



República de Cuba
Ministerio de Educación Superior
Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa
“Dr. Antonio Núñez Jiménez”
Departamento de Metalurgia Electromecánica

Trabajo de Diploma

En opción al Título de Ingeniero Mecánico

Título: *Evaluación del sistema de bombeo de cola en la Planta de Recuperación de Amoniaco de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara.*

Autor: Yoandris Gámez Polier

Tutores: Ms.C. Olga Perez Maliuk

Moa - 2016
“Año 58 de la Revolución”



DECLARACION DE AUTORIDAD

Yo, Yoandris Gámez Polier, autor de este trabajo de Diploma declaro el Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa “Antonio Núñez Jiménez” hacer uso del presente trabajo con la finalidad que estime conveniente.

Olga Pérez Maliuk

Yoandris Gámez Polier



PENSAMIENTOS

.... Y hay muchas cosas de las que el hombre puede sentirse orgulloso y no es precisamente de lo que ha recibido sino de lo que sea capaz de realizar con sus propios esfuerzos.

Fidel Castro Ruz

Lo importante es que seamos capaces de hacer cada día, algo que perfeccione lo que hicimos el día anterior.

**Ernesto Che
Guevara**

El sol no espera a que se le suplique para derramar su luz y su calor. Imita y has todo el bien que puedas sin esperar a que se te implore.

Epicteto



DEDICATORIA

A mis padres, a mis hermanos a mi esposa a mi hijo, a mis tíos y demás seres queridos en general pues ya que constituyen el motivo de inspiración para alcanzar las metas propuestas.

A la Revolución Cubana por haberme dado la posibilidad de poder forjarme como un buen profesional.

A los nombrados y a quienes imperdonablemente no he recordado, a todos les dedico este éxito.

El autor



AGRADECIMIENTOS

Agradezco enormemente a mis tutores Ms.C. Olga Pérez Maliuk por apoyarme en el transcurso de la realización de este trabajo así como al Especialista Ms.C Andrés Duran del Departamento de hidráulica de la Emp. Cepro Níquel por aportar su conocimiento acerca del trabajo.

A mis padres, por su total entrega para poder llegar a ser un profesional de valores éticos, a mi esposa por saberme comprender durante todo este tiempo, a mis hermanos y a mi familia en general, por el apoyo brindado y por siempre estar dispuestos a ayudarme.

A mis amistades y compañeros de escuela que con su apoyo desinteresado han contribuido a que alcanzara esta meta.

A todos mis seres queridos:

Muchas gracias.

El autor



SINTESIS

En el presente trabajo de diploma se realiza un estudio que permite obtener la información relacionada con el hidrotransportación de fluidos, partiendo de un análisis de las propiedades físico-mecánicas de las colas (composición química, composición granulométrica, velocidad) caracterizando dicho fluido.

Se propone una metodología que permite determinar el régimen de trabajo del sistema actual de transporte de cola así como, el cálculo y proyección de la nueva variante de interconexión en serie de las bombas del pozo de cola determinadas para la hidrotransportación de la pulpa desde la empresa Comandante Ernesto Che Guevara hacia los nuevos depósitos en áreas aledañas a la mina. (Dique de desvío cota 74).

Se lleva a cabo la evaluación de los indicadores técnico – económicos que caracterizan dicho sistema, dónde podemos asegurar que con la compras de nuevas bombas de mayor caudal 320 m³/h, una presión de trabajo de 10 Kg/cm² y una potencia de 90 kW, se ahorrarían 2137,84 CUC por concepto de mantenimiento en un años.



SYNTHESIS

Work of diploma accomplishes a study that allows to obtain the information related with the hidrotransportation of fluids, departing from an analysis of the physical mechanical properties of the tails (chemical composition, composition granulométrica, velocity) characterizing said fluid itself in the present.

A methodology that it enables proposes determining the regimen of work of the present-day system of transportation of tail itself that way I eat, calculation and projection of the new variant of interconnection in series of the bombs of the well of tail determined for the hidrotransportation of the pulp from the company Comandante Ernesto Che Guevara toward the new deposits in bordering areas to the mine.(dike of deviation height 74).

The evaluation of the technical indicators takes effect – economic that they characterize the aforementioned system, where we can insure than with buy it of new bombs of bigger flow intensity 320 m³ h, a working pressure of 10 Kg/cm² and 90 kW's potency, they would spare themselves 2137.84 CUC by way of maintenance in one years.



INDICE

CONTENIDO

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO

1.1	Introducción	4
1.2	Investigaciones de los fluidos aplicadas al transporte por tuberías	4
1.3	Trabajos precedentes de la instalación objeto de estudio.....	7
1.4	Clasificación reológica de los fluidos.	7
1.4.1	Curvas de flujo	9
1.4.2	Comportamiento reológico de las dispersiones (pulpas) minerales	10
1.5	Proceso tecnológico de la Planta de Recuperación.....	11
1.6	Clasificación de las tuberías	12
1.6.1	Características técnicas de las tuberías instaladas para el trasiego de de cola.....	13
1.7	Generalidades sobre las bombas. Clasificación	14
1.7.1	Clasificación de las bombas.....	15
1.7.2	Ventajas de las Bombas Centrífugas.....	16
1.8	Descripción del sistema de trasiego de desechos lixiviados (cola) objeto de estudio.....	17
1.9	Características del equipamiento actual en la instalación de bombeo de cola	17
1.10	Acoplamiento de bombas en serie.....	20
1.11	Conclusiones del capítulo.	23



CAPÍTULO 2: MATERIALES Y MÉTODOS

2.1	Introducción	24
2.2	Propiedades físico – mecánicas y de la cola	25
2.3	Metodología de cálculo	28
2.3.1	Metodología de cálculo del sistema de hidrotransporte para la Instalación actual	30
2.3.2	Cálculo de las pérdidas de carga en tuberías de succión y descarga..... Cálculo de las pérdidas de carga en accesorios de succión y descarga.....	31
2.3.3		33
2.3.4	Cálculo de la Altura Neta Positiva de Aspiración ($NPSH_{dis}$)	34
2.3.5	Método alternativo para calcular la eficiencia de la bomba.....	35
2.4	Calculo del gasto de explotación de la instalación actual.....	36
2.5	Conclusiones del capítulo.....	39

CAPÍTULO 3: ANALISIS DE LOS RESULTADOS

3.1	Introducción.....	40
3.2	Resultados de los Análisis Químicos	40
3.3	Análisis del comportamiento de la velocidad.....	41
3.4	Resultados del cálculo para la instalación actual.....	42
3.5	Análisis de la línea de emergencia hacia el nuevo dique de cola.....	44
3.6	Análisis y cálculo de la línea en la zona Norte hacia el nuevo dique de cola.....	45
3.7	Análisis y cálculo de la línea en la zona oeste hacia el nuevo dique de cola.....	47
3.8	Valoración técnico económica.....	51



3.9	Impacto medio ambiental	53
3.9.1	Valoración de la influencia ambiental en la proyección del sistema de hidrotransporte de cola.	53
3.10	Conclusiones del capítulo.....	55
	Conclusiones Generales	56
	Recomendaciones	57
	Referencia Bibliografía.....	58

INTRODUCCIÓN

En nuestro país una de las formas de 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 UEB de Recuperación de Amoníaco y está compuesta por líquidos con sólidos en suspensión. En estudios realizados anteriormente en esta instalación, han demostrado que existe un alto consumo de energía y que la misma no entrega la capacidad deseada. Por este motivo, la situación indica la necesidad de realizar el análisis, 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 empresa Comandante Ernesto Che Guevara (ECG), posee instalaciones mineras y de proceso metalúrgico que son operadas por la Unión del Níquel y se ubican cerca de Punta Gorda, al este de la ciudad de Moa, en el oriente de nuestro país. Las tres principales superficies de las instalaciones en la ECG incluyen las áreas mineras, las instalaciones metalúrgicas y la facilidad de manejo de colas y aguas residuales.

La Planta de Recuperación de Amoniaco se desempeña de manera primordial en recuperar el amoniaco (NH_3) y el dióxido de carbono (CO_2) contenidos en el licor y la suspensión de sólidos residual procedentes de la planta de Lixiviación y Lavado.

Actualmente en la UEB de Recuperación de Amoniaco (NH_3) para el trasiego de la pulpa son utilizadas las tuberías de acero de bajo carbono con un diámetro de 0,2 m, y se emplean fundamentalmente por su bajo costo, debido a que su soldadura resulta ser más efectiva y rápida. Por su efecto de calentamiento y enfriamiento no adquieren temple por acritud.

Situación problemática

El sistema de bombeo actual de colas, desde la planta de recuperación de amoníaco hasta el dique de colas comprende un pozo donde están ubicadas cinco bombas centrífugas; cuatro de ellas, individualmente conectadas en su descarga, están encargadas de transportar la cola hasta el dique aproximadamente a 3000 m de distancia. Las mismas no poseen la capacidad requerida para bombear los volúmenes de pulpas estimados hacia la nueva presa de colas Yagrumaje Norte.

Problema de investigación:

Insuficiente capacidad del sistema de bombeo actual encargado de impulsar la cola, hacia la nueva presa de colas Yagrumaje Norte en la empresa Ernesto Che Guevara, sin poseer bombas necesarias que cumplan con las características requeridas para impulsar el fluido al nuevo dique.

Sobre la base del problema a resolver se establece la siguiente **hipótesis**:

Con la interconexión en serie del actual sistema de bombeo de cola en la planta de Recuperación de Amoníaco en la empresa Ernesto Che Guevara, se alcanzará la altura necesaria para el trasiego de este fluido, hacia la nueva presa de colas Yagrumaje Norte.

Como **Objeto de la investigación** se establece: Sistema de bombeo de cola de la planta de Recuperación de Amoníaco.

Como **campo de acción**: Fenómenos de transporte de fluidos.

A partir de la hipótesis planteada, se define como **Objetivo del trabajo**: Evaluar la interconexión en serie del sistema de bombeo actual de cola de la planta de Recuperación de Amoníaco, hacia la nueva presa de colas Yagrumaje Norte en la fábrica Ernesto Che Guevara, como la mejor variante en los criterios tecnológicos de la instalación.

Objetivos específicos:

1- Establecer la fundamentación de la investigación a partir de una revisión



bibliográfica sobre el transporte de fluido no Newtoniano.

- 2- Caracterizar los materiales y procedimientos a emplear en la evaluación del sistema de bombeo de la planta de Recuperación de Amoníaco hacia la nueva presa de colas Yagrumaje Norte en la fábrica Ernesto Che Guevara.
- 3- Efectuar un análisis y valoración de los resultados obtenidos teniendo en cuenta criterios técnicos, económicos y ambientales.

Tareas

- 1- Establecimiento del estado del arte sobre la temática relacionada al transporte de fluidos.
- 2- Conformación del procedimiento de cálculo para la determinación de los parámetros de trabajo.
- 3- Obtención del comportamiento de los parámetros fundamentales que caracterizan al objeto de estudio.
- 4- Análisis de los resultados obtenidos, valoración del impacto económico y ambiental asociado al fenómeno en estudio.

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO

1.1. Introducción

El transporte hidráulico consiste en el traslado de las partículas del mineral suspensas en un flujo de agua a través de una tubería o canal; este tiene una gran aplicación en la industria, en el laboreo de minas, además en la industria metalúrgica tiene efectividad para la transportación de concentrados de materiales no ferrosos, carbón y materias primas hacia plantas metalúrgicas y puertos marítimos.

Objetivo del capítulo: Establecer el estado del arte a partir de la revisión bibliográfica, con la finalidad de disponer de los elementos básicos para la solución del problema planteado.

1.2. Investigaciones de los fluidos aplicadas al transporte por tuberías

Una de las investigaciones de aplicación a la metalurgia lo es el "Estudio de los parámetros de la instalación de transporte hidráulico de las colas en la empresa Comandante Ernesto Che Guevara, Córdoba y Gámez (1999). Con la realización del mismo se vincularon los métodos de investigación teórico y experimental. Se realizó el estudio de algunas propiedades físico mecánicas tales como composición química, granulometría, humedad.

D'Lambert (1744), plantea que los cuerpos no establecen resistencia cuando se mueven a través de un fluido ideal ya sea no viscoso o invíscipido; esta teoría no es aplicable en cuerpos que se mueven a través de fluidos reales; discrepancia establecida entre teoría y experimento, actualmente resuelta; permitió dejar postulados para comprender y profundizar con claridad cuales eran las limitaciones de la teoría de esa época para la resolución de problema sobre fluidos.

En las industrias metalúrgicas tiene efectividad para la transportación de concentración de metales no ferrosos, aleaciones alcalinas y escorias de los hornos de aleaciones fundidas, carbón, materias primas y concentrados hasta las plantas metalúrgicas, centrales eléctricas y puertos marítimos.

La primera aplicación reportada de este sistema se registra durante la fiebre de oro en California en 1850, posteriormente en 1889, fue patentada en Estados Unidos un sistema de transporte hidráulico de sólidos. El primer estudio académico fue elaborado por Nora Blatch en (1906), y la primera aplicación de transporte por tubería se realizó en Inglaterra en (1914). Durante la década del año 60 y 70 hubo un gran desarrollo técnico y académico de la tecnología, hasta que en 1986 surgieron las normas de transporte de pulpas (ANSI, ASME B31 11).

Lakovlev (1961,1962); con estudios experimentales demuestra que el movimiento de líquidos estructurales por tuberías se caracteriza por la presencia de un núcleo del flujo, que se mueve con velocidad constante como un cuerpo compacto.

Según Welty (1976) y Bandala (2001) al efectuar una evaluación en una tubería recta en la que el flujo es del tipo laminar o viscoso, la resistencia se origina por el esfuerzo tangencial o cortante de la viscosidad entre las láminas o capas adyacentes y entre las partículas que se mueven en recorridos paralelos con diferentes velocidades, en la pared de la tubería las partículas se adhieren a ella y no tienen movimiento.

Tanto las láminas como las partículas en movimiento en la tubería están sujetas a un esfuerzo cortante viscoso que disminuye conforme se aproximan al centro de la tubería, por lo que la variación de la velocidad a través de la tubería, está totalmente determinada por el esfuerzo viscoso entre las capas. Determinó Welty (1976) que si el flujo en la tubería es turbulento, la variación de la velocidad a través del tubo no queda determinada únicamente por la viscosidad, sino que depende de las características que tenga la turbulencia, de las propiedades reológicas y visco-elásticas de los fluidos no newtonianos. La magnitud del esfuerzo cortante viscoso aumenta debido a los remolinos y vórtices que acompañan a la turbulencia, además con paredes ásperas o rugosas, la turbulencia se incrementa aún más.

Costa (1984), expone que la viscosidad de los líquidos a temperaturas inferiores a la normal de ebullición no está muy afectada para valores moderados de la misma; a presiones muy elevadas la viscosidad puede aumentar considerablemente. Al

parecer, este último crece con la complejidad molecular, pero no se tiene ningún método seguro de estimación de la viscosidad y en general de las propiedades reológicas de los líquidos a bajas temperaturas y elevadas presiones.

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 hidrotransporte, Desgaste hidroabrasivo de los sistemas de tuberías durante la transportación de materiales abrasivos; Fiabilidad del trabajo de las instalaciones de hidrotransporte; Métodos de control y regulación de los parámetros de hidrotransporte de los golpes hidráulicos; Valoración económica de la efectividad del transporte hidráulico.

Vennar (1986) denomina fluido a la sustancia que, bajo la acción de un esfuerzo cortante, se deforma continua e irreversiblemente. Los gases, vapores y líquidos, son fluidos por excelencia. No obstante, existen en la naturaleza algunos materiales de apariencia sólida (por ejemplo, la plastilina, la pasta dental y otros) que fluyen a través de conductos al ser sometidos a la acción de esfuerzos cortantes. Estos materiales, desde un punto de vista técnico, son fluidos, ya que pueden deformarse continua e irreversiblemente.

Díaz y Echavarría (1999) presentan una metodología para el cálculo del diámetro óptimo en régimen turbulento para cualquier tipo de fluido no newtoniano.

Ibarz *et al.*, (2001) considera que en el transporte por tuberías los costos son mínimos tanto de mantenimiento como en inversión, carga y descarga viene a ser un proceso continuo que puede ser llevado a cabo automáticamente con un esfuerzo mínimo, esto hace que se amortice el costo de las instalaciones; por otra parte este no tiene en cuenta las inclemencias de tiempo ni las condiciones del lugar a transitar, pero tiene sus desventajas como que el rendimiento de la tubería es constante y el del producto es logrado por la variación de los periodos de bombeo.

