trazados y se determinará la variante más económica.

2.4 Instrumentación

La instrumentación en todo sistema es vital ya que permite conocer los parámetros reales de funcionamiento en los equipos, determinar posibles anomalías y tomar acciones para corregir errores.

Se adopta un sistema de medición teniendo en cuenta los principales factores del proceso: Método, Mano de Obra, Mediciones, Materiales, Medio Ambiente y Máquina. Dentro de

ese contexto se analiza la variabilidad de los procesos y de los resultados así como también, al de sus causas.

Para el alambrado de las señales digitales desde el interruptor de nivel del pozo (electrodos) hasta el relé programable (ubicado en el CCM de las bombas) se usará un cable armado multiconductor con 6 pares apantallados individualmente calibre 16 AWG. Con esto se evita la instalación de canalizaciones para cables.

La operación de las válvulas de descarga de cada una de las bombas y entrada al colector se realizará de forma automatizada. Para ello se usará tecnología FieldBus Foundation en la variante de Bus Switch. Los actuadores de las válvulas se prevé que sean cilindros neumáticos en la descarga del sistema de bombeo y en las del colector serán eléctricas.

Se instalarán variadores de velocidad para cada una de las bombas el cual también les servirá para el arranque suave de las mismas debido a la alta potencia y su nivel de voltaje.

Debido a que las actuales bombas para el trasiego de la cola son de 45 kW y las nuevas son de 225 kW, esto aparejado a que el equipamiento eléctrico existente, de tecnología Rusa está obsoleto; se hace imposible la conexión de estas nuevas bombas a los centro de control de motores existentes, ni siquiera una de las tres nuevas bombas puede ser conectada a los CCM actuales. Por lo que se diseñará un nuevo CCM el que se alimentará desde la Pizarra general de Distribución 1TP4 de la Planta de Lixiviación.

Colocar un termopar en el pozo que permita conocer la temperatura de la cola en el interior del pozo, con valores de temperaturas entre 80 – 100°C.

Situar dos tubos de venteo en la parte superior del pozo de cola de diámetro 350 mm para evacuar los gases y vapores.

Controlador de nivel deberá estar situado en un lugar visible y accesible, así como protegido de cualquier agente externo que pudiera alterar o impedir su lectura.

Es importante señalar que todos los instrumentos instalados y a utilizar están debidamente calibrados, con sus respectivos sellos de apto para el uso.

2.5 Protección anticorrosiva de la instalación

Las instalaciones de bombeo, por estar situadas en un medio agresivo producto de la influencia de gases industriales existentes en la zona, la cercanía del mar, así como de las condiciones de agresividad ambiental típica de nuestro clima, se le debe aplicar la debida protección a todos los elementos de estructuras metálicas, soporterías y tuberías, según cromatismo industrial.

2.6 Soportería para el sistema de tuberías

Según los criterios sísmicos vistos en el epígrafe 2.3.2 del presente capítulo, para el diseño de toda la soportería de la nueva instalación, hay que tener en cuenta las acciones sísmicas con un valor del 30 % en dirección perpendicular a las estructuras, según NC 46:1999 que establece los requisitos básicos para el diseño y construcción de obras sismorresistentes ubicadas en zonas donde haya algún peligro sísmico.

2.7 Metodología de cálculo para el nuevo sistema de transporte de colas

Para el trasiego de colas desde el actual pozo de colas de la Planta de Recuperación de amoniaco, hasta la Nueva Presa de Colas es necesario analizar varios factores, dentro de los que se pueden mencionar las características de la traza, las propiedades del fluido a trasegar y las propiedades geométricas de la red de tuberías.

El diseño de un sistema de tuberías consiste en calcular y seleccionar el conjunto de platillos, tornillos, empaquetaduras, válvulas, accesorios, filtros, juntas de expansión; así como los elementos de soportería.

Para proyectar y explotar con efectividad el equipamiento de las instalaciones de hidrotransporte es necesario seleccionar correctamente el equipamiento de bombeo para las condiciones correctas de explotación, determinar y analizar el régimen de trabajo de



las bombas en correspondencia con los requerimientos exigidos considerando mínimos los gastos de energía eléctrica y determinar los indicadores técnico-económicos de trabajo.

Descripción	Altura con respecto al nivel del mar (m)
Estación de bombeo. Pozo de Colas.	24.0
Colector o distribuidor principal.	65.0
Línea Norte.	70.0
Línea Oeste	70.0

La Planta de Recuperación de Amoniaco tiene la función de recuperar el NH_3 y CO_2 tanto en los licores como en las colas recibidas de la Planta de Lixiviación y Lavado, obteniéndose al mismo tiempo la cola como desecho, la cual es enviada al pozo de colas (255-SU-1) actual, del cual se interconectarán las líneas de entrega de colas que consisten en un sistema de tuberías de acero soldadas (3 líneas) que saldrán del pozo de de colas existente (255-SU-312) a través de un sistema de bombeo nuevo (3 montadas y una de reserva) a una elevación de 24 m que se soportarán en el pipe rack hacia el lugar donde estarán conectadas las tuberías (control de flujo ó colector principal) a una elevación de 65 m.

Dos líneas de distribución (norte y oeste) se incluyen para maximizar la capacidad de almacenaje y controlar el lugar de la presa de agua flotante. Una línea norte será de acero de 300 mm de diámetro que saldrá del colector de control de flujo a la cortina Este. La longitud final de esta línea será aproximadamente de 800 m. La línea Oeste consistirá en una línea de acero que saldrá también del colector de control hacia la cortina Este de la presa de desviación. La longitud final de esta línea será aproximadamente 2500 m.

2.7.1 Cálculo y selección del diámetro de la tubería

La determinación del diámetro de la tubería depende fundamentalmente de las condiciones del proceso, es decir, del caudal, la velocidad y la presión del fluido. Al seleccionar una tubería de poco diámetro, aumentan considerablemente las pérdidas de carga y por tanto, la altura manométrica y el costo del grupo motobomba.

El diámetro de la tubería (Pérez Franco 1983), lo podemos definir como:

$$Q = A \times V \quad (2.1)$$

$$A = \frac{\pi \times d^2}{4} \quad (2.2)$$

$$A = \frac{\pi \times d^2}{4} \times V \quad (2.3)$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \times Q}{\pi \times V}} \quad (2.4)$$

Con:

A- área de la tubería (m)

d- diámetro de la tubería (m)

Q- flujo (m³/s)

V- velocidad del fluido (m/s)

2.7.2 Cálculo del espesor de la tubería

El mínimo espesor de pared para cualquier tubo sometido a presión interna o externa es una función del esfuerzo permisible para el material del tubo, la presión de diseño, el diámetro del tubo y el coeficiente de corrosión y/o erosión.

Además, el espesor de pared de un tubo sometido a presión externa es una función de la longitud del tubo, pues ésta influye en la resistencia al colapso del tubo. El mínimo espesor de pared de cualquier tubo debe incluir la tolerancia apropiada de fabricación.

El cálculo del espesor de la tubería (Álvarez 2003), se define como:

$$t = \frac{P \times D \times 10^{-3}}{2 \times S \times F \times E} + coef ; \text{ mm} \quad (2.5)$$

En el que:



P- presión (Kg/m²)

S- esfuerzo mínimo (Kg/m²)

F-factor de diseño (0.72 ó menor)

E-factor de longitud de soldadura (0.85 – 1.0)

D- diámetro de la tubería (m)

Coef- coeficiente de corrosión (0.001651 – 0.003175) m

2.7.3 Cálculo de las pérdidas de carga por fricción

Las pérdidas de carga por fricción, se definen como las pérdidas de energía del fluido por el roce entre moléculas de agua y con las paredes de la tubería. Están relacionadas con las pérdidas por fricción, la velocidad media, aceleración de la gravedad, longitud y diámetro de la tubería.

Según Darcy y Weibasch (1850), se determina por:

$$h_f = f \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g} \quad ; \text{ m} \quad (2.6)$$

Donde:

hf- pérdidas de carga (m)

f- factor de fricción

L- longitud de la tubería (m)

D- diámetro interior de la tubería (m)

V- velocidad media (m/s)

g- aceleración de la gravedad (m/s²)

La carga dinámica total, se determina por:

$$TDH = hf + \Delta H \quad (2.7)$$

Siendo:

ΔH - Diferencia de nivel entre la salida del tanque y la bomba; (m)

Hf- pérdidas de carga por fricción.; (m)

2.7.4 Cálculo de la caída de presión

Se determinó la caída de presión producida entre dos puntos, dependiendo de la altura geodésica de ubicación de la estación de bombeo y del colector así como de las pérdidas por fricción.

$$\Delta P = [(H_{g2} - H_{g1}) + h_f] \quad ; \text{ m} \quad (2.8)$$

Para lo que:

Hg₁- altura geodésica de ubicación de la estación de bombeo (m)

Hg₂- altura geodésica de ubicación del colector (m)

hf- pérdidas por fricción (m)

2.7.5 Cálculo de la velocidad de la hidromezcla

La velocidad de la hidromezcla depende de parámetros como el diámetro de la tubería y el volumen de la pulpa.

$$V_H = \frac{Q + 1273}{d^2} \quad ; \text{ m/seg} \quad (2.9)$$

Con:

d- diámetro de la tubería (m)

Q- volumen de la pulpa (m/seg)

2.7.6 Cálculo de la velocidad crítica.

La velocidad crítica relaciona el punto de equilibrio entre la velocidad de sedimentación y la velocidad de transportación, esta tiene en cuenta las propiedades del fluido a transportar, las características geométricas de la tubería y la aceleración de la gravedad.

Según Álvarez (2003) se determina:

$$V_C = FL\sqrt{2 \times g \times D_i(\rho - \rho_l)} / \rho_l \quad ; \text{ m/seg} \quad (2.10)$$

Es necesario determinar, la concentración de la pulpa por volumen:

$$C_v = \frac{\rho_p - \rho_{agua}}{\rho_s - \rho_{agua}} ; \% \quad (2.11)$$

Siendo:

Di- diámetro interior (m)

ρ_{agua} - densidad del agua (Kg/m³)

ρ_p - densidad de la pulpa (Kg/m³)

ρ_s - densidad del sólido (Kg/m³)

Fi- es un coeficiente que tiene en cuenta la concentración de la pulpa por volumen, se toma del Slurry Pumping Handbook (2000) para un $C_v = 20\%$ y promedio de diámetro de partículas de sólido $d_p=147\mu\text{m}$ (Según trabajo realizado por el ISMMM).

Vc- velocidad crítica (m/s)

g- aceleración de la gravedad (m/s²)

2.7.7 Altura neta positiva

La carga neta positiva de succión (NPSH) es el término utilizado para describir las características de cavitación de la bomba. Está relacionada con la presión de vapor, la presión y pérdida de carga en la línea de aspiración, así como de la altura geométrica y gravedad específica del fluido a bombear.

$$NPSH = \frac{P_a}{\gamma} - H_a - P_{ca} - \frac{P_v}{\gamma} \quad (2.12)$$

Donde:

γ - es la gravedad específica del líquido (adimensional)

P_a - es la presión en el nivel de aspiración, en Kg/m²

H_a - es la altura geométrica de aspiración en metros

P_{ca} - es la pérdida de carga en la línea de aspiración, en metros

P_v - es la presión de vapor del líquido a la temperatura de bombeo, en Kg/m²

2.7.8 Cálculo de la dilatación térmica de la tubería

La dilatación térmica está relacionada con el alargamiento de la tubería motivado por la variación de temperatura.

$$\Delta L = K \times \Delta t \times L \quad (2.13)$$

Δt - Diferencia de temperatura (ambiente y la temperatura de transportación del fluido; °C)

L= longitud entre apoyos fijos de tubería (mm)

$K=12.7 \times 10^{-6}$

2.7.9 Determinación de la Potencia Necesaria

La potencia necesaria es la cantidad de trabajo que realiza una bomba en una unidad de tiempo determinado. Está relacionada con el flujo, altura dinámica, gravedad y rendimiento de la bomba que para los efectos del cálculo teórico, se estima en 60 %.

$$P = \frac{Q \times H}{3960 \eta} \times \rho \quad (2.14)$$

Donde:

Q- flujo volumétrico (m³/h)

H- altura dinámica total (m)

η - rendimiento ó eficiencia

ρ - Gravedad específica

2.8 Conclusiones parciales

En este capítulo se realizó el diseño teórico de la investigación definiendo los materiales y métodos a utilizar, se analizaron los criterios de diseño basado en Normas Internacionales y se obtuvieron las relaciones matemáticas fundamentales para el diseño de la red de tuberías desde el pozo de colas de la Planta de Recuperación de Amoníaco hasta el Nuevo Depósito de Colas.

CAPITULO III: VALORACION DE LOS RESULTADOS

INTRODUCCION

Con las metodologías y métodos empleados en el capítulo II, se ha logrado detectar las diferentes características e interacciones que existen entre los múltiples elementos que están presentes en la investigación.

En este capítulo se muestran los resultados obtenidos de las ecuaciones desarrolladas que han permitido proyectar un sistema de bombeo de colas desde la Planta de Recuperación de Amoniaco hasta el nuevo depósito, desarrollando además una documentación técnica que avala las soluciones constructivas utilizando las normas internacionales y las experiencias acumuladas en la ejecución de otros proyectos similares en sistemas de transporte de fluidos en tuberías y evaluando criterios tecnológicos de la instalación que permitieron definir la mejor variante de diseño para el trazado, interconexión y montaje del equipamiento y redes de tuberías.

El objetivo de este capítulo de forma concreta, es mostrar los resultados obtenidos para esta investigación, los métodos empleados para el análisis experimental, comportamiento de las variables de diseño, selección de bombas y sistemas de tuberías, así como la valoración económica y medioambiental para la nueva instalación.

