



MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
“Dr. Antonio Núñez Jiménez”
FACULTAD DE METALURGIA ELECTROMECAÁNICA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA.

Trabajo de Diploma

EN OPCIÓN AL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

Título: Cálculo verificativo del sistema de transporte del cieno carbonatado de la planta de neutralización en la empresa Comandante “Pedro Sotto Alba”

Autor: Luis M. Hernández Cuenca

Tutor (es): Dr.C Alberto Turro Breff.

M. Sc. Rodney Martínez Rojas

Moa - 2009

“Aniversario 50 de la Revolución”



DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Yo **Luis Manuel Hernández Cuenca**, autor del Trabajo de Diploma titulado: **Cálculo verificativo de la instalación de Cieno Carbonatado en la planta de neutralización en la Empresa Comandante "Pedro Sotto Alba"** y el tutor Dr.C Alberto Turro Breff, M. Sc. Rodney Martínez Rojas certificamos la propiedad intelectual y la calidad del mismo a favor del Departamento de Ingeniería Mecánica del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, el cual podrá hacer uso del mismo con la finalidad que estime conveniente.

Luis Manuel Hernández Cuenca
Diplomante

Dr.C Alberto Turro Breff
Tutor

M. Sc. Rodney Martínez Rojas
Tutor



PENSAMIENTO

Añade el hombre conocimientos a conocimientos: Nunca el saber es bastante. Si tanto uno es más hombre cuanto más sabe, el más noble empleo será el aprender.

Baltasar Gracián.



DEDICATORIA

En primer lugar esta dedicado al amor que cada día nos impulsa a vivir con más fuerzas y nos proporciona momentos importantes como es este momento.

A los que dejamos cada día en nuestro hogar y al volver, nos reciben con un beso, a esos de los cuales nacimos, con los que nos criamos en cada etapa de nuestra vida, para ustedes es lo mas especial de este momento. En especial a mi hija Lianet Hernández Córdova.

A nuestros amigos y compañero de trabajo que tanto apoyo me han brindado en esto seis años de sacrificios.

AGRADECIMIENTOS

A los seres que tenemos más cerquita del corazón, los que comparten a diario los malos y buenos momentos de la vida sin los cuales no hubiese sido posible nuestra formación.

A la Revolución cubana por darnos la bella oportunidad de formarnos en esta sociedad.

A nuestros tutores especialmente porque sin su constante apoyo no hubiéramos podido hacer este trabajo.

A nuestros amigos que nos alentaron, nos ayudaron y fueron capaces de llenar cada momento cuando sentimos que algo nos faltaba y a los últimos que en la etapa final supieron brindar hermosos momentos que jamás olvidaremos.

A todas aquellas personas que de una forma u otra nos ayudaron en la realización de este trabajo.

RESUMEN

La necesidad de este trabajo trajo consigo la realización de un estudio del trasiego del cieno carbonatado en la planta de Neutralización donde se instaló una nueva batería de reactores para ser alimentada con la misma bomba que venía alimentando a una sola batería, por lo que hasta el momento no se conocía el régimen de trabajo de esta instalación.

Para la realización de este trabajo se hizo necesario implementar un conjunto de estudios dentro de los cuales están: Conocer las características: físico - químicas de la hidromezcla que se pretende manipular; así como su granulometría, densidad, viscosidad, velocidad crítica de sedimentación, para luego hacer los cálculos del sistema de la máquina, accesorios, distancia por trasegar la hidromezcla, la altura del tanque de succión y el reactor de descarga, la presión a la que está sometido el sistema y así comprobar si la bomba garantiza el flujo necesario a los reactores, esto no representa un ahorro del proceso, pero permite tener conocimiento exacto del estado de operación del sistema.



ABSTRACT

The necessity of this work brought about the realization of a study of the transportation of the carbonated mud of the plant of Neutralization where was installed a new battery of reactors to be fed with the same bomb that came feeding to a single battery for what was not known the regimen of work of this installation until the moment.

For the realization of this work it became necessary to make a group of studies which are: To know the characteristics: physical - chemical of the hidromezcla that is sought to manipulate; as well as their grain, density, viscosity, critical speed of sedimentation, to make then the calculations of the system of the machine, accessories, the distances to decant the hidromix, the height of the suction tank and the discharge reactor, the pressure to the one that this subjected one the system and this way to check if the bomb guarantees the necessary flow to the reactors, this doesn't represent a saving of the process, but it allows to have an exact knowledge of the state of operation of the system.

Introducción.

En el año 2008 la industria del Níquel constituyó la primera fuente de exportación del país, así como la principal fuente de ingreso y se encuentra enfrascada en el proceso de ampliación de las capacidades instaladas y modernización de su tecnología, lo que le permitirá seguir incrementando su papel en la economía nacional.

En la resolución económica del **V Congreso del Partido Comunista de Cuba**

(1997), se plantea que para la recuperación y desarrollo de la economía cubana es necesario intensificar el desarrollo de la industria minero metalúrgica y como objetivo estratégico incrementar la producción de concentrado de Níquel con la mayor eficiencia en las inversiones.

Para cumplir estos lineamientos a mediano y largo plazo, se requiere que paralelamente al crecimiento progresivo se perfeccionen los parámetros y regímenes de trabajo de las instalaciones tecnológicas para explotar de una forma más racional y eficiente las grandes reservas de recursos minerales existentes en los yacimientos niquelíferos en la parte oriental de Cuba.

Dentro del complejo tecnológico de la industria niquelífera cubana, se encuentran las empresas Comandante Pedro Sotto Alba con lixiviación acida, que tiene como producto final sulfuros de níquel más cobalto y la Comandante Ernesto Che Guevara de Moa y Comandante René Ramos Latour de Nicaro que realizan la producción de Níquel más Cobalto por el proceso Carbonato Amoniacal; obteniendo al final sínter de níquel mas cobalto.

La empresa Comandante Pedro Sotto Alba, diseñada para una producción de 24000 toneladas por año, luego de pasar el 1^{RO} de diciembre del año 2004 la empresa mixta con una compañía canadiense se a convertido en la principal productora de níquel del país y la más eficiente del mundo, logrando en estos últimos años romper todos los record de producción logrado anteriormente por ella. Además en el pasado año luego de ser sometida a un proceso de expansión por estrategia de la revolución de elevar la producción a 50000 ton /años y concluida solamente la primera fase de tres a ejecutar se logró una producción de 35119 ton en el año 2008.

Además del mineral laterítico, otro producto que se utiliza en la empresa Comandante Pedro Soto Alba es el cieno carbonatado (hidromezcla con sólidos en suspensión no mayores de 20 mesh), minado en la bahía de Cayo Moa, el cual es empleado en la planta de Neutralización para lograr un ph óptimo en el licor reducido con vista a su posterior procesamiento en la planta de sulfuros.

La suspensión del cieno carbonatado, es beneficiada en la zona portuaria, en la planta de coral, donde es impulsada por bomba feluwa y transportada por tuberías hasta la planta de neutralización. El transporte hidráulico por tubería juega un rol fundamental en el transporte de pulpas, debido a su efectividad económica y medioambiental respecto a los demás tipos de transporte, el mismo ha tomado mayor auge con el estudio de los sistemas de hidrotransporte de pulpa. Donde es almacenado en dos tanques con agitación mecánica y neumática con 15.24m de diámetro y 9.14 de alto, con capacidad de almacenar 405000 galones. Luego se bombea a través de bomba centrífuga para los reactores 2 y 3 donde comienza la neutralización y culminando esta en el reactor 5.

Fundamentación de este trabajo.

Debido a la ampliación de esta planta se construyo una nueva batería de reactores similar a la anterior por lo que a la línea de trasiego de coral fue necesario aumentarle 85.09m, mientras se mantuvieron la misma bomba y se desconoce cual es el régimen de trabajo actualmente de la instalación, Haciéndose necesario un recalcu de la instalación actual.

Objeto de estudio.

Sistema de hidrotransporte del cieno carbonatado en la planta de neutralización de la Empresa Comandante Pedro Sotto Alba.

Problema.

Insuficiente conocimiento de los parámetros adecuados de explotación de la instalación actual.

Objetivo general del trabajo:

Determinar los parámetros y régimen de trabajo de la instalación bajo las condiciones actuales, que permita un adecuado control de la alimentación de Cieno Carbonatado a los reactores de neutralización.

Hipótesis del trabajo:

Estableciendo los parámetros adecuados de explotación, bajo las condiciones actuales de trabajo y las características reológicas y de flujo del material a transportar, se logrará una mayor eficiencia y disminución de los consumos de portadores energéticos del sistema.

Objetivos específicos:

- Relacionar las principales propiedades físico - mecánicas reológicas y de flujo del Cieno Carbonatado, y la influencia de estos factores en las propiedades de flujo.
- Determinar los parámetros de trabajo de la instalación de bombeo de Cieno Carbonatado de la planta de neutralización.
- Desarrollar la evaluación de la explotación de la instalación a partir de criterios técnicos – económicos que permitan recomendar mejoras en la eficiencia del transporte del Cieno Carbonatado.

Tareas a desarrollar

- Establecer el estado del arte de las teorías existentes sobre la temática a tratar que permita un desarrollo del trabajo a realizar.
- Establecer la metodología de cálculo tomando como referencia mediciones reales de la instalación
- Calcular los parámetros de trabajo de la instalación a partir de las características del material que permitan establecer las mejoras para lograr eficiencia en la explotación de la instalación.
- Valorar económicamente la aplicación de los resultados obtenidos.

Capítulo: 1**CAPITULO I MARCO TEÓRICO.****1.1 Introducción.**

A continuación se realizará el análisis de los distintos aspectos relacionados con el transporte del Cieno Carbonatado, con la finalidad de disponer de los elementos básicos y de las tendencias actuales que resulten esenciales para el correcto desarrollo de este trabajo.

El **objetivo** de este capítulo es:

Establecer los fundamentos teóricos necesarios para el estudio del Cieno Carbonatado y su caracterización como un fluido no newtoniano que se transporta por tubería.

1.2 Trabajos precedentes sobre el Cieno Carbonatado.

El antecedente más lejano acerca de este yacimiento se remonta a la década del 50, con el proceso de dragado por parte de los norteamericanos; la información al respecto debió atesorarse en los archivos del entonces Servicio Geológico Norteamericano y que hasta la actualidad se haya sostenido una explotación continuada del yacimiento de cienos carbonatados.

Los primeros estudios de los que hay referencia, se remontan a (Correa 1957) quien realizó un estudio sobre extracciones experimentales de fangos carbonatados al Oeste de Cayo Moa Grande.

En la década de los 60 se inicia la extracción de los Cienos Carbonatados (denominados en esa época “coral” o “fangos coralinos”). En 1964 el Centro Coordinador para el Desarrollo del Norte de Oriente, solicitó al I.C.R.M. (Instituto Cubano de Recursos Minerales) la realización de estudios de localización y ubicación de las reservas de “coral”, para después tomar decisiones respecto a la tecnología a adoptar en el proceso de refinación del níquel.

Posteriormente Nedved (1966) presento el informe final de los trabajos de búsquedas de fangos coralinos, donde se tomaron diferentes muestras evaluándose en las mismas

el contenido de carbonato de calcio (CaCO_3) y granulométricamente por las mallas 20, 48, 100, 200 mesh.

Se reportan en la literatura (Castillo 1988) problemas con la extracción y utilización de la materia prima, recomendando el empleo de la fracción gruesa (fracción retenida en la malla de 20 mesh) constituidos por conchas de moluscos, algas calcáreas y restos de corales teniendo en cuenta su perspectivas por contenidos de carbonato de calcio.

En los trabajos realizados por (Nápoles 1992) se evaluó la materia prima para contenido de CaCO_3 y granulométricamente en las mallas +20, +100, +325 y -325 mesh y se calcularon reservas en categoría industrial.

La principal deficiencia en la ejecución de estos trabajos radica en que no se contó con los recursos técnicos adecuados que garantizarán el posicionamiento confiable de las labores realizadas en correspondencia con la exigencia de las escalas de los trabajos.

Con posteridad especialistas de (CEPRONIQUEL 1997) recalcularon las reservas sobre la base de la información de (GEOMAR 1992) obteniendo reservas muy inferiores a las reportadas por esta última.

En trabajos realizados por (Campos 2001) se refleja el carácter terrígeno de los sedimentos que conforman el depósito, además de la composición química y mineralógica donde se establece la exclusión de los sedimentos terrígenos los cuales proceden de la formación de las rocas de la asociación ofiolítica y de la corteza de interperismos laterítico vinculados a la misma.

La variedad de las propiedades físico – mecánicas de estas mezclas confiere propiedades específicas a los flujos en su movimiento por tuberías u otros dispositivos de transporte similares. Con frecuencia se requiere la transportación de suspensiones concentradas que exhiben propiedades no newtonianas, en las que las partículas tienden a formar estructuras que exhiben, un comportamiento pseudo plástico, o características plásticas con la aparición de esfuerzos cortantes iniciales. En dependencia de las condiciones de operación, dichos flujos pueden ser laminares o turbulentos con diferentes influencias de las características reológica de las mezclas. Darby, R. (2000).

La necesidad de determinar con más precisión los parámetros para la transportación por tuberías de estas mezclas concentradas, es evidente durante la manipulación de los materiales en operaciones y procesos tecnológicos, en diferentes ramas de la economía nacional (metalurgia, petróleo, construcción, industria química y la agricultura).

El conocimiento de las propiedades de flujo de las suspensiones que se transportan es de gran importancia para decidir las características de los sistemas de bombeo, redes de tuberías, accesorios y equipos que deben utilizarse según las necesidades tecnológicas, así como los requerimientos medioambientales, no menos importante que deben tenerse en cuenta en todo proceso de carga, transportación, vertimiento y almacenamiento de cualquier tipo de material.

Trabajos realizados por Garcell (1991,1993, 1998, 2001) sobre pulpas de minerales lateríticos, limoníticos y serpentiniticos permite establece que la pulpa concentrada utilizada industrialmente por la empresa “Pedro Soto Alba”. Moa Nickel SA contiene un elevado por ciento de partículas muy finas, lo que aporta cierta plasticidad, comprobando que se puede clasificar como sólidos en suspensión con un comportamiento de fluidos no newtonianos.