Darby (2002) se refiere con frecuencia a la transportación de flujos con propiedades no newtonianas, con un comportamiento pseudo plástico o características plásticas

con la aparición de esfuerzos cortantes iniciales, en su movimiento por los dispositivos de transporte. En dependencia de las condiciones de operación, dichos flujos pueden ser laminares o turbulentos con diferentes influencias de las características reológicas.

1.3 Trabajos precedentes de la instalación objeto de estudio

Según investigaciones realizadas acerca de la caída de fluido por presión Martínez y Galano (2002), proponen la modificación de las opciones del bombeo de las bombas de pozo de cola con succión directa desde los tanques flash en la fábrica Ernesto Che Guevara.

Turro (2002), realizó el estudio del hidrotransporte de las colas en el proceso carbonato amoniacal obteniendo sus propiedades y un modelo de cálculo que permite establecer los parámetros racionales de operación del sistema de flujo para la transportación de las colas.

Laurencio y Martínez (2003), determinan una nueva variante del sistema de hidrotransporte de cola en la empresa Comandante Ernesto Che Guevara hacia los nuevos depósitos en el área de las minas que produzca menos afectaciones al medio.

Rodríguez (2009), diseñó un sistema en el manejo de colas desde la Planta de Recuperación de Amoníaco, hasta el nuevo depósito, que responde a indicadores técnicos, económicos y medioambientales.

Vega (2011), diseñó una propuesta sobre una nueva instalación del sistema de bombeo de cola hacia un nuevo depósito teniendo en cuenta que el actual dique ha llegado a su límite.

1.4 Clasificación reológica de los fluidos

Garcell (2003), plantea que al representar gráficamente la relación del esfuerzo cortante como función del gradiente de velocidad, se obtienen curvas que describen el comportamiento reológico de los fluidos newtonianos y no newtonianos, las que se denominan curvas de flujo.

En los fluidos newtonianos existe una relación lineal entre el esfuerzo cortante aplicado y la velocidad de deformación resultante, siguiendo de esta forma la Ley de Newton de la viscosidad. La experiencia demuestra que todos los gases y líquidos homogéneos de baja viscosidad se comportan como fluidos newtonianos; la viscosidad de estos fluidos es constante respecto a los cambios en la magnitud del esfuerzo cortante y del gradiente de velocidad.

Los fluidos no newtonianos presentan como característica fundamental el hecho de que su 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.

Según la variación de la viscosidad los materiales no newtonianos se clasifican a su vez en tres grupos.

De viscosidad independiente del tiempo

Seudo plásticos: Sus viscosidades disminuyen con el aumento del gradiente de velocidad; comienzan a fluir apenas se le aplica un esfuerzo cortante ($\tau \neq 0$). Su curva de flujo se describe por el modelo de Ostwald de Waele (para $m < 1$):

$$\tau = K \cdot \left[\frac{\partial V_x}{\partial y} \right]^m \quad (1.1)$$

Donde: m – índice de flujo ($m < 1$)

K – índice de consistencia.

Dilatantes: Sus viscosidades aumentan con el incremento de la velocidad; comienzan a fluir apenas se les aplica un esfuerzo cortante ($\tau \neq 0$). También se describen con el modelo de Ostwald de Waele (para $m > 1$).

Plásticos ideales (Bingham): Se les conoce también como plásticos Bingham, ya que siguen este modelo. Sus viscosidades disminuyen con el incremento del gradiente de velocidad; Comienzan a fluir cuando se les aplica un esfuerzo cortante mayor que su esfuerzo cortante inicial (τ_o), que es el esfuerzo límite que hay que

aplicarle a estos materiales para romper su estructura de sólidos rígidos y comenzar a fluir. El modelo Bingham se escribe:

$$\tau = \tau_o + \mu_p \cdot \gamma \quad (1.2)$$

Donde: τ_o - esfuerzo cortante inicial o límite de fluencia.

μ - viscosidad plástica.

Plásticos reales: Sus viscosidades también disminuyen con el aumento del gradiente de velocidad; Comienzan a fluir cuando se les aplica un esfuerzo cortante mayor que su esfuerzo cortante inicial (τ_o), siguen el modelo de Bulkley – Herschel:

$$\tau = \tau_o + K \cdot \gamma^m \quad (1.3)$$

- **De viscosidad dependiente del tiempo**

Tixotrópicos: La viscosidad de estos materiales disminuye con el tiempo, cuando están sometidas a un gradiente de velocidad determinado, se comportan reológicamente como pseudoplásticos, plásticos ideales y reales.

Reopécticos: La viscosidad de estos aumenta con el tiempo, para un gradiente de velocidad determinado.

Visco - elásticos ó de Maxwell

Estos materiales exhiben propiedades viscosas y elásticas, los cuales fluyen bajo la acción del esfuerzo cortante, aunque la deformación es continua no resulta totalmente irreversible, de manera que al cesar la acción del esfuerzo el material restablece en parte su forma, semejante al comportamiento de los cuerpos elásticos sólidos.

1.4.1 Curvas de flujo

Al representar gráficamente la relación del esfuerzo cortante como función del gradiente de velocidad, se obtienen curvas que describen el comportamiento reológico de los fluidos newtonianos y no newtonianos, las que se denominan curvas de flujo.

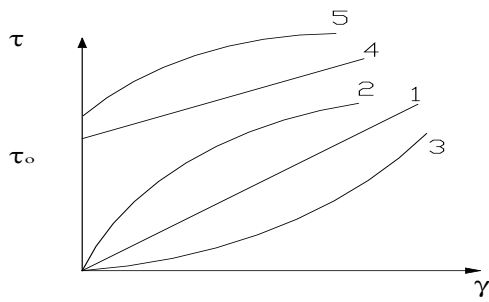


Figura 1.1 Curvas de flujo: 1-Newtonianos; 2-Seudoplásticos; 3- Dilatantes; 4-Plástico ideal (Bingham); 5-Plástico real.

Fuente: Garcell (2003)

Las curvas de flujo son útiles, fundamentalmente, en el diseño de equipos o en la evaluación de instalaciones ya construidas, por ejemplo, para determinar la caída de presión necesaria para que un material no newtoniano fluya por una tubería de diámetro conocido, para determinar si un equipo ya construido, puede ser usado con otro material diferente: para clasificar los materiales reológicamente y encontrar el modelo adecuado, para comparar características estructurales o de calidad de un mismo producto obtenido sin producciones batch y que hayan sido fabricadas sustituyendo a un componente por otro.

1.4.2 Comportamiento reológico de las dispersiones (pulpas) minerales

Al conformarse la dispersión de un sólido en un líquido trae consigo el aumento de la viscosidad de la dispersión resultante, las que pueden tener un comportamiento newtoniano o no newtoniano en dependencia de la naturaleza y las características de las fases por separado así como de las propiedades de la fase sólida.

Para el primer caso (newtoniano), teniendo en cuenta el nivel de complejidad, sus viscosidades pueden estimarse por expresiones dependientes de la fracción volumen del sólido y de la viscosidad de la fase líquida. Por su parte en las dispersiones no newtonianas (de características coloidales), aparecen interacciones entre las fases y partículas que obligan al uso de métodos experimentales para la determinación de sus viscosidades. Las interacciones hidrodinámicas están asociadas a suspensiones de media y bajas concentraciones, mientras que las dos restantes están muy relacionadas con las suspensiones concentradas. Hasta ahora se han visto los tipos

de interacciones presentes en las diferentes suspensiones, pero estas, a su vez se ven afectadas por diversos factores, tales como: concentración de sólidos, composición granulométrica y formas de las partículas, temperatura, pH.

1.5 Proceso tecnológico de la Planta de Recuperación

El proceso tecnológico de la planta está dado en función de recuperar el NH_3 y el CO_2 del licor, así como de las colas recibidas de Lixiviación se distribuye por los precalentadores cuya función es aumentar la temperatura de la cola antes de enviarla a las columnas de destilación, recuperando parte del calor de los gases desprendidos de las propias columnas, obteniéndose al mismo tiempo la cola como desecho, y como producto la pulpa de carbonato de níquel Ni y el licor fuerte de amoníaco y CO_2 .

La pulpa caliente alrededor de unos 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 $1,3 \text{ kgf/cm}^2$, 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, Son bombas centrífugas movidas por motores eléctricos, hay cuatro trabajando y una se mantiene de reserva.

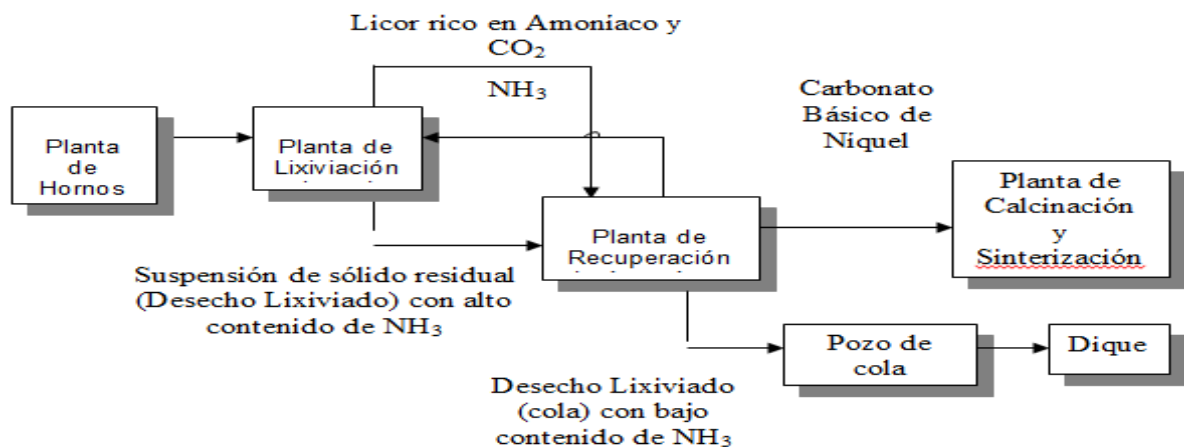


Figura 1.2: Esquema de la parte del Proceso Tecnológico donde se obtiene, transporta y almacenan los desechos lixiviados (colas)

1.6 Clasificación de las tuberías

Las tuberías se clasifican atendiendo a su diámetro, con diámetro hasta (12'' ó 304 mm), se clasifican por su diámetro interior y por encima de esta medida por su diámetro exterior. Otra clasificación de las tuberías está dada por el tipo de material en dependencia del tipo de fluido a transportar.

La fabricación de las tuberías por su manufactura puede ser, sin costura y con costura. Se fabrican por laminado, trefilado y extrusión, así como por perforado o agujereado. Son más costosas que las que tienen costuras, además permiten la mejor transportación ya que la fricción del fluido al pasar por la tubería, será menor en la medida que el terminado superficial interior sea más alisado. Al ser menor la fricción la pérdida de presión será también menor. Las tuberías con costura se elaboran doblando en círculo una plancha de acero y soldando por resistencia eléctrica, por arco eléctrico, por arco sumergido. La costura puede ser longitudinal o helicoidal.

Dentro de los materiales más comunes para la fabricación de tuberías están:

- Tuberías de aceros inoxidables
- Tuberías galvanizadas
- Tuberías de cobre
- Tuberías de bronce
- Tuberías de plásticos
- Tuberías de aceros aleados
- Tuberías de acero de bajo carbono

Actualmente en la planta de Recuperación de la fábrica Ernesto Che Guevara son utilizadas las tuberías de acero de bajo carbono, son usadas fundamentalmente por su bajo costo y debido a que su soldadura resulta ser más efectiva y rápida. Por su efecto de calentamiento y enfriamiento no adquieren temple por acritud.

1.6.1 Características técnicas de las tuberías instaladas para el trasiego de cola

Las tuberías al momento de ser construidas son sometidas a una serie de procesos los cuales dan como resultado la obtención de productos con alto grado de seguridad.

Dentro de estos procesos podemos señalar algunos como:

1. Moldeado (rodillos)
2. Esfuerzos Hidrostáticos
3. Pruebas electromagnéticas
4. Ensayos no destructivos
5. Test de ultrasonido (grietas internas y espesores)

El sistema de entrega de colas desde del foso de colas de planta de recuperación de amoniaco hasta la estación de control de flujo en la presa de colas de Yagrumaje (se excluyen las interconexiones en los extremos).

Código:	200D-HSS-1AB4-027/028/029/035
Cantidad de líneas:	4
Servicio:	Trasiego de cola a la nueva presa.
Flujo:	160 m ³ /h (cada una con las bombas vieja)
Presión de diseño:	10 kg/cm ²
Presión de operación:	5-6 kg/ cm ² (con las bombas viejas)
Temperatura de diseño:	95°C
Temperatura de operación:	70-75 °C
Denominación:	DN 200, SMLS.
Material:	ASTM A 106 Gr. B

Cédula (espesor de pared):	SCH 40 (8,18 mm)
Diámetro:	DN 0,2 m
Longitud por línea:	1800 m (4)
Diámetro:	DN 0,3 m
Longitud línea oeste:	2000 m (1)
Normas o códigos aplicables:	ASME B31.1, ASTM, DIN, UNE
Protección Anticorrosivo:	Pintura ferro protectora termoresistente
Color de línea	Carmelita
Uniones:	Soldadura (BW), Platillo (WN), (SO)
Accesorios:	Codos RL, Platillos WN, Reducido 0,2 x 0,3 m.
Expansión por dilatación térmica:	0.96 m/m

1.7 Generalidades sobre las bombas. Clasificación

Nekrasov (1968), plantea que la bomba es una máquina que realiza el trasiego de un líquido mediante la impulsión y a veces la aspiración. Desde el punto de vista físico, el trabajo de la bomba consiste en la transformación de la energía mecánica del motor (mando) en energía del líquido, es decir, la bomba comunica cierta potencia al líquido que fluye a través de ésta. La reserva de energía que adquiere el líquido en la bomba, permite superar las resistencias hidráulicas al flujo y elevarse en la altura geométrica. La energía la adquiere la bomba en cada unidad de peso de líquido, es decir, el incremento de su energía específica, tiene dimensión lineal y representa la altura que crea la bomba durante su funcionamiento. La energía recibida por ella del motor se transforma en energía potencial, cinética y, en un grado insignificante, calorífico del flujo del líquido.

El funcionamiento de la bomba, acoplada al sistema se encuentra en dependencia de las propiedades hidráulicas de este sistema, llamado red, por lo que el mismo debe mantenerse estable. La energía suministrada a la bomba durante su funcionamiento, sufre cambios de transformación de la energía; parte de la energía

mecánica se pierde inevitablemente a causa de las pérdidas hidráulicas, mecánicas y fugas.

La bomba de circulación se caracteriza por la llamada "curva característica", que expresa el caudal que pueden suministrar en función de la altura de elevación. La curva característica es una función decreciente que tiene dos puntos singulares: el punto de máxima altura de elevación (H_{max}), con caudal nulo, y el punto de máximo caudal (Q_{max}), con altura de elevación nula. Entre estos dos puntos la bomba puede proporcionar cualquier caudal comprendido entre 0 y Q_{max} , a cualquier altura de elevación comprendida entre 0 y H_{max} . (Skelland 1970).

Steffe y Morgan (1986), plantean que generalmente, las bombas no deben funcionar en los valores extremos o cerca de ellos, aunque hay bombas que si pueden hacerlo. Por ello se deberá escoger el tipo de bomba adecuado.

Rabinovich (1987), expresa que la energía producida por la bomba debe vencer la resistencia que opone el fluido a su paso por la tubería y mantener la presión deseada en cualquier punto de la instalación. Por tanto, el calibre de la bomba dependerá del caudal de fluido a impulsar y de la pérdida de presión en el circuito hidráulico. Además se tendrá presente en la selección del grupo el tipo de fluido circulante.

1.7.1 Clasificación de las bombas

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

1. Bombas de desplazamiento positivo (reciprocantes y rotatorias).
2. Bombas dinámicas (centrífugas, periféricas y Especiales).