3.1 Análisis de la Abrasividad de las Rocas

Usando alrededor de 60 muestras de diferentes orígenes, los estudios demostraron una cierta correlación entre ambos tipos de índices de abrasividad (ver fig. 3.1).

Un análisis de los resultados según ensayo de abrasividad Cerchar (CAI), demostró que el punto de índice CAI es aproximadamente equivalente a 300g/t del coeficiente LCPC.

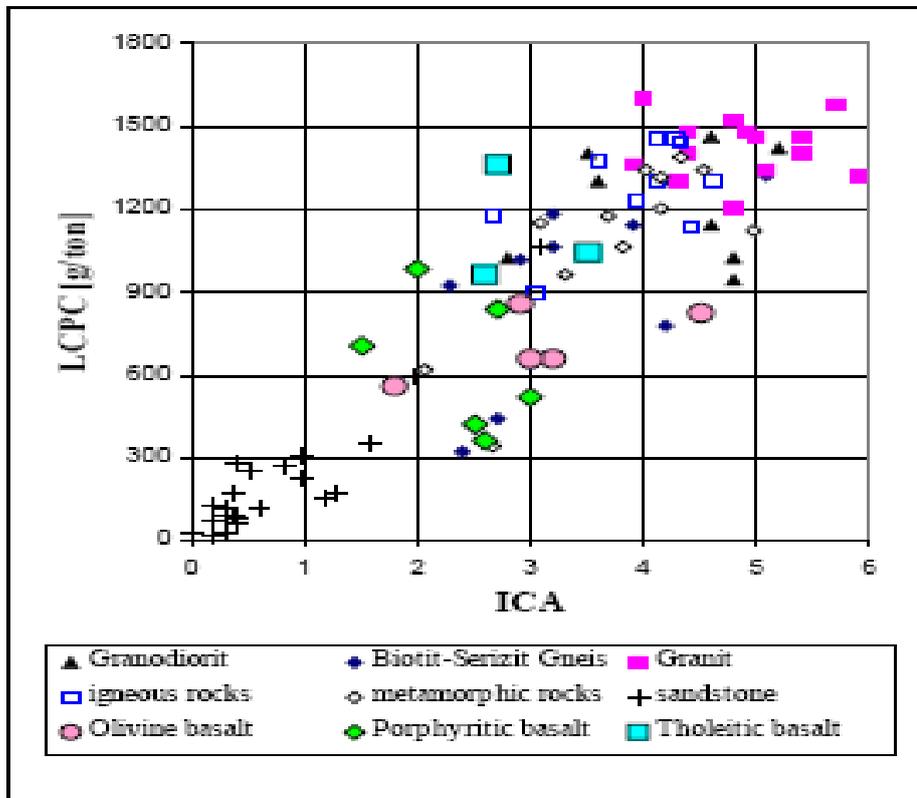


Fig. 3.1 Correlación entre los índices de abrasividad CAI y LCPC.

Esto indica que existe una correlación entre el esfuerzo de compresión y el módulo de deformación para los diferentes tipos de rocas que predominan en el sitio. Para ello se midieron parámetros como el esfuerzo de tensión uniaxial, cantidad de agua contenida, abrasión y humedad, obteniéndose como resultado que las rocas y suelo en general tienen un índice de abrasión moderado, lo que implica que las condiciones del terreno son favorables.

3.1.2 Comportamiento de la sismicidad en el área

Los registros sísmicos de un área con un radio de 300km alrededor del sitio, han sido evaluados y los datos se obtuvieron del Sistema Sismológico de Información de Knight Piesold Ltd. Se llevó a cabo un análisis probabilístico que indicó que la magnitud máxima para que ocurra un sismo dentro del área, es aproximadamente de 8 grados y la aceleración pico correspondiente es 0.17 g. La tabla 1 del Anexo 7, muestra los criterios de los sismos para el diseño.

Los registros de sismicidad, indican para la región existe un nivel moderado de sismicidad. La mayor parte de los eventos sísmicos, se asocian con un límite de placa que corre en dirección este-oeste que se extiende desde el norte de Honduras, Jamaica y el sur de Cuba. Desde 1900 se han registrado dos eventos de magnitud 6.7 dentro de los 300 km del sitio del proyecto. En la figura 3.2 se muestra la distribución espacial de los casos de sismos desde 1914 hasta mediados de 2007.

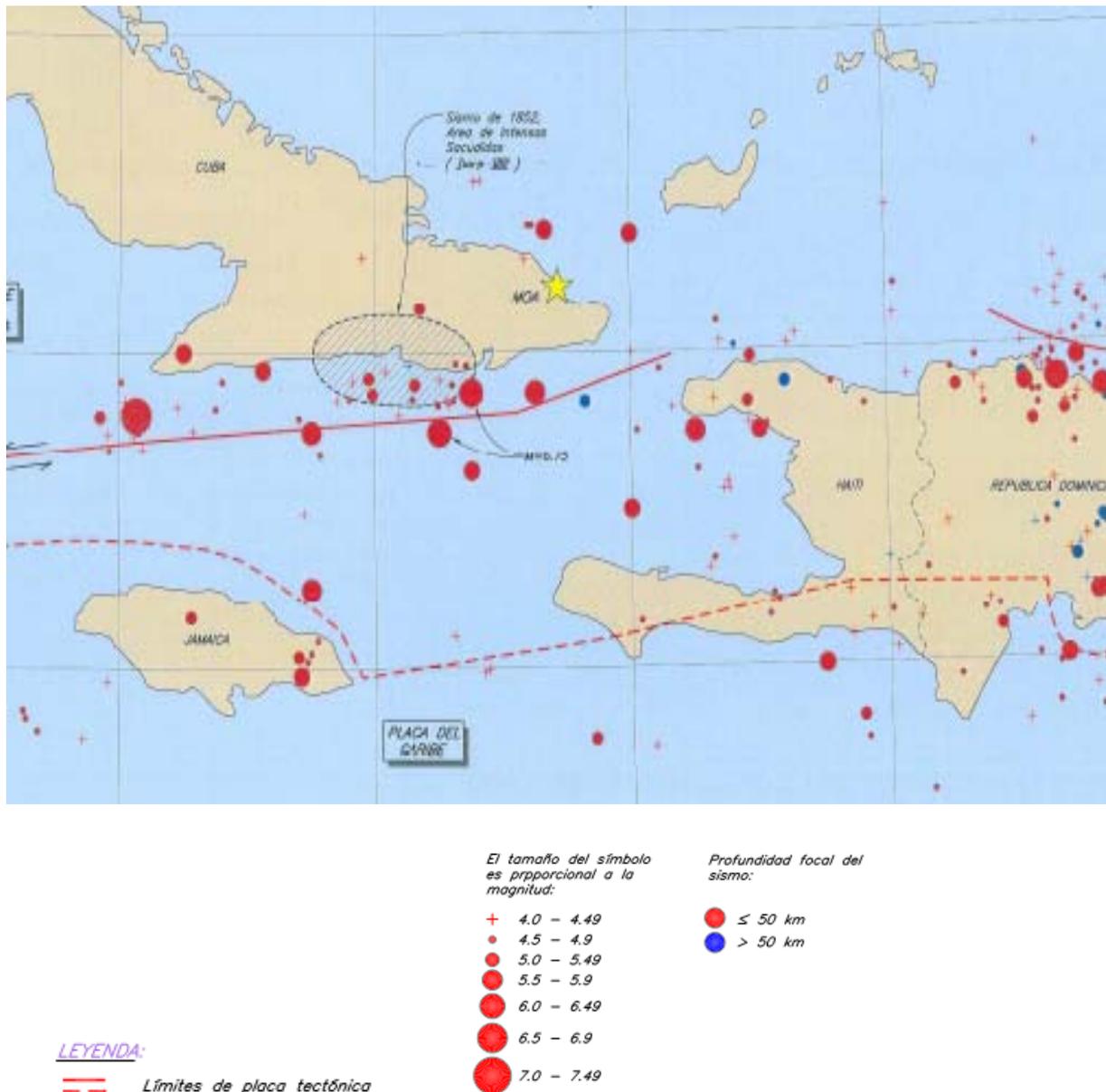


Fig. 3.2 Distribución espacial de los casos de sismos

3.1.3 Influencia de la temperatura en el sistema

Las temperaturas registradas por la estación meteorológica de la Empresa Ernesto Che Guevara muestran una tendencia al incremento a partir del mes de junio y hasta octubre, observándose que los meses más cálidos son agosto y septiembre, los que alcanzan valores de hasta 35°C (Sablón 2008). En la figura 3.3 se muestran los valores de la media mensual (2003-2007).

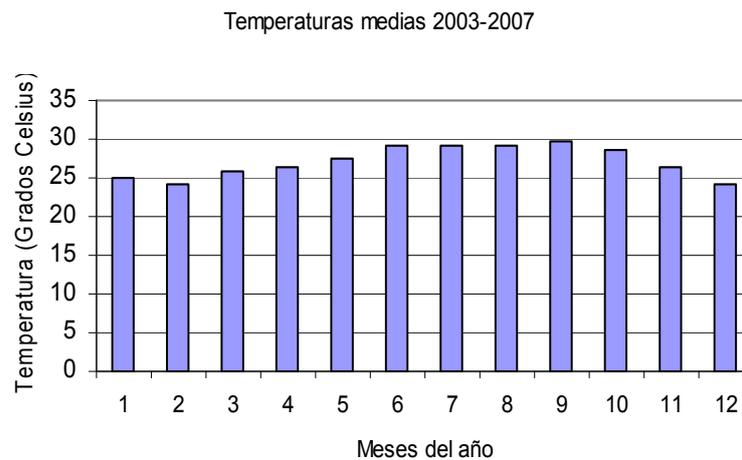


Figura 3.3 Temperaturas medias en la ECG (cortesía Sablón 2008)

La temperatura influye en las características mecánicas del material. Al aumentar la temperatura se restablecen las propiedades plásticas del acero, mientras que las propiedades de resistencia disminuyen. En la figura 3.3.1 se muestra la curva del material ASTM A106 con tensión límite de fluencia igual a 25 kg/mm², tensión límite de resistencia 42 kg/mm² y alargamiento de 18% (ver anexos 8 y 8.1). Como resultado vemos que para el límite de fluencia y el rango de temperatura utilizada para el cálculo, la curva varía poco, los valores de resistencia del material disminuyen para temperaturas altas.

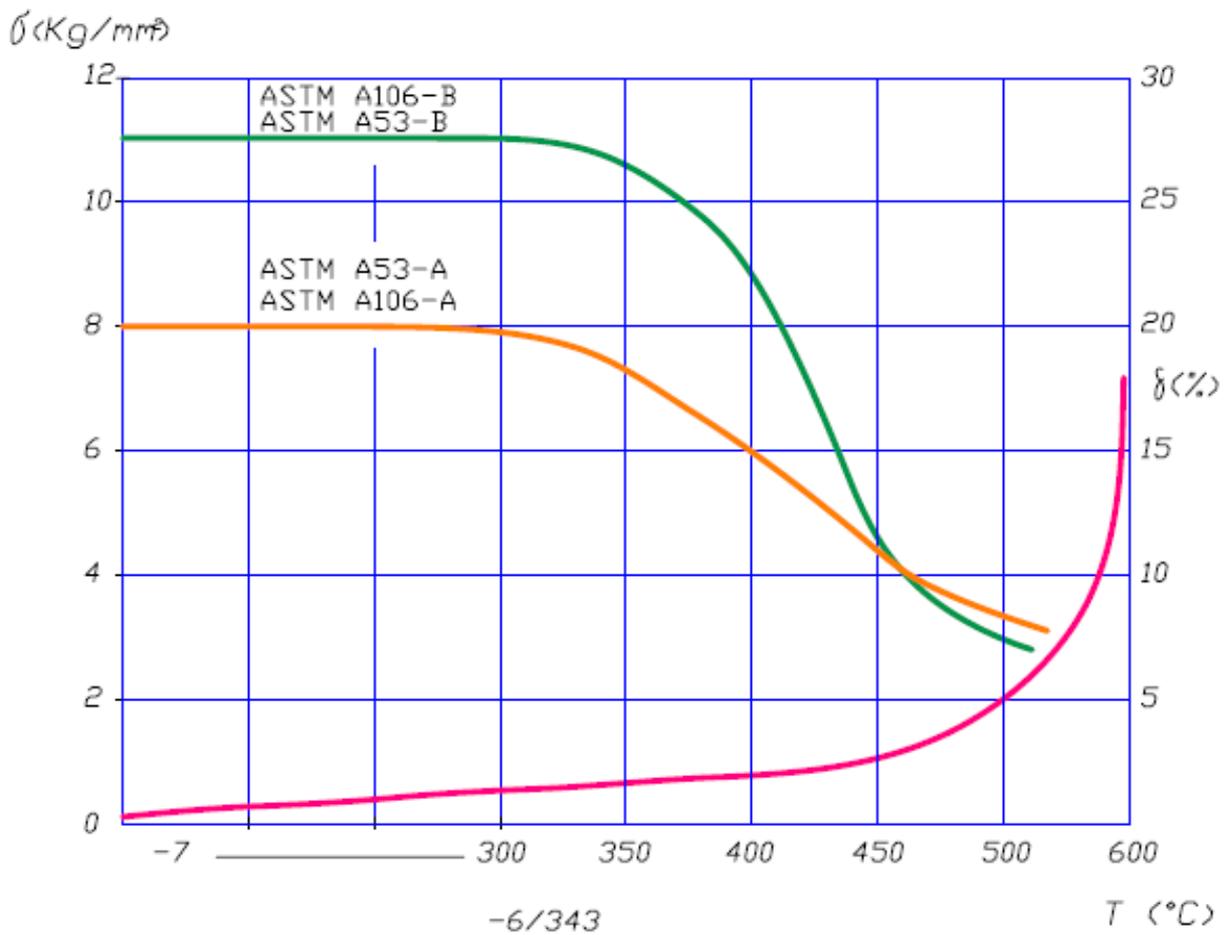


Fig. 3.3.1 Relación Temperatura – propiedades de los aceros

3.2 Mantenimiento y eficiencia de la instalación

Una de las principales deficiencias evidenciadas en la Planta de Recuperación de Amoníaco de la Fábrica Ernesto Che Guevara es los altos costos de mantenimiento generado por el alto consumo de piezas de bombas, donde se originan fallos provocados por el fenómeno de la Cavitación y las vibraciones producidas por estas.