La variedad de las propiedades físico – mecánicas de estas mezclas confiere propiedades específicas a los flujos en su movimiento por tuberías u otros dispositivos de transporte similares. Autores como Barreto (1979), Izquierdo (1989), Suárez (1998) y Turro (2002) han estudiado sistemas de hidrotransportes de materiales concentrados que se comportan como suspensiones no newtonianas similares al de las pulpas de cieno carbonatado. En los trabajos donde abordan estas temáticas se obtiene modelos físico – matemático del movimiento de suspensiones minerales y su comportamiento en el movimiento de estas por tuberías, a partir del análisis experimental de las propiedades físico - químicas y mecánicas, composición granulométrica, mineralógica y comportamiento reológico y factores que influyen sobre este.

Se han realizado otras investigaciones en los cuales el Cieno Carbonatado constituye el objeto de estudio, se establecen las características físico - químicas de la hidromezcla de Cieno Carbonatado para la evaluación del sistema de bombeo en la planta de

Neutralización. Hernández (2003); se aporta el gráfico que relaciona el factor de fricción en función del número de Reynolds y Hedstron. Jiménez (2005). Partiendo de la caracterización del Cieno Carbonatado donde se evalúa además la instalación existente para la transferencia de la pulpa desde el puerto hasta la planta de Neutralización.

Se obtiene un modelo matemático Romero (2004) que describe las características granulométricas de suspensiones lateríticas y Cieno Carbonatado y se definen los efectos de la característica granulométricas y coloides químicas sobre la reología de dichas suspensiones.

Las metodologías obtenidas como resultado de estas investigaciones para la evaluación y proyección de sistemas de hidrot transporte de suspensiones minerales, no pueden ser generalizadas para todo tipo de sistemas, y solo pueden ser utilizadas para el material que ha sido objeto de estudio. Por lo que se hace necesario un estudio para la caracterización del Cieno Carbonatado que permita obtener expresiones matemáticas de su comportamiento en el movimiento por tuberías para la evaluación de dicho sistema, insuficientemente estudiado hasta la actualidad.

1.3 Propiedades de los fluidos

Se 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.

Los fluidos son sustancias que se adaptan a la forma de los recipientes que los contienen. Cuando están en equilibrio no pueden soportar fuerzas tangenciales o cortantes. Todos los fluidos son compresibles en cierto grado y ofrecen poca resistencia a los cambios de forma.

Densidad de un fluido:

La densidad de una sustancia se define como su masa por unidad de volumen.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1.3)$$

La unidad de medida en el S.I. de unidades es kg/m^3 , también se utiliza frecuentemente g/cm^3 .

Peso específico:

Peso específico se define como su peso por unidad de volumen, se encuentra relacionado con la densidad por:

$$Y = \rho \cdot g \quad (1.4)$$

En los líquidos puede considerarse constante para las variaciones ordinarias de presión.

Se pueden calcular a través de la ecuación de estado de los gases $PV = nRT$ como

$$P = \rho \cdot R \cdot T$$

$$Y = \frac{P \cdot g}{R \cdot T} \quad (1.5)$$

Volumen específico:

Es el volumen por unidad de masa y es por lo tanto el recíproco de la densidad.

$$V = \frac{1}{\rho} \quad (1.6)$$

Gravedad específica:

Se suele designar como SG y se define como la relación de la densidad del fluido entre la densidad del agua a una temperatura dada. Normalmente esa temperatura es 4°C , y a esta temperatura la densidad del agua es 1000 kg/m^3 .

$$SG = \frac{\rho}{\rho_{H_2O}} \quad (1.7)$$

Viscosidad de un fluido:

Es aquella propiedad que determina la cantidad de resistencia opuesta a las fuerzas cortantes. La viscosidad se debe primordialmente a las interacciones entre las moléculas del fluido.

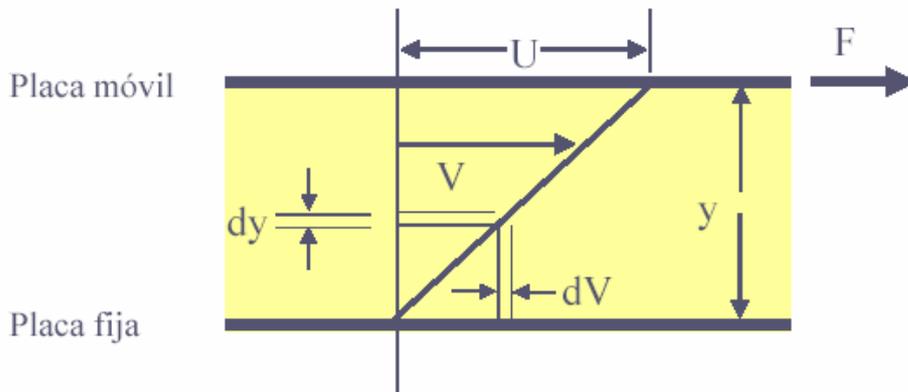


Figura 1.1: Placas de los fluidos.

Otro coeficiente de viscosidad, llamado viscosidad cinemática, viene definido por

$$v = \frac{\text{viscosidad..Abosoluta}}{\text{densidad}} \quad v = \frac{\mu}{\rho} = \frac{\mu}{\gamma/g} = \frac{\mu \cdot g}{\gamma} \quad (1.8)$$

Gasto: es la cantidad de líquido que pasa a través de la sección viva del flujo en la unidad de tiempo. Dicha cantidad de puede medir en unidad de volumen, de peso o de masa, por lo que existen: el gasto volumétrico Q, el gasto en peso G, y el gasto en masa M.

$$Q = A \cdot V \rightarrow \text{Gasto volumétrico} \left[\frac{m^3}{s}; \frac{1}{s} \right] \quad (1.9)$$

$$G = Q \cdot \gamma \rightarrow \text{Gasto en peso} \left[\frac{N}{s}; \frac{K_{gf}}{s} \right] \quad (1.10)$$

$$M = \rho \cdot Q \rightarrow \text{Gasto en masa} \left[\frac{K_g}{s} \right] \quad (1.11)$$

La forma más usada de determinar el gasto es:

$$Q = \frac{\text{volumen}}{\text{tiempo}}; \frac{l}{\text{min}}; \frac{m^3}{h} \quad (1.12)$$

El criterio de Reynolds

$$Re = \frac{V \cdot D}{v} \quad (1.13)$$

V - es la velocidad del fluido

D - diámetro de la tubería

Transición de régimen laminar a turbulento en fluidos no newtonianos.

En los fluidos no newtonianos, el número de Re crítico donde culmina el régimen laminar es $Re_{cr} = 2100$. El régimen de transición se extiende hasta 4000.

La región de transición también se extiende a valores mayores de Re en la medida que el número de He se incrementa.

1.4 Modelos reológicos de flujo.

El término reología fue sugerido en 1929 por Eugene Cook Bingham para definir la rama de la Física que tiene por objeto el conocimiento de la deformación o flujo de la materia. La reología es la ciencia del flujo y la deformación; estudia las propiedades mecánicas de los gases, líquidos, plásticos, sustancias asfálticas y materiales cristalinos.

En la teoría y la práctica actual, los fluidos se clasifican desde el punto de vista reológico en newtoniano y no newtoniano (Skelland, 1970; Tejeda, 1985; Perry, 1988; Díaz, 1989).

Newtonianos: Cuando cumplen con la ley de Newton, que plantea que la viscosidad es una constante de proporcionalidad que relaciona los esfuerzos cortantes friccionales con el gradiente de velocidad.

No newtonianos: Cuando no cumplen con esta ley y la viscosidad es una función del gradiente de velocidad.

Para expresar la relación existente en estado estacionario entre el esfuerzo cortante y el gradiente de velocidad se han propuesto varias relaciones empíricas (Modelos reológicos). Existen en la literatura una gran variedad de modelos propuestos. Los más difundidos son los siguientes:

Modelo de Oswalds de Waele

$$\tau_{yx} = K \left(-\frac{dV_x}{dy} \right)^n \quad (1.14)$$

Esta expresión se conoce también como Ley de potencia; se utiliza para describir el comportamiento de fluidos seudo plásticos y dilatantes. En esta ecuación, n es el índice de flujo, el cual es una medida del grado de comportamiento no newtoniano del material..

K es el índice de consistencia y constituye una medida del grado viscoso del material.

Modelo de Bingham

$$\tau_{yx} = \tau_0 + \eta_p \left(-\frac{dV_x}{dy} \right) \quad (1.15)$$

Donde: η_p es la viscosidad plástica y τ_0 es el esfuerzo cortante inicial.

Este modelo se utiliza para describir el comportamiento de los plásticos ideales.

Modelo de Bulkley - Herschell

$$\tau_{yx} = \tau_0 + K \left(-\frac{dV_x}{dy} \right)^n \quad (1.16)$$

Se utiliza para describir el comportamiento de los plásticos reales.

τ_0 , K y n tienen los mismos significados descritos en los dos modelos anteriores.

Viscoelásticos ó de Maxwell

Estos materiales exhiben propiedades viscosas y elásticas. Las sustancias viscoelásticas fluyen bajo la acción del esfuerzo cortante, pero, aunque la deformación es continua no resulta totalmente irreversible, de manera que al cesar la acción del esfuerzo cortante, 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*.

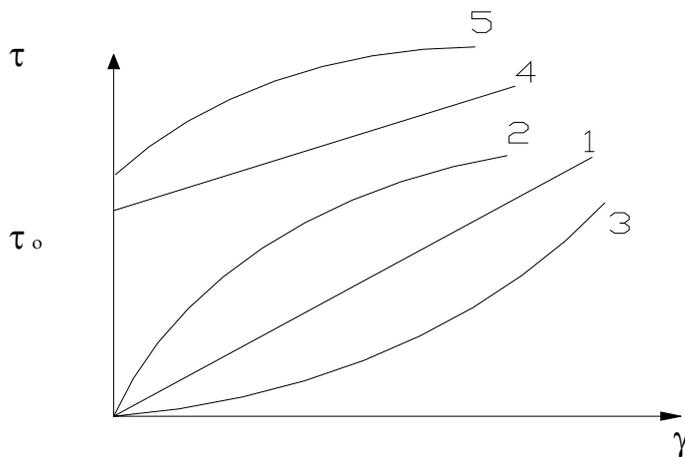


Figura 1.2 Curvas de flujo típica: 1- Newtonianas; 2- Seudoplásticas; 3- Dilatantes; 4- Plástico ideal (Bingham); 5- Plástico real.

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 (con el fin de transportar o elaborar un material determinado) 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.

1.5 Análisis y aplicación del transporte hidráulico en Cuba.

En Cuba el transporte hidráulico aunque no es muy generalizado, se emplea fundamentalmente en la industria minera y metalurgia.

El transporte hidráulico es una forma de transporte continuo de alto productividad, cuyas características lo hacen перспекivo para ser aplicado en el transporte de azufre como parte del transporte industrial de obtención del níquel en las diferentes empresas situadas en la zona de Moa.

Para la determinación de los parámetros del movimiento de las hidromezclas se emplea fundamentalmente el método experimental.

Para poder fundamentar una instalación de transporte hidráulico es necesario conocer la velocidad crítica, las pérdidas específicas de cargo, la densidad o concentración de la mezcla y el diámetro del conducto que permite determinar el régimen rotacional de trabajo y la selección de los equipos adecuado para el caso correcto.

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

El concepto de transportación de materiales sólidos por cama fluida es una historia que viene desde muchos caños atrás.

Los materiales encontrados en la industria minera, que ha sido y están siendo transportados de forma pastosa incluyen minerales de hierro concentrados colas, níquel mineral de cobre, cola, lana de oro o fango mineral.

En el transporte hidráulico por tuberías los costos son mínimos tanto por el mantenimiento como por una inversión. Carga y descarga vienen a ser un proceso continuo que puede ser llevado a cabo automáticamente con un esfuerzo mínimo. Esto hace que se amortice el costo de la instalación.

El costo mínimo por esfuerzo realizado por la instalación de bombeo estaría sujeto al incremento del costo de energía que consume la planta sin embargo la experiencia ha demostrado que esto representa un pequeño porcentaje de los otros costos de notable interés por los gastos e inversiones.

Es decir que aproximadamente el 70% de todo los costos es por capital y (10 – 15 %) por gastos de energía.

El transporte por tuberías es más efectivo ya que este no tiene en cuenta las inclemencias del tiempo ni las condiciones del lugar a transitar. El mismo tienen sus desventajas, pero estas no constituyen de importancia para las operaciones mineras. La principal desventaja es que el rendimiento de las tuberías es constante, el del producto es logrado por la variación de los periodos de bombeo.

El transporte hidráulico consiste en el traslado de partículas de minerales u otras sustancias de trabajo.

El caso de las sustancias minerales las partículas suspensas en el fluido con agua a través de tuberías y canales, ha alcanzado una magnífica aplicación en la industria. Esta peculiaridad está determinada por las significativas ventajas que este presenta sobre los demás tipos de transporte.

1. Garantiza un proceso tecnológico continuo disminuyendo considerablemente el volumen de operaciones principales.
2. Elevar la productividad del trabajo.
3. Posibilitar la automatización de todo el proceso de transporte.
4. Las instalaciones y equipos principales son pequeños y de poco peso.
5. El mineral puede ser beneficiado simultáneamente durante el transporte.

En la industria minera metalúrgica se utilizan diversas formas de transporte de mineral. En la actualidad ha cobrado gran auge el transporte hidráulico debido a su alta productividad y su gran efectividad económica.

1.6 Descripción del flujo tecnológico.

El objetivo de la Planta de Neutralización es neutralizar el Licor Acido (L.A) procedente de la Planta de Lavaderos. El pH del licor antes mencionado debe ubicarse entre 2.4 - 2.6 que es el rango óptimo para precipitar el níquel y el cobalto en forma de sulfuros. En dependencia de las características del proceso, el licor puede ser procesado en la planta de tres formas diferentes.

P1: Puede recibirse directamente desde Lavaderos (Operación directa).