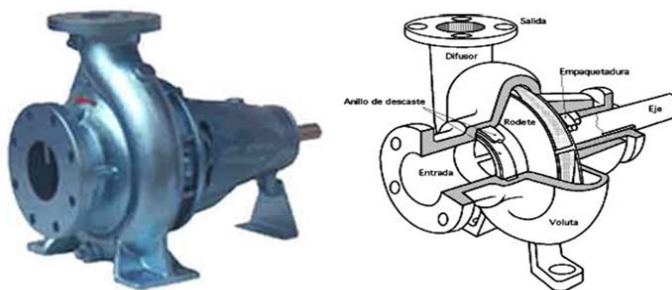


Figura: 1.3 Bomba Centrífuga

Una bomba centrífuga es un tipo de bomba hidráulica que transforma la energía mecánica de un impulsor rotatorio llamado rodete en energía cinética y potencial requeridas.

Las bombas centrífugas son del tipo mas corriente, y se denominan así porque la cota de presión que crean es ampliamente atribuible a la acción centrífuga. Pueden estar proyectadas para impulsar caudales tan pequeños como de 1000 kg/m^3 . O tan grande como $4.000.000 \text{ kg/m}^3$ mientras que la cota generada puede variar desde algunos pies hasta 400. El rendimiento de mayor tamaño puede llegar hasta el 90.

Para que la bomba centrífuga esté en disposición de funcionar satisfactoriamente, tanto la tubería de aspiración como la bomba misma, han de estar llenas de agua. Si la bomba se encuentra a un nivel inferior a la del agua del pozo de aspiración, la bomba puede funcionar correctamente. Pero en el caso contrario, es necesario expulsar el aire de la tubería de aspiración y reemplazarlo por agua; esta operación se llama cebado. El funcionamiento de las bombas con la tubería de aspiración vacía solo conseguiría el calentamiento de los cojinetes, sin lograr el cebado de las bombas.

1.7.2 Ventajas de las Bombas Centrífugas

Son más económicas que las bombas de émbolo equivalente. Las bombas centrífugas son muy versátiles en sus capacidades y presiones

- 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 $1,36 \text{ m}^3/\text{h}$ hasta bombas múltiples con $818,29 \text{ m}^3/\text{h}$.
- 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.

1.8 Descripción del sistema de trasiego de desechos lixiviado (cola) objeto de estudio

El sistema de trasiego de desechos lixiviados de la planta de recuperación consta de una estación de bombeo que comprende de un pozo donde están ubicadas cinco bombas centrífugas, cuatro de ellas, individualmente conectadas en su descarga a diferentes líneas de diámetro 0,2 m, encargadas de transportar las colas hasta el dique, aproximadamente a 3000 m de distancia, y una se mantiene como reserva.

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.

1.9 Características del equipamiento actual en la instalación de bombeo de cola

A continuación se muestra una parte del equipamiento dinámico que intervienen en el proceso que realiza actualmente la planta objeto de estudio.

• Turboareadores

Poseen una posición única, son los encargados de coleccionar el licor proveniente de lixiviación.

Tabla 1.1 Características Técnicas de los Turboareadores

Descripción	Especificaciones
Código	TA-101
Cantidad	9
Diámetro	2.4 m
Altura	3.84 m
Capacidad	16 m ³
Espesor	0,08 m

- **Tanque de retención de cola**

Son los que reciben la cola calentada de los precalentadores. Estos constan de dos partes: tanque y agitador. El agitador es movido por un motor que transmite a través de un reductor. Estos son 6 distribuidos en tres grupos de dos tanques cada uno. En cada grupo trabaja uno y el otro de repuesto. Cada tanque alimenta a tres alambiques.

Tabla 1.2 Características Técnicas del tanque de retención de cola

Descripción del	Especificaciones
Tanque	
Código	125-03-TK-321 A y B, TK-323 A y B y TK-325 A y B
Diámetro	6 m
Altura	4.95 m
Capacidad	75 m ³
Espesor	0,08 m
Agitador	
Diámetro del impelente	3.5 m
Velocidad de rotación	64 rev/min
Potencia del motor	22 kW
Voltaje	440-60 ciclos
Factor de potencia	0.83
Corriente	39 A
Eficiencia	89.5 %

- **Tanque de preparación de la tierra de infusorios**

Este tanque funciona en la mezcla de la tierra infusorio con aguas, está formado por dos partes fundamentales que son el tanque agitador y el agitador. Este tanque trabaja cada vez que se arranque un filtro de licor.

Tabla 1.3 Características técnicas del tanque de preparación de la tierra de infusorios

Descripción	Especificaciones
Tanque	TK-112

Diámetro	22,4 m
Altura	3,84 m
Capacidad	16 m ³

Tabla 1.4 Agitador AG 112 del tanque de preparación de la tierra de infusorios

Descripción	Especificaciones
Diámetro del impelente	1,6 m
Velocidad de rotación	31.5 rev/min
Relación de engranaje	7,5
Potencia del motor	10 kW
Voltaje	440 V
Factor de potencia	0.87

- **Ventilador del sistema de absorción:**

Estos ventiladores se encargan de extraer los gases de las tres primeras torres del sistema de absorción, y lograr la presión que se requiere en el sistema. Son ventiladores centrífugos, movido por motores eléctricos. Existen instalados uno por cada sistema de absorción y uno de reserva. En total son 5

Características técnicas:

Ventilador	Motor
Capacidad: 9.000 m ³ N/h	Potencia: 40 kW
Altura de presión: 870 kg/ cm ²	Voltaje: 440 V

- **Características técnicas de las Bombas existentes. (Catálogo bomba)**

Tipo:	Bomba centrífuga de caja ancha
Modelo:	PT160/71 (Rusa)
Servicio:	Manejo de fluidos con sólidos en suspensión (pulpas)
Capacidad:	140 -160 m ³ /h
Altura de presión:	3,6 – 5,0 kgf/cm ²
Motor:	
Modelo:	4AM-250-MGT2

Potencia:	55 kW
Tensión:	440 V
Frecuencia:	60 Hz
Velocidad:	1440 rev/min
Corriente:	88.5 A
Fase:	3

1.10 Acoplamiento de bombas en serie

Este tipo de acoplamiento se emplea en casos en los cuales se desea elevar un mismo caudal a distintas alturas, o para impulsar un determinado caudal, venciendo grandes resistencias debidas a grandes longitudes de las conducciones (líquidos industriales: petróleo, ACPM, gasolina, etc.), si bien es relativamente pequeño el desnivel geométrico a vencer.

La situación de acoplamiento de bombas en serie más frecuente la constituye la disposición de N rodets idénticos en una bomba multietapas (omulticelular). Las bombas multicelulares se aplican cuando se desea bombear caudales a grandes alturas, como, por ejemplo, en bombas de aguas de pozo.

La curva característica H vs Q de bombas o rodets en serie se obtiene a partir de las correspondientes curvas H vs Q de las bombas o rodets que conformen el conjunto acoplado de bombas, sumando las alturas H_{BT} , para igualdad de caudales. Ello se traduce en que la curva H vs Q resultante tendrá una pendiente acusada, mucho mayor que las de las curvas individuales.

Un caso particular de uso más generalizado, como se dijo anteriormente, es el de las bombas multicelulares o multietapas, en donde los rodets acoplados son iguales, y cuyas curvas características H vs Q y η vs Q son también idénticas entre sí. En este caso desaparece el problema de rangos indeseados de funcionamiento u operación incorrecta.

Cuando dos ó más bombas se acoplan en serie, el caudal va sufriendo sucesivamente una relevación, de altura cuando están distantes y de presión cuando está una inmediatamente después de la otra, figura 1.4 según anexo 2 y 4

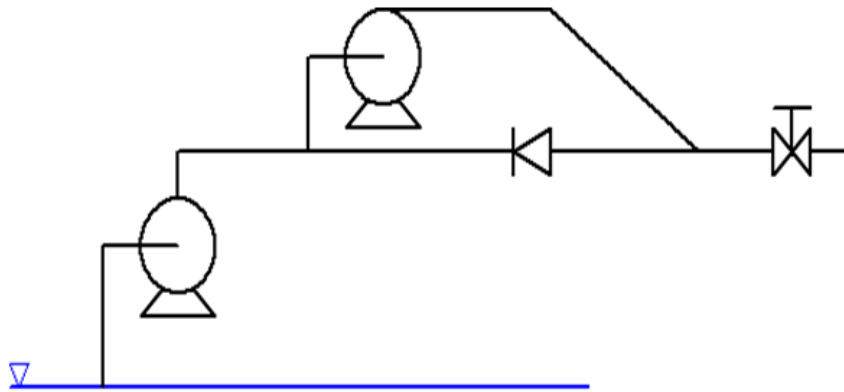


Figura: 1.4 Acoplamiento de un sistema de bombeo en serie

Las diferentes bombas tendrán el mismo caudal, mientras que la altura manométrica resultante será la suma de las alturas manométricas correspondientes a cada bomba, es decir:

$$H = H_A + H_B$$

$$Q = Q_A = Q_B$$

Para determinar el punto de funcionamiento conjunto, hay que determinar la curva característica conjunta de las bombas en serie, y hallar su intersección con la curva característica de la conducción, figura 1.5.

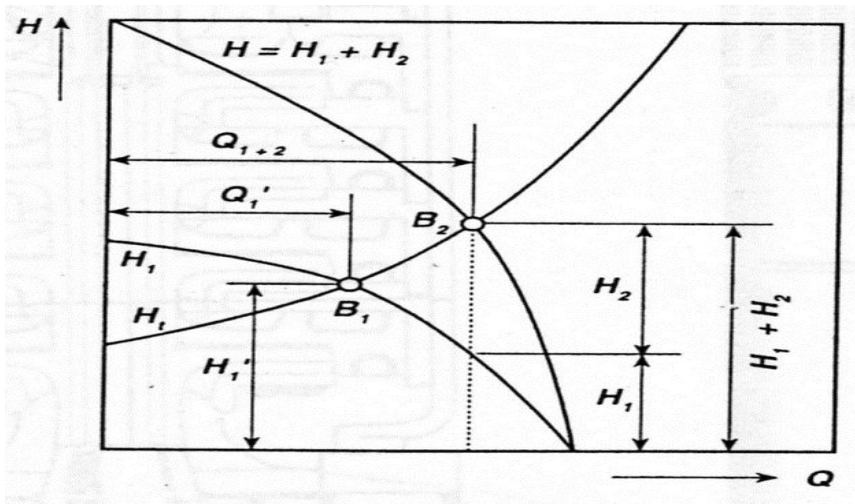


Figura: 1.5 Sistema de bombeo en serie

1.10.1 Funcionamiento de una instalación de bombeo elemental

Se trata de analizar el comportamiento de una bomba rotodinámica, de características conocidas (curvas H_B vs. Q y η_B vs. Q), cuando se emplea para impulsar un líquido, a través de una instalación simple, desde un depósito de aspiración, precedida por la tubería de aspiración, y seguida de la tubería de impulsión. De estas últimas se conocen su longitud (L), diámetro (D), material, rugosidad (k_s

específico (λ), temperatura (T°) y presión de vapor (p_v), figura 1.6

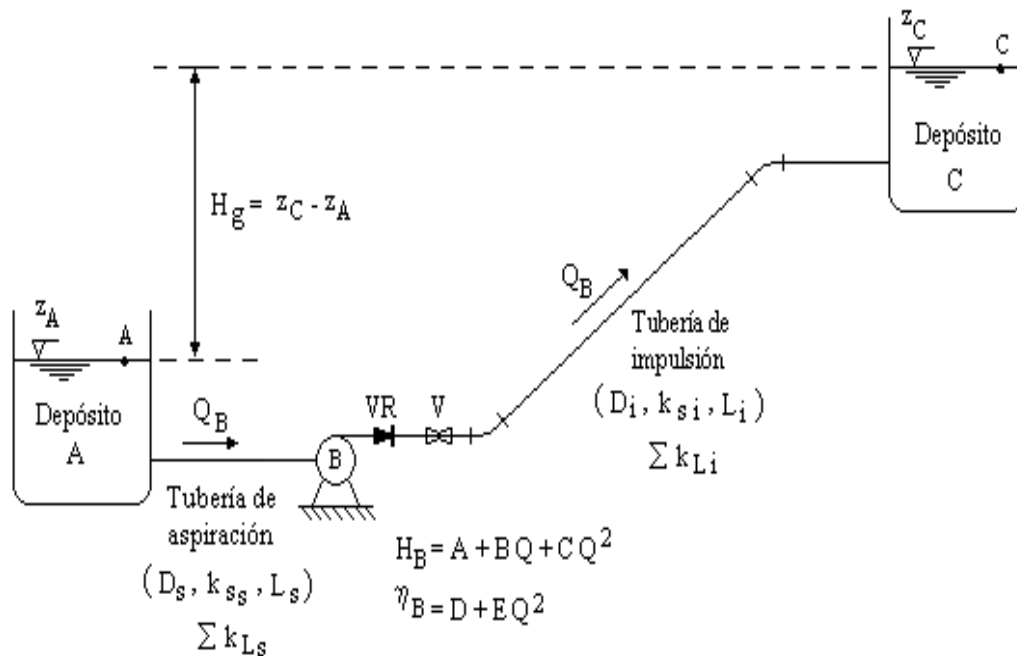


Figura: 1.6 Instalación de bombeo elemental

Varios son los factores que intervienen para lograr una óptima eficiencia como las pérdidas, características del líquido, la selección de la bomba, la instalación del equipo, válvulas y potencia del motor (consumo de energía eléctrica). Se debe tener en cuenta que lo indicado es solo una parte de lo mucho que puede hacer para mejorar la eficiencia en los sistemas hidráulicos.

1.11 Conclusiones del capítulo 1

- Se realizó una búsqueda bibliográfica de la planta de Recuperación de NH_3 , donde se obtuvo una descripción del flujo tecnológico de la misma y el estudio de la interconexión en serie del sistema de bombeo del pozo de cola hasta las líneas de distribución.
- Con la interconexión en serie del sistema de bombeo, se logra superar la dificultad de no poder bombear la cola a la cota 74, manteniendo las bombas en paralelo y los diversos accesorios acoplados en ellas, tales como codos, válvulas, uniones, filtros. Además, se conocen las propiedades físicas del líquido a impulsar, tales como densidad (ρ), viscosidad cinemática (ν), peso

CAPÍTULO 3. ANALISIS DE LOS RESULTADOS

3.1 Introducción

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 dique de cola nuevo, Estas instalaciones trabajan en régimen cavitacional debido, entre otros factores a las altas temperaturas, densidad del fluido a transportar, la variedad de las propiedades físico – mecánicas de estas mezclas, que les confiere propiedades específicas a los flujos en su movimiento por tuberías, desarrollando además una documentación técnica que da las soluciones que son desconocidas actualmente y por esta causa existe un gasto y un régimen cavitacional en la instalación.

El objetivo de este capítulo de forma concreta, es mostrar los resultados obtenidos para esta investigación, así como la valoración económica y medioambiental para la instalación.

3.2 Resultados de los Análisis Químicos

Utilizando el método analítico de espectrofotometría por absorción atómica, con el empleo de la norma NC: 33 – 31: 1985. Se pesan 0.5 g de la muestra, tratada con una dilución de ácido clorhídrico y ácido nítrico en proporción 3:1, la misma se lleva a sequedad y luego se disuelve con ácido clorhídrico al 1:1 y se determina el porcentaje del contenido de elementos químicos disueltos en el residual, representada en la

ecuación.

$$\% = \frac{mg / l}{10^6} \times \frac{diluciones}{aliquota}$$

La determinación de los elementos químicos disueltos en el residual lixiviado, se determinó por espectrofotometría de absorción atómica como se muestra en En la tabla 3.1, donde se observa que el hierro, y el silicio arrojaron los valores más altos contenidos en el residual. Sobre la base de estos resultados, se puede afirmar que este residual contiene un alto porcentaje de hierro que los caracteriza como Abrasivo,

erosivo y corrosivo, característica que afecta a altas velocidades el diseño de la instalación hidráulico, según anexo 3.