Teniendo en cuenta las bases de datos recogidas en el alcance de este trabajo y mediciones realizadas durante un periodo de 11 meses, se pudo determinar que las fallas y



averías de los Sistemas de Bombeo de la Planta de Recuperación de Amoniaco se caracterizan por lo siguiente.

El 39,2 % de las fallas ocurren en impulsores.

El 27,1 % en rodamientos

El 13,2 % en voluta.

El 17,6 % en eje

Ver fig. 3.4, diagrama de pareto.

Aparejado a estos fallos, detectaron algunos problemas en la calidad de la información lo que constituye una deficiencia en el sistema de mantenimiento, no se codifican las fallas que ocurren en los sistemas de bombeo ni se registran las causas como fuente para actuar en el mejoramiento del Sistema de Mantenimiento y en poder evaluar adecuadamente si el equipamiento es idóneo o no para estas instalaciones.

Los datos fueron tomados de la data histórica de fallas y averías del año 2007 (anexo 10) Se realizaron entrevistas al personal de mantenimiento y operación de la planta para ampliar el contenido del registro existente y poder conocer mejor el alcance y magnitud de las fallas y averías de los sistemas de bombeo, fundamentalmente las bombas.

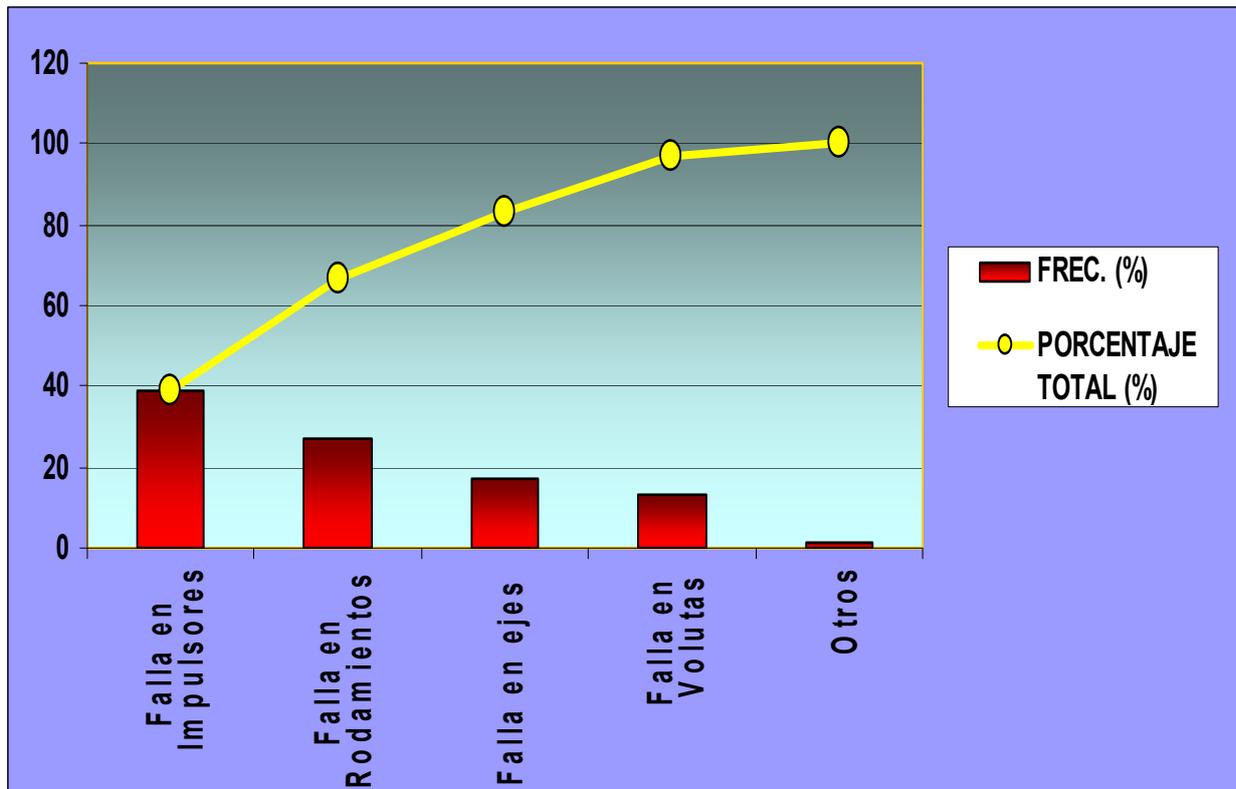


Fig.3.4 Diagrama de Pareto

3.3 Diseño del sistema de tuberías

3.3.1 Cálculo del diámetro de la tubería

Se calculó el diámetro de la tubería en el tramo comprendido entre el pozo de colas actual, hasta la Nueva Presa, para ello se empleó la ecuación 2.4, para un caudal de $Q = 0.126 \text{ m}^3/\text{s}$ y una velocidad de $V = 1.98 \text{ m/s}$,

Sustituyendo se obtiene:

$$d = 0,3\text{m}$$

Se selecciona una tubería de diámetro nominal igual 300mm

Este valor cumple con los requisitos de velocidad crítica de aproximadamente 1.96 m/s (ver Fig. 3.5); si se selecciona un diámetro menor, la velocidad crítica aumentaría por encima de 2.5 m/s lo que puede ser muy peligroso teniendo en cuenta que la pulpa es muy abrasiva e incrementa las pérdidas por fricción; si se toma un diámetro mayor de 0.3m, la velocidad

crítica estaría por encima de la velocidad del fluido y entonces las colas se sedimentarían y pueden obstruir las líneas.

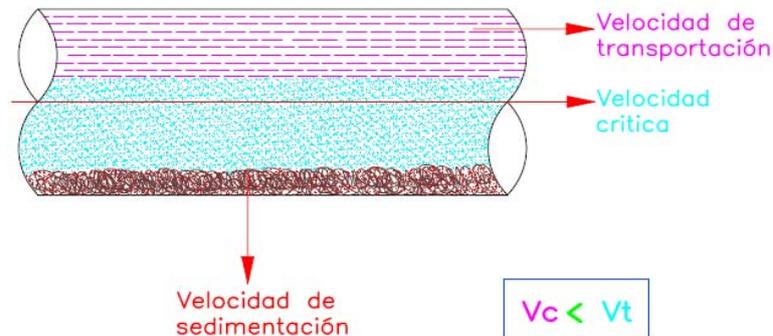


Fig.3.5 Correlación entre Velocidad Crítica y Velocidad de Transportación.

3.3.2 Cálculo del espesor de la tubería

Se calculó el espesor de la tubería de 300mm en el tramo comprendido entre el pozo de colas actual, hasta la Nueva Presa, según ecuación 2.5, para diámetro nominal $D=0.3\text{m}$, presión $P=163154.56\text{ Kg/m}^2$, esfuerzo mínimo $S=2.44 \times 10^7\text{ Kg/m}^2$, factor de diseño, $F=0.72$, factor de longitud de soldadura $E= 1.0$ y el coeficiente de corrosión que oscila en un rango de 1.65 hasta 3.175 mm.

Sustituyendo, se obtiene para la tubería de 0.3 m de diámetro, un espesor de 14 mm.

3.3.3 Cálculo de las pérdidas de carga por fricción

Se determinaron las pérdidas de carga por fricción mediante la ecuación 2.6, desde Estación de Bombeo hasta Colector Principal (Tramo 1 – 2) con velocidad $V= 1.98\text{ m/s}$, longitud $L= 1400\text{ m}$, gravedad $g= 9.81\text{ m/s}$, diámetro $D= 0.3\text{ m}$.

$f=$ se determina en función del diagrama de Moody usando el número de Reynold

Con $Re=12.400$ y $D=0.3\text{ m}$, $f= 0.03$

Entonces obtenemos $h_{f1-2}= 27.9\text{ m}$

Desde Colector Principal hasta la Presa de Colas Zona Oeste (Tramo 2 – 3), las pérdidas de carga por fricción para $L=2500\text{ m}$ serán $h_{f2-3}= 50\text{ m}$ y para el tramo 2 - 4 desde el Colector Principal hasta la Presa de Colas Zona Norte con $L=800\text{ m}$, $h_{f2-4}= 15.98\text{ m}$.

3.3.4 Cálculo de la caída de presión

Se determinó la caída de presión desde Estación de Bombeo hasta Colector Principal (Tramo 1 – 2) usando la ecuación 2.8 con altura geodésica de ubicación de la estación de bombeo $H_{g1} = 24$ m, altura geodésica de ubicación del colector $H_{g2} = 65$ m y las pérdidas por fricción $h_f = 27.9$ m, obteniendo $\Delta_{p1-2} = 68.9$ m

La caída de presión desde Colector Principal hasta la Zona Oeste de la Presa (Tramo 2 – 3) para $H_{g1} = 65$ m, $H_{g2} = 35$ m y $h_f = 50$ m es $\Delta_{p2-3} = 20$ m

Desde el Colector Principal hasta la Zona Norte de la Presa (Tramo 2 – 4), la caída de presión con $H_{g1} = 65$ m, $H_{g2} = 35$ m y $h_f = 15.98$ m es $\Delta_{p2-4} = -14$ m

Sumando las caídas de presión en los tres tramos, obtenemos la caída de presión total

$$H_T = \Delta P_{1-2} + \Delta P_{2-3} + \Delta P_{2-4}$$

$$H_T = 75\text{m}$$

3.3.5 Cálculo de la velocidad de la hidromezcla

Mediante la ecuación 2.9 con caudal $Q = 485$ m³/h, diámetro $d = 0.3$ m y la aceleración de la gravedad, obtenemos la velocidad de la hidromezcla $V_H = 1.98$ m/s

3.3.6 Cálculo de la velocidad crítica

Se calculó la velocidad crítica cumpliéndose la ecuación 2.10 para diámetro interior de la tubería $D_i = 0.295$ m, densidad del agua 1000 Kg/m³, densidad de la pulpa $\rho_p = 1630$ Kg/m³ y el coeficiente $FL = 1.03$ obtenido por la figura anexo 9, usando $c_v = 20$ % según ecuación 2.11 y tamaño promedio de las partículas sólidas $d_p = 0.147$ mm (tomado del trabajo realizado en el ISMMM).

Finalmente se obtiene el valor de la velocidad crítica $V_c = 1.95$ m/s.

Esta velocidad es menor que la velocidad dada para la tubería de diámetro 0.3 m (1.98 m/s).

3.3.7 Cálculo de la Altura Neta Positiva

La altura neta positiva se calculó empleando la ecuación 2.12 con valores de presión $P_a = 88.71$ m, altura geométrica de aspiración $H_a = 3$ m, la presión de vapor del líquido $P_v = 52.48$ m este valor se encuentra tabulado (Pérez Franco 1983), la gravedad específica del líquido $\gamma = 1.52$ y la pérdida de carga en la línea de aspiración.

Para determinar las pérdidas de carga en la línea de aspiración P_{ca} , se buscaron las pérdidas en los accesorios;

1 Válvula de Cuña Dn 200 = 1.64 m

1 Reducido Concéntrico Dn 300x200 = 4.26 m

Total = 5.9 m

$$L_{eq} = L_{tubo} + L_{eq.acce}$$

Entonces se obtuvo la longitud equivalente para $L_{tubo} = 5.4$ m y $L_{eq.acce} = 5.9$ m

$$L_{eq} = 11.30 \text{ m}$$

La carga dinámica total es $TDH = hf + \Delta H = 41$ m

$$TDH_{bomba} = 88.71 \text{ m} \quad TDH_{calc.} < TDH_{bomba}$$

El coeficiente de fricción es $h_f = 0.65$ m+ pérdidas en los accesorios 5.9 m= 6.55 m (0.62 atm)

Entonces obtenemos NPSHD

$$\text{NPSHD} = 14.28$$

$$\text{NPSHD} > \text{NPSHR}$$

La curva de la bomba se indica en la figura 3.6.