P2: Puede recibirse directamente desde Lavaderos y además agregar licor del tanque de almacenaje de licor ácido (7) (Operación semidirecta).

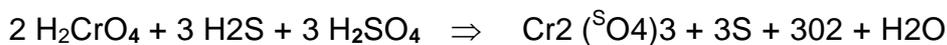
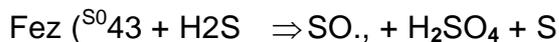
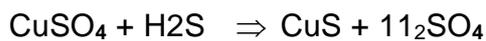
P3: Puede recibirse en el tanque de almacenaje de licor ácido y consumirse de este es decir todo el licor que se procesa se extrae de dicho tanque.

(Operación directa del tanque de licor ácido).

Por falta de terminación por parte de la expansión para operar la nueva batería de reactores solamente podemos utilizar esta operación.

P4: Puede recibirse desde Lavaderos a través de las bombas de licor ácido de Neutra como reforzadoras (Operación en serie).

El primer tratamiento que sufre el licor antes de llegar a los reactores es una inyección de H_2S , esta se realiza con el objetivo de reducir el hierro y el cromo y además para precipitar el cobre en forma de sulfuro de cobre (CuS). Esta etapa se conoce como primer reactor del proceso y en ella se lleva a cabo las siguientes reacciones:



El licor Reducido (RL) seguidamente es neutralizado en un sistema de cuatro reactores en serie (2, 3, 4, 5) mediante la adición de pulpa de coral (90 % de $CaCO_3$) proveniente de la Punta de Esperadores de Coral, dicha pulpa es almacenada en dos tanques (1) con agitación mecánica y neumática destinados para estos fines. El proceso de neutralización que ocurre en los reactores se lleva a cabo según la siguiente reacción:



La pulpa neutralizada que sale de los reactores luego a la caja distribuidora número 2 (C2) y desde esta última dicha pulpa es alimentada en partes iguales a los sedimentadores (6) por medio de canales de alimentación.

En los sedimentadores se concentra la pulpa de yeso que luego es succionada por bombas de fondo (13 I) y enviada a la caja distribuidora número 1 (C1), desde esta última una parte de la pulpa se recircula a los reactores y la otra parte es enviada a Lavaderos con el objetivo de recuperar el licor rico en níquel y cobalto.

El rebose de los sedimentadores constituye el Licor Producto (PL) o Licor Neutralizado (LN) que es el producto final de la planta, dicha licor se puede enviar directamente hacia la Planta de Lixiviación para su precalentamiento, o puede ser enviado al tanque de almacenaje de licor producto (8) desde el cual se envía luego a Lixiviación para someterlo al proceso anteriormente descrito.

La función fundamental de esta planta es la de neutralización del licor ácido (LA) procedente de la planta de Lavaderos. Con un valor del pH del licor en un rango de 1.4-1.6 y se lleva hasta un valor de 2.4 - 2.6 en el licor producto que es el rango óptimo para precipitar el níquel y el cobalto en forma de sulfuros.

La función de estas bombas dentro del proceso es suministrar energía suficiente como para vencer la resistencia hidráulica del sistema y enviar el coral (CaCO_2) desde el TK de almacenaje hasta el reactor 2 a 3 donde ocurre la neutralización. Pero producto de la expansión de la empresa Pedro Sotillo Alba en la planta de neutralización se adicionó otra batería de reactores que tienen que ser alimentada con esta misma bomba por lo que desconocemos su eficiencia de trabajo.

Es por ello la necesidad de este trabajo.

1.6.1 Características de las máquinas y de las líneas en la instalación

Son líneas de acero al carbono de 4 y 6 pulgadas de diámetro con esquadro de 40.

Tabla 1.1

Composición química de las líneas	
Carbono máximo (C)	0.25 - 0.30
Magnesio máximo (Mn)	0.95 - 1.20
Fósforo máximo (P)	0.05
Azufre máximo (S)	0.06

Tabla 1.2

Características físicas de las líneas		
Diámetro exterior	76.2	(mm)
Diámetro Interior.	68.6	(mm)
Espesor de pared.	7.62	(mm)
Presión máxima de trabajo.	20.7	MPa
Peso	15.3	kg/m

1.6.2 Características del tanque de almacenaje de coral.

Descripción:

Son dos recipientes cilíndricos verticales con diámetros de 50 pie (15.24 m) y con una altura de 30 pie (9.14 m) con una capacidad de 405000 galones. Consta con dos brazos con paletas rectas con movimiento mecánico y agitación neumática los cuales se encuentran en un medio de trabajo abrasivo. Se alimentan por una línea de 8 pulg. Y 194 gpm se le sacan al TK con una bomba de la planta 145 gpm y se debe mantener un nivel mínimo de 0.50 m de altura por cada tanque, en un cm^3 del TK es aproximadamente 0.803 ton con un sólido de 40 - 45%.

En la planta en estos momentos se necesitan aproximadamente de 260- 320 gpm esto depende del valor del ácido libre que se mantiene de 14 -.17gr/Lts, del volumen de licor a procesar que debe ser siempre por encima de 4500 gpm y el sólido del coral por encima de 38% de sólido.

Características del agitador:

Motor.

Potencia: 15 HP.

Velocidad: 1800 rpm

Voltaje: 440 v. 3 fases. 60 hz.

Con acoplamiento directo del motor al reductor vertical de engranaje y se acopla con un tornillo sinfín a través de una correa helicoidal.

Reductor:

Velocidad de entrada: 1800 rpm.

1.7 Características de las bombas centrífuga.

Las bombas son del tipo monoetápicos, centrífugas con el rodete montado en el eje sustentado por un cilindro de rodamiento obturado por grasa y que funciona dentro de una carcasa diseñada especialmente para la bomba.

Esta maquina es horizontal HR de Metso han sido diseñadas para una amplia variedad de tareas de bombeo abrasivo. Aunque pueden ser usados en sectores muy diferentes, todas están diseñadas para uso constante en las condiciones más arduas.

1.7.1 Principio de funcionamiento de las Bombas Centrífugas.

El órgano principal de trabajo de la bomba es una rueda de paletas que girando a altas revoluciones, comunica el líquido que llena la bomba una presión elevada y lo empuja con velocidad aumentada a la cámara espiral. Entre las paletas de la rueda y el flujo existe una interacción de fuerza, debido a la cual la energía del mando se transforma en la del flujo.

La cámara espiral tiene la forma de caracol y está destinada para captar el líquido que sale del rodete y transformar parcialmente su energía cinética en la de presión. El rodete de trabajo de la bomba consta de dos discos, uno de los cuales está fijado por medio de un casquillo sobre el árbol y el otro que tiene un orificio central para dejar pasar el líquido, está acoplado con el primero por medio de los alabes.

El líquido se aproxima al rodete a lo largo de su eje de rotación, a continuación se dirige al espacio entre los alabes y después de pasarlos sale por la hendidura entre los discos del rodete.

1.8 Ecuación de balance de energía mecánica.

Es conocido que el diseño de sistemas de tuberías requiere conocer la relación entre los gradientes de presión, $\Delta P / L$, requeridos para lograr flujos volumétricos, Q , en un intervalo de diferentes diámetros, D , del tubo, a distintas temperaturas de operación y diferentes propiedades físicas de los fluidos.

Las relaciones existentes entre las variables antes mencionadas dependen, fundamentalmente, de los requerimientos energéticos para el transporte del fluido a través del conducto y de sus características químicas – físicas.

Una de las leyes fundamentales de la mecánica de los fluidos se expresa mediante la ecuación de balance de energía mecánica aplicada al sistema de flujo en cuestión. En la mayoría de los textos de Ingeniería Química, el balance de energía mecánica para condiciones estacionarias de flujo se conoce como ecuación de Bernoulli, y se ilustra sus aplicaciones para el caso particular del flujo newtoniano.

En el caso específico del flujo de suspensiones minerales no newtonianas también se aplica el balance de energía mecánica en un sistema de flujo, al cual entra el fluido por un plano (1) y sale por un plano (2):

$$\frac{Z_1 g}{g_c} + \frac{P_1}{\rho} + Ec_1 = \frac{Z_2 g}{g_c} + \frac{P_2}{\rho} + Ec_2 + W_s + \sum F \quad (1.17)$$

Donde:

Zg - es la energía potencial para una altura vertical referida a un plano horizontal de referencia tomado arbitrariamente, m^2 / s .

$\frac{P}{\rho}$ - es la energía de presión hidrostática, m^2 / s^2 .

Ec - es la energía cinética media por unidad de masa, m^2 / s^2 .

W_s - es el trabajo por unidad de masa (como trabajo hecho por una bomba sobre el fluido), m^2 / s^2 .

$\sum F$ - es la energía mecánica convertida a energía térmica como resultado de las fricciones del fluido, m^2 / s^2 .

$$\sum F = \frac{\Delta P_f}{\rho} + \left(\begin{array}{l} \text{pérdidas por fricción por unidad} \\ \text{de masa debido a los efectos de} \\ \text{entrada, de accesorios, de equipos, etc.} \end{array} \right) \quad (1.18)$$

El término $(\Delta P_f / \rho)$ se refiere a los tramos de tuberías rectas, y por lo general, es el componente dominante en la mayoría de los sistemas de tuberías, excepto en aquellos casos en los que esos tramos sean cortos y el número de accesorios y válvulas sea grande.

Para el flujo no newtoniano, los términos Ec y $\sum F$ dependen de la naturaleza reológica del fluido, y, por tanto, de los parámetros característicos del modelo reológico que describe la curva de flujo.

El término W_s , para el caso de las bombas, se expresa como:

$$W_s = \frac{\Delta P_b}{\rho} = \frac{P_d - P_s}{\rho} \quad (1.19)$$

Siendo ΔP_b el incremento de presión que da la bomba en la descarga, P_d , en relación con la presión de succión, P_s .

1.8.1 Expresiones para el cálculo de la energía cinética, E_c

El término de energía cinética promedio por unidad de masa puede ser estimado mediante la expresión siguiente:

$$E_c = \frac{\langle v \rangle^2}{2\alpha g_c} \quad (1.20)$$

El coeficiente α es un factor de corrección para los perfiles de velocidad:

1.8.2 Expresiones para el cálculo de las pérdidas por fricción, ΣF , en tuberías circulares rectas.

El término de pérdidas por fricción, ΣF , puede estimarse mediante la definición siguiente

$$\Sigma F = \frac{1}{2} \langle v \rangle^2 e_v \quad (1.21)$$

en la que e_v (adimensional) es el factor de pérdidas por fricción, el cual es una función del número de Reynolds y de las relaciones geométricas del sistema de flujo.

Para el flujo por tuberías rectas circulares,

$$e_v = 4f \left(\frac{L}{D} \right) \quad (1.22)$$

Donde f es el coeficiente de fricción o de Fanning.

Combinando las expresiones (1.34) y (1.35), se obtiene:

$$\Sigma F = 2f \left(\frac{L}{D} \right) \frac{\langle v \rangle^2}{g_c} \quad (1.23)$$

En algunos textos, la ecuación (1.35) suele escribirse expresándola en términos de un factor de fricción de Fanning $f' = 4f$:

$$e_v = f' \left(\frac{L}{D} \right) \quad (1.24)$$

En ese caso, la ecuación (1.36) toma la forma siguiente:

$$\sum F = f' \left(\frac{L}{D} \right) \frac{\langle v \rangle^2}{2g_c} \quad (1.25)$$

1.9 Conclusiones parciales del capítulo

1. Se han realizado trabajos sobre transporte de materiales que se comportan como fluidos no newtonianos, estableciendo las metodologías a partir las características del material a transportar.
2. Se exponen los fundamentos teóricos, que permiten desarrollar los objetivos planteados en la investigación.

CAPITULO: 2 Materiales y métodos

2.1 Introducción.

Para el desarrollo de toda investigación se necesita de herramientas para poder arribar a buenos resultados. La correcta selección de los métodos y materiales empleados validan los resultados obtenidos, y es por eso que resulta indispensable una correcta aplicación de los métodos adecuados en aras del cumplimiento del objetivo propuesto, en nuestro caso particular para la solución del problema planteado es necesario conocer algunas características y propiedades del material a transportar que permitan el cálculo y evaluación del sistema objeto de estudio.

En tal sentido el **objetivo** del capítulo es:

Establecer los métodos y procedimientos para el cálculo evaluación y proyección del sistema objeto de estudio

2.2 Determinación de algunas propiedades físico-mecánicas del Cieno Carbonatado.

La pulpa de Cieno Carbonatado es de color gris y es extraída de las minas más grandes del mundo, situadas al oeste de Cayo Grande de Moa la cual es sometida a un proceso en la planta de preparación de pulpa de coral en la zona portuaria del municipio antes mencionado en esta planta en la torre de beneficio se prepara la pulpa donde las partículas mayores de 20 mesh forman el rechazo, esto se logra por medio de un sistema de cribado las de menor diámetro son enviadas a los sedimentadotes y logrando un sólido por diseño de 40 -- 45 % entonces tiene condición idónea para ser enviada a Neutralización por medio de un transporte hidráulico siendo almacenado en las TK de dicha planta y la estación de bombeo que nos ocupa por ello es necesario que se conozcan las propiedades reológicas y físico-químicas de la hidromezcla para una correcta selección de los equipos a instalar.

El tamaño de las partículas solo puede tener un significado Bien definido cuando el sistema es monodisperso, es decir, cuando todas las partículas tienen la misma dimensión.

Sin embargo, es mucho más probable que las suspensiones tratadas industrialmente sean polidispersas, las que están constituidas por partículas de diferentes dimensiones y/o distribución de tamaños distintos.

Tabla 2.1 Composición química del Cieno Carbonatado.