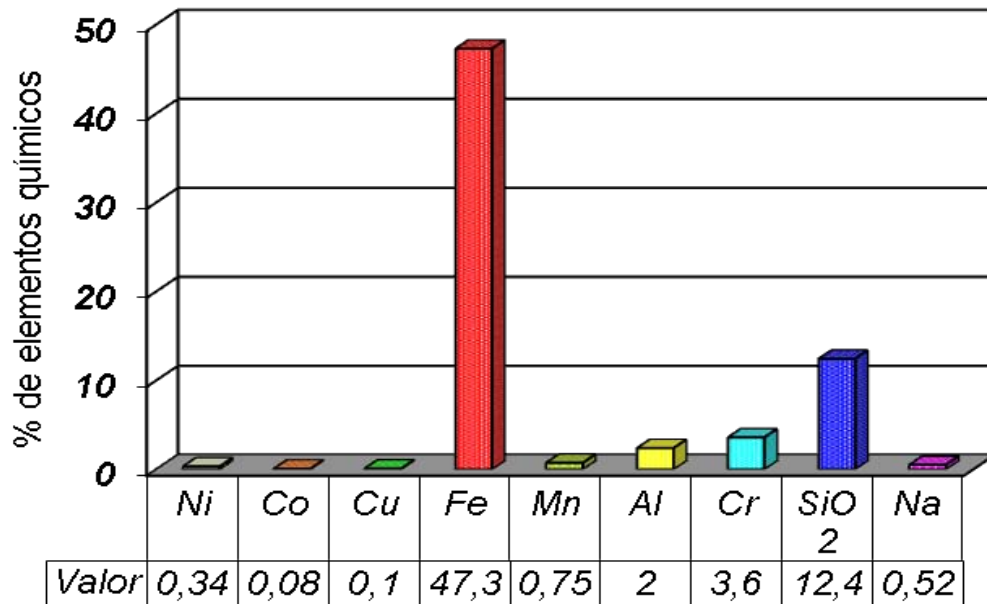


Figura 3.1.- Representa el porcentaje de elementos químicos en el residual

3.3 Análisis del comportamiento de la velocidad

Conociendo las condiciones de operación, el diámetro de tubería como variables predeterminadas, el área de la sección transversal, el caudal constante de 160 m³/h y la relación existente entre el desarrollo de una acción, proceso o fenómeno físico y el tiempo transcurrido entre el espacio o la distancia que recorre un objeto, podemos determinar velocidad del fluido (v) ecuación (2.17)

Área de la sección transversal para tubería DN200 mm. $A = (0,03 \text{ m}^2)$

Área de la sección transversal para tubería DN300 mm. $A = (0,09 \text{ m}^2)$

Realizando un análisis del comportamiento del flujo de cola, asumiendo los valores de velocidad establecidos y el diámetro nominal DN 200/300 mm para las tuberías montadas obtenemos.ver tabla 3.1

Tabla 3.1: Calculo de la velocidad de la cola en función del caudal constante.

Tubería (DN 200 mm)		
Velocidad (m/s)	Caudal (m ³ /h)	Área (m ²)
$v_1=1,41$	$Q_1= 157$	0,031
$v_2=1,43$	$Q_2= 160$	0,031
$v_3=1,45$	$Q_3= 162$	0,031

Cuando los valores de flujo son superiores a 160 m³/h, para una $v=1,43$ m/s, los efectos negativos sobre el sistema dinámico se incrementan, razón por la cual no se recomienda trabajar a velocidades superior a 1,43 m/s, la velocidades para el área de 0,09 m², son menores por lo que se debería aumentar caudal a 320 m³/h.

3.4 Resultados del cálculo para la instalación actual

En el caso específico de la estación de bombeo de cola al dique de la Planta de Recuperación de Amoniaco, la (NPSH) disponible en la instalación es mayor que la (NPSH)_R por la bomba, y por tanto no se presenta el fenómeno de cavitación manteniendo un nivel de 3,5 m de altura de cola a bombear. El cual provoca pérdidas de capacidad en las bombas, disminución de la velocidad del fluido en la línea y por tanto la sedimentación de sólidos en la misma, así como elevados niveles de gasto de energía. También se logra un punto de operación de la interconexión en serie según la red de tuberías de un $Q_{trab} = 160 \frac{m^3}{h}$ y $H_{trab} = 50m$, con una $N_{trab} = 49kW$, y una $\eta_{trab} = 69\%$, según anexo 6

Para el análisis de la instalación actual se tendrán en cuenta los siguientes datos:

$$V = 1,43 \text{ m/s}$$

$$D = 0,204 \text{ m}$$

$$n = 1440 \text{ rev/min}$$

$$\rho_{cola} = 1300 \cdot kg/m^3$$

$$A = 0,0314 \text{ m}^2$$

$$L_t = 3800 \text{ m}$$

En el cálculo de la instalación actual se tuvieron en cuenta la condición de las líneas en todo su trazado tanto en la succión como en la descarga según tabla 3.2

Tabla 3.2: Valores de coeficiente de pérdidas por accesorios "K"

Línea de Succión				
Accesorios	Diámetros	Cantidad	K	Total
Reducción concéntrica	12x10	1	0,39	0,39
Válvula de compuerta		1	1,00	1,00
Codo de 90°		2	0,42	0,84
Te		1	0,28	0,28
Sumatoria de K				2,51

Línea de Descarga				
Accesorios	Diámetros	Cantidad	K	Total
Reducción concéntrica	12x10	1	0,39	0,39
Válvula de compuerta		2	1,00	2,00
Codo de 45°		22	0,22	4,84
Codo de 90°		43	0,42	18,06
Sumatoria de K				25,3

Nota: Los valores del coeficiente "K" fueron extraído del libro Ingresoll-Rand Cameron Hydraulic y Crane.

Fuente: Cameron - Crane.

3.5 Análisis de la línea de emergencia hacia el nuevo dique de cola

En base a los datos calculados, se construyeron las curvas características de la bomba en condiciones normales y superiores de trabajo, anexo No.3 – 4. Conociendo las características del sistema, fue necesario analizar los requerimientos técnicos para el manejo de colas, desde el foso colector, hasta el punto de distribución (cota 57 m), con las bombas conectadas en paralelo según tabla 3.3

Tabla 3.3: Resultado del cálculo hasta el punto de distribución (cota 57 m)

Parámetros	Resultados
Número de Reynolds	$Re = 219846,2$
Factor de fricción de Fanning	$f = 0,016$
Coeficiente de resistencia hidráulica lineal	$\lambda_c = 0,06$
Longitud de succión	$L_t = 1,5m$
Pérdidas en accesorios (h_{As}) en la succión.	$\Sigma h_{As} = 0,048$
Pérdidas en la tubería (h_{fs}) en la succión	$h_{fsuc} = 0,0025$
Carga total en accesorios y tubería de succión	$H_{fs} = 0,050m$
Longitud de impulsión cota 57	$L_t = 1800m$
Pérdidas en accesorios (h_{Ad}) en la descarga.	$\Sigma h_{Ad} = 2,358$
Pérdidas en la tubería (h_{fd}) en la descarga	$h_{fd} = 13,32$
Carga total en accesorios y tubería de impulsión.	$H_{fd} = 15,7m$
Carga total por fricción	$H_f = 16m$
H_s .- Altura de succión, (sobre el nivel del mar)	$H_s = 25m$
H_d .- Altura de descarga, (sobre el nivel del mar)	$H_d = 57m$
Altura Estática de descarga	$H_{est} = 32m$
Carga de la bomba	$H_B = 48m$
Altura positiva neta de carga de succión requerida.	$NPSH_{req} = 3,14m$
Altura positiva neta de carga de succión disponible.	$NPSH_{dis} = 6,07m$
$NPSH_{dis} \geq NPSH_{req}$	No cavita la bomba
Carga total del sistema	50 m
Potencia de la bomba teórica	26 kW
Potencia de la bomba real	29 kW
Potencia del motor calculado	31 kW
Eficiencia de la bomba	0,63

De los cálculos realizados para la nueva propuesta se comprueba que el sistema de bombeo con las bombas actuales y red propuesta, es capaz de suministrar el desecho lixiviado en el área del cauce del río Yagrumaje. Y los valores más altos se muestran en la figura 3.1, a un caudal de $160 \text{ m}^3/\text{h}$, una altura de 48 m, a un rendimiento de 63 % y a una potencia de 29 kW, según anexo 4.

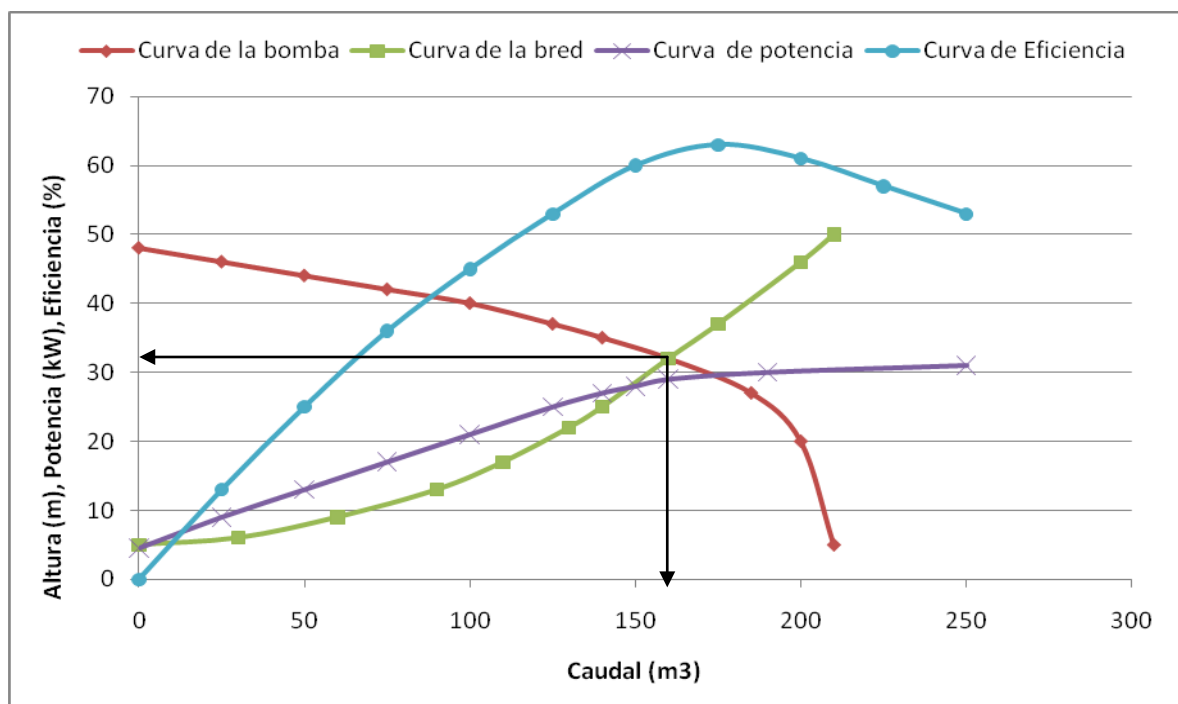


Figura 3.1: Curva de trabajo de la bomba para el distribuidor de flujo cota 57

Dentro de las características fundamentales del rango de operación de la bomba, hasta el punto de distribución (cota 57 m), encontramos la relación entre la altura, potencia, eficiencia y el caudal alcanzado durante el periodo de explotación, valores obtenidos que se muestran en la figura 3.1, donde se pudo demostrar que para una potencia de la bomba de 29 kW, con un rendimiento de 63 %, el punto de operación de la bomba se encuentra a los 32 m de alturas y a un valor de $0,044 \text{ m}^3/\text{s}$ del caudal, resultados a tener en cuenta, a la hora de transportar el residual.

3.6 Análisis y cálculo de la línea en la zona Norte hacia el nuevo dique de cola

Posteriormente el análisis de los requerimientos técnicos necesarios para el manejo de colas, atendiendo a los nuevos criterios de diseño, para la utilización de bombas

existentes en la distribución de las colas en la zona Norte y emergencia cota 65 m según tabla 3.4

Tabla 3.4: Resultado del cálculo hasta la (cota 65 m)

Parámetros	Resultados
Número de Reynolds	$Re = 219846,2$
Factor de fricción de Fanning	$f = 0,016$
Coeficiente de resistencia hidráulica lineal	$\lambda_c = 0,06$
Longitud de succión	$L_t = 1,5m$
Pérdidas en accesorios (h_{As}) en la succión.	$\Sigma h_{As} = 0,048$
Pérdidas en la tubería (h_{fs}) en la succión	$h_{fsuc} = 0,0015$
Carga total en accesorios y tubería de succión	$H_{fs} = 0,049m$
Longitud de impulsión cota 57	$L_t = 1800m$
Pérdidas en accesorios (h_{Ad}) en la descarga.	$\Sigma h_{Ad} = 0,06$
Pérdidas en la tubería (h_{fd}) en la descarga	$h_{fd} = 1,76$
Carga total en accesorios y tubería de impulsión.	$H_{fd} = 15,7m$
Carga total por fricción	$H_f = 1,9m$
H_s .- Altura de succión, (sobre el nivel del mar)	$H_s = 25m$
H_d .- Altura de descarga, (sobre el nivel del mar)	$H_d = 65m$
Altura Estática de descarga	$H_{est} = 40m$
Carga de la bomba	$H_B = 56m$
Altura positiva neta de carga de succión requerida.	$NPSH_{req} = 3,14m$
Altura positiva neta de carga de succión disponible.	$NPSH_{dis} = 6,07m$
$NPSH_{dis} \geq NPSH_{req}$	<i>No cavita la bomba</i>
Carga total del sistema	58 m
Potencia de la bomba teórica	38 kW
Potencia de la bomba real	40 kW
Potencia del motor calculado	43 kW
Eficiencia de la bomba	0,63

De los cálculos realizados para la nueva propuesta se comprueba que el sistema de bombeo con las bombas actuales y red propuesta, es capaz de suministrar el desecho lixiviado en el área del cauce del río Yagrumaje Norte. Los valores más altos se muestran en la figura 3.2, a un caudal de $160 \text{ m}^3/\text{h}$, una altura de 40 m, a un rendimiento de 63 % y a una potencia de 40 kW, según anexo 5.

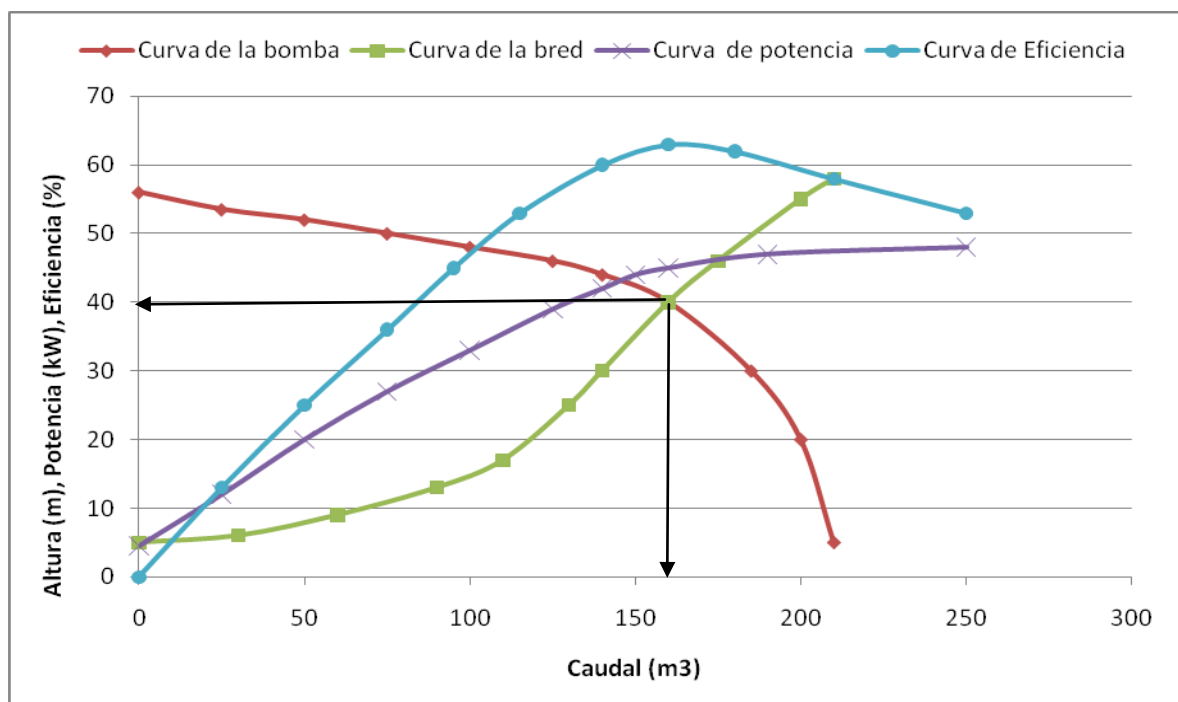


Figura 3.2 Curva de trabajo de la bomba para la línea cota 65

Dentro de las características fundamentales del rango de operación de la bomba, hasta en la línea Norte y de emergencia cota 65 m, encontramos la relación entre la altura, potencia, eficiencia y el caudal alcanzado durante el periodo de explotación, valores obtenidos que se muestran en la figura 3.2, donde se pudo demostrar que para una potencia de la bomba de 40 kW, con un rendimiento de 63 %, el punto de operación de la bomba se encuentra a los (40 m) de alturas y a un valor de (0,044 m³/s) del caudal, resultados a tener en cuenta, a la hora de transportar el residual.

