



MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO  
FACULTAD METALURGIA-ELECTROMECAÁNICA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

# TRABAJO DE DIPLOMA

En opción al título de Ingeniero  
mecánico

**Tema:** Perfeccionamiento del sistema de transporte de Cieno Carbonatado en la planta del Puerto Moa.

**Autor:** Mario Gómez Correa

**Tutores:** MSc. Rodney Martínez Rojas.  
MSc. Tomás Fernández Columbié.  
MSc. Isnel Rodríguez Gonzáles.

Moa, 2010  
"Año 52 de La Revolución"



---

**DECLARACIÓN DE AUTOR**

---

*Yo: Mario Gómez Correa*

*Autor de esta Tesis de Ingeniería, certifico su propiedad intelectual a favor del I.S.M.M. de Moa, el cual podrá hacer uso del mismo con la finalidad que estime conveniente.*

-----  
*Firma del Autor*  
Mario Gómez Correa

-----  
*Firma del tutor*  
MSc. Tomás Fernández Columbié

-----  
*Firma del tutor*  
MSc. Isnel Rodríguez Gonzáles.

-----  
*Firma del tutor*  
MSc. Rodney Martínez Rojas.

*Autor: Mario Gómez Correa*



## **Pensamiento:**

*"7. Kuhn señala correctamente que cuando el investigador o el práctico de la ciencia pasa de una situación problémica a otra, cambian sus manipulaciones con las generalizaciones simbólicas."*

*G. I. Rusasuin*

*"La ciencia no ha sido y nunca será un libro terminado. Cada éxito importante trae nuevas interrogantes."*

*Albert Einstein*

*"En el mundo no existe solo materia y energía, sino también información. Sin ella no se puede concebir un sistema organizado. La información le confiere la seguridad de la organización."*

*M. N. Mihail y M. A. Rusu*



## AGRADECIMIENTO

*En estos momentos en que tantas personas han dado su aporte desinteresado e incondicional a la realización de este trabajo, se hace tan difícil hacerle llegar este mi más sincero agradecimiento, por su apoyo, su orientación y guía, sin los cuales no hubiera llegado hasta este momento. Desde lo más profundo de mi corazón gracias sin ustedes no hubiera llegado.*

*A mi profesor Roberto Sierra, que me ayudó de forma extraordinaria.*

*A mis tutores por su dedicación y paciencia.*

*A todos los profesores del departamento de Mecánica, a todos, les lleque mi agradecimiento. A ellos con los que siempre pude contar. Gracias.*

*A mis padres y familiares que me ayudaron con el más sincero cariño.*

*Por favor, son tantos a los que agradecer, aunque no los mencione en estas líneas. Sepan que les estoy agradecido por siempre*

***A todos Gracias***



## Dedicatoria

*Este trabajo se realizó gracias a la paciencia de las personas que conozco, es para aquellas personas que por su constancia, dedicación y amor contribuyeron a la realidad que representa llegar hasta el final, que de no ser por ellas no habría podido llegar hasta este momento.*

*De una manera especial dedico este trabajo con inmenso amor al Dios vivo que existe en los cielos, a mis padres Luz Delaida Correa Gainza y Mario Gómez Méndez que han sabido apoyarme en los momentos mas difíciles, a nuestra querida Revolución, A mis amigos y profesores del departamento de Mecánica, a ellos con los que siempre pude contar. A mi familia toda, por hacerlos sentir orgullosos de haberme educado. Gracias*

*Autora: Mario Gómez Correa*



## **RESUMEN**

En este trabajo de diploma se realiza un estudio que permite obtener la información necesaria para la actualización de la temática en cuanto a la hidrotransportación de fluidos. Además de un análisis de las propiedades físico-mecánicas del cieno carbonatado (composición química, composición granulométrica, velocidad, forma y tamaño de la partícula) caracterizando dicho fluido.

Se propone una metodología que permite determinar el régimen de trabajo del sistema actual de transporte de la suspensión de cieno, así como el cálculo y proyección de una nueva variante perfeccionada para la hidrotransportación de la suspensión del cieno desde la planta de coral ubicada en el Puerto Moa hasta la empresa Pedro Soto Alba Moa Níquel SA. Hacia los depósitos donde se van a utilizar para el mejoramiento del PH del sulfuro de níquel + cobalto (Ni + Co)

Se lleva a cabo la evaluación de los indicadores técnicos – económicos que caracterizan a este sistema, así como una valoración del impacto medio ambiental provocado por el depósito actual del cieno carbonatado en la planta.



**ABSTRACT**

This job is carried a study that allows obtain the necessary information for the upgrade the thematic for the hydrotransport of fluids. Besides an analysis of the physical-mechanical estates of the carbonated silt (chemical composition, granulometric composition, speed, forms and size of the particle) characterizing this fluid.

Intends a methodology that allows determine the working régime of the current system of transport the suspension silt, as the calculation and projection a new sophisticated variant for the hydrotransport the suspension the silt from the coral plant located in the Port Moa until the company Pedro Soto Alba Moa Nickel SA. Toward deposits where they will use for the improvement of the PH of the nickel sulfide + cobalt (Neither + Co)

It carried the evaluation technical indicators - economic that characterize to this system, as evaluation the environmental impact caused by the current deposit the silt carbonated in the plant.



## ÍNDICE

Contenido		Págs.
	<b>Introducción</b>	1
<b>CAPÍTULO I</b>	<b>MARCO TEÓRICO</b>	6
1.1	Introducción	6
1.2	Ubicación del Cieno Carbonatado	6
1.3	Trabajos Precedentes sobre los parámetros de hidrot transporte en el flujo de hidromezclas por tuberías	8
1.4	Estudio y Aplicación del Transporte Hidráulico	12
1.5	Detalles del Proceso Tecnológico en la Planta de Coral	15
1.6	Características de construcción de la instalación de bombeo	16
1.7	Clasificación general de las bombas	17
1.7.1	Clases de bombas de desplazamiento positivo	18
1.7.2	Bombas para la transferencia de coral hacia la planta de Neutralización (264-PU 6A 6B, 6C, 6D)	19
1.8	Características de los reductores	20
1.8.1	Características del agitador que se emplea para homogenizar la mezcla	22
1.9	Conclusiones parciales del capítulo	23
<b>Capítulo II</b>	<b>Materiales y métodos</b>	24
2.1	Introducción	24
2.2	Características del Cieno Carbonatado	24
2.3	Metodología para el sistema de transporte de Cieno Carbonatado por tuberías	25
2.3.1	Determinación de la velocidad crítica	25
2.3.2	Cálculo de las pérdidas locales en la instalación	28
2.3.3	Cálculo de la altura geométrica en la impulsión	29
2.3.4	Características de la red	29
2.3.5	Cálculo de la potencia y la eficiencia eléctrica de la bomba	30
2.4	Expresión de cálculo para obtener el consumo energético en el agitador	31
2.5	Cálculo para comprobar si el sistema cavita	31
2.6	Conclusiones parciales del capítulo	32

*Autor: Mario Gómez Correa*



---

<b>Capítulo III</b>	<b>Análisis de los resultados.</b>	34
3.1	Introducción	34
3.2	Determinación de la velocidad crítica	34
3.3	Análisis de las condiciones de trabajo del sistema de bombeo	35
3.3.1	Resultados de la instalación trabajando la bomba PU – 6A	35
3.3.2	Resultados de la instalación trabajando la bomba PU – 6D	37
3.3.3	Resultados de la instalación trabajando las bombas PU – 6A+ 6D	38
3.3.4	Resultados de la instalación trabajando las bombas PU – 6D+ 6C	40
3.3.5	Resultados de la instalación trabajando las bombas PU – 6D+6A + 6C	41
3.3.6	Resultados de la instalación trabajando las bombas PU – 6A+6B + 6C+6D	43
3.4	Análisis de los resultados obtenidos para el reductor y bomba DURKO	44
3.5	Análisis de los resultados para el fenómeno de la cavitación	45
3.6	Valoración Económica	45
3.7	Impacto medio ambiental	48
3.8	Conclusiones parciales del capítulo	48
	<b>Conclusiones Generales</b>	50
	<b>Recomendaciones</b>	51
	<b>Bibliografía</b>	52
	<b>Anexos</b>	....