Mues	% Ni	% Co	% Fe	% Mg	% Mn	% Zn	% Ca	% Cr	% Al	% SiO ₂	% Na	% K
1B	0.09	0.0009	1.02	1.50	0.045	0.0016	25.56	0.638	0.020	0.094	0.173	0.037
2B	0.10	0.0011	0.99	1.48	0.049	0.0016	26.28	0.575	0.020	0.092	0.143	0.033
1P	0.09	0.0010	0.98	1.49	0.039	0.0015	25.97	0.574	0.019	0.076	0.143	0.034
2P	0.09	0.0009	0.99	1.49	0.043	0.0016	26.65	0.623	0.019	0.101	0.177	0.036
	g/L	g/L	g/L	g/	g/	g/	g/L	g/L	g/L	g/L	g/L	g/L
Mues	Ni	Co	Fe	LMg	Mn	Zn	x Ca	Cr	Al	SiO ₂	Na	K
1B	0.0006	0.0000	0.0002	0.076	0.0002	0.0000	0.045	0.0002	0.00003	0.0037	0.111	0.020
2B	0.0007	0.0000	0.0001	0.080	0.0002	0.0000	0.058	0.0002	0.00002	0.0037	0.096	0.019
1P	0.0006	0.0000	0.0009	0.086	0.0001	0.0000	0.046	0.0006	0.00006	0.0043	0.135	0.025
2P	0.0011	0.0000	0.0001	0.097	0.0001	0.0000	0.094	0.0001	0.00001	0.0033	0.126	0.025

Se puede comprobar que existe un predominio del elemento calcio en las muestras de Cieno carbonatado tanto en el bombeo como en el proceso.

2.2.1 Determinación del % de sólido y el % arena de la pulpa de Cieno Carbonatado

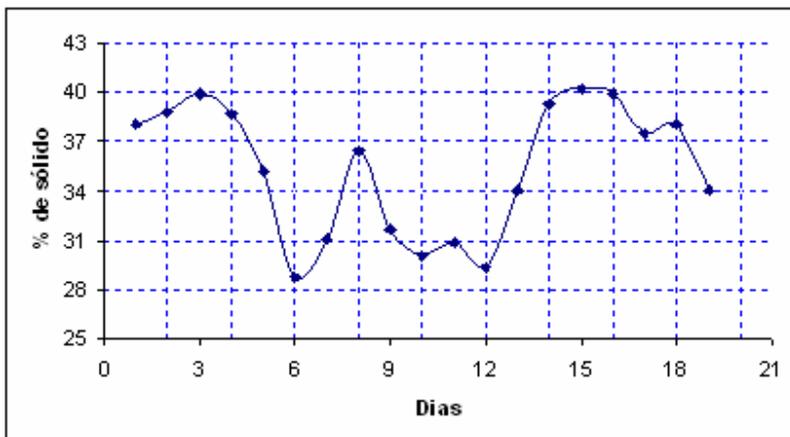


Figura 2.2. Comportamiento del % de sólido en la pulpa de Cieno Carbonatado.

Para la confección de la data ver anexo 3 que permite determinar el comportamiento del porcentaje de sólido se realizaron mediciones durante veinte días, como se observa en el gráfico de la figura 2.2 el valor del % de sólido se manifiesta de forma irregular, el cual varía en un rango entre 28 y 42%.

2.2.2 Análisis de sedimentación

Para el transporte hidráulico o de pulpa es muy importante tener en cuenta el concepto de sedimentación: "Es la disposición por gravedad de las partículas sólidas en un medio fluido

La velocidad decreciente de la altura de la superficie que separa el líquido Claro que sobrenada de la capa que contiene el sólido en suspensión se denomina velocidad de sedimentación.

Si una partícula cae en un medio lo suficientemente extenso y sin considerar la acción de otras, fuerzas que no sea la resistencia del medio al desplazamiento de la partícula la misma alcanzara una velocidad máxima la cual se denomina velocidad de caída Libre.

Para determinar experimentalmente la velocidad de caída libre se sigue la siguiente metodología.

Se tomo cierta cantidad de granos de cada clase (aproximadamente 15), previamente se sitúa en un tubo de vidrio en posición vertical con una escala lleno de agua hasta 3- 4 cm. por encima del nivel para que la aceleración de la partícula trascorra en este espacio (largo del tubo, mayor de 1m y el ancho lo mayor posible para que las paredes no influyan en la caída de Las partículas de 0.05 m a mayor la dependencia del diámetro de las partículas). Cada partícula se deja caer en el tubo preparado con agua destilada y con un cronometro se determina el tiempo que emplea cada partícula en recorrer este espacio.

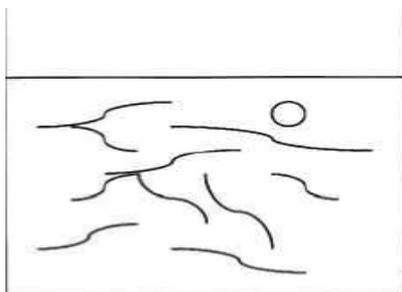


Figura 2.3: Caída libre de las partículas.

Cada partícula se le determina su velocidad por la relación

$$\sqrt{i} = S/t_i \quad (2.1)$$

Donde:

S Espacio que recorre las partículas.

t_i Tiempo que recorre el espacio.

La velocidad de Cada clase se determina por la media aritmética

$$V_{med} = \sum_{i=1}^{15} \sqrt{i/n} \quad (2.2)$$

n - numero de partículas.

La velocidad de caída libre de la muestra por la expresión.

$$V_{med} = \frac{\Sigma V_m \cdot g_i}{G} \quad (2.3)$$

Se puede llegar a la conclusión que las partículas menores de 20 mesh tienen una velocidad media según la formula (2.3) es de:

$$V_{med} = 0.00197 \text{ m/s}$$

En el caso de caída libre el resultado según la formula (2.3) es.

$$V_{cl} = 6.7 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$$

Para las partículas del diámetro mayores de 20 mesh y las formulas (2.2 y 2.3) se llega al siguiente resultado.

$$V_m = 0.02380 \text{ m/s}$$

$$V_{cl} = 8.49 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$$

La velocidad de caída libre puede ser calculada teóricamente por diferentes criterios de acuerdo al diámetro media de la partícula.

2.2.3 Análisis granulométrico

Teniendo en consideración que en la pulpa de Cieno Carbonatado que se transporta en la planta de Neutralización, la fracción menor es de 0.046mm está representa aproximadamente por el 70% del sólido, se realizó un análisis de este material en el

analizador de partículas Horiba cuyos resultados se muestran en el anexo 1. Estos resultados se pueden observar además a través de la característica sumaria representada en la figura 2.1

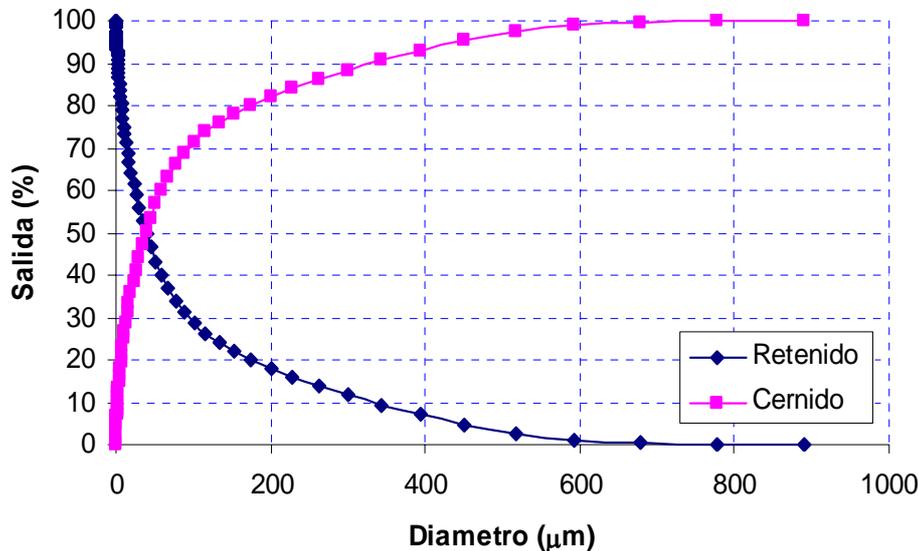


Figura 2.3 Curva de característica sumarias en el Horiba

Es importante destacar que aproximadamente el 50% de la fracción menor de 0.046 mm está constituida por la fracción menor de 0.038 mm. Este tamaño de partículas da lugar a suspensiones con un comportamiento típico de los sistemas coloidales. Del análisis se deriva que las muestras de sólido constituyen sistemas altamente polidispersos.

2.2.4 Comportamiento reológico de las pulpas de Cieno Carbonatado

Los resultados del análisis reológico (ver anexo 4) de la pulpa de Cieno Carbonatado se obtuvieron, según Martínez(2009), mediante un reómetro rotacional, se tuvo en cuenta el porcentaje de sólido de la pulpa, se comprueba su efecto sobre el comportamiento de las curvas de flujo, las cuales fueron obtenidas graficando los valores de esfuerzo cortante (τ) en función de la velocidad de deformación ($\dot{\gamma}$), estas curvas permitirán clasificar reológicamente las pulpas y obtener el modelo reológico que la caracteriza.

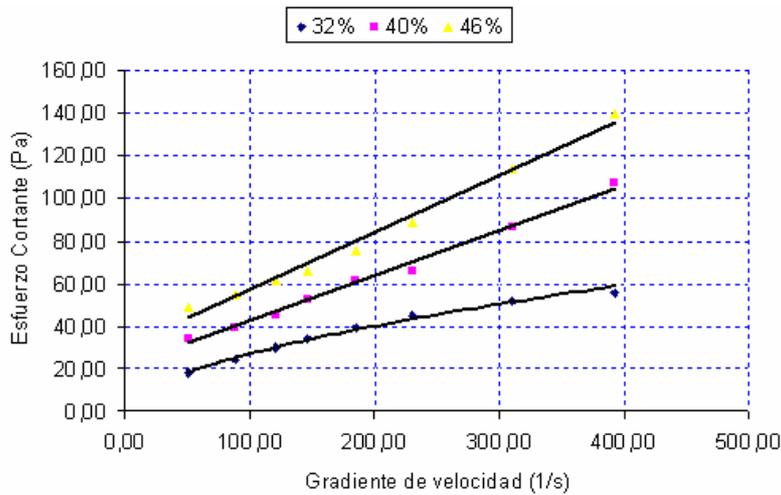


Figura 2.3 Curvas de flujo para la muestra de Cieno Carbonatado a diferente % de sólido.

La ecuación obtenida para el mejor ajuste de una pulpa con 32% de sólido sugiere un comportamiento pseudoplástico, cuya curva está descrita por modelo reológico de Ostwald de Waele. En el caso de las pulpas con 40 y 46% de sólido manifiestan un comportamiento de plástico ideal o **Plásticos de Bingham** dado por su ecuación de ajuste, el cual está representado por el modelo reológico de plástico de Bingham.

Tabla 2.6 Modelos reológicos obtenidos

Porcentaje de sólido, (%)	Modelo matemático obtenido por regresión	Modelo reológico	Índice de regresión (R ²)
32	$y = 1.9723 \cdot \left(-\frac{\partial v_x}{\partial y} \right)^{0.5675}$	$\tau_{xy} = k \left(\frac{dv}{dy} \right)^n$	0.9927
40	$y = 20.826 + 0.02136 \cdot \left(-\frac{\partial v_x}{\partial y} \right)$	$\tau_{xy} = \tau_0 + \mu_p \left(\frac{dv}{dy} \right)$	0.9931
46	$y = 29.576 + 0.0273 \cdot \left(-\frac{\partial v_x}{\partial y} \right)$	$\tau_{xy} = \tau_0 + \mu_p \left(\frac{dv}{dy} \right)$	0.9885

2.3 Características de diseño del Cieno Carbonatado.

Tabla 5 Composición de física química de la pulpa de Cieno carbonatado

	Diseño	Actual	Unidad
Densidad	1320 - 1340	1290 - 1315	Kg/m ³
% de solido	40 - 42	37.1 - 39.4	%
% de arena	10	11 - 15	%
Cloruro	700	423	PPM
Carbonato	90	875	%

De la tabla 5 se puede ver claramente que las características del fluido han disminuido respecto a las de diseño considerablemente por las exigencias del proceso productivo por la que se necesita mayor, flujo de la pulpa ya que han disminuido sus características físicas y químicas estas propiedades deben ser establecidas para disminuir los costos en sentido general del sistema de bombeo.

Es necesario destacar que los valores actuales son el promedio de su comportamiento desde el 3/6/2008 hasta la fecha.

2.3.1 Propiedades químicas de la Hidromezcla. Cieno carbonatado.

Tabla 6 Componentes de la pulpa de cieno carbonatado.

Composición Química de laHidromezcla.	
Fase sólida	Fase líquida.
38.8 %	61.2 %
Cloruro	Carbonato
382 ppm	92.30%

2.4 Regimenes de corriente. (Para fluidos newtonianos)

La corriente laminar es la, formada por capas sin mezclarse las partículas del liquido, ni variar la velocidad. Cuando la corriente del líquido en un tubo recto de sección

constante es laminar, todas las líneas de corriente son paralelas al eje del tubo, no surgen desplazamientos transversales de las partículas del líquido por lo cual el líquido no se mezcla durante el flujo.

La corriente turbulenta es la que va acompañada por una mezcla intensa del líquido y oscilaciones de velocidades y presiones, las líneas de corriente se determinan solo aproximadamente por la forma del cauce. El movimiento de las partículas resulta desordenado y las trayectorias tienen a veces la forma de curvas complicadas.

El cambio de los regímenes de corrientes, al alcanzar el Re_{cr} , se explica por el hecho de que un régimen pierde la estabilidad y el otro la adquiere. El régimen laminar es inestable y el turbulento estable.

El $Re_{cr} = 2300$

Cuando el $Re < Re_{cr}$: El régimen es laminar.

Cuando el $Re > Re_{cr}$: El régimen es turbulento

2.5 Criterios para trazar la característica de una bomba centrífuga ideal.

Un aspecto importante para trazar la característica de una bomba centrífuga ideal, es decir, la gráfica de la función de la altura creada por la bomba según el gasto, constantes siendo el número de revoluciones es la inclinación de la recta que forma la característica de dicha bomba. La inclinación de esta recta depende del valor del ángulo de inclinación de los alabes β

Existen tres casos posibles:

1-El ángulo $\beta < 90^\circ$ en el cual la altura H_∞ disminuye al aumentar el gasto.