3.7 Análisis y cálculo de la línea en la zona Oeste hacia el nuevo dique de cola

También fue necesario analizar los requerimientos técnicos para el manejo de colas, atendiendo a los nuevos criterios de diseño, para la utilización de bombas existentes en la distribución de las colas en la zona oeste cota 74 m, ver tabla 3.5

Las curvas características que rigen el comportamiento de las bombas y la correspondiente a las pérdidas hidráulicas en el lado de la impulsión, cuya intersección permite obtener un punto característico denominado " Punto de Operación " que sirve para la elección de la bomba y estudiar a si , sus implicancias cuando este punto varía en un plano de altura con caudal (H_v s Q) y las ventajas

cuando es posible instalar en un sistema de bombeo más de una bomba, ya sea en serie o en paralelo, y la determinación de los rendimientos totales.

Tabla 3.5: Resultado del cálculo hasta la zona oeste (cota 74 m).

Parámetros	Resultados
Número de Reynolds	$Re = 219846,2$
Factor de fricción de Fanning	$f = 0,016$
Coeficiente de resistencia hidráulica lineal	$\lambda_c = 0,06$
Longitud de succión	$L_t = 1,5m$
Pérdidas en accesorios (h_{As}) en la succión.	$\Sigma h_{As} = 0,048$
Pérdidas en la tubería (h_{fs}) en la succión	$h_{fsuc} = 0,0015$
Carga total en accesorios y tubería de succión	$H_{fs} = 0,049m$
Longitud de impulsión cota 57	$L_t = 2100m$
Pérdidas en accesorios (h_{Ad}) en la descarga.	$\Sigma h_{Ad} = 0,036$
Pérdidas en la tubería (h_{fd}) en la descarga	$h_{fd} = 0,486$
Carga total en accesorios y tubería de impulsión.	$H_{fd} = 0,57m$
Carga total por fricción	$H_f = 1,06m$
H_s .- Altura de succión, (sobre el nivel del mar)	$H_s = 25m$
H_d .- Altura de descarga, (sobre el nivel del mar)	$H_d = 74.m$
Altura Estática de descarga	$H_{est} = 49m$
Carga de la bomba	$H_B = 66m$
Altura positiva neta de carga de succión requerida.	$NPSH_{req} = 3,14m$
Altura positiva neta de carga de succión disponible.	$NPSH_{dis} = 6,07m$
$NPSH_{dis} \geq NPSH_{req}$	<i>No cavita la bomba</i>
Carga total del sistema	88 m
Potencia de la bomba teórica	78 kW
Potencia de la bomba real	87 kW
Potencia del motor calculado	94 kW
Eficiencia de la bomba	0,69

De los cálculos realizados para la interconexión en serie, se comprueba que el sistema de bombeo con las bombas actuales y red propuesta, es capaz de suministrar el desecho lixiviado en el área del cauce del río Yagrumaje. Y los valores más altos se muestran en la figura 3.3, a un caudal de $160 \text{ m}^3/\text{h}$, una altura de 88 m, un rendimiento de 69 % y a una potencia de 87 kW, según anexo 6.

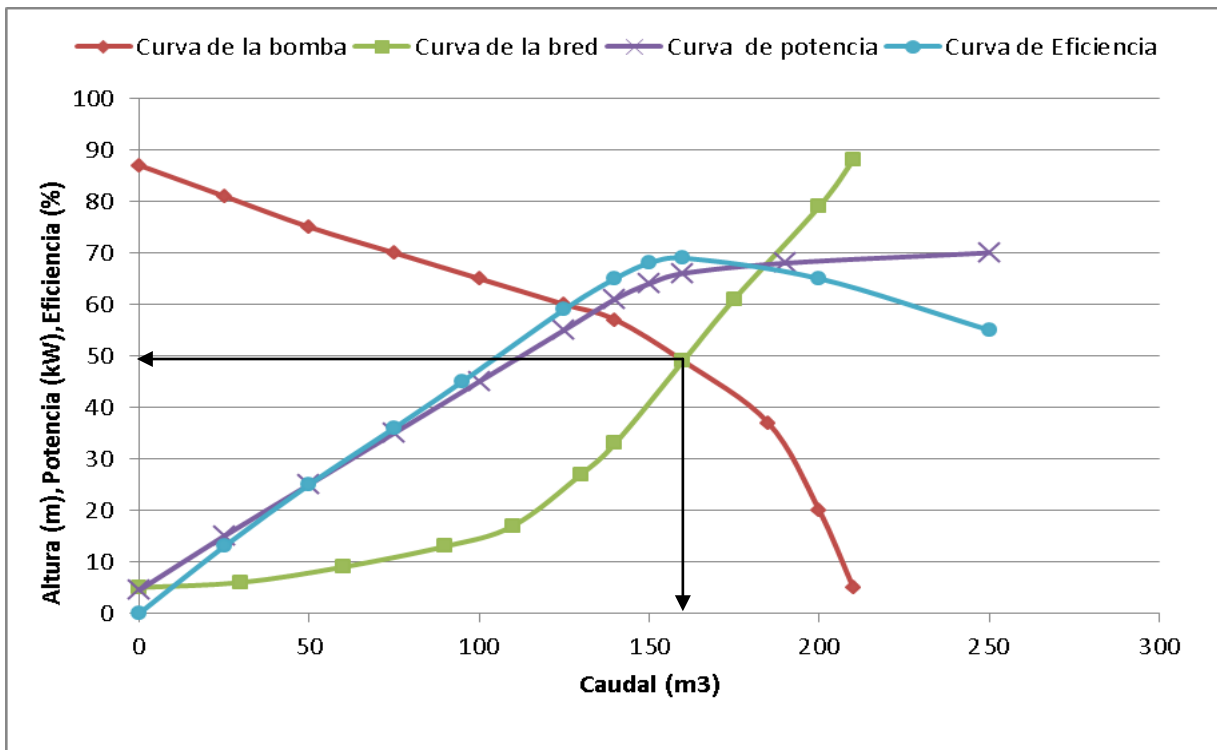


Figura 3.3: Curva de trabajo de la bomba para la línea cota 74

La determinación de la altura total del sistema en serie seria:

$$H_T^s = 88\text{m}$$

La presión total en la interconexión en serie con la descarga de la bomba BO-313 E y la succión BO-313 F, sería la sumatoria de las presiones de cada bomba a la descarga de la última bomba que se interconecta con la red de tubería del pozo de cola, si por datos conocemos que la altura de presión es de $4,35 \text{ Kg/cm}^2$ por cada bomba, entonces.

$$P_T^s = 8,74 \text{ kgf/cm}^2$$

Entonces la altura manométrica ganada por el fluido es de $8,7 \text{ kgf/cm}^2$ que es proporcionada por las bombas en serie para la línea oeste en la cota 74, debería de alcanzar una altura de 87 m.c.a, si $10 \text{ m.c.a} = 1 \text{ kg/cm}^2$, más las pérdidas ocasionadas en tramos de líneas.

A continuación mostraremos los resultados la curva de la bomba instalada en paralelo, en este caso la altura manométrica de elevación es la misma y el caudal de

cada bomba se suma, según se muestran los valores en la figura 3.4. En el caso de una estación de bombeo con dos bombas instalada en paralelo que se dará sumando los caudales de cada bomba manteniendo el salto. El caudal de cada bomba será el que corresponde a cada una con el salto de funcionamiento.

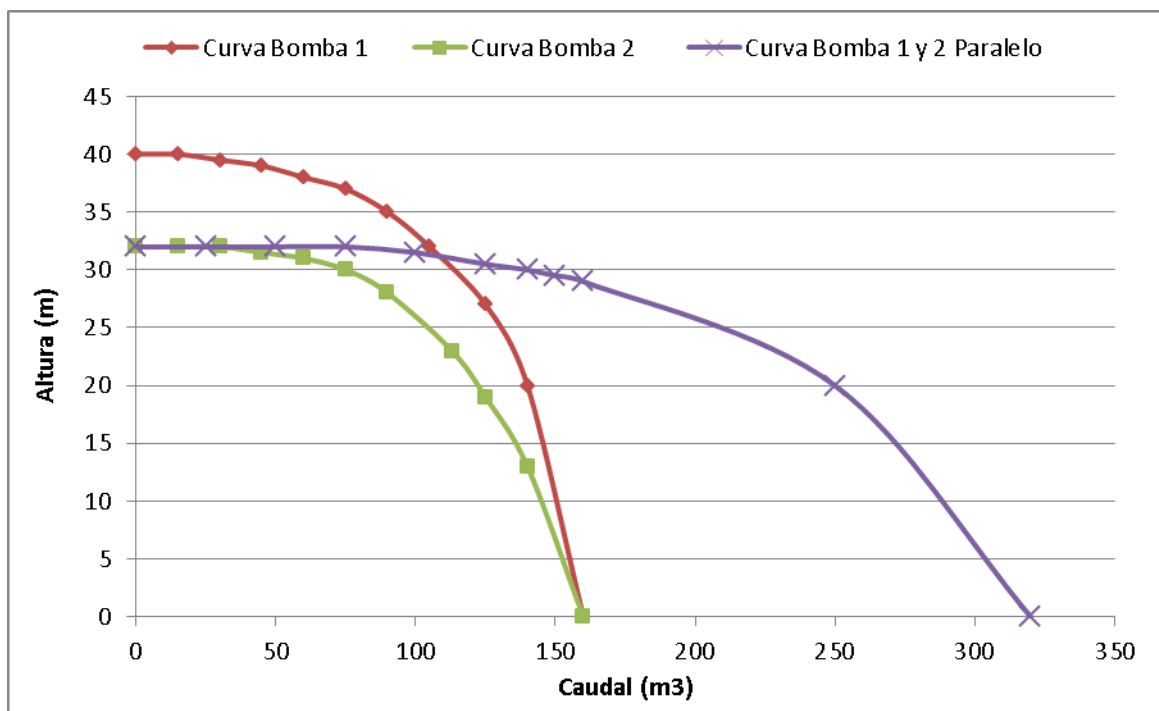


Figura 3.4 Curva de las bombas 1 - 2 en paralelo para la línea cota 57 y 65

Como se puede apreciar según los resultados obtenidos en la figura 3.4, las bombas conectadas en paralelo no cumplen con los parámetros de altura requerida para el sistema

Con los resultados obtenidos, se pudo demostrar que las bombas conectadas en serie alcanzan alturas superiores a la altura máxima de la línea oeste cota 74, por lo que se alcanza el objetivo de trabajo con las bombas actuales, según se muestran los valores en la figura 3.5, según anexo 4.

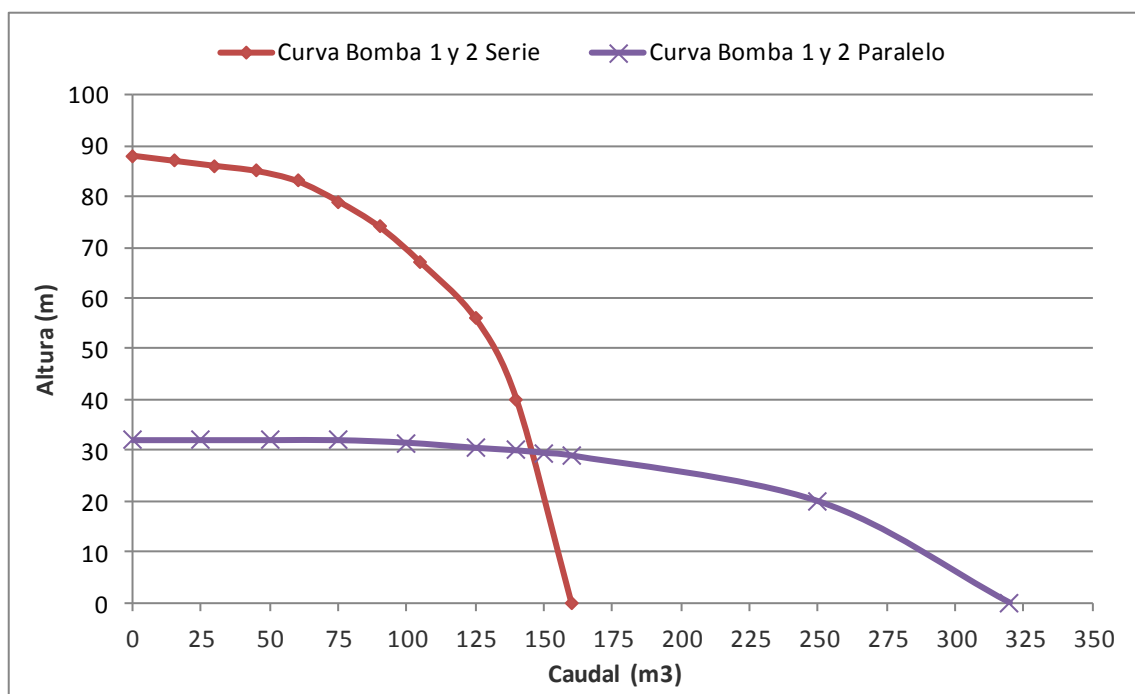


Figura 3.5: Curva de las bombas 1 - 2 en series y en paralelo bombas 1 - 2.

Si analizamos los resultados calculados y los obtenidos experimentalmente, y los comparamos con los que entrega el fabricante de la bomba a través de la teoría de la semejanza, vemos que la bomba instalada cumple con los parámetros obtenidos de, altura, potencia, caudal y eficiencia de la bomba, donde puede observarse muy claramente que los resultados obtenidos siguen la misma tendencia de curva gráfica que los entregados por el fabricante. Según se muestran en el anexo No.5

3.8 Valoración técnico económica.

Una gran parte de los gastos capitales durante el hidrotransporte lo constituye 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 explotación del equipamiento de bombeo en régimen económico permite el ahorro de la energía eléctrica y aumentar la efectividad del transporte hidráulico. Teniendo siempre presente los problemas que esta puede causarle al medio circundante.

Según la metodología empleada para el cálculo de la valoración económica se obtienen los resultados comparativos de la instalación en la tabla 3.7

Tabla 3.7 Resultado comparativo de las instalaciones

Parámetros	Actual	Nuevo
Caudal de cola transportada por una bomba en un año. (m ³ / año)	1401600	1226400.00
Caudal de agua utilizada para disminuir la temperatura de la cola. (m ³ / año)	912.5	912.50
Longitud de la línea (km).	3.50	2.90
Cantidad de bombas trabajando	4	4.00
Potencia consumida por el motor durante la transportación de la pulpa (kw/h).	55	55
Rendimiento del motor eléctrico. (%)	91.00	91.00

A través la metodología empleada para el cálculo de la valoración económica se obtienen los resultados de los parámetros principales en la tabla 3.8

Tabla 3.8 Indicadores técnico económicos

Indicadores	Resultados	Unidad
Gasto de explotación de la instalación actual para la transportación de un m ³ de cola	0,17999	CUC
Gasto anual de explotación de una bomba	204 192,96	CUC/año
Gastos globales variables	195 815.60	CUC/año
Gastos fijos globales	8 377,36	CUC/año
Gasto anual por consumo de energía eléctrica	14 259,75	CUC/año
Gasto anual de consumo de energía eléctrica por iluminación	39,42	CUC/año
Gasto de salario del personal directo en la instalación	6 910,467	CUC/año
Gastos por consumo de agua para disminuirle la temperatura a la cola	170 820	CUC/año
Gastos de amortización de la bomba	2137,84	CUC/año
Gastos de amortización de las tuberías y soportes	4892,06	CUC/año

Los valores obtenidos indicadores técnico económicos, se realizaron solo bajo las condiciones existentes del sistema de bombeo actual, razón por la cual se tuvieron

en cuenta solamente los gastos anuales de las tuberías y las bombas por mantenimiento y la explotación para transportar un m³ de cola hacia el dique nuevo.