## **INTRODUCCIÓN**

La producción de níquel es una de las principales fuentes de exportación, esta importante rama de recursos económicos de nuestro país, está compuesto de manera general por la Industria Cubana del Níquel fundada desde hace varias décadas, ésta, está en un proceso de expansión de sus áreas y renovación de toda su tecnología, para asegurar un mayor aporte a la economía de La Revolución.

El cumplimiento de éstas tareas tan importantes trae consigo la realización de actividades a mediano y largo plazo, buscando que continuamente al crecimiento gradual de la producción haya un perfeccionamiento en los parámetros y formas de trabajo de las instalaciones que forman parte del proceso productivo, esto también conlleva una modernización del equipamiento tecnológico, para que la forma de trabajar sea de una manera más eficiente y que las grandes reservas de recursos minerales que están en las canteras niquelíferas de la región oriental de Cuba sean mucho mayor y se afine el sistema de extraer el mineral que se requiere; lo que abonará que exista un proceso productivo permanente.

---

Para el desarrollo de nuestras industrias niquelíferas se necesita disminuir el consumo de combustible tan caro en el mercado internacional en estos momentos Actualmente nuestra industria se encuentra realizando dos grandes cambios: modernizando las plantas con las que cuenta, para disminuir lo que cuesta producir cada tonelada de níquel. También se encuentra realizando tareas en lo referente al perfeccionamiento empresarial, para que posea más competencia en el mercado a nivel internacional. Este último como proceso general no consigue evitar el impulso tecnológico aplicando consecuentemente la ciencia y la técnica (Torres, 2003).

En nuestro tiempo se encuentran trabajando tres fábricas que son las encargadas de toda la producción de Ni + Co en Cuba, tenemos: la Empresa “Comandante Pedro Sotto Alba”, la que produce sulfuros de Ni + Co; y las empresas “René Ramos Latour” y “Ernesto Che Guevara”, que logran como producto final sínter de Ni + Co.



La empresa mixta cubana canadiense, Comandante "Pedro Sotto Alba". Moa Nickel SA, emplea un proceso hidrometalúrgico, con lixiviación ácida a presión, la única que existe en nuestro país y vanguardia teniendo en cuenta su rendimiento en el mundo. Aparte del empleo del mineral laterítico, es utilizado el Carbonato de Calcio, ( $\text{CaCO}_3$ ), que se encuentran en los Cienos Carbonatados, esta es una materia prima indispensable para producir, es utilizado en la Planta de Neutralización para que el licor posea el pH adecuado a partir de la lixiviación del mineral níquelífero para luego ser procesado en el área donde se Precipita el Sulfuro.

La mezcla de Cieno Carbonatado está compuesta por un material de color gris y se extirpa de una de las minas ubicada al oeste de cayo grande de Moa, luego que se extrae esta mezcla es llevada a un proceso donde se beneficia, en la planta de preparación de pulpa de coral en la zona portuaria, las partículas mayores que 20 mesh componen el rechazo, esto se hace mediante cribas, las que tienen pequeño tamaño son remitidas a los sedimentadores para el incremento del por ciento de sólido hasta el valor que se necesita de 40 - 45 % bajo buenas condiciones, luego esta pulpa es transportada hacia la planta donde será neutralizado por medio de un sistema de transporte hidráulico por tuberías para ser guardada en los tanques que posee la planta. En el mundo actual que vivimos el transporte hidráulico por tubería tiene un papel esencial en la transferencia de pulpas, es así por su efectividad económica y ecológica teniendo en cuenta los otros tipos de transporte existentes.

En esta forma de transporte el consumo de energía tiene que ver en su mayoría las pérdidas de carga a lo largo de la tubería y ésta, al mismo tiempo, depende del tamaño del conducto, su particularidad de trabajo, el tipo de material y tecnología con la que fue fabricado, el régimen de trabajo de la instalación y de las propiedades físico- mecánicas del material y de su cantidad.

Todos estos factores influyen en diferentes tipos y cambian con mucha facilidad e incurren con otros valores, tanto en los indicadores de economía como en la eficiencia del proceso tecnológico de la planta. Si se desea investigar y mejorar el sistema de



transporte de la suspensión, conllevaría el análisis detallado de los factores que forman parte del proceso productivo.

De manera general las pulpas de Cieno Carbonatado componen mezclas de minerales con particularidades no newtonianas poco investigadas. Como varían mucho las propiedades y las condiciones de hidrottransportación, el campo de aplicación de las fórmulas de cálculo conocidas es pequeño. Y no es posible encontrar los parámetros de transportación necesarios con la precisión requerida. Por las peculiaridades de esta investigación, se requiere realizar métodos y estudios que nos permitan determinar si es posible perfeccionar el sistema de transporte de Cieno, a partir de los cálculos energéticos de los equipos que forman parte del proceso, atendiendo la naturaleza reológica del fluido.

Actualmente el transporte del Cieno Carbonatado, desde donde se beneficia hacia los tanques sedimentadores, así como el bombeo desde la planta de coral hasta la planta en la que se neutraliza, posee las siguientes **deficiencias**:

- Consume gran cantidad de energía, dependiendo en gran parte de las pérdidas de cargas a lo largo de toda la red de tubería.
- Insuficiente conocimiento de los parámetros tecnológicos que forman parte de la preparación y transportación de las pulpas de Cieno Carbonatado.
- Los equipos de transporte de las pulpas de Cieno Carbonatado tienen grandes gastos de explotación y de mantenimiento.

Todos estos factores provocan elevados consumos energéticos al país, dada la situación planteada, se resume que, se necesita que se realice un estudio para determinar si es posible perfeccionar el sistema de transporte del fluido teniendo en cuenta las propiedades físico – mecánicas y reológicas, así como, sus principales parámetros de transporte; para que posea un consumo mucho menor que el que tiene actualmente.



A partir de las deficiencias expuestas se declara como **situación problemática**:

De acuerdo a estudios realizados, el sistema de trasiego de la suspensión de cieno carbonatado necesita una energía mucho menor que la real instalada actualmente en la planta de coral. El sistema instalado puede cumplir esta función sin la utilización del agitador, así como una menor cantidad de bombas. Lo anterior significa para la empresa un consumo excesivo de energía elevados gastos de mantenimiento y de explotación.

Relacionando lo anterior el **problema** es el siguiente:

Insuficiente conocimiento de los parámetros tecnológicos que rigen la transportación de las pulpas de Cieno Carbonatado, lo que genera un sobre consumo de energía en la planta.

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

Mediante la determinación de los parámetros tecnológicos característicos del transporte de pulpas de cieno carbonatado, se puede perfeccionar el sistema de transporte de la suspensión del régimen de red conocido con el mínimo consumo energético y gastos de explotación.