2-El ángulo $\beta = 90^\circ$ en el cual la altura H_∞ no depende del gasto y es igual a:

$$H_{t\infty} = \frac{U_2^2}{g}$$

El ángulo $\beta > 90^\circ$ en el cual la altura $H_{t\infty}$ crece al aumentar el gasto.

Un alabe inclinado hacia delante ofrece los mejores resultados para obtener la altura con $\beta > 90^\circ$, ya que en este caso se crea la máxima altura. Pero en la práctica se ha

demostrado que se obtiene un bajo rendimiento. El alabe más ventajoso es el inclinado hacia con $\beta < 90^\circ$ atrás además de ser el más empleado.

Las bombas centrífugas funcionan mejor con un desgaste mínimo y otras tensiones mecánicas si el punto de funcionamiento se aproxima al punto de mayor eficiencia (PME) de la bomba. Para seleccionar una bomba que funcione cerca de su línea de mayor eficiencia (LME) es importante comprender la forma que la bomba interactúa con el sistema de tuberías en el que está instalada.

En otras palabras, una bomba y su sistema de tuberías actúan como dos vasos comunicantes. El sistema de tuberías tiene una curva de resistencia que comienza en la cabeza estática de admisión a caudal cero. A medida que aumenta el caudal, la resistencia aumenta debido a la fricción de los tubos. Una bomba centrífuga radial tiene una curva descendente de carga/caudal para cada rpm. El punto de funcionamiento de la bomba (DP) a una velocidad determinada de la bomba es el punto de intersección entre la curva de resistencia del sistema de tuberías y la curva de descarga/caudal de la bomba.

Por ello es necesario calcular correctamente la curva de resistencia del sistema de tuberías y tener en cuenta la manera en que la adición y mezcla de las partículas sólidas, por ejemplo afectan a las curvas del sistema de tuberías y de la bomba.

2.6 Punto de mayor eficiencia.

Las condiciones de presión en la caja de la bomba (PME) existe una presión uniforme alrededor del rodete, lo que resulta en pequeñas fuerzas radiales que a su vez ejercen poca carga sobre los cojinetes y provocan poca desviación en el eje. Cuando la bomba funciona a Baja capacidad y no a (PME) se acumula la presión diferencial en la voluta de la caja. Esto hace que aparezca una fuerza sobre el rodete en función de la presión diferencial (Pa) y la zona protegida del rodete (mm^2).

Si la bomba no funciona en el punto de mayor eficiencia (PME). los cojinetes tendrán una vida más reducida debido a la desviación del eje. Además, la presión diferencial sobre el rodete da lugar al transporte de mezcla de partículas entre el rodete y el forro de admisión, provocando un rápido desgaste de este último.

- El Angulo de entrada de la mezcla de partículas coincide con el ángulo del aspa del rodete y no se producen vértices de erosión.
- El ángulo de flujo de la mezcla de partículas se armoniza con el ángulo del extremo de la caja de la bomba y no se producen vértices de erosión.

En la forma en que el trabajo hidráulico se ve afectado cuando la bomba no funciona a punto de mayor eficiencia (PME). Este tiene una importancia decisiva para el bombeo de mezclas con partículas

- Abrasión en el lado de descarga del aspa del rodete.
- Se producen vértices en el lado de vacío del aspa.
- Vértices.
- Abrasión causada por los golpes y rebotes de las partículas contra la superficie
- Se forman vórtices en el lado de descarga del aspa del rodete.
- Se produce abrasión en el lado de vacío de la punta del aspa.
- Abrasión en el extremo de la caja de la bomba.

La eficiencia hidráulica es una función de la turbulencia hidráulica a mayor turbulencia, menor eficiencia. Por ello, al bombear mezclas de partículas, es importante un alto nivel de eficiencia.

A PME se forma muy poca turbulencia hidráulica y la abrasión es sobre todo por deslizamiento, ya que la presión diferencial es baja cuando la mezcla de partículas pasa a través del rodete y la caja de la bomba. El índice de abrasión es bajo y el desgaste se reparte uniformemente por las superficies. el desgaste por frotamiento o el desgaste de alto presión que tiene Lugar entre el rodete y el forro del lado de succión es inferior, ya que la presión hidráulica esta distribuida uniformemente y reduce la recirculación.

Cuando no se utiliza toda la capacidad de la bomba y su eficiencia es inferior al PME se produce turbulencia hidráulica y las partículas sólidas de la mezcla golpean y frotan el rodete y la caja de la bomba. Esto produce desgaste local y se reduce

considerablemente la vida útil de estos componentes. En la admisión del rodete, el ángulo de flujo de la mezcla de partículas no es el mismo que el ángulo del aspa del rodete, lo que da lugar a la turbulencia y a la recirculación de la mezcla en el canal. En el extremo de la caja de la bomba, el flujo procedente del rodete no concuerda con la forma de la caja, provocando así inmediatamente turbulencia después del borde de la caja.

En el peor de los casos, las bombas sobredimensionadas que no funcionan a PME provocan roturas de cojinetes, fracturas de eje, y diferencias de desgaste en los forros de la admisión y de la caja de la bomba con profundas marcas de desgaste en el extremo de la caja.

En los resultados obtenidos en el desarrollo de la caracterización del cieno permiten llegar a las siguientes

2.7 Conclusiones parciales del capítulo.

- El análisis de las características físico mecánicas del Cieno carbonatado, demostró que este material se comporta como un material altamente polidisperso compuesto por partículas menores de 0.046mm.
- El comportamiento reológico del Cieno Carbonatado depende fundamentalmente del % sólido por el contenido de partículas finas. Presentando un comportamiento Plástico Bingham.
- Se relacionan parámetros a tener en cuenta para el cálculo y evaluación del sistema objeto de estudio.

CAPITULO 3 Cálculo y análisis de los resultados

3.1-Introducción.

En este capítulo trataremos de conocer las características hidráulicas de la máquina centrífuga 174-PU 2A que es utilizada para trasegar el Cieno carbonatado desde los tanques de almacenaje 1K-1A,B hasta los reactores de neutralización en la empresa comandante Pedro Sotto Alba,

En tal sentido el **objetivo** del capítulo es determinar la curva de trabajo, eficiencia y la potencia de la bomba para mantener el flujo requerido para el proceso actual

3.2 Características de la Bomba de tipo Centrífuga HR/00 S-VEDALA.

- Revoluciones por minuto: 1200 rpm.
- Altura en metros por columna de agua: 25 m
- Gasto: 113 m³/hrs.
- Altura de vacío en la succión en metros por columna de agua: 2 m
- Diámetro de tubería en la succión: D_{suc} 0.152 m
- Diámetro de tubería en la descarga: D_{inp}=0.102 m

Motor eléctrico:

Revoluciones por minuto: 1670 rpm

- Frecuencia: 60Hz
- Potencia: 22KW
- Voltaje: 440 V
- Cable de Aluminio Al 3x70 (3 vial de diámetro 70 mm).
- Conexión en Delta.
- Protección FANOX GL-90

3.3 Datos iniciales a considerar durante cálculo de la instalación.

Presión a la cual esta sometida la pulpa dentro del tanque de almacenaje 174-7K IA, B

$$P = 1 \text{ kgf/cm}^2$$

Temperaturas de la pulpa dentro del Tk

$$T = 30.^\circ \text{C}$$

Densidad de la pulpa al llegar al Reactor 2

$$\rho_{pulpa} = 1308 \text{ kg/m}^3$$

Viscosidad plástica de la pulpa en el tanque:

$$\mu_p = 0.007 \text{ PaSec}$$

Peso específico de la pulpa en el tanque:

$$\gamma_p = \mu_p \cdot g \quad (3.1)$$

$$\gamma_p = 0.069 \frac{\text{m}^3}{\text{N}}$$

Viscosidad cinemática de la pulpa:

$$\nu = 5.6 \cdot Q^{-6} \quad (3.2)$$

Tensión de vapor a 30 grados: h_t

$$H_t = 0.43246 \text{ m}$$

El gasto medido por un transmisor electrónico instalado en la línea de impulsión: Q_n

$$Q_n = 90.8 \text{ m}^3/\text{h}$$

3.2.1 Datos de la instalación.

Nota: Estos diámetros se escogieron como diámetros nominales para realizar los cálculos de la instalación puesto que son los diámetros de tuberías más largos y los que más predominan en toda la instalación.

Diámetro del tubo que más predomina en la succión: D_s

$$D_s = 0.152 \text{ m}$$

Diámetro del tubo que más predomina en la descarga: D_{imp}

$$D_{imp} = 0.10016m$$

Tabla 3.1 Diámetros de las tuberías estandarizados

Diámetros de la tubería		
mm	m	pulgada
152	0.152	6
101	0.101	4

Longitud total de la succión:

$$L = 8.2m$$

Longitud total de la descarga:

$$L_d = 143.49m$$

Longitud total de la instalación:

$$L_t = L_s + L_d \tag{3.3}$$

$$L_t = 151.51m$$

La diferencia de nivel desde el eje de las bombas hasta el nivel de impulsión se calcula en la expresión (3.4): ΔZ_x

$$\Delta Z_x = H_{imp} - H_{suc} \tag{3.4}$$

Donde:

$$H_{suc} = 0.30m : \text{Altura de succión}$$

$$H_{imp} = 10.31m : \text{Altura de impulsión}$$

Densidad el agua:

$$\rho_{H_2O} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

Peso específico del agua: γ_{H_2O}

$$\gamma_{H_2O} = \rho_{H_2O} \cdot g \tag{3.5}$$

$$\gamma_{H_2O} = 9.8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-3} \cdot N$$

Toda la línea de in instalación es de acero al carbono y la rugosidad relativa es:

$$\varepsilon = 4.57 \cdot 10^{-5}$$

3.3.2 Cálculos en la Succión.

Reynolds crítico: $Re_c = 2300$

Calculo del área lineal dentro de la tubería y se expresa en m^2 .

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad (3.6)$$

$$A = 0.018m^2$$

Donde:

d Es el diámetro de la tubería en cuestión.

Calculo de la velocidad media con que se mueve la hidromezclas se expresa en m/s

$$V = \frac{Q}{A} \quad (3.7)$$

$$V = 1.23m/s$$

Donde:

Q Es el gasto que pasa por las líneas se expresa en m^3/hrs .

Cálculo del Reynolds para conocer el régimen en el cual se encuentra el flujo si es laminar o turbulento mediante la expresión siguiente, (3.8) El Reynolds crítico donde ocurre el tránsito al otro régimen es 2300 y es adimensional. Cuando $Re > Re_c$ el régimen es Turbulento.

$$Re = \frac{4 \cdot Q \cdot \gamma}{\pi \cdot D \cdot \mu} \quad (3.8)$$

$$Re = 51550 \quad \text{Régimen turbulento.}$$

Donde:

D Diámetro de la tubería (m)

γ - densidad de la sustancia que se evalúa puede ser agua o cieno carbonatado según sea el caso. (kg/m^3)

μ -Viscosidad plástica de la sustancia que se evalúa puede ser agua o cieno Carbonatado según sea el caso. (Pa *sec.)

Tabla 3.2 Factor de fricción según el diámetro del elemento en cuestión:

Diámetro (m)	Factor de fricción f_r
0.150	0.015
0.101	0.017

Cálculo de las pérdidas local en la válvula de mariposa: ξ_1

$$\xi_1 = 15 \cdot f_r \cdot n \quad (3.10)$$

Donde.

f_r Factor de fricción que depende del diámetro de la válvula.

n Cantidad de válvulas.

Cálculo de las pérdidas locales en las válvulas de globo: ξ_2

$$\xi_2 = 3 \cdot f_r \cdot n \quad (3.11)$$

Donde:

f_r Factor de fricción que depende del diámetro de la válvula de bola.

n Cantidad de válvulas de bola.

Cálculo de las pérdidas locales en los codos de 45 grados: ξ_3

$$\xi_3 = 16 \cdot f_r \cdot n \cdot 45 \quad (3.12)$$

f_r Factor de fricción que depende del diámetro del codo $n \cdot 45$ cantidad de codos.

Calculo de las perdidas locales en las T ξ_4

$$\xi_4 = 60 \cdot n \cdot f_r \quad (3.13)$$

f_r - factor de fricción que depende del diámetro de las T

n -cantidad de T desviada 90° .

Calcado de las pérdidas locales en el estrechamientos graduales: K6 resistencia del estrechamiento de 0.152 - 0.101" ξ_5

$$\xi_5 = 0.8 \cdot \text{sen} \frac{\theta}{2} \cdot \left[1 - \left(\frac{d_1^2}{d_2^2} \right) \right] \quad (3.14)$$

En la tabla 3.3 Coeficientes de resistencia locales en la tubería de succión.

Accesorios	Cantidad	Perdidas (ξ)
Válvulas de mariposa	1	0.675
Válvulas de bola	3	0.135
Codo de 45°	6	1.44
T desviada 90°	1	0.3
estrechamiento	1	0.07

$$\Sigma \xi_{succ} = \xi_{vál} + \xi_{codo} + \xi_T + \xi_{estrech} \quad (3.15)$$

$$\xi_{succ} = 2.621$$

$$h_{locsucc} = \Sigma \xi_{succ} \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \quad (3.16)$$

$$h_{locsucc} = 1.302 \text{ m}$$

Perdidas total en la succión.

$$\Sigma h_{succ} = h_{locsucc} + h_{rozsucc} \quad (3.17)$$

$$\Sigma h_{succ} = 1.435 \text{ m}$$

3.3.3 Cálculos de las pérdidas en la descarga.

Los cálculos de los coeficientes de resistencia hidráulicas locales en la descarga se expresan en la tabla 3. 3

Tabla 3.3 Calculo de los coeficientes de resistencia en la descarga.