3.9 Impacto medio ambiental

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.

Debido a problemas tecnológicos de diseño del proyecto original de la planta, 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.

De acuerdo al proceso tecnológico de la planta, se hace necesaria la construcción de nuevos depósitos donde se pueda almacenar por un periodo largo de tiempo el producto de desecho (cola), de manera que no afecte al medio ambiente.

El análisis del estado actual del medio ambiente a partir de las transformaciones sufridas durante la evolución socioeconómica del territorio con la caracterización de los componentes de los medios físicos y bióticos, posibilitan determinar de forma preliminar la relación que se produce entre las acciones que provocan impactos y los factores ambientales.

3.9.1 Valoración de la influencia ambiental del sistema de cola dique nuevo

El dique de cola constituye uno de los principales problemas que afectan al medio desde el punto de vista ambiental y técnico, pues la explotación de la presa ha desviado el curso del río Moa representando un peligro inminente para la zona costera, así como la necesidad de disponer nuevas áreas para ubicar las colas de desecho.

Efecto ambiental de la cola y las medidas para eliminar los daños que esta produce. El principal impacto que produce la ejecución de una nueva instalación de bombeo

de cola es la erosión del polvo de cola, gases amoniacales, condensados y otros componentes nocivos para la salud del hombre.

Efectos ambientales en la instalación de bombeo de cola

- Derrame en el puente de 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 de drenaje del pozo de cola, provocando inmediaciones y desprendimientos de gases calientes en la instalación.
- El puente de tuberías pasa por partes de otras plantas que al averiarse derrama cola y afectan el entorno fabril.
- 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 depresurizador al pozo de cola.

Medidas constructivas para eliminar estos problemas

- Dar mantenimiento y conservación de todo el puente de tuberías principalmente en las uniones y sellos.
- Mantener la cultura industrial, eliminando toda la sedimentación de polvo de cola derramado en la planta.
- Reubicación de un nuevo pozo de cola con el objetivo de eliminar derrame en la nueva instalación de bombeo.
- Pasar por chequeo médico periódicamente para conocer el estado de salud de todo el personal de la planta.
- Corregir todos los salideros de pulpa de cola en toda la instalación (principalmente en la salida de las bombas).

Medidas para la protección del medio ambiente en el dique de cola

- Determinar las características que presentan los materiales del dique para efectuar la siembra. Si los materiales son fértiles, semifértiles o rocas tóxicas o simplemente rocas, sobre esa base buscar la posibilidad de siembra.
- No depositar materiales contaminantes dentro del depósito, si se hace lo contrario, hacer el estudio y por ende se debe tener el control dentro de la cola para proteger su extracción y conservación.
- Tener las coordenadas de los objetos que se van quedando dentro de las colas,. (Tubos que puedan crear problemas a la hora de la extracción).
- Si hay una modificación en la tecnología que provoque un cambio en la composición de las colas hay que caracterizarlo técnicamente, se debe conocer las permeabilidades del dique y de la cola a investigar.

3.10 Conclusiones del capítulo III

El análisis de la propuesta de interconexión en serie muestra que:

1. Con el estudio realizado, las bombas existentes en el pozo de cola, garantizan el trasiego de colas desde el foso colector hasta el punto de distribución por las características técnica que posee, incrementando la altura de carga 88 m y manteniendo constante el caudal a 160 m³/h.
2. El gasto para transportar un metro cúbico de cola en la instalación existente de bombeo es de 1,50 CUC/m³.

CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODO

2.1 Introducción

Las colas, residuales sólidos líquidos procedentes del proceso de lixiviación amoniacal; presentan una situación crítica en la actualidad en cuanto a su manejo, debido a las limitaciones de almacenamiento en el dique actual, requiriéndose de acciones urgentes que garanticen la manipulación de tales desechos en correspondencia con los volúmenes de producción generados por la empresa en las condiciones actuales.

Para la distribución de las colas hacia el nuevo dique, se han analizado diferentes alternativas que complementan los actuales volúmenes de producción de Che Guevara, considerando la modernización de sus instalaciones, en función de los cual se han estimado los recursos requeridos para el manejo.

Ante la decisión de la dirección de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara (ECG), el Grupo Empresarial Cuba Níquel (UNI) y el Ministerios de Minas y Energía (MINEM), de utilizar recursos existentes en Nicaro y Moa, se hace necesario desarrollar una serie de análisis que cambian o modifican los criterios de diseño originales, basados en las condiciones de operación establecidas por ECG en los años 2016 y 2017.

El proceso de tratamiento de la cola culmina en la planta de recuperación de amoniaco durante su destilación, para la recuperación del amoniaco (NH_3) y dióxido de carbono (CO_2) disueltos en el fluido acuoso, el cual es depositado en el pozo de colas (255-SU-312) como desecho o residuales del proceso tecnológico.

El trasiego de las colas comienza con su extracción desde el pozo existente, por medio de un sistema de bombeo integrado por 5 unidades (4 trabajando y 1 de reserva) situadas en la elevación +24 m, sobre el nivel del mar (snm). Las bombas se conectarán a cuatro líneas tecnológicas que permitirán la conducción de la cola hasta la estación de control de flujo a una distancia de 1800m cada una, ubicado en el extremo Norte-Oeste del dique de colas, en la cota aproximada +57 m snm.

La estación de control de flujo consiste en un colector común donde descargan las cuatro líneas procedentes del pozo de colas, el cual se regula mediante un sistema de válvulas que regulan la distribución de las colas en la presa. Dicha distribución se realiza mediante tres ramales, Línea Norte, Línea de Emergencia y Línea Oeste. Dos líneas de distribución de colas funcionarán desde la Fase I del proyecto (Línea Norte y Línea de Emergencia) y la tercera (Línea Oeste) comenzará a funcionar en la Fase II o III según se requiera. Según anexo 1

Estos parámetros poseen incidencia en las inversiones teniendo en cuenta los gastos de explotación y la fiabilidad del trabajo de la instalación.

Objetivo del capítulo: Establecer la metodología de cálculo que permita solucionar el problema planteado.

2.2 Propiedades físico-mecánicas de la cola

La planta de recuperación de amoníaco tiene la función de recuperar el NH_3 y CO_2 tanto en los licores, como de las colas recibidas de la planta de lixiviación y lavado, la cual es enviada al foso de colas 255-SU-312, al cual se interconectarán las líneas para el manejo de colas que consiste en un sistema de tuberías (4 líneas) a través de las que se evacuarán, por medio de una estación de bombeo (ubicada en la cota de terreno 24 m respecto al nivel del mar), las que depositarán el fluido en el punto de distribución, ubicado en la cota de terreno 57 m respecto al nivel del mar. Donde esta conectada una línea de 12 pulg de 2000 m de longitud aproximada hasta la cota 74 m sobre el nivel del mar (nsm).

Actualmente la estación de bombeo del foso de colas de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara, cuenta con 6 bombas centrifugas, de las cuales operan normalmente dos (2) y dos (2) en espera, para las condiciones de producción actuales de 18500 t (ni+co), de 30000 t (ni+co) por proyecto.

Todos los fluidos que se transportan producen incrustaciones a lo largo de la explotación del sistema de bombeo. Claro, hay algunos fluidos como la cola, laterita, petróleo y otros que poseen mayor efecto en los sistemas de bombas, debido a su composición granulométrica. Basado en las investigaciones relacionadas anteriormente se determina que:

- La pulpa tiende a asentarse rápidamente perdiendo su humedad y formando una capa prácticamente impermeable que permite formar diques con ellos sin que se produzcan filtraciones apreciables.
- La resistencia mecánica es muy alta pues en los diques construidos se pueden mover libremente todo tipo de equipos sin que ocurran deslizamientos.
- La cola por su granulometría es de fácil arrastre por el viento, lo que provoca una alta contaminación en zonas donde se deposita.
- El tanque donde esta se almacena se observaron las incrustaciones provocadas por las reacciones adversas de la misma.

Análisis del líquido

Contenido de agua aproximadamente entre (4 y 3) % de NH_3 (amoníaco).

Análisis del sólido

Densidad: Es la masa del fluido contenido en la unidad de volumen.

Densidad del sólido: 3.619 t/m^3

Temperatura de descarga: $90 - 95 \text{ }^\circ\text{C}$

Tabla 2.1: Características del desecho lixiviado (Cola) a la entrada al pozo de cola

Descripción	Especificaciones
Líquido	Solución Carbonato amoniacal
Concentración	NH_3 - 55g/l; CO_2 -28.5g/l; Ni - 0.18 g/l; Co - 0.4 g/l
Densidad	1600 Kg/m^3
Temperatura	$90 \text{ }^\circ\text{C}$
pH	$8 \div 9$
Viscosidad	1 cP
Conductividad del líquido	$> 20 \text{ ms/cm}$.

Determinación de las Composición química

La base del método, es la medición de la emisión atómica, por una técnica de espectroscopia óptica. La porción de ensayo es nebulizada, el aerosol producido es transportado al plasma, y se produce la excitación. Las líneas atómicas

características del espectro de emisión son producidas por un plasma inductivamente acoplado por el equipo de Espectrofotometría de Absorción Atómica.

Los espectros son dispersados por un espectrofotómetro de red y las intensidades de las líneas son monitoreadas por los detectores. Las señales procedentes de los detectores son procesadas y controladas por una computadora, determinando el contenido de elementos químicos como son: Contenido de aluminio, cobalto, cobre, cromo, manganeso, níquel, sodio, sílice, y hierro, empleando la norma que rigen este proceso en el laboratorio químico del Centro de investigación del níquel.

Tabla 2.2: Composición química de la cola

Elementos	M-1	M-2	M-3	Promedio
Químicos				
Ni	0,33	0,35	0,33	0,34
Co	0,081	0,081	0,08	0,08
Cu	0,1	0,103	0,109	0,104
Fe	47	47,4	47,6	47,3
Mn	0,75	0,75	0,74	0,75
Al	2	2,5	2,3	2,3
Cr	3,5	3,7	3,5	3,6
SiO ₂	12,45	12,45	12,42	12,44
Na	0,52	0,5	0,54	0,52

Según los datos de la composición química los elementos predominantes, son el hierro y la sílice con valores medio de Fe-47 y SiO₂-12,44 respectivamente. En general, se observa poca variabilidad en las composiciones químicas de las muestras analizadas.

Tabla 2.3 Características del desecho lixiviado (Cola), a la salida del pozo de cola

Localización	Pozo de cola hasta la cota 57 y 72. Nueva Presa
Servicio (fluido)	Colas
Cantidad	1
Código	300H-HSS-1AB4-031
Longitud lineal de tubería	3800 m
Diámetro	DN200, SCH 40
Temperatura máxima	75 °C
Presión máxima	5,0 kgf/cm ²

Flujo máximo	160 m ³ /h
Densidad	1200 kg/m ³
Material	Acero al carbono ASTM A106-B
Características especiales del fluido	Abrasivo, erosivo y corrosivo

Datos iniciales estimados en función del trazado del sistema de redes:

- Régimen de flujo: 140-160 m³/h
- Régimen de flujo (parada y/o avería): 160 m³/h
- Velocidad recomendada: 1,5 – 2,0 m/s
- Longitud de tramos rectos: 1800 m
- Codos 90° RL: 43
- Codos 45° RL: 22
- Válvula de Bola: 2
- Elevación del eje de succión: Cota +24 (respecto al nivel del mar)
- Elevación del eje punto de descarga P/D: Cota +57 (respecto al nivel del mar)
- Diferencia de nivel: 33 m
- Elevación del eje punto de descarga L/O: Cota +74 (respecto al nivel del mar)
- Diferencia de nivel: 50 m

2.3 Metodología de cálculo

En correspondencia con las condiciones de operación mostradas anteriormente, se analizaron los requisitos técnicos mínimos requeridos, para la manipulación de las colas desde el foso colector hasta el punto de distribución con las bombas existentes.

Como se conoce, las bombas existentes en la instalación de bombeo de cola no trabajan en el número de revoluciones para la cual se construyó la curva característica de estas; debido a que las propiedades de la cola no son iguales que las del agua para la que fue construida la curva. En este caso la curva de la bomba sufre cambios en su comportamiento.

Los cambios en la capacidad, carga y potencia necesarias al cambiar la velocidad de rotación, pueden calcularse teniendo en cuenta, que si no se cambia el diámetro del impelente, de acuerdo con las leyes de semejanza hidráulica, se mantendrán las siguientes relaciones.

- La cantidad de flujo entregado, varía directamente con la velocidad de rotación.
- Las cargas varían directamente de acuerdo con el cuadrado de la velocidad de rotación.
- Como consecuencia de las dos leyes anteriores, la potencia necesaria variará tanto como el cubo de la velocidad de rotación.
- La eficiencia dentro de los límites prácticos se mantendrá igual para los puntos homólogos de la nueva curva.

Para expresar en forma de ecuaciones estas relaciones, se establece:

H: Carga dinámica total, m

Q: Capacidad (caudal), m³/h

n: Número de revoluciones, rev/min

N: Potencia, kW

Para las variaciones de la capacidad, carga y la potencia necesarias, se tendrán las siguientes expresiones.

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad (2.1)$$

$$\frac{H_1}{H_2} = \frac{(n_1)^2}{(n_2)^2} \quad (2.2)$$

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{(n_1)^3}{(n_2)^3}$$

(2.3)

Con los datos de la curva de la bomba para agua a 1440 rev/min se obtienen los datos para construir las nuevas características de la bomba a 1180 rev/min mediante las siguientes ecuaciones.

$$Q_2 = Q_1 \cdot \frac{n_1}{n_2} \quad (2.4)$$

$$H_2 = H_1 \cdot \frac{(n_1)^2}{(n_2)^2} \quad (2.5)$$

$$N_2 = N_1 \cdot \frac{(n_1)^3}{(n_2)^3} \quad (2.6)$$

2.3.1 Metodología de cálculo del sistema de hidrotransporte para la instalación actual

Frecuentemente el comportamiento de un sistema de bombeo interconectado en serie, es proporcional a cargas mayores al sistema que las bombas individuales, de características conocidas (curvas H_B vs Q y η_B vs Q), cuando se emplea para impulsar un líquido, a través de una instalación simple, desde un depósito de aspiración, precedida por la tubería de aspiración, y seguida de la tubería de impulsión. De estas últimas se conocen su longitud (L), diámetro (D), material, rugosidad (k_s) y los diversos accesorios acoplados en ellas, tales como codos, válvulas, uniones, filtros. Además, se conocen las propiedades físicas del líquido a impulsar, tales como densidad (ρ), viscosidad cinemática (ν), peso específico (γ), temperatura (T°) y presión de vapor (p_v).

Partiendo que para el cálculo de la potencia de la bomba y del motor, así como del NPSHD de las bombas, primeramente se hace el planteamiento de la ecuación de Bernoulli (2.7), ecuación de conservación de la energía; entre los puntos (1) y (2), ubicados en la superficie del líquido en los depósitos de succión y de descarga, así como las demás cargas del sistema respectivamente, se tiene:

$$H_e + \frac{V_e^2}{2 \cdot g} + \frac{\Delta P_e}{\gamma} + Hf_e = H_s + \frac{V_s^2}{2 \cdot g} + \frac{\Delta P_s}{\gamma} + Hf_s \quad (2.7)$$

Donde:

Hf_e - Hf_s .- Pérdidas de entradas y salidas, m

H_e - H_s .- Altura geométrica entrada y salida, m

γ - Peso específico

g - Gravedad, m/s^2

$$H_B = (H_d - H_s) + (h_{f_s} + h_{f_d}) + (\sum h_{A_s} + \sum h_{A_d}) \quad (2.8)$$

Donde:

H_B .- Altura de la bomba, m

$H_d - H_s$.- Altura geométrica, m

$(h_{fs} + h_{fd})$.- Pérdidas de cargas por fricción en la succión y descarga, m

$(\Sigma h_{As} + \Sigma h_{Ad})$.- Pérdidas de cargas accesorios, m

La expresión (2.8) es la llamada ecuación de resistencia, cuya representación gráfica es llamada curva resistente del sistema. En ella, H_B es la energía, expresada en altura, que debe suministrar la bomba, a efectos de impulsar la cola a un punto de descarga con un Q_B constante.