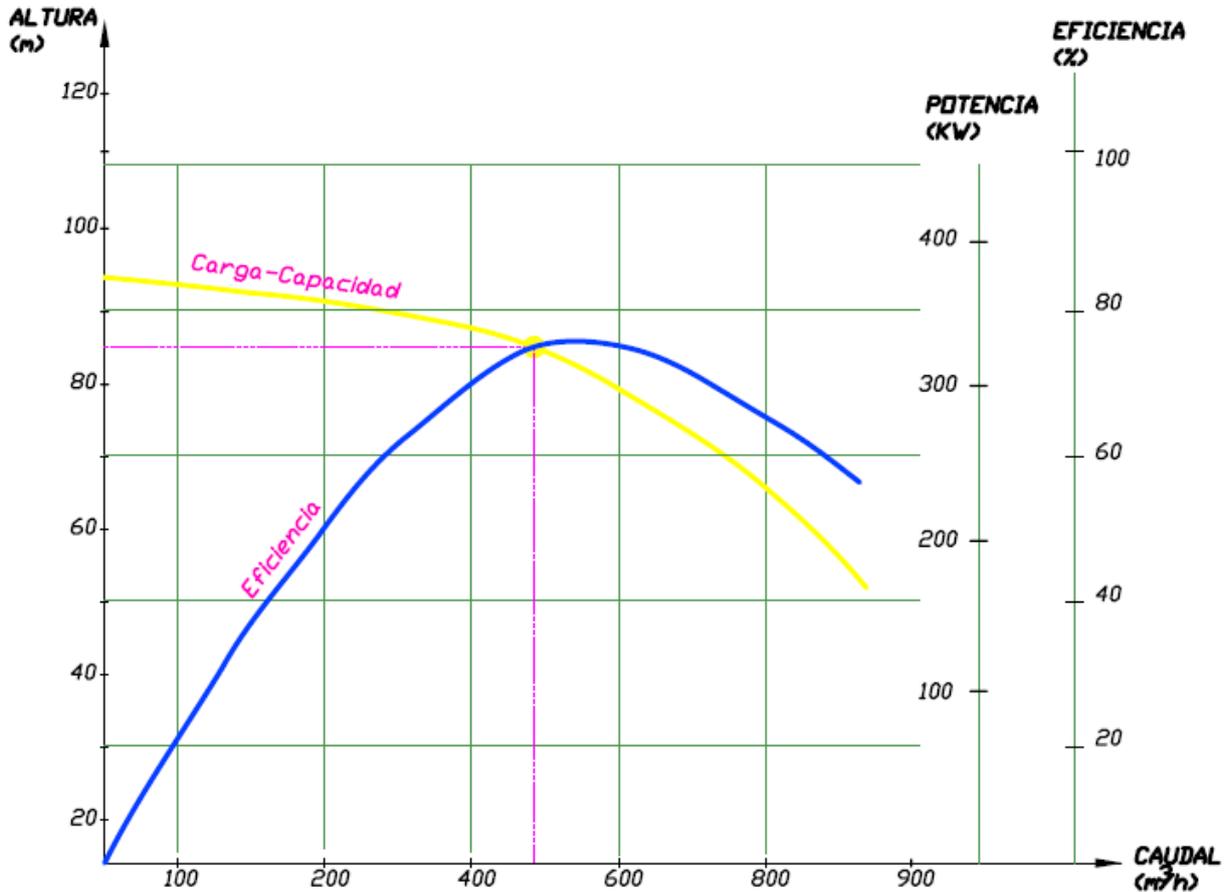


Fig.3.6 Curva característica de la bomba

3.3.8 Cálculo de la dilatación térmica de la tubería

Mediante la ecuación 2.13 se calculó la dilatación térmica de la tubería para una diferencia de temperatura $\Delta t=75\text{ }^{\circ}\text{C}$, longitud entre apoyos fijos de tubería $L=1\text{ m}$ y la constante K que varía según el material, para el acero al carbono $K=12.7 \times 10^{-6}$

Sustituyendo se obtiene $\Delta l= 0.889\text{ mm/m}$.

Según el diámetro y la temperatura de la tubería, seleccionamos una longitud entre expansiones de 150 m, para ello, $150\text{ m} \times 0.889\text{ mm/m}=133.35\text{ mm}$, entonces el compensador tipo fuele recomendado para este caso es el tipo AFC 99 409 212 53 que para este diámetro, adsorbe dilataciones de 92 mm, por tanto: $92\text{ mm}/0.889\text{ mm/m}=103.48\text{ m}$, lo que demuestra que el fuele seleccionado es el correcto.



3.3.9 Cálculo de la potencia necesaria

Mediante la ecuación 2.14 se calculó la potencia necesaria para un flujo volumétrico $Q=485 \text{ m}^3/\text{h}$, altura dinámica total $H=68.9 \text{ m}$, gravedad específica $\rho=1.6$ y eficiencia $\eta=0.6$ Obteniendo $P=186 \text{ Kw}$

Los resultados de los cálculos realizados se encuentran tabulados en el anexo 11.

3.4 Características del equipamiento

► Bombas Centrifugas Horizontales para Colas

Conducen la cola desde el pozo de colas actual ubicado en la Planta de Recuperación de Amoniaco, hasta el nuevo depósito de colas.

Código: 255-BO-313 A/B/C

Características del fluido; Es una pulpa bastante corrosiva por el alto % de Fe que contiene. (Es una mezcla de FeO_2 , serpentina, cromo y cuarzo).

Se selecciona de la marca TOYO,

Modelo DBH 200/150 HHHM, ver en anexos 12 y 12.1, las características de la bomba.

► Colector control de flujo

Tiene la función de poder recibir las colas de cualquier línea que esté trabajando, para luego distribuirla hacia las líneas Norte y Oeste.

Diámetro 0.5 m

Largo 6.0 m

Material de construcción: acero inoxidable ASTM A 310

3.5 Especificaciones técnicas de las tuberías

Las especificaciones de tuberías están en correspondencia con el fluido a transportar, material y espesor de la tubería, así como las temperaturas y presiones de trabajo.

Las especificaciones de tuberías, accesorios y materiales están establecidas según las normas ANSI y ASTM.

- Tubería para colas desde la succión del pozo de colas hasta línea 200K-HSS-1AB4-021, 022,023.

Código 300H-HSS-1AB4-016/018/020

Longitud lineal de tubería 3.0 m

Temperatura máxima 100 °C

Presión máxima 0.5 Kgf./cm²

Flujo máximo 485 m³/h

Densidad 1630 Kg/m³

Material Acero al carbono A106-B

- Tubería para colas desde la línea 300G-HSS-1AB4-016, 017, 018 hasta la succión de las bombas 255-BO-313.A., 313B, 313C.

Código 200K-HSS-1AB4-021,022,023

Longitud lineal de tubería 15.0 m

Temperatura máxima 100 °C

Presión máxima 0.5 Kgf./cm²

Flujo máximo 485 m³/h

Densidad 1630 Kg/m³

Material Acero al carbono A106-B

- Tubería para colas desde la descarga de la bomba 255-BO-313A, 313B, 313C hasta la línea 300G-HSS-1AB4-027, 028,029.

Código 150K-HSS-1AB4-024, 025, 026

Longitud lineal de tubería 15.0 m

Temperatura máxima 100 °C

Presión máxima 9.0 Kgf./cm²



Flujo máximo 485 m³/h

Densidad 1630 Kg/m³

Material Acero al carbono A106-B

- Tubería para colas desde la línea 300G-HSS-1AB4-027, 028,029 hasta el colector de control de flujo.

Código 300H-HSS-1AB4-027,028,029

Longitud lineal de tubería 1400 m

Temperatura máxima 100 °C

Presión máxima 9.0 Kgf./cm²

Flujo máximo 485 m³/h

Densidad 1630 Kg/m³

Material Acero al carbono A106-B

- Tubería para colas desde el colector de control de flujo, hasta la línea 300G-HSS-1AB4-030 ubicada en la zona Norte.

Código 300H-HSS-1AB4-030

Longitud lineal de tubería 800 m

Temperatura máxima 100 °C

Presión máxima 5.2 Kgf./cm²

Flujo máximo 485 m³/h

Densidad 1630 Kg/m³

Material Acero al carbono A106

- Tubería para colas desde el colector de control de flujo, hasta la línea 300G-HSS-1AB4-031 ubicada en la zona Oeste.

Código 300H-HSS-1AB4-031

Longitud lineal de tubería 2500 m

Temperatura máxima 100 °C

Presión máxima 5.0 Kgf./cm²

Flujo máximo 485 m³/h

Densidad 1630 Kg/m³

Material Acero al carbono A106

3.6 Protección anticorrosiva

El sistema de protección anticorrosivo propuesto consiste en un recubrimiento basado en pintura que posee alta resistencia a la humedad, buena adherencia y resistencia a la corrosión.

Las tuberías aéreas, puentes de tuberías, bastidores para bombas, estructuras metálicas, soportería, plataformas, deben cumplir el método de decapado manual o mecanizado mediante cepillos de aceros o sand blasting, después proceder a utilizar un primario anticorrosivo 3R-1 resistente al ataque de agentes atmosféricos y al medio de trabajo, y finalmente aplicar dos manos de esmalte ferro protector.

Se le aplicará pintura Devox 81 como acabado.

3.7 Trazado de la red

Después de analizar los posibles trazados, se determinó la variante más económica con posibilidades de ampliaciones futuras, accesibilidad para el mantenimiento, facilidad de operación y aprovechamiento de soportes existentes, lo que reduce el costo de soportería.

El trazado para el sistema de bombeo y tuberías, se muestra en la figura 3.6

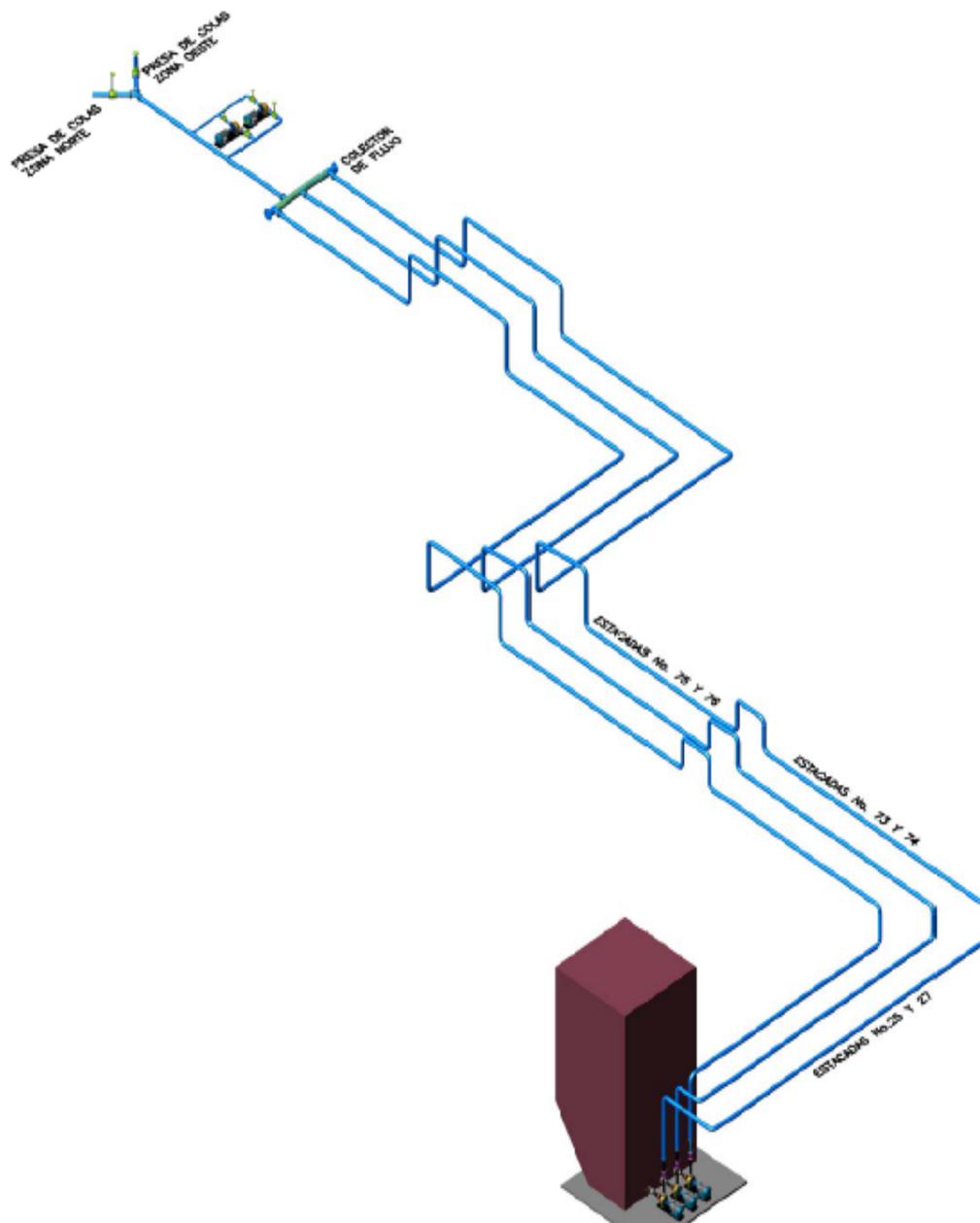


Fig. 3.6 Esquema nueva instalación



3.8 Valoración Medioambiental

La Empresa “Cdte. Ernesto Che Guevara” está enfrascada en un proceso de modernización de todas sus áreas, con vistas de lograr un incremento de la eficiencia metalúrgica del níquel y el cobalto y una disminución de los costos de operación para hacerse más competitiva con respecto a otras plantas similares en el mundo.

En los últimos años el impacto del medio ambiente a nivel mundial ha despertado una mayor conciencia ecológica y el sentir de la necesidad imperiosa de preservar la naturaleza. La instalación estudiada no esta ajena a los programas actuales de cuidado del medio ambiente es por ello que se tiene como objetivo principal en este capítulo, la valoración económica para un correcto funcionamiento y el impacto medio ambiental de la nueva instalación.

La planta de níquel de Punta Gorda “Comandante Ernesto Che Guevara”, durante más de varios años de explotación ha producido un gran impacto negativo sobre el medio ambiente. Esta es una de las razones por las que para llevar a cabo este trabajo, se ha tenido en cuenta el cumplimiento a leyes y regulaciones medioambientales como es el caso de la Ley 0033-981, ver anexo 13.

La ley 81 del medio ambiente, establece los principios que rigen la política ambiental y las normas básicas para regular la gestión ambiental del estado y las acciones de los ciudadanos y la sociedad en general, a fin de proteger el ambiente y contribuir a alcanzar los objetivos del desarrollo sostenible del país.

Debido a problemas tecnológicos, y a un manejo ambiental inadecuado durante todo el periodo de explotación, se han originado afectaciones medioambientales severas relacionadas con el vertido de efluentes líquidos crudos, la gran disposición de los residuos sólidos; así como la emisión a la atmósfera de grandes volúmenes de polvo.