En correspondencia con la hipótesis expuesta, se define como **objetivo del trabajo**:

Perfeccionar el sistema de bombeo del cieno carbonatado para garantizar su transportación eficiente desde la planta de coral hacia Pedro Soto Alba Moa Níquel SA.

Analizando lo antes expuesto se definen como **objetivos específicos**:

1. Realizar un cálculo verificativo del sistema de bombeo objeto de estudio teniendo en cuenta las condiciones de trabajo de las bombas con las que cuenta la planta.
2. Establecer las peculiaridades de explotación teniendo en cuenta las condiciones reales de trabajo de las bombas.
3. Desarrollar la evaluación de la explotación de la instalación a partir de criterios técnicos – económicos que permitan recomendar mejoras en sistema de transporte del Cieno Carbonatado.



Teniendo en cuenta el objetivo anterior se declara **el objeto a estudiar:**

Sistema de transporte .de cieno carbonatado.

Para dar cumplimiento al trabajo se ejecutarán las siguientes **tareas:**

1. Consultar las fuentes bibliográficas relacionadas con el tema.
2. Identificación de las propiedades físico-mecánicas y reológicas de la suspensión de cieno carbonatado.
3. Aplicar el procedimiento de cálculo existente para determinar el gasto energético del sistema de transporte.
4. Precisar el impacto económico y las afectaciones medioambientales del sistema de trasiego.



## CAPÍTULO I MARCO TEÓRICO

### 1.1 Introducción

A continuación se analizarán los distintos aspectos relacionados con el tema a tratar en la bibliografía consultada, con el propósito de disponer de los elementos básicos y de las tendencias actuales que resulten fundamentales para el correcto desarrollo del trabajo.

El **objetivo** de este capítulo es:

---

Exponer los fundamentos teóricos precisos sobre bombas, reductores y del Cieno Carbonatado y su caracterización como un fluido no newtoniano que se transporta por la red de tuberías.

### 1.2. Ubicación del Cieno Carbonatado

La cantera que compone el Cieno Carbonatado de la bahía de Cayo Moa (figura 1.1) es un depósito que se compone por sedimentos clásticos friables cuaternarios, de carácter biodetrítico y terrígeno que es determinado en su mayoría por un alto contenido de carbonato de calcio.



Figura 1.1. Ubicación del yacimiento de cieno carbonatado.



Se puede destacar el carácter contrario del depósito de sedimentos clásticos carbonatados relacionado a su basamento; así los sedimentos carbonatados son parte de una serie sedimentaria en la que no hay relación con el basamento de la cuenca en que fueron depositados; al trasladarse fueron acumulándose en una zona que está compuesta por aguas muy tranquilas y donde hay poca circulación en un ambiente de laguna retroarrecifal.

Muy próximo a la ciudad de Moa, los elementos que restan conforman el substrato plegado no afloran, próximo a la zona costera y la plataforma marina, las rocas compuestas desde el tiempo afiolítico y en muchas ocasiones su corteza de intemperismo, se revisten por depósitos sedimentarios del Neógeno – Cuaternario que en su base están constituidos por caliza arrecifales, calizas biodetríticas, margas, rocas arcillosas y depósitos palustres sobre los que se tumban en el área de la bahía de Cayo – Moa, arenas y sedimentos, arena limosos y limosos calcáreos que todos ellos conjuntamente forman el yacimiento de Cieno Carbonatado.

Por otra parte los sedimentos que contiene el yacimiento posee una estratigrafía combinada por su carencia de una real estratificación y en este lugar predominan muchos cambios granulométricos graduales en la vertical y cambios faciales laterales.

Todos estos depósitos marinos del tiempo cuaternario de edad Holoceno – Reciente, la deposición estuvo controlada, no sólo por el régimen de transporte hidrodinámico específico de la zona costera, sino también por el relieve e inclusive las características litológicas de las fuentes de suministro.

Observando la parte litológica generalizada del depósito, aparecen con diferente grado de composición, las siguientes “capas” u horizontes: arena carbonatada, cieno carbonatado de limoso a arenoso, y cieno terrígeno.

Este tipo de rocas que conforman el basamento, están constituidas por calizas arrecifales y biodetríticas, además de areniscas, que por lo general poseen fragmentos de corales. En algunos lugares se pueden encontrar arcillas y turbas que por lo general se unen con la parte inferior mucho más arenosa del depósito de Cienos Carbonatados.



Aquí se pueden establecer dos tipos litológicos útiles de este material. Nedved (1966). El número uno, posee un color gris claro, con gran plasticidad y poco arenoso, con gran olor a  $H_2S$ , en éste se encuentran las partículas cuyo tamaño se encuentran en el orden de los 0,08 mm que penetran en la malla 200 mesh (entre 50 y 90 %) y también están las partículas gruesas sobre mallas 200 mesh, éstas no sobrepasan el 10 %. En el número dos se encuentra el tipo de color gris oscuro, menos plástico, con ampliación de las partículas gruesas (gran cantidad de conchas), esta no posee olor a  $H_2S$  (ácido sulfúrico) y el contenido de partículas gruesas se incrementa en las mallas 20 mesh las cuales pueden alcanzar los 30%.

### **1.3. Trabajos Precedentes sobre los parámetros de hidrot transporte en el flujo de hidromezclas por tuberías**

Uno de los primeros investigadores que trató el tema sobre la transportación de mezclas fue (D'Alambert 1744), quien expuso que en un cuerpo no existe resistencia al movimiento, cuando éste se mueve a través de un fluido ideal (no viscoso o invíscido), pero es claro que esta conclusión no puede emplearse para los cuerpos que se mueven a través de fluidos reales. Esta diferencia entre la teoría y el experimento, se le denominó la paradoja de D'Alambert, esto fue ya resuelto. Aunque aquí se demuestran con claridad los impedimentos de esta teoría de esa época para la resolución de problema sobre fluidos.

En nuestro país no se realizaron investigaciones ni estudios hidráulicos sino hasta después del triunfo revolucionario en que los artículos que empezaron a publicarse constituyeron una de las bases principales del progreso científico técnico de la revolución sobre este tema tan interesante.

Es importante destacar la importancia del coeficiente o factor de fricción, en esta labor es un parámetro de diseño importante, pues considera las pérdidas de energía mecánica cuando el fluido es transportado por la red de tuberías, ya sea evaluando su potencia necesaria, o para controlar el diámetro del conducto,

Para el transporte de los fluidos no newtonianos han sido muy poco estudiados, aquí han sido analizados muchos factores. Las caídas de presión mediante una tubería para



el transporte de pasta de pescado. (Nakayama et al., 1980); estableciendo valores bajos en las pérdidas de energía, atribuidos a la naturaleza del comportamiento no newtoniano de tipo plástico de Bingham.

Un análisis hecho por (García y Steffe, 1987), subrayó la importancia que poseen considerar el esfuerzo de cadencia o umbral de fluencia ( $t_0$ ) en una predicción acertada de las pérdidas de presión en la tubería; las predicciones del coeficiente de fricción se correspondieron al índice de flujo, y a los números de Reynolds y Hedstrom.