El desnivel geométrico ($H_d - H_s$), es la altura geométrica o estática que has de vencer el sistema de bombeo. Los restantes términos son la pérdida de carga por rozamiento y por singularidades que ocurren a lo largo de la tubería de succión y descarga. La carga estática total se determina conociendo la altura geométrica del nivel del líquido entre los recipientes de succión y descarga, más la línea de centros de la bomba

$$H_{est} = (H_d - H_s) \quad (2.9)$$

Donde:

H_{est} .- Altura geométrica o estática, m

H_d .- Altura de descarga, m

H_s .- Altura de succión, m

2.3.2 Cálculo de las pérdidas de carga en tuberías de succión y descarga

Teniendo en cuenta que por continuidad el flujo másico es constante, es conveniente expresar las cargas en función del flujo másico o caudal. En el cálculo de las pérdidas en tuberías se consideran todas las características del sistema de bombeo: gasto o gastos de operación, características del fluido, características de tuberías y accesorios

Las pérdidas de carga en tuberías (h_f) de succión y descarga se calculan mediante la ecuación de Darcy & Weisbach:

$$h_f = \frac{8 \cdot f \cdot L \cdot Q_B^2}{\pi^2 \cdot g \cdot D^5} \quad (2.10)$$

Donde:

L .- Longitud de la tubería, m

Q.- Caudal o Gasto, m³/s

D.- Diámetro de la tubería, m

g.- Aceleración de la gravedad, m

f.- El coeficiente de fricción, adimensional

π : constante adimensional (3,1416)

A continuación se muestran los valores más usuales de coeficiente de fricción (f) en función del diámetro de la tubería:

f = 0,030 para D < 80 mm

f = 0,020 para 100 < D < 250

f = 0,015 para 300 < D < 1000

f = 0,012 para D > 1000

2.3.3 Cálculo de las pérdidas de carga en accesorios de succión y descarga

Las pérdidas locales en la succión tienen en cuenta cuando el líquido tropieza con un codo, una válvula y un estrechamiento o ensanchamiento brusco, entre otras resistencias provocadas por accesorios y se calcula por las expresiones siguientes:

Cálculo de las pérdidas en accesorios (h_A) de succión y descarga.

$$h_A = \frac{8.K.Q_B^2}{\pi^2.g.D^4} \quad (2.11)$$

$$\sum h_A = \frac{8.\sum K.Q_B^2}{\pi^2.g.D^4} \quad (2.12)$$

Donde:

k- coeficiente de resistencia (adimensional)

El factor k es adimensional y su valor depende del tipo de accesorio y diámetro del mismo; se define como la pérdida de altura de velocidad para una válvula o accesorio.

Entonces las pérdidas de carga totales por fricción serían (H_f)

$$H_f = h_f + h_A \quad (2.13)$$

La resolución del sistema de bombeo se reduce a resolver la igualdad entre la curva motriz o carga total del sistema en función del caudal $H_m = f(Q_B)$ y la curva

de resistencia $H_r = f(Q_B)$ de la instalación, si $H_m = H_r$ entonces sustituyendo variables en las ecuaciones (2.9 y 2.10) tenemos.

$$H_r = H_{est} + \frac{8}{\pi^2 \cdot g} \cdot \left[\frac{1}{D_s^5} \cdot (f_s \cdot L_s + D_s \cdot \sum K_s) + \frac{1}{D_d^5} \cdot (f_d \cdot L_d + D_d \cdot \sum K_d) \right] \cdot Q_B^2 \quad (2.14)$$

El número de Reynolds (Re), permite establecer el régimen de trabajo del flujo y válida según la naturaleza reológica del fluido, se determina por esta ecuación; recomendada utilizar para fluidos pseudo plásticos y dilatantes. (Garcell, 2003)

$$Re = \frac{8^{1-n} \cdot D^n \cdot v^{2-n} \cdot \rho_{col}}{k} \cdot \left(\frac{4 \cdot n}{3 \cdot n + 1} \right)^n \quad (2.15)$$

Donde los coeficientes n y k :

n - Índice de flujo ($n = 0,63$)

k - Coeficiente viscosidad ($k = 0,1037 Pa \cdot s$)

Para:

$Re < 2300$ Régimen laminar

$2300 < Re < 4000$ Régimen de transición

$Re > 4000$ Régimen turbulento

El coeficiente de resistencia hidráulica lineal (f) es un parámetro adimensional que depende del número de Reynolds y se determina por la expresión:

$$f = \frac{A}{Re^B} \quad (2.16)$$

Tabla 2.2 Valores de los coeficiente A y B a partir del índice de flujo

n	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4
A	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
B	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2

La velocidad del fluido (v) se calcula de la siguiente manera:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{4Q}{\pi D^2} \quad (2.17)$$

Donde:

A- área transversal de la tubería (m^2)

Por lo tanto cuándo dos o más bombas están acopladas en serie; cuando el tubo de impulsión de una de ellas, está unido al de aspiración de la siguiente, y así sucesivamente. Las diferentes bombas tendrán el mismo caudal, mientras que la altura manométrica resultante será la sumatorias de las alturas correspondientes de cada bomba, es decir:

$$Q_T^s = Q_{B1} = Q_{B2} \quad (2.18)$$

Entonces la H_B , la altura total del sistema en serie seria $H_T^s = P_T^s = \Sigma P_{B1} + P_{B2}$

$$H_T^s = \Sigma H_{B1} + H_{B2} \quad (2.19)$$

Donde:

P_T^s - Presión total del sistema en serie kgf/cm²

$P_{B1} + P_{B2}$ - Presión de cada conectada en serie kgf/cm²

2.3.4 Cálculo de la Altura Neta Positiva de Aspiración (NPSH_{dis})

Es la energía mínima que debe tener el fluido a la entrada del impulsor de la bomba expresada en metros de columna de agua, para evitar la cavitación que es la formación de burbujas de vapor en el interior de la bomba que se produce en los puntos en que la presión está por debajo de la presión de vapor del líquido (agua).

$$NPSH_{dis} = H_{atm} - H_{vap} + H_{est} - H_{fsucc} ; [m] \quad (2.20)$$

Donde

H_{atm} – Carga a presión en (m.c.a) equivalente a la presión atmosférica, (m)

H_{vap} – Carga a presión en (m.c.a) equivalente a la tensión de vapor del líquido, (m)

H_{est} – Carga estática de succión, (m)

H_{fsucc} – Pérdidas de carga en la tubería en la succión, (m)

Cálculo de la Altura Neta Positiva de Aspiración (NPSH_{req})

Es un dato básico y característico de la bomba, varía según el modelo, tamaño y condiciones de servicio recomendada en los datos que facilita el fabricante. Para la evaluación de la calidad del diseño de la fabricación o confiabilidad de los datos técnicos referentes a la aspiración, es importante la determinación del (NPSH_{req})

$$NPSH_{req} = \left(\frac{n_2 \cdot \sqrt{Q}}{S} \right)^{1,33} \quad (2.21)$$

$$S = \frac{n_1 \cdot \sqrt{Q}}{(NPSH_{req})^{\frac{3}{4}}} \quad (2.22)$$

El parámetro $NPSH_{dis}$ debe ser comparado contra el $NPSH_{req}$, el cual está determinado por las características del tramo de succión del sistema y puede mejorar aumentando el diámetro de la tubería de succión, mejorando la calidad de la tubería, reduciendo la distancia de tubería de succión y la cantidad de accesorios. Todo lo anterior con el objetivo de garantizar que el $NPSH_{dis} > NPSH_{req}$, para evitar que la misma no cavite, que es el defecto que más afecta de forma general a las máquinas de flujo, la cavitación.

2.3.5 Método alternativo para calcular la eficiencia de la bomba

En caso de no contar con las curvas características de la bomba, se puede determinar la eficiencia de la bomba mediante el siguiente procedimiento:

Cálculo de la Potencia Hidráulica de la bomba (N_b)

$$N_b = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H_{est}}{1000 \text{ W/kW}}; (\text{kW}) \quad (2.23)$$

Donde:

Q.- Caudal o Gasto, m^3/h

H_{est} .- Altura estática, m

g.- Aceleración de la gravedad, m/s^2

ρ .- Densidad de la cola, kg/m^3

Rendimiento hidráulico.

Las pérdidas hidráulicas surgen como resultado del rozamiento hidráulico y la formación de torbellinos en la máquina. La apreciación de la máquina en el sentido de las pérdidas hidráulicas se realiza con ayuda de este valor.

$$\eta_h = \frac{H_{est} - H_f}{H_{est}}; (\%) \quad (2.24)$$

Donde:

H.- Es la altura que maneja la instalación, (m).

De tal manera que la eficiencia de la bomba queda definida como

$$\eta_b = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H_{est}}{N_b \cdot 1000W / kW}; (\%) \quad (2.25)$$

Donde:

N_b - Potencia total que consume la bomba, (kW).

Por último, a efectos de evitar las altas presiones a caudales bajos, es aconsejable arrancar el sistema de bombas en serie con la válvula de descarga total o casi totalmente abierta.

2.4 Calculo del gasto de explotación de la instalación actual

Uno de los principales parámetros de las industrias productoras en el mundo actual, es la valoración económica del consumo de energía en la explotación de cualquier instalación a escala industrial, con el fin de reducir los gastos.

Gasto de explotación de la instalación actual para la transportación de un m^3 de cola.

$$G_e \times \bar{P} \left(\frac{G_b}{Q \cdot L} \right) \quad (2.26)$$

Donde:

G_b : Gasto anual de explotación de una bomba, (CUC/año.m)

Q : Caudal de cola transportada por una bomba en un año, (m^3 /año)

L : Longitud de la línea que va al dique, m

$$G_b = V + F \quad (2.27)$$

Donde:

V : Gastos global variables, (CUC/año.m)

F : Gastos fijos globales, (CUC/año.m).

Gasto global variable.

$$V = g_s + g_{elec} + g_{mant} + g_{imp} + g_{eil} + g_{agua}$$

(2.28)

Donde:

g_s : Gasto en salario de los operarios de la instalación, (CUC/año.m)

g_{elec} : Gasto por el consumo de energía eléctrica, (CUC/año.m)

g_{mant} : Gastos de mantenimiento, (CUC/año.m)

g_{imp} : Gastos imprevistos, (CUC/año.m)

g_{eil} : Gastos por iluminación, (CUC/año.m).

g_{agua} : Gastos por consumo de agua para disminuirle la temperatura a la cola, (CUC/año).

Gastos fijos globales.

$$F = g_{\text{amort1}} + g_{\text{amort2}} + g_{\text{spi}} \quad (2.29)$$

Donde:

g_{amort2} : Gastos de amortización de las tuberías con los soportes, (CUC/año).

g_{amort1} : Gastos de amortización de la bomba, (CUC/año).

g_{spi} : Gastos del salario personal indirecto (813 CUC).

Gasto anual por consumo de energía eléctrica.

$$g_{\text{elec}} = \frac{T_a \cdot N \cdot K_p \cdot t}{\eta} \quad (2.30)$$

Donde:

T_a : Tarifa de corriente eléctrica (0,048 CUC/ kW*h).

N : Potencia consumida por el motor durante la transportación de la pulpa, (kW).

K_c : Factor de Combustible 1.04.

t : Cantidad de horas de funcionamiento en el año 8760 h.

η : Rendimiento del motor eléctrico, (%).

Gasto anual de consumo de energía eléctrica por iluminación.

$$g_{\text{eil}} = N_i \cdot T_a \cdot T_{pi} \quad (2.31)$$

Donde:

N_i : Factor de ajuste de potencia para sensores de luz $SL = 0,1$. Según tabla 2.2, NC-Ts 220-2/2006.

T_{pi} : Cantidad de horas de operación en el año, 4380 h.

Gasto de salario del personal directo en la instalación.

$$g_S = (t_a + t_{af}) t_n \cdot K_{ss} \cdot K_{dr} \cdot K_{pc} \quad (2.32)$$

Donde:

t_a : Tarifa salarial del operario, 1.44 (CUC/h).

t_n : Tiempo de trabajo del operario en la instalación ,2496 h/año.

t_{af} : Tarifa para condiciones anormales, 0,8CUC/h.

K_{ss} : Coeficiente de seguridad social, 1.1.

K_{dr} : Coeficiente de descanso distribuido, 1.0909.

c : Por ciento de pago complementario, 3%.

K_{pc} : Coeficiente de pago complementario, 1.03.

$$K_{pc} = 1 + \frac{c}{100} \quad (2.33)$$

Gastos por consumo de agua para disminuirle la temperatura a la cola.

$$g_{agua} = Q_a \cdot P_a \quad (2.34)$$

Donde:

Q_a : Caudal de agua utilizado para disminuirle la temperatura a la cola, 1138800 m³/año.

P_a : Precio del m³ de agua, 0.15 CUC/año.

Costo de Inversión.

$$g_{amort1} = \frac{N_g \cdot I}{100} \cdot n \quad (2.35)$$

Donde:

N_g : Tasa de amortización, 6 %.

I : Costo inicial del equipo 8907,7 CUC.

Gastos de amortización de las tuberías y soportes.

$$g_{amort2} = \frac{N_g \cdot It}{100} \quad (2.36)$$

Donde:

N_g : Tasa de amortización 6%.

It : Costo inicial de las tuberías y soportes 81534,4 CUC.

2.5 Conclusiones del capítulo 2

1. La metodología de cálculos propuesta se realiza como elemento fundamental en el trasiego de cola desde la planta de recuperación de amoniaco hacia la nueva presa de cola para alcanzar el objetivo del trabajo.
2. Se determinó las propiedades Físico- Mecánicas de la cola, fluido en estudio. Así como su densidad, composición química dando como resultado que los elementos predominantes de la cola son el hierro y la sílice con valores medios de 47,3 % y 12,44% respectivamente.
3. La interconexión en serie, es la propuesta propicia para el trasiego de cola al nivel más alto de la nueva presa en la empresa Ernesto Che Guevara.



CONCLUSIONES GENERALES

1. Para el transporte hacia el nuevo depósito (cota 74) se trabajará con las bombas actuales pero conectadas en serie esta solución garantiza incrementar la altura de carga a 50 m, manteniendo constante el caudal a 160 m³ / h.
2. El gasto para transportar un m³ de cola en la nueva instalación es de 1,50 CUC mayor que en la instalación actual, pero teniendo en cuenta el aspecto ambiental y operacional esta nueva instalación en serie es la más factible.
3. La altura manométrica ganada por el fluido es de 8,7kgf/cm² que es proporcionada por las bombas en serie para la línea oeste en la cota 74, debería de alcanzar una altura de 87 m.c.a, si 10 m.c.a = 1 kgf/cm²



RECOMENDACIONES

1. Asegurar las condiciones técnicas operativas apropiadas que garanticen el funcionamiento estable de las bombas, instrumentos de medición y tuberías tecnológicas.
2. Mantener una inyección de agua diaria para disminuir la temperatura de la cola.
3. Aprovechar parte de los puentes de tuberías existentes, lo que disminuye los gastos económicos del sistema del hidrotransporte al nuevo dique.
4. Con las bombas existentes y algunas que existen en recuperación de amoniaco alarga el ciclo de compras de las bombas nuevas.



BIBLIOGRAFIA

1. GARCELL, L.R. Flujo por tuberías de suspensiones minerales no newtonianas. Facultad de ingeniería química. Universidad de Oriente. 1 – 40, 2001.
2. MARTINEZ, L.A. Proyección de un sistema de hidrotransporte de pulpa abrasiva (cola) desde la empresa "Cmdte Ernesto Che Guevara" hasta el nuevo depósito de cola. Trabajo de diploma. ISMM 2001.
3. TURRO, B.D.; Y.C. ZARZABAL. Metodología de investigación del transporte hidráulico aplicable a las condiciones de la industria del níquel. Trabajo de diploma, Facultad de Metalurgia Electromecánica, ISMM, 1997.
4. IBARZ A., J. VELEZ y G. BARVOSA. Transporte de Alimentos Fluidos a Través de Tuberías. Inéditos: 60 hojas. Universidad de las Américas, Puebla, México (2001).
5. BANDALA M. Pérdidas por Fricción en Fluidos No Newtonianos. Tesis de Licenciatura. Universidad de las Américas, Puebla, México, 2001.
6. DIAZ A., HECHAVARIA T., Selección del diámetro óptimo de tuberías para fluidos no newtonianos viscosos. Método generalizado. Régimen turbulento, Tecnología química vol. xix, no. 3, 1999.
7. IZQUIERDO P. R., TURRO B. A., Nikolaev A., Hidrotransporte del mineral laterítico en régimen estructural. Instituto Superior Minero Metalúrgico Dr. Antonio Núñez Jiménez, Revista Minería y Geología Vol. XVII I, No. 2, 2001, ISSN 0258 5979 pág. 53 – 59.
8. PAKRORSKAYA, V.I., El transporte hidráulico en la industria minera. Moscú: Nedra, 1985, 192 p.
9. SKELLAND A.H. Non Newtonian flow and heat transfer. Ediciones revolucionarias, La Habana, 1970.
10. VERNAR J.M. y R.G. Morgan., Pipeline Design and Pump Selection for Non-Newtonian Fluid Foods. Food Technology. Dic.: 78-85, 1986.