El principal impacto que produce la ejecución de una nueva instalación de pulpa abrasiva (cola), es la erosión de polvo de cola, gases amoniacaes, otros componentes nocivos para la salud del hombre.

3.8.1 Efectos ambientales en la instalación de bombeo de cola

- Derrame en las tuberías por salidero de cola a raíz de roturas, provocando emisión de gases tóxicos al personal de operación y mantenimiento.
- Sedimentación de polvo de cola en lugares donde se ha averiado el sistema, afectando la salud de personas.
- Constantes averías de las bombas en el sistema de bombeo de cola hacia los alambiques, provocando inmediaciones y desprendimientos de gases calientes en la instalación.
- Los operadores que participan en el sistema de bombeo de cola están expuestos a los gases tóxicos por los constantes escapes de cola desde el tanque de retención de la cola hasta los alambiques.

3.8.2 Medidas constructivas para eliminar estos problemas

- 1- Dar mantenimiento y conservación de todo el puente de tuberías principalmente en las uniones y sellos.
- 2- Mantener la cultura industrial, eliminando toda la sedimentación de polvo de cola derramado en la planta.
- 3- Ampliación del pozo de cola con el objetivo de eliminar derrame en la nueva instalación de bombeo.
- 4- Corregir todos los salideros de pulpa de cola en toda la instalación (principalmente en la salida de las bombas).

3.8.3 Afectaciones a la salud por el amoníaco

- El amoníaco, tanto el líquido como el vapor es fuertemente irritante para la piel, los ojos y las vías respiratorias.
- El amoníaco es muy tóxico y la exposición a altas concentraciones puede producir quemaduras, cegueras y hasta la muerte.
- Las concentraciones bajas de amoníaco pueden cortar la respiración, pero sin provocar efectos nocivos.
- Las concentraciones medias de amoníaco pueden causar decaimiento, irritación, congestión, hinchazón o entumecimiento de las membranas mucosas de los ojos, nariz y garganta.



- El líquido produce quemaduras graves, parecidas a las quemaduras cáusticas y estas varían de acuerdo con la concentración del amoníaco y del tiempo que se permanezca expuesta al mismo.
- Cuando el amoníaco líquido se pone en contacto con la piel, produce congelación rápida e intensa en la zona afectada.
- La ingestión del amoníaco líquido origina una acción corrosiva severa en la boca, la garganta y el estómago.
- El amoníaco gaseoso tiene una gran acción irritante en cualquier tejido húmedo, la taquipnea y la taquicardia (agitación de la respiración y los latidos del corazón respectivamente), son algunos de los efectos originados por la irritación de las vías respiratorias, pudiendo llegar hasta detener la respiración.
- El amoníaco inhalado solo produce efecto en los tejidos superficiales ya que no es absorbido por el organismo.
- Debido a la alta solubilidad del amoníaco en el agua, éste tiene gran facilidad para disolverse en el sudor del cuerpo humano.

3.8.4 Medidas de seguridad

- El personal que trabaja con amoníaco siempre debe tener en cuenta hacia donde circula el aire para situarse de manera que este no bata sobre él, para que los vapores del amoníaco sean alejados del mismo.
- Hay que situar duchas y lavaderos de ojos y cuerpo convenientemente para que cualquier obrero afectado se aplique grandes cantidades de agua rápidamente.
- También es necesario utilizar los equipos de protección cuando se requieren.
- Instruir adecuadamente a los trabajadores respecto a los métodos adecuados de manipulación del amoníaco con el objetivo de prevenir el contacto directo del líquido a una exposición imprevista del gas.

3.8.5 Medios de seguridad

- Si las concentraciones están por encima de los 100 P.P.M (partícula por millón) de amoníaco en los gases del ambiente, deben usarse respiraderos o mascarillas antiguas, si la concentración afecta a los ojos también puede usarse espejuelos de seguridad.



- Si se está manejando amoníaco deben utilizarse guantes de goma industriales y delantal engomado para evitar las salpicaduras en el cuerpo.
- Si las concentraciones están por encima de 3000 P.P.M deben utilizarse trajes engomados bien puestos para evitar afectaciones a la piel, es decir, el cuello debe mantenerse abrochado, los guantes se mantendrán por fuera de la camisa y los pantalones quedarán por fuera de las botas, también puede pasarse grasa por la piel antes de ponerse el traje para evitar que los vapores del amoníaco sean absorbidos, las cremas no son suficientes para la protección.

3.8.6 Afectaciones sufridas por el ruido en las instalaciones de bombeo en un régimen cavitacional

En las bombas en su interacción con el medioambiente es bueno destacar que existe un nivel de ruido medio respecto a las Normas Internacionales establecidas por el Banco Mundial sobre Medio Ambiente, Salud y Seguridad. Si no se utilizan los medios de protección adecuados, se pueden producir daños profundos a la salud humana. De los tipos de ruido que podemos encontrar con mayor frecuencia y casi de forma permanente es el ruido transportado por el aire: Cuando se encuentra ruido excesivo dentro de un espacio, se necesita identificar la fuente. Esto puede obtenerse con un análisis espectral detallado. En la mayoría de los casos se utilizan técnicas de análisis de las bandas de octavo, divide las partes audibles de los espectros del ruido en las bandas adyacentes que tienen una frecuencia superior de corte iguales a dos veces la frecuencia inferior de corte.

3.8.7 Medidas para la disminución del ruido

Los niveles de ruido que exceden los requisitos de la OSHA (Ley de Seguridad y Salud Ocupacional) se puede reducir con:

- Aislamiento para los tubos (con fibra de vidrio).
- Tener las unidades motrices y bombas en cuarto o barreras a prueba de ruido con un revestimiento de los muros del edificio con material mata ruido o con placas desviadoras.
- Con el funcionamiento correcto y en buen estado de los sellos.



3.9 Valoración económica

3.9.1 Estimado de materiales, cantidades y costo

El proyecto de inversión fue realizado como parte del proceso productivo, con el objetivo de incrementar la producción y reducir los costos.

Se realizó un estimado de costo "Tipo 3" (preliminar +/- 15%) del proyecto determinando los gastos directos e indirectos.

El resumen del estimado de costos, se muestra a continuación.



TUBERÍAS	Weight (kg)	Unit	Rate	Quantity	Cost
Plancha S=8 (ASTM A36)	408,2	m ²	\$283,14	6,5	\$1.840,41
Perfiles W 150x22.5 (ASTM A36)	4725	t	\$5.860,00	4,725	\$27.688,50
Tubo 4" SCH 40 ANSI B36.10 (ASTM A36)	565,26	m	\$1.465,00	200	\$293.000,00
Tubo 16" DR 15.5 ANSI B36.10 (ASTM D3350)	44086	m	\$357,43	1400	\$500.403,42
Tubo 12" DR 13.5 ANSI B36.10 (ASTM D3350)	31113	m	\$294,77	1370	\$403.834,90
Tubo 6" SCH 40 ANSI B36.10 (ASTM A312-TP316)	482,1	m	\$320,86	30	\$9.625,80
Tubo 10" SCH 40 ANSI B36.10 (ASTM A312-TP316)	949,65	m	\$675,15	15	\$10.127,25
Tubo 14" SCH 40 ANSI B36.10 (ASTM A312-TP316)	1891	m	\$845,87	20	\$16.917,49
Codo 90° 6" SCH 40 ANSI B16.9 (ASTM A182-F316)	4,06	u	\$660,24	2	\$1.320,48
Codo 90° 10" SCH 40 ANSI B16.9 (ASTM A182-F316)	148	u	\$1.437,47	4	\$5.749,88
Codo 45° 12" Emplatillado ANSI B16.9 (HDPE-3408)	26,8	u	\$264,74	2	\$529,48
Codo 90° 12" Emplatillado SCH 40 ANSI B16.9 (HDPE-3408)	44	u	\$468,77	3	\$1.406,31
Codo 90° 16" Emplatillado ANSI B16.9 (HDPE-3408)	212,8	u	\$568,42	16	\$9.094,71
Te 6" SCH 10 ANSI B16.9 (ASTM A182-F316)	6,05	u	\$503,46	1	\$503,46
Reducido Excéntrico 10"x6" ANSI B16.9 (ASTM A182-F316)	10,7	u	\$486,39	1	\$486,39
Mocheta 12" con pestaña en un extremo (HDPE-3408)	3,62	u	\$132,65	4	\$530,59
Mocheta 12" con pestaña en los dos extremos (HDPE-3408)	2,06	u	\$147,39	2	\$294,77
Mocheta 16" con pestaña en un extremo (HDPE-3408)	4,86	u	\$160,84	4	\$643,38
Mocheta 16" con pestaña en los dos extremos (HDPE-3408)	5,5	u	\$178,72	4	\$714,86
Victavlica 16" (HDPE-3408)	909	u	\$299,47	20	\$5.989,40
Victavlica 12" (HDPE-3408)	400,9	u	\$156,33	18	\$2.813,94
Platillo W.N 6" RF. ANSI B16.5 150# (ASTM A182-F316)	66	u	\$638,68	2	\$1.277,36
Platillo S.O 6" RF. ANSI B16.5 150# (ASTM A182-F316)	15	u	\$502,07	8	\$4.016,56
Platillo S.O 10" RF. ANSI B16.5 150# (ASTM A182-F316)	56	u	\$1.028,20	4	\$4.112,80
Platillo S.O 14" RF. ANSI B16.5 150# (ASTM A182-F316)	108	u	\$1.288,20	3	\$3.864,60



COMPONENTES ELECTRICOS					
Transformador de potencia sumergido en aceite de 300 kVA, 6.3-0.48/0.24 kV, trifásico, conexión delta-estrella aterrado. Para montaje en base a la intemperie.		u	\$52.073,60	1	\$52.073,60
Multilin, Medidor de energía y otros parámetros eléctricos		u	\$6.699,80	1	\$6.699,80
Arrancador suave para motor de 300 HP, 460 V, trifásico, IP 54, para montaje en centro de control de motores.		u	\$67.315,56	2	\$134.631,11
Proyector industrial con lámpara de halogenuro metalar de 400 W, casquillo, E40, 230 V, 60 Hz, IP 64, CROUSE HINDS o similar.		u	\$1.264,00	4	\$5.056,00
Lámpara de halogenuro metalar de 400 W, 230 V, casquillo E40		u	\$1.342,50	4	\$5.370,00
Cable multiconductor de cobre, tipo Teck, 300 Vmáx, de 3x4 mm ²		m	\$7,58	300	\$2.274,00
Cable multiconductor de cobre, tipo Teck, 600 Vmáx, de 3x150/70 mm ²		m	\$200,00	400	\$80.000,00
Conector para cable Teck-90 de diámetro 2". ST200-474		u	\$69,56	8	\$556,48
Poste de hormigón, de 10,70 M de longitud, con todos sus accesorios		u	\$200,00	6	\$1.200,00
Conductor de aluminio de 150 mm ² , desnudo.		m	\$100,00	1.300	\$130.000,00
Cruceta de 9' H.G		u	\$31,74	14	\$444,36
Angular en V de 63"		u	\$11,30	14	\$158,20
Aislador de pedestal para 55 kV		u	\$15,00	34	\$510,00
Aislador de suspensión para 55 kV		u	\$15,00	44	\$660,00
Alfiler ¾"x1 ¾"		u	\$16,80	19	\$319,20
Bayoneta soporte para cable Protector de 3000 mm.		u	\$100,00	12	\$1.200,00
Amarra 1200 mm		u	\$5,00	20	\$100,00
Cable de acero galvanizado, desnudo, torcido de 4 AWG de sección.		m	\$3,48	120	\$417,60
Grampa de suspensión para cable protector		u	\$0,09	10	\$0,90
Grampa remate de cable protector		u	\$0,09	14	\$1,26
Grampa de 3 tornillos		u	\$0,09	4	\$0,36
Grampa paralela o conector		u	\$10,74	14	\$150,36
Tornillo de máquina ½"x1½" de acero galvanizado.		u	\$1,50	30	\$45,00



Tornillo de máquina 5/8"x1" de acero galvanizado.	u	\$0,70	6	\$4,20
Tornillo de máquina 5/8"x8" de acero galvanizado.	u	\$1,00	6	\$6,00
Tornillo de máquina 5/8"x12" de acero galvanizado.	u	\$1,05	8	\$8,40
Tornillo de máquina 5/8"x14" de acero galvanizado.	u	\$1,10	4	\$4,40
Tornillo de máquina 5/8"x16" de acero galvanizado.	u	\$1,15	6	\$6,90
Tornillo espárrago 5/8"x1"	u	\$0,70	4	\$2,80
Tornillo espárrago 5/8"x18"	u	\$1,25	4	\$5,00
Tornillo espárrago 5/8"x16"	u	\$1,20	7	\$8,40
Tornillo soporte para cable protector 5/8"x8"	u	\$1,25	6	\$7,50
Tornillo de ojo 5/8"x8"	u	\$1,00	6	\$6,00
Tuerca de ojo 5/8"x8"	u	\$0,50	4	\$2,00
Arandela de presión 13/16"	u	\$0,05	20	\$1,00
Arandela de presión 9/16"	u	\$0,05	30	\$1,50
Arandela de presión 11/16"	u	\$0,05	74	\$3,70
Angular de remate	u	\$11,30	14	\$158,20
Eslabón Bola y Gancho	u	\$7,50	14	\$105,00
Eslabón Socket y Ojo	u	\$3,48	14	\$48,72
Conductor para cable protector (Shield)	m	\$25,00	400	\$10.000,00
Cable tensor para postes	m	\$31,30	72	\$2.253,60
Muertos de hormigón para anclaje 0.90 Mts.	u	\$75,00	5	\$375,00
Guardacabos	u	\$7,50	10	\$75,00
Varilla de anclaje de 5/8"	u	\$32,92	5	\$164,60
Tornillo de ojo para varilla de anclaje	u	\$35,00	5	\$175,00
Elemento preformado	u	100	10	\$1.000,00
Transformadores de Corriente de 1200/5 A, 230 V.	u	\$73.040,00	3	\$219.120,00
Drop- Out 34.5 kV C-31	u	150	3	\$450,00
Portafusible de Cut-Out	u	\$2,00	3	\$6,00
Fusibles calibrados para Cut-Out, para tensión nominal 36 kV	u	\$5,00	3	\$15,00
Pararrayo de 30 kV polimérico	u	\$249,27	3	\$747,80
Electrodo de tierra de Cobre de 3000 mm de largo x 3/4 " de diámetro.	u	\$750,07	16	\$12.001,12
Molde cadweld tipo PTC. 2Q2Q	u	\$42,00	1	\$42,00