Izquierdo (1989) expone como determinar los parámetros y regímenes de hidrotransporte de mineral laterítico aplicable a las condiciones del proceso productivo de la Empresa comandante Pedro Soto Alba estableció las propiedades físico – mecánicas de las hidromezclas, enunció el modelo físico – matemático del flujo de las pulpas lateríticas; evidenció que durante el flujo dependiendo de la velocidad de las pulpas y de su concentración en cuanto al sólido, se presentan los regímenes estructural, transitorio y turbulento, logró las dependencias para encontrar el coeficiente de resistencia hidráulica para el movimiento del régimen estructural y las pérdidas hidráulicas durante el movimiento de la hidromezcla en régimen turbulento. Banerjee et al. (1994), determinaron de forma experimental la pérdida de presión ( $\Delta P$ ) en válvulas de compuerta y globo de 12,7 mm; implicando, el número de Reynolds al manejar fluidos de tipo pseudoplástico generalizado ( $Re$ ) y las distintas categorías de abertura ( $\delta$ ).

Un estudio realizado por Suárez (1998), revela como referencia, la elaboración del modelo físico – matemático del movimiento de suspensiones de serpentinita blanda a través de tuberías, cimentado en los resultados de las investigaciones realizadas a las propiedades reológicas, determinan las regularidades de la variación de los coeficientes de resistencia hidráulica en dependencia de la concentración másica en el intervalo de 40 a 80 % en régimen laminar; encontrando las pérdidas específicas de presión para el movimiento de dichas suspensiones en régimen turbulento; la deducción de las ecuaciones para obtener la velocidad crítica y la velocidad límite de caída de los granos de serpentinita dura.



Para calcular el tipo de movimiento que tiene parte cuando la hidromezcla circula a bajas velocidades con grandes concentraciones de sólido (Izquierdo et al., 2001) formó el hidrotransporte en una instalación semindustrial diseñada al efecto, aquí se determinaron las propiedades físico-mecánicas del citado mineral y sus propiedades reológicas de la hidromezcla. Resultó expuesta la existencia del régimen estructural de movimiento para esta hidromezcla, lo que la enmarca dentro de los fluidos viscoso-plásticos, y obtuvo gráfica y analíticamente como relacionar el coeficiente de pérdida hidráulica por rozamiento ( $\lambda$ ) y el número generalizado de Reynolds (Re).

Temas ensayados por Garcell (1991,1993, 1998, 2001) que abordan sobre las pulpas de minerales lateríticos, limoníticos y serpentiniticos permite establecer que la pulpa agrupada utilizada a nivel industrial por la empresa "Pedro Soto Alba". Moa Nickel SA posee un alto por ciento de partículas extremadamente finas, lo que le adjudica cierta plasticidad, se puede comprobar que se clasifican como sólidos en suspensión que conservan el comportamiento de fluidos no newtonianos, en nuestros tiempos este tema ha sido poco analizado.

Utilizando el método más simple, el de los parámetros de funcionamiento (Carga, Flujo, Potencia y Eficiencia) se puede apreciar como se reconstruyen las características al cambiar la viscosidad, también aborda el empleo de coeficientes de corrección específico para cada fluido, los cuales se obtuvieron de manera experimental.

Muchos autores han realizado diversos trabajos sobre la viscosidad de los fluidos y en específico a los no newtonianos, son trabajos realizados de mucha importancia para el desarrollo de la investigación de fluidos; uno de ellos (De la Paz et al., 2002), los autores realizaron un amplio estudio sobre la reología de la jalea dentífrica fluida; ellos analizan como se deforman y que provocan la formulación cuando se le aplica la fuerza de cizallamiento con un determinado gradiente de velocidad. Este diseño resultó adecuado físicamente, siempre, bajo condiciones y circunstancias experimentales en que se realizó el análisis, se encontró como deficiencia, que los autores no estudiaron el comportamiento reológico del fluido cuando la temperatura variaba; siendo esta perturbación, de gran predominio en su estructura y propiedades de los fluidos.



Hernández (2003); contribuye a realizar el gráfico que relaciona el factor de fricción en función del número de Reynolds y Hedston.

Caldiño, et al. (2004), dispone de una metodología con la cual se puede lograr de una manera más eficiente, funciones reológicas de las suspensiones agua arcilla que son empleadas para sostener modelos de cálculo de flujos naturales con grandes concentraciones de sedimentos.

Laurencio y Martínez., (2004) calculan y proyectan el esquema del transporte de hidromezclas de alta densidad (cola) en el proceso de carbonato amoniacal atendiendo sus propiedades físico-mecánicas y de composición, los autores del trabajo llegaron a la conclusión de que más del 60% de las partículas poseen tamaños inferiores a  $44 \mu\text{m}$ , a concentraciones de 35% de peso de sólidos,.el comportamiento es pseudoplástico y a medida que aumenta la concentración hasta 45 % se comporta como plástico ideal (Bingham) notando que los mayores valores de viscosidad, a diferentes concentraciones se alcanzan a un  $\text{pH} \approx 6.4$ .

Jiménez (2005), enfoca su trabajo relacionado con el tema en caracterizar el Cieno Carbonatado con muestras industriales tomadas a la entrada de los reactores en la Planta de Neutralización. Las muestras fueron caracterizadas químicamente, mostrando una composición química media de un 89,32% de carbonato de calcio.

En el campo los estudios logrados sobre como influyen las propiedades reológicas en el comportamiento de la característica operacional de bombas centrifugas se han expuesto muchos trabajos que han auxiliado a desarrollar esta importante esfera de la ciencia.

Los distintos tipos de propiedades físico – mecánicas de este tipo de mezclas le confiere propiedades específicas a los flujos en su acarreo por tuberías u otros dispositivos de transporte.

Caballero (2008) establece como se comportan las pulpas de Cieno Carbonatado atendiendo a la composición reológica de Cieno carbonatado, también determina las propiedades químicas que componen la mezcla del material.



Martínez (2009) mediante modelos físico – matemático establece la regulación del movimiento de las suspensiones de Cieno Carbonatado y como proceden en su movimiento por la red de tuberías, analizando experimentalmente las propiedades físico - químicas y mecánicas, composición granulométrica, mineralógica y comportamiento reológico, entre otros factores.

Miranda (2009) realizó y propuso mediante el cálculo energético de las bombas con las que contaba la planta en aquel momento, formas de optimizar el transporte de Cieno Carbonatado para ahorrar energía y presupuesto al país, llegando a la conclusión de que para mantener la demanda promedio de Cieno Carbonatado que se necesita en la planta de neutralización se debe trabajar con las bombas 6A + 6C

En los trabajos analizados se tienen en cuenta factores relacionados con las características del cieno, clasificación del tipo de fluido incluyendo análisis del sistema de bombeo de este fluido sin embargo, en ninguno de ellos se contempla el comportamiento del flujo cuando está instalado un agitador reductor y una bomba de desplazamiento positivo instalada actualmente como variante alterna para disminuir gasto de energía, presupuesto de mantenimiento y trabajo, es el objetivo que motiva este trabajo de diploma.

Conocer las propiedades del flujo de las suspensiones que se trasladan es necesario para la decisión de las características de los sistemas de bombeo, redes de tuberías, accesorios y equipos que deben ser empleados según las necesidades tecnológicas que se requieran, así como las exigencias del medio al que se encuentran expuestas, ya que esto también influye en los gastos de mantenimiento y explotación al país.

#### **1.4. Estudio y Aplicación del Transporte Hidráulico**

La alta fiabilidad y el buen rendimiento en sistema de transporte de materiales, hidromezclas, gases, líquidos puros, etc. Será siempre una necesidad del hombre moderno en su búsqueda de encontrar una forma de traslado (transporte) más rápida y efectiva, donde se encuentre garantía de mínimos costos, una mayor productividad, y donde haya una mayor seguridad operacional y poco peligro sobre el ecosistema en que vivimos.