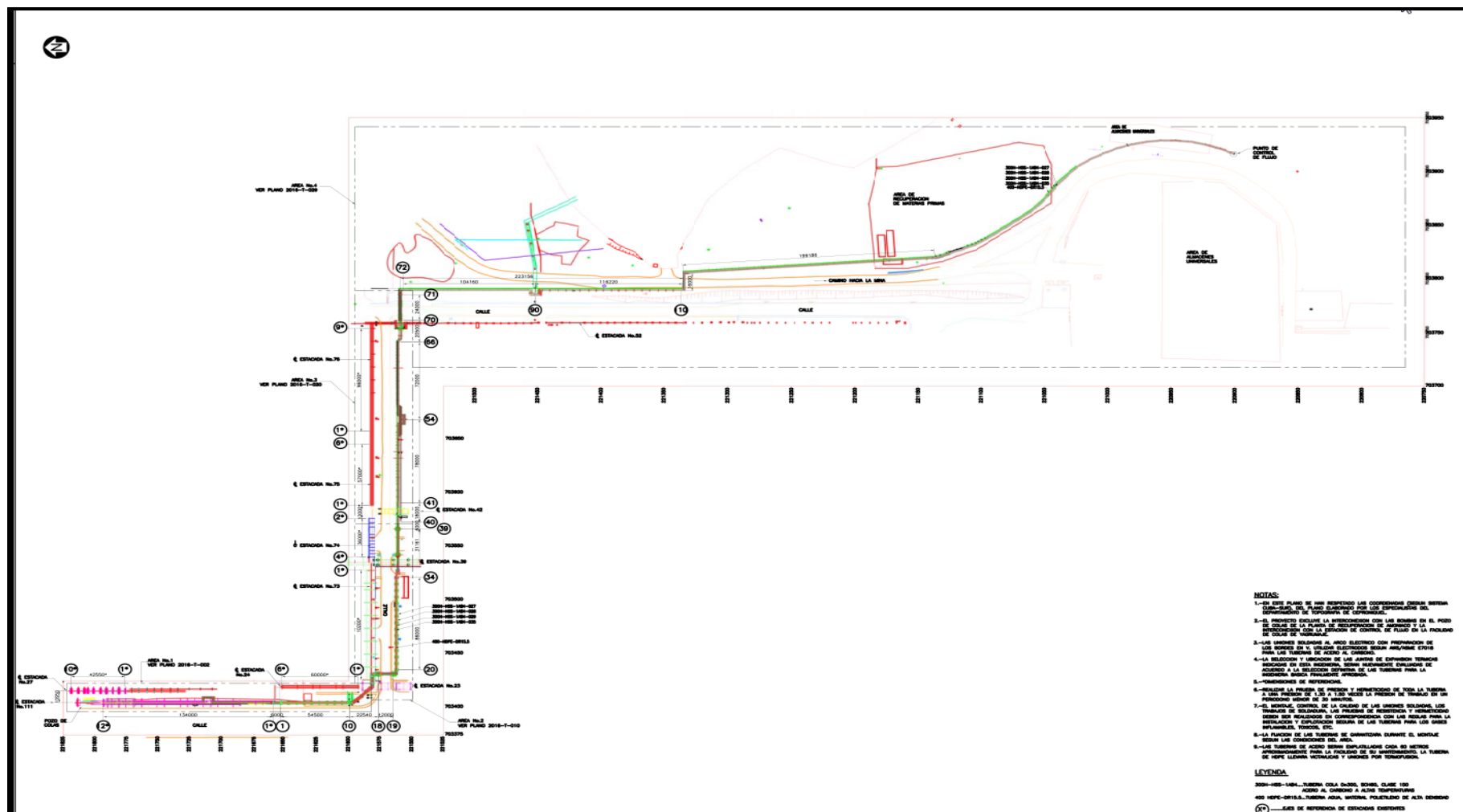


11. TURRO, B.A. Estudio del hidrotransporte de las colas en el proceso carbonato amoniacal. Tesis doctoral. Instituto Superior Minero Metalúrgico. Moa. 2002.
12. VEGA, GUSMAN, C; J, Villacreses-Zambrano, A, J. 2006: Estudio del fenómeno de sedimentación en el tratamiento del agua en tres casos de estudio. Dr.C. David Matamoros (Tutor). Trabajo de Diploma. Escuela Superior Politécnica del Litoral. 182 p.
13. CORDOBA. T, M.Das y S.K. Das. Non-Newtonian Liquid Flow Through Globe and Gate Valves. Canadian Journal of Chemical Engineering: 72 (Abril), 207-211
14. Mecánica de los fluidos, 18/2/2004. Disponible en <http://homepages.mty.itesm.mx/jllopez/fra.ht>
15. WELTY J.R., R.E. Wilson y Wicks C.E., Fundamentals of momentum, Heat and Mass Transfer, Ed. J. Wiley and Sons. Nueva York, EUA. pp. 202-219,
16. ALFONSO L, H.; ROJAS M, R, Trabajo de Diploma, 2004-2005.
17. GARCELL, L.R. Interfacial and reological characteristics of maghemite aqueous suspensions. Colloid Interface Sci 205 (470), 1998.
18. LAMBERT, A.; GUERRA, M. Informe Técnico de los problemas presentados por la estación de bombas del pozo de colas, 1997-1998.
19. PARAS P, J.A.; Mejore la especificación para compra de Bombas Centrífugas. Facultad de Ingeniería. Universidad de Concepción. Chile, 1986.
20. PÉREZ B, R. Conferencia Magistral. Procedimiento para la evaluación de ofertas y Selección de bombas centrífugas. San Paulo Brasil.
21. PÉREZ B. R.; MALIUK. S. Sobre la elección de criterios de semejanza hidrodinámica aplicadas al transporte hidráulico. Revista Minería y Geología (3), 1984.
22. REYES C, J.L, Metodología de investigación del transporte hidráulico aplicable a las condiciones de la industria del níquel, 2006-2007.

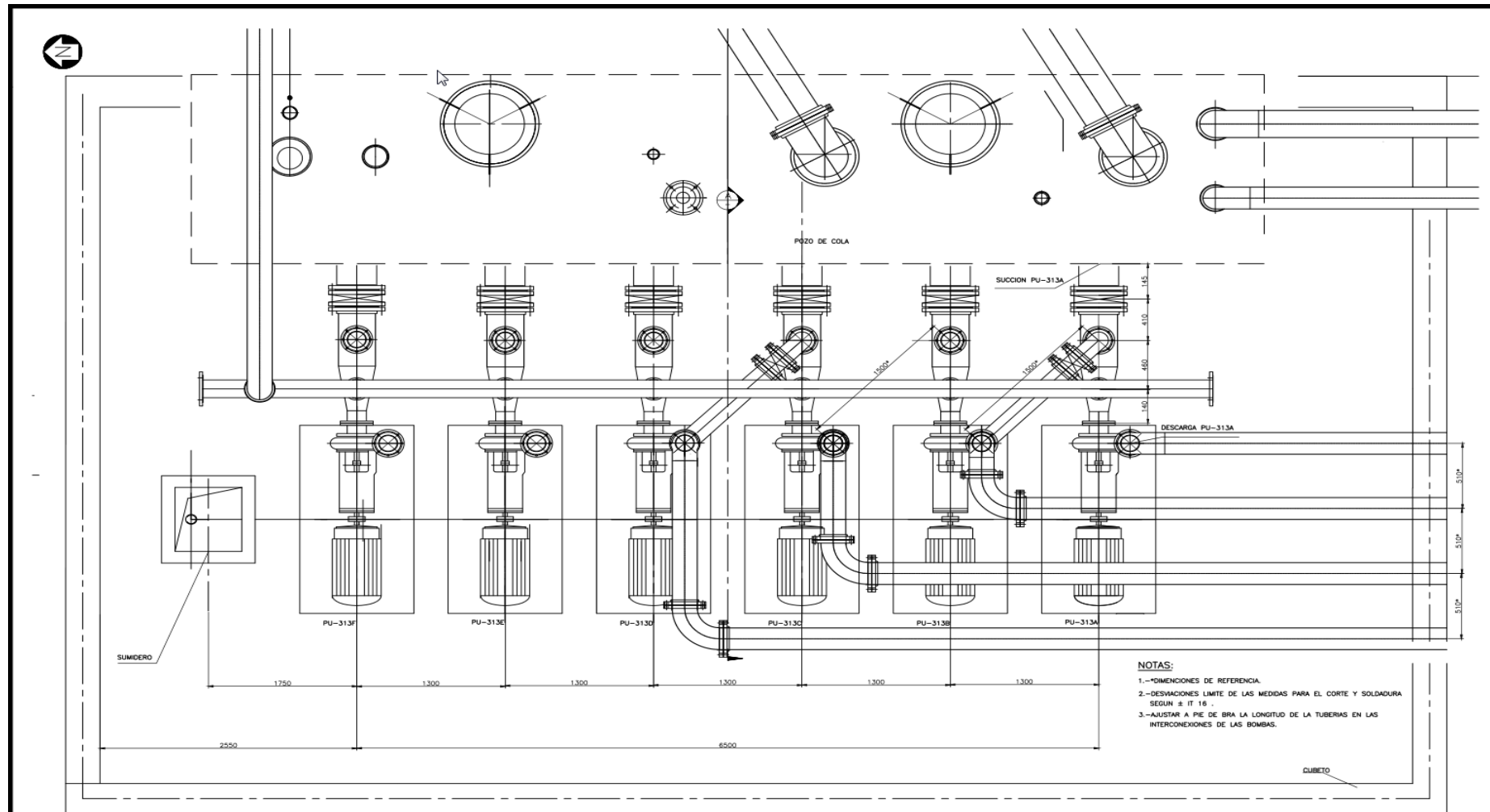


23. REZA G, C. Flujo de Fluidos en válvulas, accesorios y tuberías. Div. Ingeniería Crane.
24. RODRÍGUEZ C, E, Tesis en opción al título de Máster en Electromecánica, 2008-2009.
25. TURRO B, A, Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas, 2001-2002.
26. NC-TS 220-2: 2006. EDIFICACIONES—REQUISITOS DE DISEÑO PARA LA EFICIENCIA ENERGÉTICA—PARTE 2: POTENCIA ELÉCTRICA E ILUMINACIÓN ARTIFICIAL.
27. Proyecto 3114 / 2016. Análisis del sistema de distribución de cola, empresa Ernesto Che Guevara revisión C.

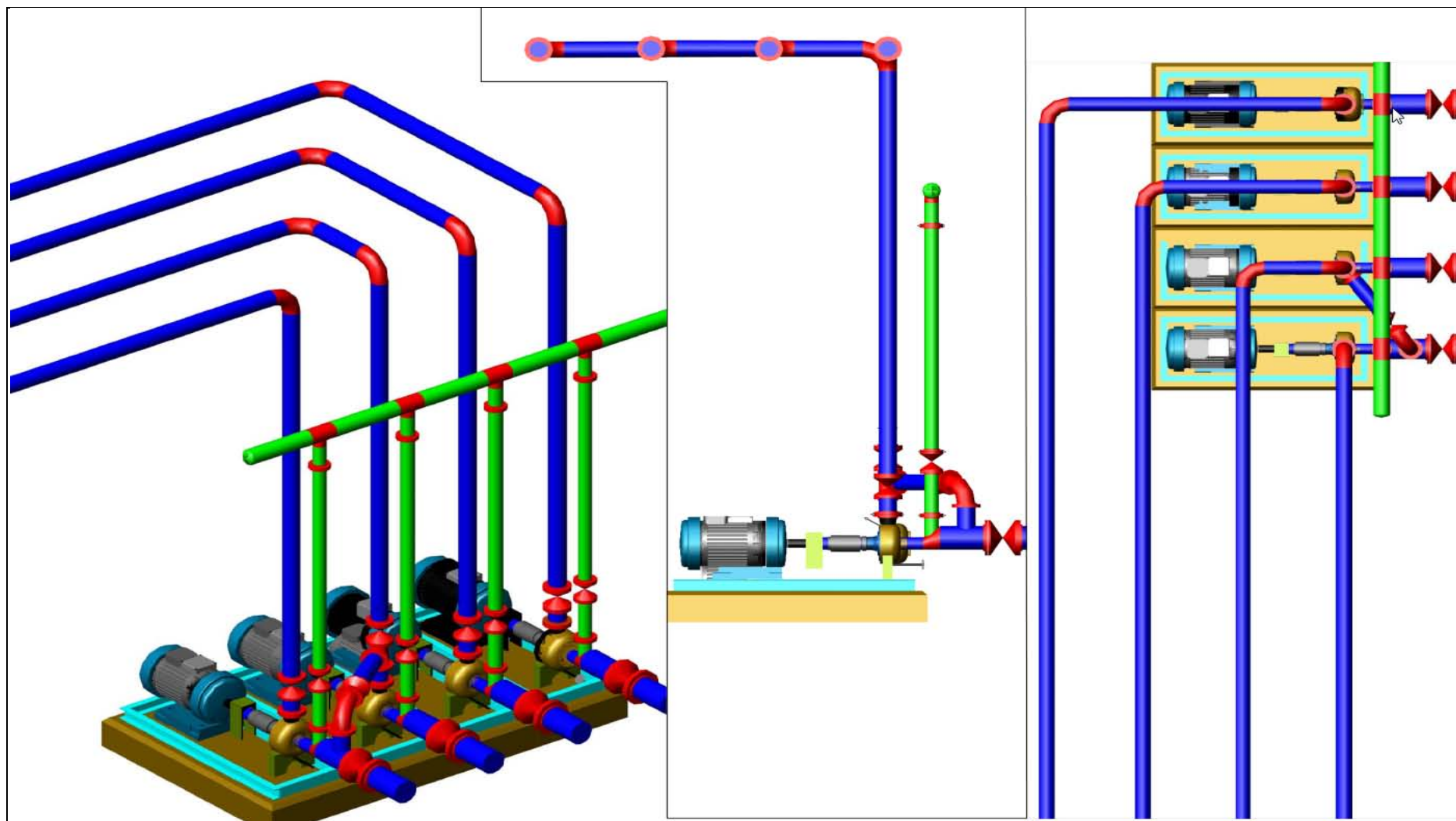
3



Anexos no.2 Plano General del Sistema de Bombeo en Serie y Paralelo.



Anexos no.3 Plano Isometricol del Sistema de Bombeo en Serie.



Isométrico

Vista Lateral

Vista Planta

Anexos no.4

Resultados Obtenidos del Trasiego de Cola a las cota 57m, a 1440 rev/minuto

Q(m ³ /h)	Altura (m)	Potencia (Kw)	Rendimiento (%)
0	5	4,5	0
25	20	9	13
50	27	13	25
75	32	17	36
100	35	21	45
125	37	25	53
140	40	27	60
160	42	28	63
185	44	29	61
200	46	30	57
210	48	31	53

Anexos no.5

Resultados Obtenidos del Trasiego de Cola a las cota 65m, a 1440 rev/minuto

Q(m ³ /h)	Altura (m)	Potencia (kW)	Rendimiento (%)
0	5	4,5	0
25	20	12	13
50	30	20	25
75	40	27	36
100	44	33	45
125	46	39	53
140	48	42	60
160	50	44	63
185	52	45	62
200	53,5	47	58
210	56	48	53

Anexos no.6

Resultados Obtenidos del Trasiego de Cola a las cota 74 m, a 1440 rev/minuto

Q(m ³ /h)	Altura (m)	Potencia (Kw)	Rendimiento (%)
0	5	4,5	0
25	20	15	13
50	37	25	25
75	49	35	36
100	57	45	45
125	60	55	59
140	65	61	65
160	70	64	68
185	75	66	69
200	81	68	65
210	87	70	55

Anexos no.7

Estructura del ciclo de mantenimiento.