Molde cadweld tipo GRC. 182Q		u	\$42,00	1	\$42,00
Soldadura exotérmica de 90.		u	\$185,25	16	\$2.964,07
Soldadura exotérmica de 200.		u	\$316,31	16	\$5.061,00
Conductor de cobre de 120 mm ² con forro de PVC (blando), 19 hebras.		m	\$53,70	200	\$10.740,00
Sub Total					\$687.480
COMPONENTES AUTOMATICOS					
Manómetro y válvula de aislamiento de tres vías de 1/2". Accesorios y partes húmedas de SS-316. Rango		u	\$2.038,20	1	\$2.038,20
Interruptor de nivel por flotante		u	\$1.704,00	1	\$1.704,00
Interruptor de nivel por electrodos (para 2 niveles, tres electrodos)		u	\$9.738,00	1	\$9.738,00
Relé programable tipo EASY. 412-AC-R (8 IN 220 VAC, 4 relé contactos NO 8A 220 VAC)		u	\$6.698,90	1	\$6.698,90
Cable armado (armadura de aluminio) con 3 pares apantallados individualmente AWG 18 y pantalla general		m	\$10,43	2.000	\$20.860,00
Sub Total					\$41.039
Subtotal					\$3.900.000
Construcción y Montaje					\$1.326.835,45
Equipos y Materiales					\$3.828.988,62
Otros Gastos					\$818.434,46
15% Contingencia					\$716.911,02
TOTAL COSTO CAPITAL					\$6.691.169,55



4.0 Conclusiones parciales

En este capítulo se obtuvieron las ecuaciones que permitieron proyectar un sistema de bombeo de colas desde la Planta de Recuperación de Amoniaco hasta el nuevo depósito, así como la documentación técnica que avala las soluciones constructivas utilizando las normas internacionales y las experiencias acumuladas en la ejecución de otros proyectos similares en sistemas de transporte de fluidos en tuberías y evaluando criterios tecnológicos de la instalación definiendo así la mejor variante de diseño para el trazado, interconexión y montaje del equipamiento y redes de tuberías.

Se mostraron además, los resultados obtenidos para esta investigación, los métodos empleados para el análisis experimental, comportamiento de las variables de diseño, selección de bombas y sistemas de tuberías, así como la valoración económica y medioambiental para la nueva instalación.



Conclusiones.

Los estudios realizados, así como en los resultados obtenidos, nos permitieron llegar a las siguientes conclusiones:

1. El sistema actual no responde a las exigencias tecnológicas requeridas para el proceso.
2. Se evaluaron los criterios tecnológicos de la instalación que permitieron definir la mejor variante de diseño para el trazado, interconexión y montaje del equipamiento y redes de tuberías, determinando las características de diseño de toda la soportería a construir, manteniendo la estabilidad de trabajo de las nuevas tuberías.
3. Se diseñó un sistema de bombeo y red de tuberías que garantizan una apropiada evacuación de las colas desde la Planta de Recuperación de Amoniaco hasta el nuevo depósito de colas.
4. Se determinaron los volúmenes de materiales necesarios, seleccionando el tipo y especificaciones técnicas de las tuberías y accesorios a emplear en la nueva instalación.
5. El costo total del proyecto es de \$6.691.169,55 lo cual es factible para reducir la influencia ambiental de los desechos lixiviados de la Ernesto Che Guevara.



Recomendaciones

De todo lo anteriormente expuesto y para que exista una continuidad en esta investigación se recomienda:

1. Instalar los variadores de velocidad en los motores eléctricos como método más eficiente de regulación.
2. Utilizar fuelles en todo el trazado de las tuberías con el fin de disminuir la caída de presión y adsorber los efectos de cargas térmicas que son provocados durante la dilatación.
3. Aprovechar parte de los puentes de tuberías existentes, lo que disminuye los gastos económicos del sistema del hidrotransporte al nuevo dique.
4. Aplicar los requerimientos técnicos establecidos para los sistemas de transporte de pulpas abrasivas.
5. No realizar regulaciones de flujo en la tubería de succión.
6. Realizar análisis de flexibilidad del sistema en función de las nuevas dimensiones del diseño.



BIBLIOGRAFIA.

1. ÁLVAREZ, Guía para el diseño de sistemas de tuberías, 2003.
2. CHENG, D.C. Viscosity - concentration equations and flow curves for suspensions. Chemistry and Industry, 1980, 17 May: 18-23.
3. DARVY, R. Laminar and turbulent pipe flows of non newtonian fluids, in flow dynamics and transport phenomena, 2000.
4. DARCY Y MEIBASCH, Aporte a la hidráulica, 1850.
5. DIOSDADO PÉREZ FRANCO, Equipos de bombeo, 1983 .
6. Estudio de Factibilidad Presa de Colas. ECG. KP, 2002.
7. GARCELL, L. Flujo por tuberías de suspensiones minerales no newtonianas. Apuntes para una monografía, 2003, (2): 1 – 40.
8. Gonzalo. Análisis del comportamiento de las bombas centrifugas en régimen laminar y turbulento (2006).
9. IZQUIERDO, P.R. Estudio de la instalación de hidrotransporte a presión de la pulpa laterítica de la Emp. Cmdte Pedro Soto Alba. Revista Minería y Geología, 1989, (3): 16-22.
10. LEONG, Y.K; D.V. BOGER: Surfase Chemistry Effects on Concentrated Suspensión Rheology. Journal. Colloid Interface Sei, 1990, 136(1): 249 – 258.
11. MUÑIZ, M. A.; L. SIMÓN. Influencia de las propiedades reológicas y superficiales en la característica de sedimentación de la pulpa laterítica. Trabajo de Diploma. Universidad de Oriente, Facultad de Ingeniería Química, 2001.
12. NC.46.1999 Construcciones sismorresistentes. Requisitos básicos para el diseño y construcción.
13. PALOMINO MARÍN E, “Elementos de Medición y Análisis de vibraciones en Máquinas Rotatorias”, CEIM. Ciudad de la Habana , 1999



14. PAKROVSKAYA. Transporte hidráulico de sólidos, 1985.
15. PERRY, J.H. Chemical engineers handbook. 6 ed. New York: McGraw Hill Book, 1984.
16. PEREZ. Ensayos de cavitación de una bomba centrífuga (2000).
17. RÁMOZ PAEZ. Comportamiento de las curvas características por el efecto de la cavitación en las bombas centrífugas. Etapas (1995).
18. ROSABAL, J; L.R. GARCELL. Hidrodinámica y separaciones mecánicas. La Habana: Editorial Pueblo y Educación, 1988. Tomo I.
19. Rheological Properties of Che Guevara Tailings Sample. K.P, 2002
20. SABLÓN. Fallas de estructuras metálicas instaladas en la planta de lixiviación de la empresa Ernesto Che Guevara sometidas a atmósfera corrosiva (2008).
21. SAFONOV, U.K. Modelo reológico de las suspensiones concentradas. En: Automatización, Mecanización y equipamiento de los procesos de la producción de papel. Moscú: VNIP, 1970.
22. SÁNCHEZ, D; W. CRUZ. Efecto del tipo de agua utilizada en la preparación del mineral limonítico sobre la viscosidad de sus pulpas. Trabajo de Diploma. Universidad de Oriente, Facultad de Ingeniería Química, 2000.
23. SUAREZ. Artículo sobre movimiento de suspensiones en régimen turbulento. 1998.
24. SKELLAND, A.H.P. Non-Newtonian Flow and Heat. Transfer. La Habana: Instituto Cubano del Libro, 1970.
25. TOOSE, E.M. A Boundery integral method for two dimentional – Newtonian drops is slow visions flow. Journal of Non–Newtonian Fluid Mechanics, 1995, (2): 129 – 154.
26. TURRO, Artículo de flujo de las colas del mineral laterítico del proceso CARON, (2004).
30. TURRO B.A, GARCELL L. R, IZQUIERDO R. P: Influencia de diferentes factores sobre el comportamiento reológico de las suspensiones de desechos lixiviados



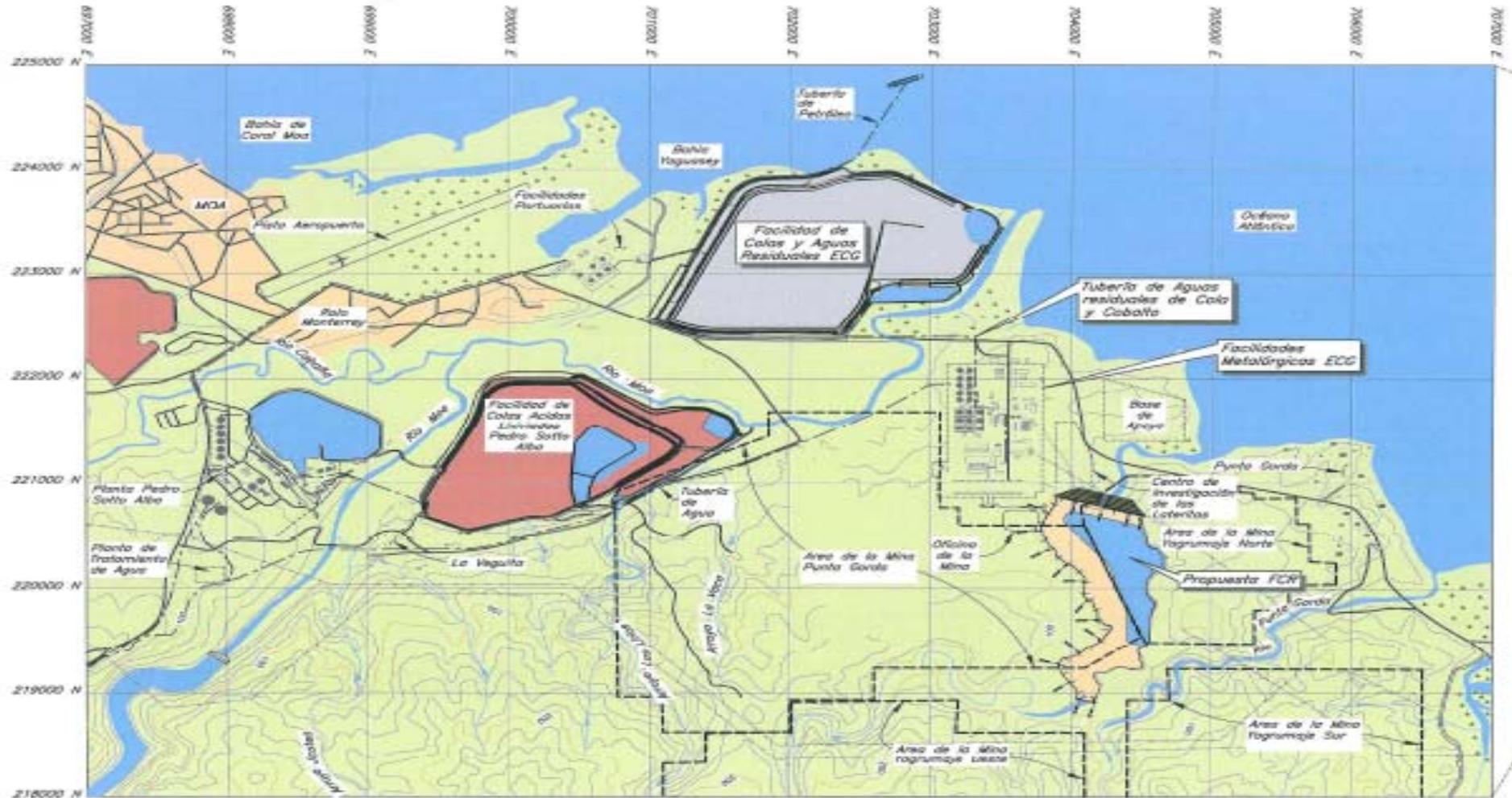
(colas) del proceso Industrial CARON. Revista Tecnología Química. N° 3 de 2002
Universidad de Oriente. Santiago de Cuba.