La acción del transporte hidráulico, no es más que el desplazamiento de cargas sólidas suspendidas en un flujo de agua o de mezclas con partículas muy finas en suspensión, extendido en cualquier otro líquido.

Esta manera de transportar es especialmente efectiva y posee una mayor aplicación en la industria, en el laboreo a cielo abierto, para mecanizar los procesos básicos de extracción y elaborar materias primas, trasladar y colar los escombros de rocas estériles y las colas del material favorecido, en la industria de la metalurgia tiene como efectividad para el acarreo de la concentración de los metales no ferrosos, aleaciones alcalinas y escorias de los hornos de aleaciones fundidas, carbón, materias primas y concentrados hasta las plantas metalúrgicas, centrales eléctricas y puertos marítimos.

Esta efectividad en la utilización y los aspectos para desarrollar esta manera de transporte se tiene también aumentando los trabajos de investigación sobre el proceso de formación de complejos de envío hidráulico magistrado de materiales áridos de gran tamaño, entre los que podemos evidenciar países del primer mundo como Rusia y Estados Unidos.

El tipo de efectividad del hidrotransporte principal aumenta como consecuencia de que no se puede cambiar por otra forma de transporte (un ejemplo, hidrotransporte de materiales áridos de fracciones finas homogeneizada).

El hidrotransporte de materiales sólidos posee las siguientes ventajas de acuerdo a otras formas de transporte:

- Admite la operación seguida y puede utilizar comando remoto.
- Posee menos costos de operación
- Tiene costos de inversiones competitivos
- Demanda mínima mano de obra, y mayor productividad
- Causa pequeños daños al ecosistema
- Permite desarrollar trazados sinuosos
- Se comporta de manera satisfactoria en varios desniveles
- Es tolerable a cualquier tipo de relieve
- Causa un mínimo efecto en condiciones climáticas severas
- Posee un sinnúmero de variedades de productos de la industria minera



- En casos extremos posibilita el alejamiento de la planta del yacimiento

Este tipo de sistema debe ser capaz de:

- Acarrear un máximo de tonelaje desde el depósito y no puede ser el cuello de botella
- Debe de mantenerse flexible para poder operar en todo el rango de operaciones del depósito
- Su diseño debe admitir operar bajo todas las condiciones a las que se encontrará
- Corresponde tener un sistema de instrumentación y comunicación confiables que posibiliten la detección de forma rápida embaucamientos y filtraciones
- Estos tipos de sistemas de tuberías deben poseer un sistema stand – by para establecer la manutención y advertir los problemas de erosión y corrosión.

Las desventajas que posee el hidrotransporte es que pertenecen la necesidad de tener suficiente cantidad de agua y no depender de la capacidad de tráfico por la tubería, gastos de energía, desgaste de la tubería como consecuencia de la granulometría y propiedades del material a trasladar, sin embargo, todas estas desventajas son remediadas por las ventajas del hidrotransporte, posibilitando así la importancia para las operaciones mineras a las que se somete. Su principal desventaja radica en que el rendimiento de la tubería es continuo.

Algo importante de destacar sobre el hidrotransporte es que se necesita triturar, deshidratar y secar el material a trasladar si este tipo de procesos no son parte componentes de la tecnología de la producción de la planta, esto puede traer como consecuencia que el proceso se encarezca sin embargo en este caso disminuye el gasto de energía en la transportación de materiales de transportación de dispersión fina por tubería. Otro rasgo importante del transporte principal de materiales áridos es la formidable depreciación de los gastos capitales específicos y el gasto en bombeo al que se ve expuesto.

Por esta causa, en el futuro de la evolución de nuestras industrias será de trascendental importancia la modificación y aplicación del trasporte hidráulico como consecuencia de las cuantiosas ventajas que nos aporta este tipo de traslado con respecto a otros.



### 1.5. Detalles del Proceso Tecnológico Planta de Coral

Esta planta realiza un trabajo de formación de una pulpa de Cieno Carbonatado con un sólido entre 40 y 45 % según se muestra en la tabla 1.1 aquí el contenido de arena en la suspensión debe ser menor o igual que el 17 % y el cloruro menor de 700 ppm. Por otra parte se puede emplear como medio de almacenaje para mantener un suministro constante a la planta de Neutralización, se puede observar esto en los anexos.

Tabla 1.1 Característica de diseño pulpa de Cieno Carbonatado

Parámetros	Diseño
Densidad ( $\text{kg/m}^3$ )	1320 – 1400
% de sólido	35 – 48
% de arena	$\leq 17$
Cloruro (ppm)	500 – 600
Carbonato de calcio %	$\geq 87$
Composición granulométrica(-325 mesh) %	$\leq 76$
pH	8 - 9

Fuente: Datos técnicos planta de Cieno

El Cieno Carbonatado se extrae de las formaciones coralinas del fondo del mar en la Bahía de Moa. Este proceso de minado se ejecuta con grúas que emplean palas de cubos bivalvas como medio para extraer el Cieno, éstas lo depositan sobre las patanas que lo transportan hasta la planta donde se prepara la pulpa del Carbonato de Calcio. En la patana, el mineral es descargado en un depósito, cuya capacidad está entre los 800 TM ó se alimenta directamente al embudo de la lavadora, esta descarga ó alimentación se efectúa con una grúa ubicada en la tierra.

La mezcla es alimentada mediante un embudo, luego de entrar en contacto con el agua es inyectada por los spray, pasa por entre una criba fija en la cual penetran las partículas menores de 152,4 mm y acto seguido cae por medio de la gravedad a la lavadora de paletas; es en este lugar donde se define la eficiencia de la planta. Luego de que se forma la pulpa en la lavadora es descargado a una zaranda vibratoria de paño doble donde el agua a presión ayuda al tamizado (entre 30 y 40 lb/pulg), la malla superior es de 0,25 pulg (6,35 mm) y la inferior es de 0,833 mm, Lugo de efectuado el tamizado se logra por una parte el rechazo (representa aproximadamente el 10 % del



Cieno Carbonatado procesado) y por otra parte la pulpa de Cieno Carbonatado con un sólido entre 10 y 20 % (constantemente debe de buscarse los valores más bajos dentro de este rango), la bomba envía esta pulpa hacia el espesador #1; toda el agua que se emplea en los equipos señalados anteriormente proviene del reboso del espesador #1. Se puede bajar la concentración de cloruro de sodio y subir el porcentaje de sólido a los valores establecidos mediante dos sedimentadores con un sistema de lavado a contra corriente.

Previamente de ser alimentada la pulpa hacia el sedimentador #1, se pone en contacto con el agua de reboso del sedimentador #2 en la caja de alimentación de este espesador, de aquí se alimenta al sedimentador por un tubo que descarga en la parte de arriba y central del mismo, es en éste tubo donde se realiza el proceso de lavado.

Ya en el fondo del sedimentador #1 es extraída la pulpa espesada y es bombeada hacia la caja de alimentación del sedimentador #2 donde se le añade agua cruda para empezar la última etapa del proceso de lavado, de la misma manera que se realizó en el sedimentador anterior, ya terminado el espesado de la pulpa es bombeado a un tanque (TK-3) que es alimentado al sistema de bombeo, este es el encomendado de transportar por tuberías el material, hasta la planta donde será neutralizado en la Empresa Pedro Sotto Alba situada a 4km de distancia.