Accesorios.	cantidad	perdidas
Válvulas de mariposa	10	3.06
Válvulas de bolas.	5	0.25
Codos de 90 ⁰	29	14.79
Codos de 45 ⁰	6	1.63
estrechamiento	1	0.071

$$\Sigma \xi_{imp} = \xi_{válv} + \xi_{codo} + \xi_{est} \quad (3.18)$$

$$\Sigma \xi_{imp} = 18.053$$

$$h_{locimp} = \Sigma \xi_{imp} \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \quad (3.19)$$

$$h_{locimp} = 8.968m$$

Perdidas total en la tubería de impulsión.

$$\Sigma h_{imp} = h_{locimp} + h_{rozimp} \quad (3.20)$$

$$\Sigma h_{imp} = 12.473 m$$

Perdidas total en el sistema

$$\Sigma h_t := \Sigma h_{succ} + \Sigma h_{imp} \quad (3.22)$$

$$\Sigma h_t = 13.908 m$$

Perdidas total producto accesorio en el sistema.

$$\Sigma \xi_t := \Sigma \xi_{imp} + \Sigma \xi_{succ} \quad (3.23)$$

$$\Sigma \xi_t = 20.674$$

3.4 Altura con carga en la impulsión.

$$\Delta_{eq} = 0.2mm$$

$$Re = \frac{V_{pul} \cdot d \cdot \rho_{pul}}{\mu_p} \quad (3.24)$$

Donde:

d Diámetro de la tubería (m)

$\rho_{pul} = 1038 \frac{kg}{m^3}$ Es la densidad de la pulpa de cieno carbonatado.

$\mu_p = 0.007 \cdot Pa \cdot s$ Viscosidad plástica del Cieno Carbonatado.

Calculo de la velocidad crítica de la hidromezcla.

$$V_{crit} = 6 \cdot k_d \cdot \sqrt[3]{2 \cdot g \cdot D \cdot W} \cdot \sqrt{\rho_s - 1} \cdot \sqrt[6]{S} \quad (3.25)$$

$$V_c = 0.787 m/s$$

Donde:

$K_d = 0.15$ Coeficiente que tiene en cuenta el tamaño de partícula

g Aceleración de la gravedad

D Diámetro de la tubería (m).

W Grosor hidráulico (m).

S Porcentaje en peso de sólido.

Para el grosor hidráulico se determina por

$$W = 79.7 \cdot d_{med} \cdot \sqrt{\rho - 1} \quad (3.26)$$

d_{med} Diámetro media de las partículas sólidas.

Donde el Hedston es el valor que interviene en el cálculo de los factores de fricción y así como las tensiones cortantes y esta dada por la formula (3.20)

$$He = \frac{D_1^2 \cdot \rho_c \cdot \tau_0}{\mu_p^2} \quad (3.27)$$

Donde:

μ_p -Viscosidad plastica

τ_o - Esfuerzo cortante

$$He = 6.011 \times 10^4$$

$$C := -1.378 \cdot \left(1 + 0.146 \cdot e^{-2.9 \cdot 10^{-5} \cdot He} \right) \quad (3.28)$$

$$C = -1.209 \times 10^4 \quad fl := \frac{64}{Re} \quad f_t := \frac{10^C}{Re^{0.193}} \quad \beta := 1.7 + \frac{4000}{Re}$$

$$fl = 1.241 \times 10^{-3} \quad f_t = 0 \quad \beta = 1.778$$

$$f := \left[(fl)^\beta + f_t^\beta \right]^{\frac{1}{\beta}} \quad (3.29)$$

$$f = 1.241 \times 10^{-3} \quad \text{Coeficiente de fricción.}$$

Pendiente hidráulica

$$i = \frac{2 \cdot f \cdot \rho_c \cdot V^2}{D_1} \quad (3.30)$$

$$i = 313.39$$

Factor de fricción

$$\lambda_c = \frac{i \cdot 2 \cdot D_1}{V^2 \cdot \rho_c} \quad (3.31)$$

$$\lambda_c = 0.0049$$

Calculo de la altura de presión necesaria que se realiza por la expresión 3.24

$$H_{red}(Q) = \Delta Z_x + R \cdot Q_r^2 \tag{3.32}$$

Donde:

ΔZ_x Diferencia de niveles de succión y descarga (m)

Q Gasto o caudal m^3/h

R_c Resistencia del sistema y se calcula par la ecuación (3.16)

$$R_c = \frac{1}{2 \cdot g \cdot A^2} \left[\lambda_c \left(\frac{L_{imp}}{D_1} \right) + \Sigma \xi_t + 1 \right] \tag{3.33}$$

$$R_c = 2.283 \cdot 10^4$$

Tabla (3.4)

Q (m^3/h)	0	20	40	60	80	100
H(m)	10.01	10.71	12.83	16.35	21.29	27.63

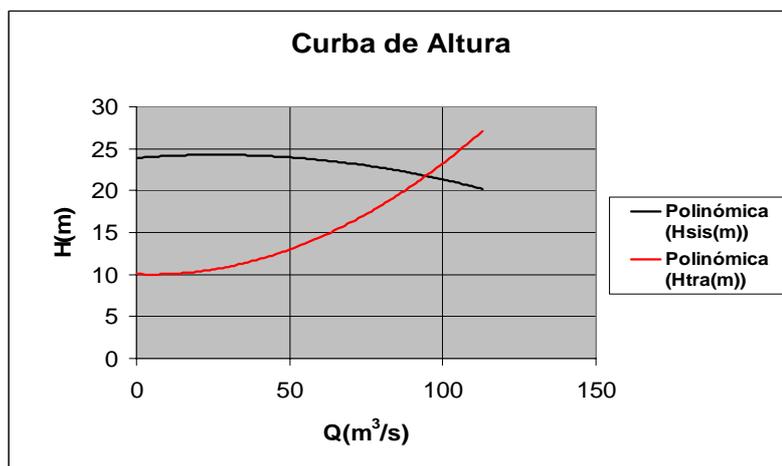


Figura 1 Curva de red

En la Figura 2-Se muestra el punto de trabajo de la bomba Svedala a 1200 rpm con pulpa de Cieno Carbonatado donde los resultados se ven que alcanza un valor de

$Q = 90.8 m^3/h$ y $H = 23m$ De ello se puede resumir que las bombas tiene un comportamiento estable y se encuentran trabajando dentro del rango calculado por catalogo.

3.5 Determinación de las potencias necesarias en el sistema.

Determinación de la potencia del motor y de la potencia útil de la bomba para conocer el flujo aproximado de Cieno Carbonatado conociendo los valores tales como:

$$N_c = \frac{H \cdot \rho_c \cdot Q_c}{6116 \cdot 10^3 \cdot \eta} \quad (3.34)$$

$H = 21$ Altura alcanzada por la bomba con pulpa. (m)

$\rho_c = 1513 kg/m^3$ Densidad de la pulpa.

$Q_c = 90 m^3/h = 1513$ litros/min. Gasto que logra la bomba con pulpa. (Litros/min.) En la fórmula se trabaja con litros por minuto.

$\eta = 58$ eficiencias de la bomba. (%)

g- aceleración de la gravedad (m/s^2)

$$N_c = 3.67 kW$$

El sistema pide como mínimo 3.71 Kw de potencia lo que demuestra que las bombas instaladas satisfacen este parámetro ya que la potencia de los motores es de 22 Kw.

Para calcular la potencia del motor se afecta la potencia útil necesaria para factor de seguridad que es de 1.05 - 1.1.

$$N_m = M_c \cdot N_c \quad (3.35)$$

$M_c = 1.1$ Coeficiente de seguridad.

$$N_m = 4.037 kW$$

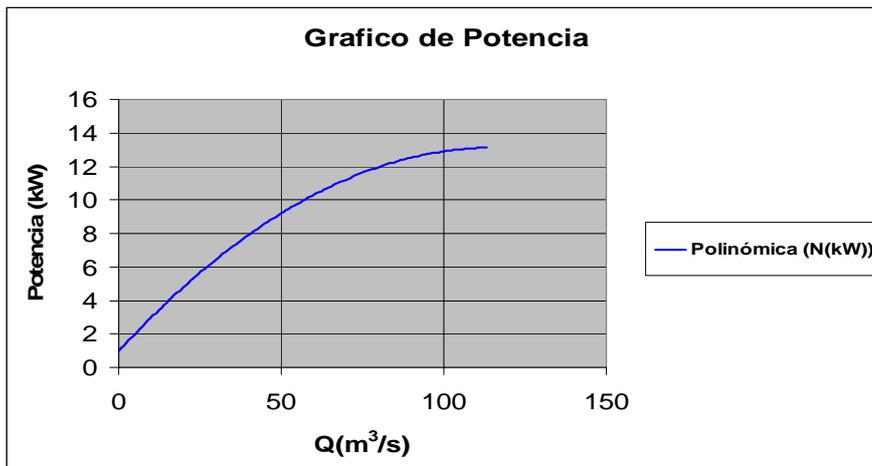


Figura 2 Curva de potencia

La potencia total del sistema de motor y bomba se determina por la siguiente ecuación.

$$N_t = N_c + N_m \tag{3.36}$$

$$N_t = 7.71kW$$

Para la eficiencia mecánica sería por la ecuación (3.6.4)

$$\eta_{mec} = \frac{N_t - N_m}{N_t} \tag{3.37}$$

$$\eta_{mec} = 0.48kW$$

3.6 Cálculos de cavitación de la bomba.

A continuación se realiza el calculo de cavitación para demostrar que la bomba no trabaja con este régimen y comprobar que la altura neta positiva neta de carga de succión requerida { $NPSH_{rcq} < NPSHa_d$ } es menor que la altura positiva neta de carga de succión admisible. En el case que nos ocupa la columna del liquido esta por encima del eje de la bomba y solo se analiza la altura del liquido a 0.5 m sobre el nivel del eje de la bomba ya que para otro nivel del tanque es favorable para las bombas, el tanque puede llegar hasta 4.8 m para ello se tienen los datos siguientes.

H_s Altura de succión en (m)

$P_0 = 10.33$ Presión atmosférica

$\gamma = 1.308$ Peso específico de la pulpa.

H_{eq} Pérdidas en la entrada de la bomba (m)

$H_v = 0.4324$ Pérdidas por tensión de saturación de agua.

$\Sigma h_{succ} = 0.27$ Pérdidas en la succión de las bombas. (m)

$$H_s = \frac{P_0 + 0.5}{\gamma} - \Delta H_{eq} - \Delta H_v - \Sigma h_{succ} \quad (3.39)$$

Para calcular las perdidas en la entrada de la bomba se calcula por los datos del pasaporte de la bomba y por la siguiente fórmula.

$$\Delta H_{eq} = \left[10 \left(\frac{n \cdot \sqrt{Q}}{c} \right) \right]^{\frac{4}{3}} \quad (3.40)$$

Donde.

$n = 8800rpm$ Revoluciones por minuto del rotor.

$Q = 0.025 m^3/s$. El gasto que ofrece la bomba.

$c = 1$ Un valor tabulado y se da en función del coeficiente de rapidez.

N_s Coeficiente de rapidez

$H = 21.9m$ Altura que ofrece la bomba.

$NPSH_{req} = 2m$

$$N_s = 3.65 \cdot n \cdot \left[\frac{\frac{1}{Q^2}}{\frac{3}{H^4}} \right] \quad (3.41)$$

$N_s = 72.34$

Como el valor de $n = 72.34$ se busca el valor de (c) en la tabla siguiente según las condiciones que en ella se plantean.

Tabla

Ns	<70	70-80	80-150	>150
c	600	700	800	1200

Por lo que se toma el valor de $c=700$

La pérdida por tensión de saturación del agua se entra con la temperatura del fluido 30° y le corresponde una presión de saturación de 0.0432 Kg./cm^2 en la tabla de los vapores y de $H_v = 0.4324$

$$\Delta H_{eq} = 4.06 \text{ m}$$

$$H_s = \frac{P_o + 0.5}{\gamma} - \Delta H_{eq} - \Delta H_v - \sum h_{suc}$$

$$H_s = 6.815 \text{ m}$$

$$NPSH_{adm} = 6.815 \text{ m}$$

Lo que demuestra que el $NPSH_{req} < NPSH_{adm}$, valorando que la altura de succión es menor que dos metros y teniendo en cuenta que las pérdidas hidráulicas podemos tomar como valor media de $NPSH_{adm} = 0.521 \text{ m}$. El valor de $NPSH_{req}$ de la bomba con una rotación de 880 rpm es de 4.132m por lo tanto se garantiza que la bomba no tiene condiciones para la cavitación.

3.7 Conclusiones parciales del capítulo

1. La velocidad crítica de transportación del Cieno Carbonatado donde es eminente la sedimentación de la pulpa de Cieno Carbonatado es de $V_{crit} = 0.78m/s$, siendo esta menor que la velocidad media de transportación $V_m = 1.23m/s$
2. La instalación analizada para las condiciones actuales trabaja con los siguientes parámetros $Q_t = 90.8m^3/h$, $H_t = 10.01m$ y una potencia del sistema de $N_t = 7.71kW$
3. Estas bombas no presentan cavitación ya que el $NPSH_{req} < NPSH_{adm}$

CAPITULO 4 Mantenimiento y valoración económica.

4.1 Introducción

El mantenimiento se dirige hacia deficiencias conocidas, donde el objetivo primario es minimizar, con confianza y seguridad, el número de inspecciones visuales y daños no esperados. El objetivo del mantenimiento es lograr que la maquinaria opere sin problemas, especialmente aquellas que son críticas en el proceso de producción. Es conocido de sobra el hecho de que averías catastróficas e inesperadas don lugar a elevados costos por: perdida de producción. es por eso que en este capitulo haremos una valoración económica tanto del mantenimiento como de la instalación en general.

Objetivo del capitulo

Realizar la valoración económica de la instalación con la nueva red montada en el 2007, así como el programa de mantenimiento y efecto medioambientales.

4.2 Cronología histórica de la estación de bombeo que nos ocupa.

El proyecto original de 1958 fue concebido con bombas del tipo Sdriver de diafragma y cigüeñal múltiple y con pistones telescopios de desplazamiento positivo y velocidad variable de forma mecánica hasta el 1968 que se instalaron las DKM de diafragma y accionamiento hidráulico francesas con capacidad variable y en 1978 se instalaron las Dosapro de origen italiana con diafragma y sistema hidráulico y un variador de velocidad manual hasta 1992 que son sustituidos por las feluwa de fabricación alemanas de la firma UGT las cuales funcionaron de forma eficiente por una década por su alta calidad y tecnología de avanzada las cuales tienen diafragma tubulares y circulares compensación hidráulica en cada recorrido con un variador eléctrico que regula las rpm. del motor. Su gran durabilidad es producto a que el cuerpo interior de las bombas están protegidas de neupren que son diafragmas tubulares lo cual no permite contacto directo de la pulpa con los elementos mecánicos del equipo.