27. WARMAN. Slurry Pumping Handbook, Australasian Version Febrero 2000.

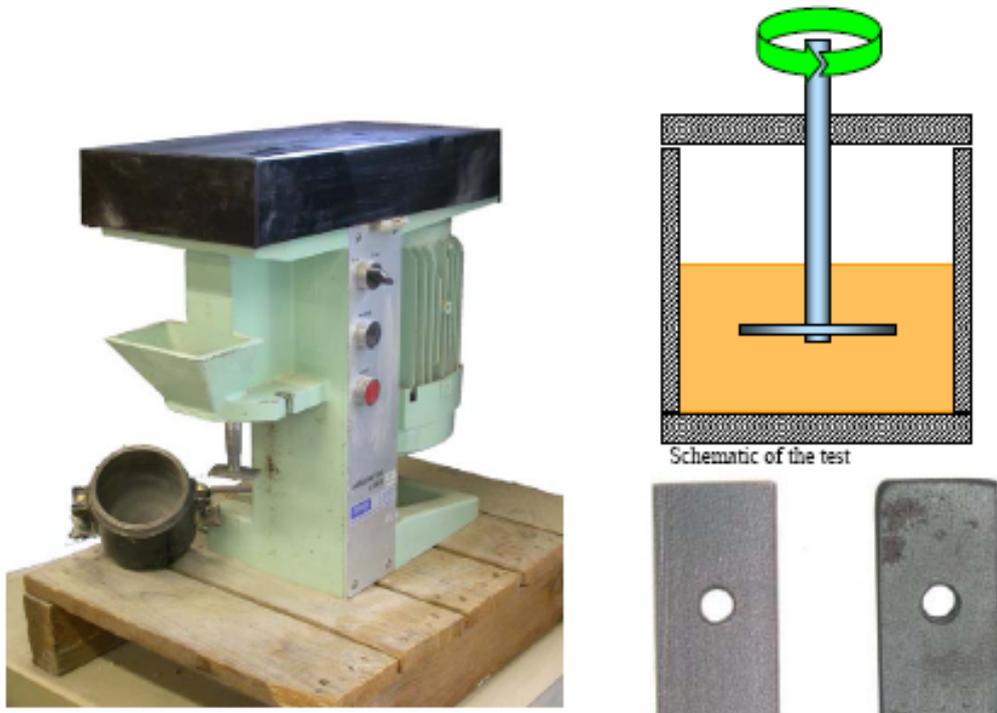


Ley	Nombre del documento	Sección del documento	Requisitos establecidos	Resumen
Ley 0033-981	Protección del Medio Ambiente	Capítulo II. Protección del MA y uso racional de los recursos naturales. Sección 6ta. De la Admósfera	Artículo 88	Las industrias y demás instalaciones que expulsan a la atmósfera gases y otras sustancias de cualquier naturaleza, tienen la obligación de cumplir las disposiciones vigentes sobre concentraciones o niveles permisibles de tales materias, en evitación del deterioro de los objetos de protección del medio ambiente
Ley 0033-981	Protección del Medio Ambiente	Capítulo II. Protección del MA y uso racional de los recursos naturales. Sección 6ta. De la Admósfera.	Artículo 92	Para la ubicación de industrias o de cualquier otra instalación que expulsa a la atmósfera gases u otras sustancias contaminantes en las proximidades de asentamientos humanos u otros objetos de protección, hay que tener en cuenta el tipo de industria y las variables climáticas y topográficas de la zona, con el fin de garantizar la calidad ambiental de dichos objetos, de conformidad con los proyectos aprobados, así como con las regulaciones establecidas por los órganos y organismos competentes
Ley 81/97	Ley del Medio Ambiente	Título 3ero. Instrumentos de la política y la Gestión Ambiental	Artículo 18	La política ambiental cubana se ejecuta mediante una adecuada gestión que utiliza los instrumentos siguientes: d) La licencia ambiental e) La evaluación de impacto ambiental
Ley 81/97	Ley del Medio Ambiente	Título 3ro. Instrumentos de la política y la Gestión Ambiental Capítulo IV. Evaluación del Impacto Ambiental	Artículo 28	Será obligatorio someter a la consideración del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, a fin de que se efectúe el proceso de evaluación de impacto ambiental correspondiente, los nuevos proyectos de obras o actividades que a continuación se relacionan: a) Presas o embalses, canales de riego, acueductos y obras de drenaje, dragado, u otras que impliquen la desecación o alteración significativa de cursos de agua. d) Instalaciones destinadas al manejo, transporte, almacenamiento, tratamiento y disposición final de desechos peligrosos. e) Actividades mineras.

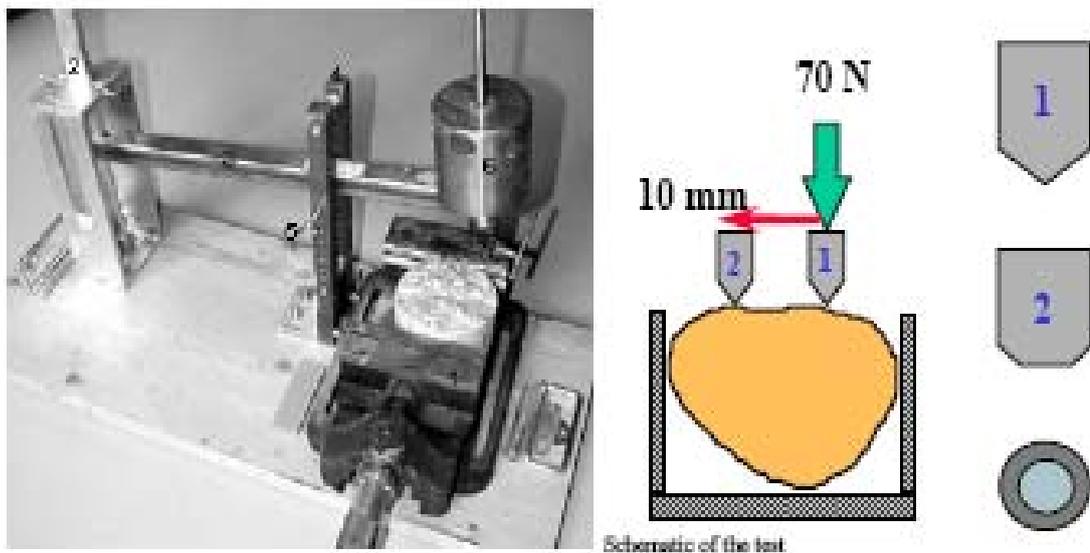
Anexo 13



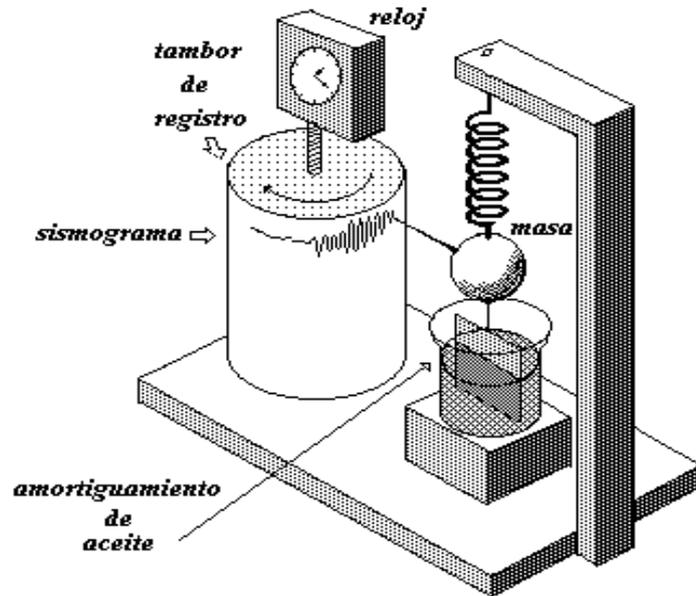
Anexo 1 Ubicación y Plan General de las Facilidades de Cola



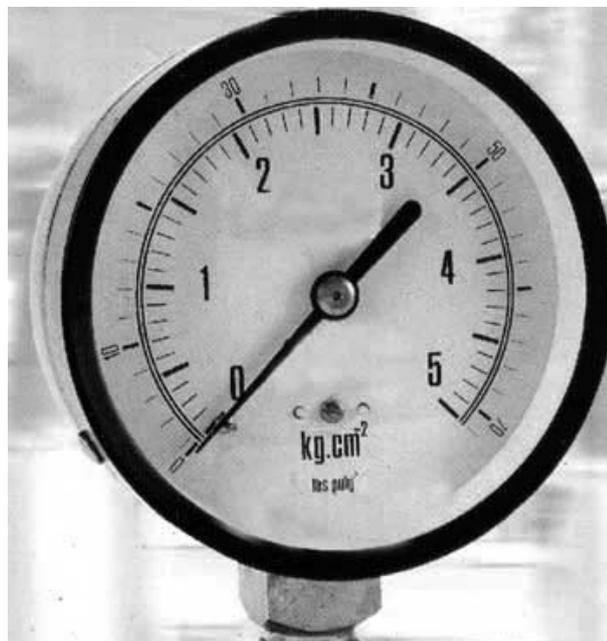
Anexo 2 Equipos para medir el índice de Abrasividad LCPC



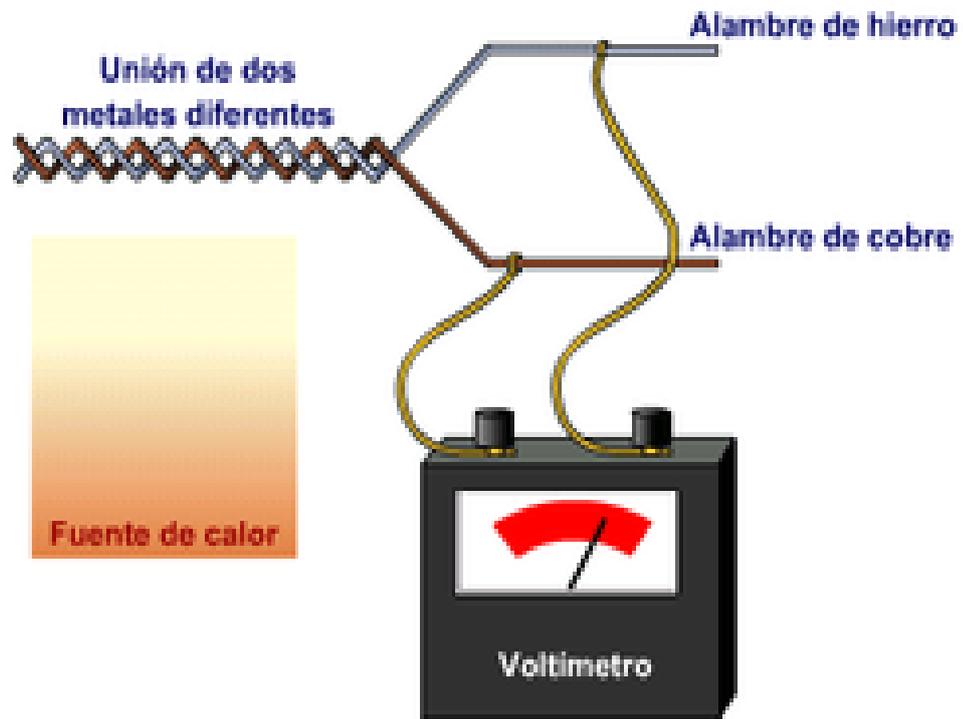
Anexo 2.1 Equipos para medir el índice de Abrasividad, Cerchar



Anexo 3 Sismógrafo



Anexo 4 Manómetro



Anexo 5 Termopar

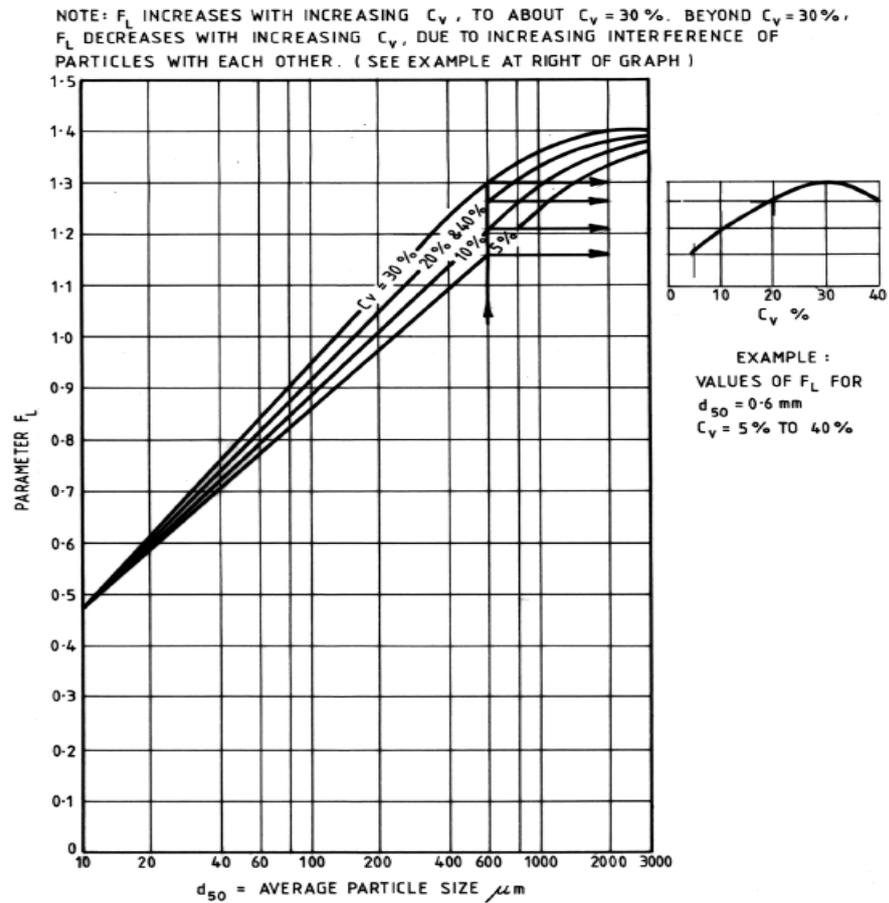


Material	Especificación ASTM	Grado	Tensión límite de resistencia	Rango de temperatura (°C)				
				-7 a 343	371	426	482	500
Acero al carbono	A53, A106	A	34	8.4	8	6	4	3.2
Acero al carbono	A53, A106	B	42	11	10	8	4	3
Acero al carbono/molibdeno	A335	P1	45	12	9.6	9.4	9	8

Anexo 8 Valores de tensiones limites para aceros al carbono

Norma Técnica	F	R	A	Norma Equivalente
	Kg/mm ²	Kg/mm ²	%	
ASTM A-53 GR-A	21 min	34 min	23 min	JIS G-3454
ASTM A-53 GR-B	25 min	42 min	18 min	JIS G-3454
ASTM A-106 GR-B	25 min	42 min	18 min	JIS G-3456
API 5L B	25 min	42 min	19 min	JIS G-3454

Anexo 8.1 Propiedades mecánicas de aceros



Anexo 9 Ajustes Límites de los parámetros de velocidad



CRITERIOS USUALES PARA EL DISEÑO DE SISMOS

Consecuencia	Sismo de Diseño Máximo (MDE)	
MUY ALTA	MCE ^(b)	1/10,000
ALTA	50 % a 100 % MCE ^{(c) (d)}	1/1000 a 1/10,000 ^(d)
BAJA	- ^(e)	1/100 a 1/1000 ^(e)

(a) Observa anteriormente la clasificación de la consecuencia.