## **1.6. Características de construcción de la instalación de bombeo**

### **Tanque 3 (264 - TK - 3).**

Es aquí donde se recibe la pulpa con un 40% de sólido que viene del sedimentador 2 y sirve como un tanque colector para las bombas de transferencia. Sobre este tanque está montado un agitador (reductor) para evitar que la pulpa se acumule, tiene una capacidad máxima de 11500 Galones dejando 2 pies libres por debajo del borde superior.

### **Líneas fundamentales (diámetros)**

- Línea de succión de la bomba 6A de transferencia (0,152 m)
- Línea de succión de las bombas 6B y 6C de transferencia (0.1524 m)
- Línea de succión de la bomba 6D de transferencia (0.1524 m)
- Primera línea de transferencia de coral (0.100)



- Segunda línea de transferencia de coral (0.254 m)
- Todas estas líneas son de acero al carbono.

### **1.7 Clasificación general de las bombas.**

Las bombas son equipos mecánicos que se emplean con el objetivo de elevar los líquidos y conducirlos de un lugar a otro, o lo que es lo mismo, comunicarle cierta cantidad de energía (carga) que les permita vencer la resistencia de las tuberías a la circulación, así como la carga que representa la diferencia de nivel entre el lugar donde se toma el líquido y el lugar donde se pretende llevar.

Los líquidos circulan del lugar de mayor energía al lugar de menor energía; el suministrarle energía la bomba al líquido tiene el objeto de producir el gradiente necesario para establecer la circulación y vencer las resistencias.

En sentido general las bombas pueden clasificarse atendiendo a diversos aspectos, existiendo distintas clasificaciones que dependen del punto de vista utilizado. La agrupación más lógica es la que divide las bombas en tres grupos, que son los siguientes:

1. Bombas de desplazamiento positivo.
2. Bombas de desplazamiento no positivo o rotodinámicas.
3. Bombas de fluido impelente.

Al primer grupo, pertenecen las bombas de pistón de acción recíprocante o bombas recíprocantes y las bombas rotatorias. Las características principales de este grupo son:

- a) A velocidades determinadas la descarga (gasto) es en general fija, e independiente de la carga de bombeo.
- b) La carga posible de bombeo puede aumentarse dentro de los límites de resistencia de los materiales de que está fabricada la bomba con solo aumentar la potencia del motor que la mueve sin variar la velocidad de operación.

Al segundo grupo pertenecen las bombas centrífugas y las de propela o de rotor en hélice (flujo axial) , y sus características principales son:



- a) A determinada velocidad la descarga está en función inversa de la carga posible de bombeo, y es variable (es decir que a mayor descarga, menor carga de bombeo y viceversa).
- b) La carga de bombeo no puede aumentarse con solo aumentar la potencia del motor, sino que hay que aumentar la velocidad o el diámetro del rotor para lograrlo.

En ambos tipos o grupos de bombas la descarga de la bomba aumenta cuando aumenta la velocidad de trabajo de la misma.

En el tercer grupo se encuentran las bombas que operan consiguiendo la elevación del líquido a expensas de la energía que posee un fluido motriz. Pertenecen al mismo, los emulsores y los arietes hidráulicos. En este trabajo nos referiremos a las bombas que se encuentran en el grupo número 1 por ser objetivo del mismo.

### **1.7.1 Clases de bombas de desplazamiento positivo.**

Hay dos clases de bombas de desplazamiento positivo, las de pistón o reciprocantes, que desplaza el líquido por la acción de un embolo o pistón con movimiento rectilíneo alternativo, o con movimiento de oscilación y las rotatorias, en las cuales, el movimiento se logra por el movimiento de rotación de los elementos de la bomba. Aquí abordaremos las características de las bombas que se encuentran en el primer grupo.

Las bombas reciprocantes o de pistón trabajan desplazando el líquido, por la acción directa sobre el mismo del pistón o émbolo.

Los elementos principales de una bomba de este tipo son:

- El pistón.
- El cilindro.
- Las válvulas sistemas de transmisión de potencia que se conecta al vástago del pistón.

La forma de clasificar este tipo de bombas puede hacerse atendiendo a diversas circunstancias:

A. Si se tiene en cuenta la fuerza motriz que acciona la bomba se clasifican en:

1. Bombas de mano.
2. Bombas de transmisión.
3. Bombas de acción directa



- B. Si se tiene en cuenta el número de carreras del pistón en que se logra desplazamiento del líquido, se clasifican en:
1. Bombas de simple efecto.
  2. Bombas de doble efecto.
- C. Si se tiene en cuenta el tipo de movimiento del émbolo tenemos:
1. Bombas de movimiento rectilíneo alternativo.
  2. Bombas de movimiento oscilatorio.

### **1.7.2 Bombas para la transferencia de coral hacia la planta de Neutralización (264 - PU 6A, 6B, 6C y 6D)**

Este tipo de bombas son de desplazamiento positivo (reciprocantes) de diafragma, de doble succión y doble descarga conectadas en paralelos y se diferencian por su capacidad, el flujo de éstas máquinas se subdivide en corrientes de diversos flujos másicos, estos equipos son diseñados y se destinan para el bombeo del cieno carbonatado hacia la planta donde será neutralizado en pequeños caudales y altas presiones ( $Q$  desde 16 hasta 43  $m^3/h$  y  $\Delta P \sim 50 - 350$  atmósferas y superiores) en diversos casos estas se utilizan aplicándole un variador de velocidad en donde va ubicado el motor, en este caso se encuentra posicionado en la bomba 264 – PU 6A.

La acción de bombeo de este tipo de bombas se produce mediante el movimiento de un émbolo, pistón o diafragma localizado en el interior del cilindro. El líquido después de bombear se ubica dentro del cilindro por medio de una o más válvulas de succión y luego es forzado a salir a través de una o más válvulas de descarga mediante el contacto inmediato con el pistón, émbolo o diafragma. De forma especial las bombas reciprocantes de diafragma, son usadas para líquidos agresivos o viscosos, Este tipo de máquinas es muy utilizado para este tipo de suspensiones ya que el material a transportar no entra en contacto con el émbolo. El diafragma se suele fabricar de goma o de acero especial. Las características constructivas de las bombas se pueden observar en el anexo 1.

- El término “positivo”, significa que la presión desarrollada está limitada solamente por la resistencia estructural de las distintas partes de la Bomba y la descarga no es



afectada por la carga a presión sino que está determinada por la velocidad de la bomba y la medida del volumen desplazado.

- La velocidad a que trabaja tampoco tiene efecto sobre la presión desarrollada por la bomba.
- La potencia conectada y la construcción de la bomba le permite al fluido impulsarse a alturas ilimitadas y desarrollar presiones altas en extremo.
- El desplazamiento de este tipo de bombas puede ser originado tanto por movimiento alternativo como rotatorio.
- Las altas presiones hacen necesario el uso de materiales especiales tales como zapatillas de cuero o neopreno en las partes de las bombas que realizan la acción de desplazar el agua.
- Este tipo de bombas funcionan con bajas capacidades y altas presiones en relación con su tamaño y costo.

### **1.8 Características de los reductores.**

En los reductores se emplea por lo general engranajes dentados además de los de tornillo y por cadenas, se distinguen los reductores cilíndricos, cónicos y planetarios, por tornillo sin fin y mixtos. Los variadores según el tipo de transmisión se distinguen por fricción, por correa o por cadenas y dentados.