En marzo del 2003 se puso en operación la bomba centrífuga SBEDALA con vareador electrónico que regula las rpm. del motor y con un lazo de control automático con retroalimentación, su variable de entrada es el valor del ph Obtenido en la salida del reactor 5.

4.3 Tipos de Mantenimientos y sus funciones:

Mantenimiento Correctivo: Tiene la máxima prioridad, trata de reducir los tiempos entre reparaciones medianas,

Mantenimiento Preventivo Planificado (M.P.P): En este se velara por el estricto cumplimiento del plan de mantenimiento realizando acciones como lubricación, ajustes, recambios, las inspecciones tendrán una frecuencia alta.

Mantenimiento Predictivo: En este se realizaran las técnicas de diagnostico objetivas. **Mantenimiento Basado en modificaciones:** En este se analizaran todas las referencias o modificaciones que conduzcan a elevar la disponibilidad.

La moderna tecnológica proporciona una serie de métodos que permiten una evaluación exterior de las condiciones de la maquinaria, sin desmontaje previo y sin afectar su funcionamiento normal. El más efectivo es el análisis de vibraciones. Este ana lisis de vibraciones, junto con otros parámetros específicos de cada máquina, constituye la base del moderno mantenimiento predictivo de averías, mas conocido coma Mantenimiento por diagnostico.

El mantenimiento por diagnostico es una metodología que tiene como objetivo final asegurar el correcto funcionamiento de las maquinas criticas a través de la vigilancia continuada de los niveles de vibración en las mismas, indicadores de su condición y que se ejecuta sin necesidad de recurrir a desmontajes y revisiones periódicas.

El instrumento de medición del nivel de vibraciones que se utiliza es el Microlog, que es un colector y almacenamiento de datos portátil y liviano; esta conformado por un Colector Analizador, un computador anfitrión con el software PRISM2 que se encarga de la administración de la base de datos. de las funciones en pantalla y emisión de informes, y de un modulo de apoyo que proporciona una conexión entre el computador y el Microlog el cual porta además el sistema cargador de batería.

La introducción de esta técnica ha permitido detector precozmente e identificar defectos en las maquinas sin necesidad de parar y desmontarla, siguiendo la evolución del defectos en el tiempo hasta que sea peligroso. También una selección

satisfactoria de las condiciones de operación de las máquinas, así como un funcionamiento más seguro de las plantas. El sistema Microlog establece alarmas las cuales dan idea de la severidad del defecto y por tanto establecer estrategias a seguir.

4.4 Regímenes de Lubricantes y Lubricación:

El lubricante se aplica en los rodamientos de la bomba y el motor eléctrico. Los lubricantes para rodamiento deben tener un grado de viscosidad adecuada según sus dimensiones, velocidad, carga y temperatura de funcionamiento; estabilidad a la oxidación; tendencia baja a formar depósitos; antiherrumbre; bajo puntos de congelación y buenas propiedades de separación de aguas.

Relleno:

La cantidad de grasa a rellenar depende del número de revoluciones. Los espacios vacíos del rodamiento deberán rellenarse completamente con grasa para que todas las superficies activas de los rodamientos queden lubricadas con seguridad. Los espacios

del alojamiento a ambos lados del rodamiento deberán rellenarse en función de $\frac{n}{n_g}$

donde n es el número máximo de revoluciones en servicio y n_g es el número límite de revoluciones del rodamiento seleccionado.

Rellenar totalmente para $\frac{n}{n_g} = 0.2$

Rellenar un tercio para $\frac{n}{n_g} = 1.2 - 0.8$

Vacíos para $\frac{n}{n_g} = 0.8$

La razón de este escalonamiento es la influencia del rozamiento del lubricante sobre la temperatura del rodamiento.

A bajas revoluciones este rodamiento no perturba el funcionamiento ya que tanto la pérdida de potencias como el aumento de la temperatura son pequeños. La reserva de grasa en el alojamiento origina alargamiento de los plazos de reengrase ya que las rotaciones y vibraciones hacen ligar grasa nueva hasta los puntos de contacto. A

elevado número de revoluciones ocurre de forma distinta, aquí el rodamiento del lubricante origina un aumento de temperatura inadmisible si la grasa se acumula en el rodamiento. En este caso los espacios vacíos del alojamiento queden libres para que pueda absorber la grasa expulsada de los cuerpos rodantes. En los rodamientos que tienen a ambos lados discos de protección o de obturación, se rellena el interior del rodamiento. Solamente en un 20 a 30% con grasa, ya que las tapas impiden la salida de grasa y esta cantidad es suficiente para toda la vida del rodamiento

Reengrase:

En la mayoría de los rodamientos hay que completar o renovar la grasa en determinados intervalos de tiempo. El plazo depende del consumo de grasa por el rozamiento del rodamiento en función de sus diámetros, revoluciones y temperaturas.

Es recomendable utilizar grasa cuando:

Se necesite proteger superficies expuestas al aire, humedad, polvo y agentes agresivos. Se trabaje con elevadas cargas que atenten contra la formación de la película de aceite adecuada.

En la lubricación de mecanismos de difícil acceso para alargar los intervalos de lubricación.

Como quebrantadores en equipos que trabajen con altos niveles de vibración. Para garantizar cierres herméticos.

Cuando el lubricante no participe en la evacuación del calor.

A bajas velocidades y altas presiones.

4.5 Características del lubricante utilizado en el mantenimiento de la bomba centrífuga 174-PU-2E

Grasa Lisan 3 (CUBALUB): La grasa Lisan está diseñada para la utilización en diferentes mecanismos tanto automotor, como de construcción industriales en condiciones de trabajo adversas. Esta grasa ha sido elaborada con jabón de litio y aceites básicos refinados de la más alta calidad. Poseen buena habilidad para el bombeo, resistencia al arrastre por agua, buena estabilidad mecánica y resistencia a

la oxidación, propiedades antiherrumbre y anticorrosivo. Poseen elevados puntos de gota (90 °C) y son resistentes al agua, propiedades antiherrumbre y anticorrosivo. Poseen elevados puntos de gota (90 °C) y son resistentes al agua

Características típicas:

Apariencia: brillante.

Color: ámbar,

Penetración trabajada: 220/250.

Ablandamiento: 10 máx.

Alcalinidad Libre: 0.1 máx.

Agua: ausencia.

4.6 Actividades por reparación.

En las reparaciones siempre el equipo se detiene. La clasificación de estas depende del volumen de trabajo, la reparación pequeña representa un 20% alrededor del volumen de la general, la mediana representa un 60% respecto al volumen de trabajo de la general y en la general se desarma completamente el equipo.

4.6.1 Reparación Pequeña

Antes de parar:

- Escuchar si tienen ruidos extraños.
- 2 Cerciorarse de que la temperatura sea normal.
- 3 Comprobar que las vibraciones no excedan de 7mm/s.

Después de parar:

- Desacoplar y comprobar en el acoplamiento:
- el estado de semicopling de la bomba.
- -el estado de semicopling del motor.
- -el estado de los dedos de acoplamientos.

4.6.1.1 Desacoplar y comprobar en el cuerpo de bomba:

- los sellos de howsingh de la bomba.
- el apriete de la tapa y la c a j a de la bomba existe juego axial y radial en los rodamientos.
- el apriete de las tapas en los rodamientos.
- añadir o .sustituir el lubricante si es necesario.
- cambiar la empaquetadura si es necesario.
- si todo anda bien alinear correctamente y acoplar
- probar el equipo y eliminar posibles vibraciones.

4.6.2 Reparaciones medianas

1-Desacoplar, abrir y comprobar en los acoplamientos. El estado del semicopling de la bomba, el estado del semicopling del motor cambiar los dedos de los acoplamientos y anillos si es necesario, comprobar el estado del impelente, comprobar el estado del aro de tope, comprobar el estado del aro de enfriamiento. Comprobar el estado de los rodamientos, cambiar el lubricante, comprobar estado del eje central, comprobar la empaquetadura,

cambiar los sellos y juntas si es necesario, si todo anda bien armar la bomba y alinearla correctamente, acoplar y comprobar el equipo, eliminar vibraciones y ruidos extraños, pintar el equipo.

4.6.3 Reparación General.

-Desacoplar, abrir y comprobar el estado de:

Semicopling de la bomba y cambiar si es necesario, semicopling del motor y cambiar si es necesario.

Cambio del impelente.

Cambio de la tuerca del impelente.

Cambio del casquillo protector

Cambio de la caja y tapa de la bomba.

Cambio de los rodamientos.

Cambio del eje central.
Cambio de las empaquetaduras.
Cambio del lubricante.
Enviar al motor eléctrico al taller para su reparación.
Reparar o reconstruir el cimientó.
Desmontar y reparar la válvula de succión.
Ensamblar y montar en cimientó la bomba y el motor.
Alinear el acoplamiento y dar correcto apriete a todas las acciones.
Conectar la Línea de succión y descarga.
Hacer prueba en vacío y con carga.

4.7 Valoración económica e Impacto Ambiental.

Valoración económica de la instalación.

Gasto de explotación de la instalación actual para transportar un m³ de Cieno Carbonatado a 151.51 m de distancia.

$$G_{\text{exp}} = \frac{G_b}{Q_c \cdot L_{\text{inst}}} \quad (4.1)$$

Donde:

G_b Gasto anual de explotación de una bomba.

Q Caudal de Cieno Carbonatado transportado por una bomba en un año

$$Q_c = 797160 \text{ m}^3 / \text{año}$$

$L_{\text{inst}} = 151.51 \text{ m}$ Longitud de la línea que va a los reactores,

4.7.1 Gasto anual de explotación de una bomba.

$$G_b = V + F \quad (4.2)$$

Donde:

V Gasto unitaria variable.

F Gastos fijos globales.

4.7.2 Gasto unitarios variables.

$$V = g_{ilum} + g_{elec} + g_{mant} + g_{imp} + g_s \quad (4.3)$$

Donde:

g_{ilum} Gasto por iluminación

g_{elec} Gastos por el consumo de energía electricidad

g_{mant} Gasto de mantenimiento.

g_{imp} Gastos de imprevistos.

g_{agua} Gasto por consumo de agua.

g_s Gastos en salarios de los operadores de la instalación

Gastos por iluminación

$$g_{ilum} = T \cdot N_{lamp} \cdot t_t \cdot n_l \quad (4.3)$$

Donde:

$N_{lamp} = 0.15kW$ Potencia consumida por iluminación.

$t_t = 4380h$ Tiempo en horas de operación en el año.

$n_l = 2$ Cantidad de lámparas instaladas.

$g_{ilu} = 197.1USD/año$

Gastos por el consumo de energía electricidad

$$g_{elect} = \frac{T \cdot N_m \cdot k_p \cdot T_{pu}}{\eta} \quad (4.4)$$

Donde:

$T = 0.15kW/h$ Tarifa de corriente eléctrica.

$N_m = 4.037kW/h$ Potencia consumida por el motor de las maquinas.

$k_p = 1.04$ Coeficiente de pérdida

$T_{pu} = 8607h$ Tiempo en horas en el año

$\eta = 0.85$ Rendimiento del motor.

$g_{elect} = 6376.9USD/año$

Gasto de mantenimiento.

$$g_{mant} = 21266.378 \text{USD/año} \quad \text{Gasto anual por mantenimiento}$$

Gastos por consumo de agua

$$g_{agua} = P_a \cdot Q_a$$

$$g_{agua} = 375 \text{USD/m}^3 \quad (4.5)$$

Donde:

$$P_a = 0.25 \text{USD/m}^3 \quad \text{Tarifa del m}^3 \text{ de agua.}$$

$$Q_a = 1500 \text{m}^3/\text{año} \quad \text{Caudal de agua}$$

Gastos en salarios de los operadores de la instalación.

$$g_s = t_a * t_n * k_{ss} * k_{dr} * k_{pc} \quad (4.6)$$

Donde:

$$t_a = 1.5 \text{USD/h} \quad \text{Tarifa salarial del personal directo de /a instalación.}$$

$$t_n = 8660 \text{h} \quad \text{Tiempo de trabajo del operario en la instalación}$$

$$k_{ss} = 1.08 \quad \text{Coeficiente de seguridad social}$$

$$k_{dr} = 1.0909 \quad \text{Coeficiente de descanso distribuido}$$

$$c = 2\% \quad \text{Porcentaje de pago complementario}$$

$$k_{pc} = 1 + \frac{c}{100} \quad \text{Coeficiente de pago complementario} \quad (4.7)$$

$$g_s = 15300 \text{USD/año}$$

4.7.3 Gastos fijos globales

$$F = g_{amort1} + g_{amort2} + g_{spi} \quad (4.9)$$

Donde:

$$g_{amort1} \quad \text{Gastos por amortización de las bombas.}$$

$$g_{amort2} \quad \text{Gastos de amortización de tuberías y soportes.}$$

$$g_{spi} = 1006 \text{USD/año} \quad \text{Gasto de salario del personal indirecto}$$

$$g_{amort1} = \frac{N_g \cdot I}{100} \cdot n = 321.93 \text{USD/año} \quad (4.10)$$

Donde:

$N_g = 4\%$ Tasa de amortización de las maquinas.

$I = 8048.07\text{USD/año}$ Valor inicial de la maquina

$n = 2$ Cantidad de maquina en la instalación.

$$g_{amort2} = \frac{N_g \cdot I_t}{100} = 865.65\text{USD/año} \quad (4.11)$$

Donde:

$I_t = 43282.9\text{USD/año}$ Valor inicial de las tuberías

$N_g = 2\%$ Tasa de amortización de las tuberías y soportes.