(b) Para una falla reconocida, el sismo máximo creíble (MCE) es el sismo mayor razonablemente concebible.

(c) Las aceleraciones firmes del terreno MDE y las velocidades, pueden tomarse como 50% a 100% de los valores de MCE. Para los fines de diseño, la magnitud debe ser la misma que MCE.

(d) En la categoría de consecuencia ALTA, MDE se basa en las consecuencias de fallas. Por ejemplo, si resultara una fatalidad de incremento de las fallas, una probabilidad de excederse anualmente de 1 en 1,000 sería aceptable, pero para las consecuencias muy altas se requerirían sismos de diseño que se aproximen a MCE.

(e) Si una estructura de baja consecuencia, no pudiera soportar el criterio mínimo, el nivel de mejoras podría determinarse por los análisis económicos de riesgos con consideración de los impactos ambientales y sociales.

Anexo 7

**HOJA DE ESPECIFICACIONES DE BOMBAS PARA COLAS.****TOYO PUMPS SPECIFICATION SHEET QUOTATION**
DBH Series Heavy-Duty End Suction Horizontal Pump

Customer: Knight Piesold Ltd, North Bay, ON	
For:	Empresa "Cmdte Ernesto Che Guevara", NB201-00006/19-A.02
Attn:	Wilson Muir
Application :	Tailings Pumps
Date:	March 7 th , 2007 Toyo Ref. No.: 7C05HGA0

Operating Conditions			
Fluid:	Slurry	Max. Particle Size:	2.5"
Flow:	1981 USGPM	S.G. (solid):	4.17 S.G. (slurry): 1.64
TDH:	291 Feet	Temperature:	90-100°C
Solids %:	51% by weight	pH:	7-9
Altitude/Elevation: 24 m.a.s.l			

Toyo Selection		Performance Curve No. A-3256	
Model: DBH 200/150 HHHM	RPM: \approx 1200	Bare Pump Weight: 5,065 lbs	
Motor (recommended): 500 HP	Motor (minimum): 450 HP	Voltage: 460V/3Ph/60Hz	
BHP (@ operating point on slurry): 399	BHP (@ operating point on water): 256		
BHP (@ runout on slurry): 552	BHP (@ runout on water): 280		

Materials	
Impeller:	High Chrome
Wear Plate:	High Chrome
Casing:	High Chrome
Suction Liner:	High Chrome
Baseplate:	Fabricated Steel
Shaft:	4140

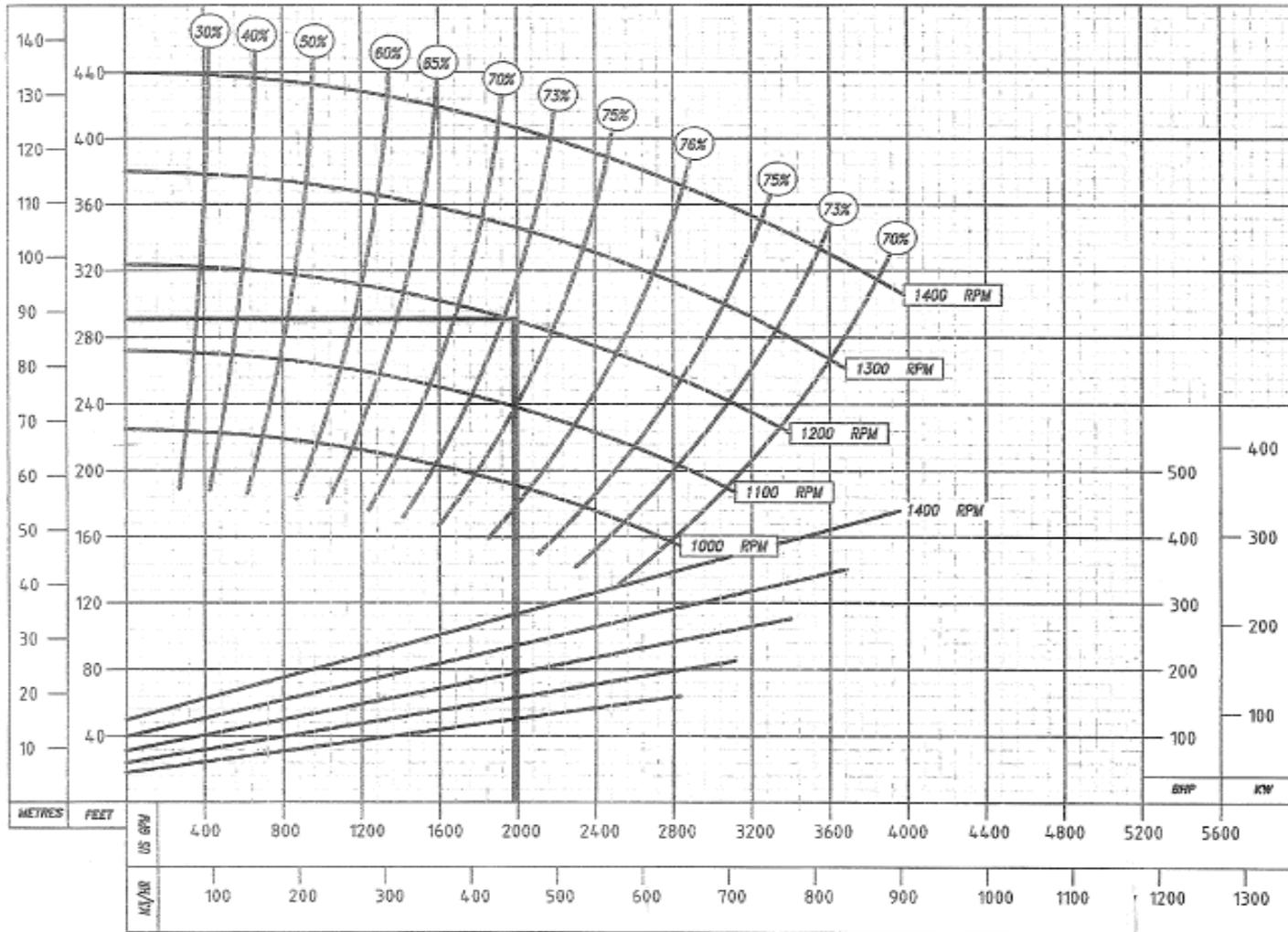
Construction	
Configuration:	Horizontal
Discharge Dia:	6.0"
Impeller Type:	Closed
Impeller Dia.:	23.6"
Max Solids Size:	2.5"
Drive:	Direct
Seal Type:	Toyo Mechanical
Bearing Frame:	F-600
Motor Mounting:	Direct Coupled

Features	
<ul style="list-style-type: none"> extremely rugged back pull-out design with 1½" wear allowance unique suction adjustment feature our unique impeller release device on-the-fly thrust bearing end play adjustment 	

	PRICE EACH (CDN)
Qty (4) Toyo Pump Model: DBH 200/150 HHHM	\$ 46,300.00 Each
Includes: pump, direct inline baseplate, coupling & guard (<i>less motor</i>)	
Qty (4) Optional Adder for Seal Protectors (per set of 2)	\$ 3,490.00 Each
Qty (4) 500HP High Eff. Motor 460V/3Ph/60Hz 1.15sf 1800rpm,	\$ 26,574.00 Each
TEFC 586/7T (c/w Thermistors, RTD'S, Space Heaters & Aux. Box) – No Relay	
Price is in CDN funds, FCA Burnaby, BC, Canada. Applicable taxes extra. Quote valid for 30 days.	
Delivery is approximately 24 Weeks A.R.O. Standard Toyo Terms & Conditions apply.	

Anexo 12

CURVAS CARACTERISTICAS BOMBAS PARA COLAS.





TOYO PUMPS NORTH AMERICA CORPORATION BURNABY, BRITISH COLUMBIA CANADA V5C 6H2 TEL : (604)298-1213 FAX : (604)298-7773		
PUMP MODEL	DBH 200/150 HHHM	
CURVE NUMBER	A3256	REV. 5
EFFECTIVE DATE	30 APRIL 97	
SUPERSEDES	-	REV. -
DISCHARGE	INCHES	6
	MM	150
SUCTION	INCHES	8
	MM	200
TEST NUMBER	15100	
IMPELLER NBR	2020112902282	
IMPELLER TYPE	CLOSED	
IMP. DIAMETER	INCHES	23.6
	MM	600
NUMBER OF VANES	4	
MAX. PARTICLE	INCHES	2.5
	MM	63.5
VOLUTE NUMBER	1010112902280	
POWER FRAME	F600	
MAX. POWER	BHP	535
	KW	400
MAX. SPEED	OIL	14.00
	GREASE	N/A
PERFORMANCE FOR WATER @ 68°F/20°C AND 1.0 S.G. CORRECT FOR OTHER CONDITIONS AND/OR SOLIDS EFFECT		

Anexo 12.1



Anexo 6 GPS



Anexo 6.1 Estación total SOKKIA 3010

Registro de las fallas y averías de las Bombas Centrifugas de la Planta de Recuperación de Amoniaco año 2007				
N°	Denominación	Fecha de Ocurrencia	Descripción de rotura	Elemento dañado
1	Bomba de colas (313A)	22/02/2007	Rodamientos averiados y voluta perforada	Rodamientos 6318 y 7318 y la voluta
2	Bomba de colas (313A)	08/03/2007	Rotura del eje, perforación de la voluta	Voluta y eje
4	Bomba de colas (313B)	25/03/2007	Los rodamientos se desgastaron	Rodamiento 6318 y Rodamiento7318
6	Bomba de colas (313B)	27/03/2007	Eje partido	El eje y los rodamientos 6318 y 7318
7	Bomba de colas (313C)	08/05/2007	El impulsor se desgasto. Rotura del eje	Impulsor y árbol
10	Bomba de colas (313C)	12/05/2007	Rotura del eje y rodamientos	Eje y los rodamientos 6318 y 7318
12	Bomba de colas (313D)	16/05/2007	Rodamientos averiados	Rodamiento 6318 y 7318
14	Bomba de colas (324A)	11/06/2007	Rotura del eje	Eje
15	Bomba de colas (324A)	27/06/2007	Se averiaron los rodamientos	Rodamientos 6318y 7319
16	Bomba de colas (324A)	04/07/2007	Los rodamientos se averiaron y perforación de la voluta y el impulsor	Rodamiento 6318y 7318, voluta, impulsor
17	Bomba de colas (324B)	19/07/2007	Rotura del eje y desgaste del impulsor	Eje, Rodamiento 6318 y 7318, impulsor
18	Bomba de colas (324B)	25/08/2007	Rodamientos averiados. Perforada la voluta.	Rodamiento6318 y 7318. Voluta
21	Bomba de colas (324D)	16/09/2007	Perforado el impulsor	Impulsor
22	Bomba de colas (324D)	24/09/2007	Perforado el impulsor y la voluta.	Impulsor, voluta
23	Bomba de colas (326A)	18/10/2007	Perforaciones, rajaduras en el impulsor	Impulsor
24	Bomba de colas (326A)	23/10/2007	Rotura del eje y averiados los rodamientos	Rodamiento 6318 y 7318. Eje
25	Bomba de colas (326B)	12/10/2007	Desgaste en el impulsor y la voluta	Impulsor y la voluta
26	Bomba de colas (326B)	09/11/2007	Eje partido	Eje
11	Bomba de colas (313D)	19/11/2007	Desgaste del impulsor	Rodamiento 6318 y 7318 y impulsor
12	Bomba de colas (313D)	26/11/2007	Rodamientos averiados	Rodamiento 6318 y 7318
14	Bomba de colas (324A)	08/12/2007	Rotura del eje y avería en los rodamientos	El eje y rodamientos 6318y 7318
16	Bomba de colas (324A)	14/12/2007	Los rodamientos se averiaron y perforación de la voluta y el impulsor	Rodamiento 6318y 7318, voluta , impulsor

Anexo 10

Características de la red desde la estación de bombeo hasta el colector principal (Tramo 1 – 2) **Valor**

Diámetro	(m)	0.3
Flujo Volumétrico de colas	(m ³ /h)	485
Velocidad	(m/s)	1.98
Pérdida por Fricción (colas)	(m)	27.9
Carga Estática	(m)	41
Carga total del sistema	(m)	68.9

Nota: Este tramo necesita soportería.

Carga desde el colector principal hasta la presa de colas. Zona Oeste (Tramo 2 – 3) **Valor**

Diámetro	(m)	0.3
Flujo Volumétrico de colas	(m ³ /h)	485
Velocidad	(m/s)	1.98
Pérdida por Fricción (colas)	(m)	50.0
Carga Estática	(m)	-30
Carga Total del Sistema	(m)	20

Nota: Este tramo no necesita soporterías

Análisis de carga desde el colector principal hasta la presa de colas. Zona Norte (Tramo 2 – 4) **Valor**

Diámetro	(m)	0.3
Flujo Volumétrico de colas	(m ³ /h)	485
Velocidad	(m/s)	1.98
Pérdida por Fricción (colas)	(m)	15.98
Carga Estática	(m)	-30
Carga Total del Sistema	(m)	-14

Nota: Este tramo no necesita soporterías

Anexo 11