Entre algunos tipos de reductores que podemos encontrar tenemos:

1. De un escalón (cilíndricos, cónicos por tornillo).
2. De dos escalones (cilíndricos, cónicos por tornillo).
3. Multietápicas o de varios escalones (cilíndricos, por combinaciones)

Los parámetros fundamentales de los reductores están estandarizados, esencialmente los coeficientes de anchura de los reductores y la relación de transmisión.

- Un reductor de una etapa cilíndrico es fiable y se emplea en un amplio diapasón de potencias pero las relaciones de transmisión  $u \leq 8 \dots 10$
- Los reductores coaxiales son muy cómodos cuando se desea emplear una línea de árboles de los mecanismos a unir, sus inconvenientes son:

1. Incremento de las medidas exteriores, como resultado de tener que establecer los cojinetes en un eje geométrico.
2. Altos torques en el eje intermedio y altos momentos flectores por el tamaño del árbol intermedio.
3. Dificultad de utilizar efectivamente la capacidad de carga de las ruedas del escalón rápido, debido a la igualdad de la distancia intercentros entre el escalón lento y rápido.
4. Para obtener grandes relaciones de transmisión se emplean reductores multietápicos. Sin embargo el rendimiento de estos disminuye en tanto aumenta el número de escalones:

$$\eta_t = \eta_{mec} * \eta_{coj} * \eta_{ac} \quad (1.1)$$

- Para suplir problemas como el anterior se utilizan los reductores planetarios que son muy compactos y con los que se pueden lograr altas relaciones de transmisión además de una considerable reducción de la masa (de 2...3 veces) respecto a los demás, se reparten mejor las cargas y el ancho de las ruedas también es considerablemente menor gracias a su elevado rendimiento (0,99...0,97), se emplean en muchos accionamientos.
- Como principal deficiencia poseen grandes dimensiones radiales.
- Se emplean para relaciones de transmisión de 20 a 100 y potencias hasta 100 kW

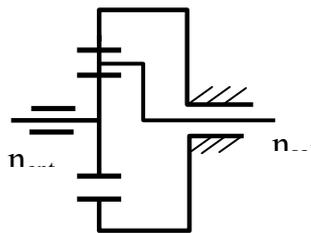


Figura (1.2)

- Para elevar la relación de transmisión lo suficientemente alta, con elevados rendimientos se emplean combinaciones

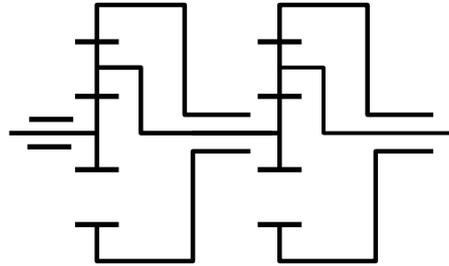


Figura (1.3)

- Para elegir el tipo de reductor es necesario definir:
- Rendimiento
- Dimensiones exteriores
- Peso
- Costos (fabricación y explotación)
- Otros factores

### 1.8.1 Características del agitador que se emplea para homogenizar la mezcla.

El agitador está compuesto por un motor reductor (ver características de construcción en el anexo 1) que es el encargado de homogenizar la suspensión del Cieno Carbonatado, entre las características más importantes que posee el agitador encontramos:

- Se utiliza para reducir la velocidad angular y elevar los momentos de torsión.
- Se emplea con el objetivo de homogenizar la suspensión del Cieno Carbonatado y así evitar la sedimentación de la mezcla del cieno con el agua.



### **1.9. Conclusiones parciales del capítulo**

- ✓ Se hace referencia a los trabajos que acerca del tema se han realizado sobre los parámetros de hidrotransporte, teniendo en cuenta el flujo de hidromezclas por tuberías atendiendo a sus propiedades físico-mecánicas y reológicas.
- ✓ Se exponen las propiedades más importantes de las bombas de desplazamiento positivo, así como las de los reductores, se hace una caracterización de las curvas de flujo atendiendo a fluidos newtonianos y no newtonianos.
- ✓ Revisando la bibliografía existente se consultaron todos los trabajos que sobre el tema se han realizado, entre los trabajos consultados encontramos los temas ensayados por Garcell (1991, 1993, 1998, 2001), Hernández (2003); Caldiño, et al. (2004), Laurencio y Martínez (2004), Caballero (2008) Martínez (2009), Miranda (2009)



## CAPÍTULO II MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Introducción

Poseer conocimiento necesario sobre como está compuesto la pulpa de Cieno Carbonatado, así como sus propiedades, cuando se utiliza a escala industrial en la empresa “Pedro Soto Alba”. Moa Nickel SA, posibilita a la correcta selección de los métodos apropiados para evaluar y elegir la decisión exacta a la hora de solucionar problemas asociados al transporte de fluido.

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

Establecer los métodos y procedimientos de cálculo de las bombas de transferencia del fluido en estudio, así como del agitador que se emplea en homogenizar la mezcla para obtener el gasto energético que posee la planta actualmente.

### 2.2 Características físico-mecánicas y reológicas del Cieno Carbonatado

La clasificación por clases de tamaño realizada a la muestra de la pulpa de Cieno Carbonatado demuestra, según (Caballero 2008) y (Martínez 2009) que estas pulpas forman sistemas polidispersos, las partículas mayoritarias corresponden a la clase menor de 0,046mm, constituyendo el 68.31 % en peso de las fases sólidas en la muestra, la densidad de la pulpa y el sólido según (Martínez 2009) es de 1310 (Kg/m<sup>3</sup>) y 3015 (Kg/m<sup>3</sup>) respectivamente, la reología es lo que me permite conocer que tipo de comportamiento tienen los fluidos, para este caso según (Martínez 2009) el fluido en estudio posee un comportamiento de plástico Bingham para pulpas con un porcentaje de sólido mayor que 40% y como un pseudoplástico en las pulpas con un porcentaje de sólido de un 32 %. la granulometría del material necesaria para el cálculo del sistema se obtiene de acuerdo a la siguiente tabla

Tabla 2.1 Comportamiento granulométrico del diámetro medio por clase (Martínez 2009)

No de mallas (Mesh)	Diámetro (mm)	Peso $g_i$ (g)	dm x Clase
20	-0,890 +0,850	3,5	0,87
50	-0,850 +0,300	10,72	0,575
100	-0,300 +0,150	15,55	0,225
200	-0,150 +0,075	24,08	0,1125
325	-0,075 +0,046	27,23	0,0605
-325	-0,046 +0,000	174,78	0,023
<b>Total</b>		255,86	



### 2.3. Metodología para el sistema de transporte de Cieno Carbonatado por tuberías

Para conocer si un sistema de transporte es eficiente se necesita conocer los parámetros de transporte de la instalación para ello se expone la metodología empleada para conocer los parámetros de la instalación en el transporte de la pulpa de cieno carbonatado

#### 2.3.1 Determinación de la velocidad crítica

Se puede considerar la velocidad crítica como la velocidad media del flujo para la cual es urgente la sedimentación de las partículas sólidas del mineral que se transporta en el líquido.

La velocidad crítica se obtiene a partir de la de la característica granulométrica del material analizado.

El diámetro medio de la partícula se determina por la siguiente formula.

$$d_{CP} = \sum_{i=1}^n \frac{g_i \cdot dm}{G} \quad (2.1)$$

Donde:

$$d_m = \frac{d_1 + d_2}{2} - \text{Diámetro medio de cada clase} \quad (2.2)$$

$$G = \sum g_i = 255,86g - \text{Peso total de la muestra} \quad (2.3)$$

$k_d = 0,32$  Coeficiente empírico corregido, que depende del diámetro medio de las partículas ( $d_{CP}$ )

El grosor hidráulico se calcula de la siguiente forma.