$g_{spi} = 900\text{USD/año}$ Gasto de salario del personal indirecto

$F = 2088\text{USD/año}$ $G_b = 38610\text{USD/año}$. $G_{exp} = 0.875\text{USD/m}^3$

Tabla 3.10: Resultados de los valores económicos

Indicadores	Actual
Gastos por consumo de energía eléctrica	6377.9
Gastos por mantenimiento	14266.38
Gastos por consumo de agua	375
Gastos por salarios de los operadores	15300
Gasto por iluminación	197.1
V gasto unitario variable	365200
Gastos por amortización de las bombas	321.923
Gastos por amort. de tuberías y soportes	865.65
Gastos por salario del personal indirecto	900
F gasto fijos globales	2088
G b	38610
Gasto por transportar un m^3 de Cieno Carbonatado (USD / m^3)	0.875

4.8 Impacto medio ambiental.

La actividad minera, como la mayor parte de las actividades que el hombre realiza para su subsistencia, crea alteraciones en el medio natural, desde las más imperceptibles hasta las que representan claros impactos sobre el medio en que se desarrollan.

Esto nos lleva a definir el concepto de **impacto ambiental** de una actividad: la diferencia existente en el medio natural entre el momento en que la actividad comienza, el momento en que la actividad se desarrolla, y, sobre todo, el momento en que cesa.

Estas cuestiones, que hace algunos años no se percibían como un factor de riesgo para el futuro de la humanidad, hoy se contemplan con gran preocupación, que no siempre está justificada, pues el hombre viene alterando el medio desde que ha sido capaz de ello, pero ciertamente los abusos cometidos en este campo han hecho que crezca la conciencia de la necesidad de regular estos impactos. De cualquier manera, también debe quedar claro que el hombre necesita los recursos mineros hoy, y los necesitará en el futuro. Así, en el momento actual existen normativas muy estrictas sobre el impacto que puede producir una explotación minera, que incluyen una reglamentación de la composición de los vertidos líquidos, de las emisiones de polvo, de ruidos, de restitución del paisaje, etc., que ciertamente a menudo resultan muy problemáticos de cumplir por el alto costo económico que representan, pero que indudablemente han de ser asumidos para llevar a cabo la explotación.

Por otra parte, hay que tener en cuenta que la actividad minera no solo produce un impacto ambiental, es decir, sobre el medio ambiente. También produce lo que se denomina Impacto Socioeconómico, es decir, una alteración sobre los modos de vida y la economía de la región en la que se implanta, que pueden ser en unos casos positivos y en otros, negativos

Siempre es de gran interés delimitar, dentro del ámbito general de la explotación, las distintas acciones que producen impacto (**acciones impactantes**: excavaciones, voladuras, emisión de gases y efluentes líquidos, creación de vías de transporte, etc.), así como establecer sobre qué aspectos concretos del medio se produce cada impacto (**factores impactados**: vegetación, fauna, paisaje).

4.8 Conclusiones parciales del capítulo

1. El análisis económico realizado revela que los principales gastos de la instalación son provocados por los gastos por concepto de mantenimiento, y esto a la vez están determinado en gran medida por las características abrasiva del material transportado, así como el alto nivel de corrosión en el área de la instalación.
2. El costo de transportación de un m³ de Cieno Carbonatado para las condiciones actuales es de *0.87USD*
3. Si la operación nos permite trabajar con una sola batería de reactores tendríamos que transportar el Cieno Carbonatado solamente a 66m y con esto lograríamos un ahorro de 0,46 USD por cada m³ a transportar lo que representaría 14202,50 USD en el año.

CONCLUSIONES GENERALES

Después de realizar los cálculos y analizar el problema que nos ocupa se puede hacer las siguientes conclusiones.

1. El análisis de las características físico mecánicas del Cieno carbonatado, demostró que este material se comporta como un material altamente polidisperso compuesto por partículas menores de 0.046mm.
2. Del análisis realizado de las características físico mecánicas del Cieno Carbonatado se determinó que más del 60% presenta partículas inferiores de 45 micrones con un tamaño medio de las partículas de 0.11
3. Las pérdidas hidráulicas aumentan con las concentraciones de sólidos en suspensión y disminuyen a medida que los parámetros de flujo se acercan a los adecuados.
4. El análisis económico realizado revela que los principales gastos de la instalación son provocados por los gastos por concepto de mantenimiento, y esto a la vez está determinado en gran medida por las características abrasivas del material transportado, así como el alto nivel de corrosión en el área de la instalación.



RECOMENDACIONES

1. Buscar tecnología apropiada para aprovechar los beneficios Cieno Carbonatado ya que aumentan la calidad del producto y hay un mejor aprovechamiento de la mina y por otro lado bajar los costos de producción
2. Buscar una tecnología apropiada para aprovechar los residuos del beneficio del Cieno Carbonatado ya que aumentan la calidad del producto y bajar la norma de Ni y Cieno Carbonatado.
3. Trabajar siempre que la producción lo permita trabajar con una sola batería de reactores para contribuir al ahorro de energía.

BIBLIOGRAFÍA

1. Andreiev, S.E. Trituración, desmenuzamiento y cribado de minerales. Editorial pueblo y educación, 1980.
2. Caballero, N Y Modelo reológico del comportamiento de la pulpa de Cieno Carbonatado en su hidrot transporte Trabajo de Diploma. ISMM. Moa. 2007
3. Campos, G.M. Nuevos datos acerca de la naturaleza y génesis de los sedimentos del yacimiento de Cieno Carbonatado en la bahía de Cayo Moa Grande. Holguín. 2001.
4. Castillo. D. Informe sobre problemas de extracción y utilización de la materia prima de Cieno Carbonatado. 1988.
5. Cerpa, A. Propiedades de flujo de suspensiones minerales lateríticas. Influencia de la mineralogía y de las propiedades coloide-químicas. Tesis de doctorado. Universidad Autónoma de Madrid, España, 1997.
6. Cerpa, A.; Garcell. L .R Propiedades superficiales y reológicas de suspensiones minerales lateríticas. La Habana: Informe al evento Metalurgia 98, 1998.
7. Cerpa, A.; Garcell. L.R. Efecto del PH, concentración de sólidos y tamaño de partículas en las curvas de flujo de suspensiones lateríticas. Revista tecnología química. Volumen XXI, No 1, 2001
8. CEPRONIQUEL. Proyecto de extracción del fango coralino al sur de Cayo Moa Grande. 2000.
9. CESIGMA. División América. Proyecto de explotación del yacimiento de Cienos Carbonatados al sur de Cayo Moa Grande. 1997.
10. Cheng, D.C. Viscosity - concentration equations and flow curves for suspensions. Chemistry and Industry, 1980.
11. Correa. F. Estudio sobre extracciones experimentales de fangos carbonatados al oeste de Cayo Moa Grande. 1957.
12. Garcell, P.L. Sedimentación de suspensiones minerales, influencia de las propiedades superficiales y reológicas sobre el proceso. Curso de capacitación, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, 2004.

13. Garcell, P.L. Comportamiento reológico de las pulpas lateríticas. Trabajo investigativo. Facultad de Ingeniería química. Instituto Superior Politécnico Julio Antonio Mella. Santiago de Cuba. 1993.
14. Garcell, P.L. Estudio reológico de las suspensiones de limonita de la Empresa Comandante Pedro Soto Alba. Facultad de tecnología química. Santiago de Cuba. 1990.
15. Garcell, L. Determinación de parámetros reológicos en pulpas minerales que se comportan como plásticos reales. Revista Tecnología Química, 1984.
16. Garcell, L. Flujo por tuberías de suspensiones minerales no newtonianas. Apuntes para una monografía, 2001.
17. Heny, K.E; Fred, H.W; Stephen, R.L. Mineralogía. Edición revolucionaria. La Habana. 1959.
18. Hernández, L. R. Calculo verificativo y propuesta de modificación para la ampliación de la instalación de bombeo de Cieno Carbonatado. Trabajo de Diploma. ISMM. Moa. 2003.
19. Izquierdo, P.R. Investigación de los parámetros y elaboración de los regímenes racionales del transporte hidráulico de lateritas utilizadas en las condiciones de la Empresa Comandante Pedro Soto Alba. Tesis de Doctorado. Leningrado, 1989.
20. Jiménez. D.Y. calculo verificativo y propuesta de modificación de la instalación de bombeo de Cieno Carbonatado desde el puerto hasta la planta de neutralización de la Empresa "Pedro Soto Alba". Tesis de Diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico. 2005.
21. Manual de operaciones de las plantas de Neutralización.
22. Mariño, P.A. Equipos de la metalurgia no ferrosa. Editorial Félix Varela, La Habana, 1994.
23. Martínez, R.R. Cálculo y proyección de las variantes alternativas de los esquemas del transporte de hidromezcla de alta densidad en el proceso carbonato amoniacal. Tesis de diploma. ISMM.2004.
24. Menéndez, H.M Conferencia sobre la naturaleza de los Cienos Carbonatados y los factores minero – ambientales que se tienen en cuenta durante el minado.



25. Ramírez, S.B. Estudio de la distribución fraccional de las arenas del placer aluvial de la playa de Mejías. Tesis de maestría. Instituto Superior Minero Metalúrgico. Moa. 2002
26. Tijonov, O.N. Zakonomiernosti effektivno razdelenia mineralov v protsessaj obogashenia polieznij oscopaemij. Nedra. Moskva. 1984.
27. Toose, E.M. A boundery integral method for two dimentional) (non) – Newtonian drops is slow visions flow. Journal of Non–Newtonian Fluid Mechanics, 1995.
28. Turro, B.A. Estudio del hidrotransporte de las colas en el proceso carbonato amoniacal. Tesis doctoral. Instituto Superior Minero Metalúrgico. Moa. 2002.
29. Turro, B.A. Influencia de diferentes factores sobre el comportamiento reológico de las suspensiones de desechos lixiviados (Colas) del proceso industrial CARON. Revista tecnología química. Volumen XXIII, No 2, 2003

Anexo 1
Tabla 1 Resultados del análisis en el Horiba

Diámetro (μm)	Frecuencia	Retenido	Cernido	Diámetro (μm)	Frecuencia	Retenido	Cernido
890,116	0	0	100	11,565	1,958	73,149	26,851
777,141	0,387	0	100	10,097	1,895	75,107	24,893
678,504	0,696	0,387	99,613	8,816	1,835	77,002	22,998
592,387	1,253	1,083	98,917	7,697	1,757	78,837	21,163
517,2	2,255	2,336	97,664	6,72	1,646	80,594	19,406
451,556	2,395	4,591	95,409	5,867	1,527	82,239	17,761
394,244	2,391	6,986	93,014	5,122	1,419	83,766	16,234
344,206	2,302	9,377	90,623	4,472	1,312	85,185	14,815
300,518	2,21	11,679	88,321	3,905	1,213	86,497	13,503
262,376	2,094	13,889	86,111	3,409	1,14	87,71	12,29
229,075	1,997	15,983	84,017	2,976	1,033	88,85	11,15
200	1,948	17,98	82,02	2,599	0,915	89,883	10,117
174,616	1,96	19,928	80,072	2,269	0,831	90,798	9,202
152,453	2,051	21,888	78,112	1,981	0,685	91,63	8,37
133,103	2,231	23,939	76,061	1,729	0,573	92,315	7,685
116,21	2,401	26,17	73,83	1,51	0,534	92,887	7,113
101,46	2,587	28,571	71,429	1,318	0,51	93,421	6,579
88,583	2,775	31,158	68,842	1,151	0,415	93,931	6,069
77,339	2,95	33,933	66,067	1,005	0,345	94,346	5,654
67,523	3,091	36,883	63,117	0,877	0,295	94,691	5,309
58,953	3,193	39,974	60,026	0,766	0,258	94,986	5,014
51,471	3,244	43,168	56,832	0,669	0,274	95,244	4,756
44,938	3,251	46,412	53,588	0,584	0,348	95,517	4,483
39,234	3,217	49,663	50,337	0,51	0,464	95,866	4,134
34,255	3,122	52,88	47,12	0,445	0,616	96,33	3,67
29,907	2,964	56,002	43,998	0,389	0,738	96,946	3,054
26,111	2,763	58,966	41,034	0,339	0,742	97,683	2,317
22,797	2,564	61,729	38,271	0,296	0,618	98,425	1,575
19,904	2,399	64,293	35,707	0,259	0,43	99,043	0,957
17,377	2,264	66,692	33,308	0,226	0,266	99,472	0,528
15,172	2,149	68,956	31,044	0,197	0,161	99,738	0,262
13,246	2,045	71,104	28,896	0,172	0,101	99,899	0,101
11,565	1,958	73,149	26,851	0,15	0	100	0
10,097	1,895	75,107	24,893				

Anexo 2**Tabla 2 Data del comportamiento del porcentaje de sólido, Carbonato, Cloruro y pH**

Días	Fechas	Sólido	carbonato	Cloruro	volumétrico	PH
1	24/04/2009	38,05	91.27	566	38,6	8.02
2	25/04/2009	38,85	92.30	382	39,4	8,00
3	28/04/2009	39.9	91.52	482	37,6	8,15
4	29/04/2009	38.7	91.26	439	41,5	8,30
5	30/04/2009	35,22	90.2	465	38,6	8,74
6	02/05/2009	28,79	85.5	396	34,5	8,83
7	03/05/2009	31,07	85.3	395	32,2	9
8	05/05/2009	36,47	84.3	380	38,6	8,94
9	07/05/2009	31,64	92.1	345	32,6	8,81
10	08/05/2009	30,04	90	402	31,5	8,68
11	09/05/2009	30,83	92.1	410	35,3	9,19
12	15/05/2009	29,39	84.1	555	38,5	9,12
13	16/05/2009	34,05	84.9	502	37,7	8,75
14	20/05/2009	39,28	84.6	496	39,5	8,89
15	21/05/2009	40,19	82.1	490	40,8	8,49
16	26/05/2009	39,9	88	501	40,5	8,78
17	27/05/2009	37,49	87.5	399	39,8	8,75
18	29/05/2009	38,06	84.7	412	39,01	8,88
19	30/05/2009	34,01	83.2	425	36,5	8.92

Anexo 3

Esquema tecnológico de la planta de neutralización