Para  $d_{CP} \geq 0,015 \cdot m$

$$W = 3,12 \cdot \sqrt{d_{CP}} \cdot \sqrt[4]{(\rho_s - 1)^3} \quad (2.4)$$

Para  $d_{CP} < 0,015 \cdot m$

$$W = 79,7 \cdot \sqrt{d_{CP}} \cdot \sqrt[4]{(\rho_s - 1)^3} \quad (2.5)$$

Donde  $\rho_s = 3,323T / m^3$  y es la densidad del sólido.

Determinación de la velocidad crítica por las (indicaciones metodológicas para el cálculo técnico económico de los sistemas de transporte por tuberías según (Martínez 2009).



$$V_{crit} = 6 \cdot K_d \cdot \sqrt[3]{2 \cdot g \cdot D \cdot w} \cdot \sqrt{\rho_s - 1} \cdot \sqrt[6]{S} \quad (2.6)$$

$g = 9,81 \frac{m}{s^2}$  Aceleración de la gravedad.

$D = 0,150m$  Diámetro de la tubería.

---

$w$  – Grosor hidráulico.m/s

$\rho_s$  – densidad del sólido.  $3.619 T/m^3$

$S = 0,40$  – concentración de peso en sólido expresado en coeficiente.

La velocidad adecuada para el funcionamiento normal se escoge entre los límites según (Martínez 2009).

$$V = (1,1 - 1,2) \cdot V_{crit} \quad (2.7)$$

Para que las partículas fluyan bien por la tubería y no se sedimente tiene que cumplirse que  $V > V_{crit}$

➤ **Área de la sección circular de la tubería.**

La determinación de la sección circular de la tubería por donde circula el fluido, se puede realizar según la expresión siguiente

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad (2.8)$$

Donde:

D - Diámetro de la tubería (m)

➤ **Velocidad media de transportación del cieno**

La velocidad media representa el gasto que tiene el líquido que pasa a través de la sección de flujo de una corriente líquida y se determina por la expresión que se muestra a continuación:

$$V_m = \frac{Q}{A} \quad (2.9)$$

Donde:

Q. Caudal transportado por las bombas  $m^3 / s$



La velocidad media de transportación debe ser mayor que la velocidad adecuada de funcionamiento  $V_m \geq V$  para evitar la sedimentación de las partículas dispersantes.

✓ **Número de Reynolds**

El número de Reynolds (Re), que permite establecer el régimen de trabajo del flujo y válida para fluidos plásticos Bingham según la naturaleza reológica del fluido se determina por la ecuación:

$$R_e = \frac{4 \cdot Q \cdot \rho_c}{\pi \cdot D \cdot \mu_p} \quad (2.10)$$

Donde:

$\mu_p$  - Viscosidad plástica del fluido. (m<sup>2</sup>/s)

$\rho_c$  - Densidad del líquido kg/m<sup>3</sup>

Para  $Re > 4000$  estamos en presencia de régimen turbulento.

✓ **Número de Hedston**

Valor que interviene en el cálculo de los factores de fricción, así como las tensiones cortantes y está dada por la ecuación (Skelland 1970)

$$H_e = \frac{D^2 \cdot \rho_c \cdot \tau_o}{\mu_p^2} \quad (2.11)$$

Donde:

$\tau_o$  - esfuerzo cortante inicial

✓ **Cálculo del factor de fricción**

El cálculo del factor de fricción depende del número de fanning y éste depende del número de Reynolds y de la rugosidad del material construido, se puede calcular por la expresión siguiente:

$$f = \left[ (f_L^\beta) + (f_T^\beta) \right]^{\frac{1}{\beta}} \quad \text{Coeficiente de fricción} \quad (2.12)$$

$$f_L = \frac{64}{Re} \quad (2.13)$$

$$f_T = \frac{10^C}{Re^{0.193}} \quad (2.14)$$



$$C = -1.378(1 + 0.146 \cdot e^{-2.9 \cdot 10^{-5}} \cdot He) \quad (2.15)$$

$$\beta = 1.7 + \frac{4000}{Re} \quad (2.16)$$

El factor de fricción se determina por la siguiente ecuación

$$\lambda_c = 4 \cdot f \quad (2.17)$$

### 2.3.2 Cálculo de las pérdidas locales en la instalación

Para calcular las pérdidas locales en la succión se tienen en cuenta los accesorios que hay en ese tramo, factor de fricción, coeficiente de rugosidad de la tubería y la velocidad del flujo

#### ➤ Pérdidas locales en la succión.

Pérdidas por rozamiento en la tubería

Estas son las pérdidas que tienen en cuenta la manera en que el fluido se transporta por las tuberías y se haya:

$$\xi_{rozsucc} = \lambda_c \cdot \frac{L_s}{D} \quad (2.18)$$

Donde:

v - velocidad del flujo (m/s)

$L_s$  - longitud de la tubería (m)

Pérdidas locales en la succión.

Tabla 2.7: Coeficientes de resistencia para la línea de succión (Rodríguez 2008)

Accesorios	Cantidad	Coeficiente de resistencia
Válvula de cuña	1	0,0379
Coeficiente de entrada		0,78

$$\sum \xi_{succ} = \xi_{vál} + \xi_{ent} \quad (2.19)$$

Pérdidas locales en la tubería de impulsión.

Las pérdidas locales en altanería de impulsión tienen en cuenta todos los accesorios con los que cuenta la tubería y se puede encontrar mediante la expresión siguiente:



Tabla 2.8: Coeficientes de resistencia para la línea de impulsión (Rodríguez 2008)

Accesorios	Cantidad	Coeficiente de resistencia
Válvula de cuña	4	0,038
Codos de 90°	15	0,75
Codos de 45°	17	0,40
Coeficiente de salida		1

$$\sum \xi_{imp} = \xi_{vál} + \xi_{codos} + \xi_{sal} \quad (2.20)$$

Pérdidas totales por accesorios en el sistema.

Las pérdidas locales por accesorios en el sistema se determinan mediante la suma de las pérdidas locales en la tubería de impulsión y las pérdidas locales en la tubería de succión, se determina por la siguiente ecuación:

$$\sum \xi_t = \sum \xi_{imp} + \sum \xi_{succ} \quad (2.21)$$

### 2.3.3. Cálculo de la altura geométrica en la impulsión

Para determinar la altura geométrica que desempeña las bombas, nos remitimos a los planos geodésicos del terreno donde aparece como nivel (0-0) el mar.

$$H_{imp} = 38,7096m \quad H_{succ} = 4,2005m$$

Tomando el nivel del mar representado se determina la altura geométrica de impulsión por la expresión siguiente:

$$\Delta Z_f = H_{imp} - H_{succ} \quad (2.22)$$

### 2.3.4 Características de la red

La característica de la red exterior de la instalación de hidrotransporte se recomienda calcular por la ecuación: Según (Alexandro. 1986).

$$H_{red} = \Delta Z_f + R_c \cdot Q^2 \quad (2.23)$$

Donde:

$R_c$  - coeficiente generalizado de resistencia de la red exterior de la instalación de transporte hidráulico.

$$R_c = \frac{1}{2 \cdot g \cdot A^2} \left[ \left( \lambda_c \cdot \frac{L_t}{D} \right) + \sum \xi_t + 1 \right] \quad (2.24)$$



### 2.3.5. Cálculo de la potencia y la eficiencia eléctrica de la bomba

Cálculo de la potencia útil de la bomba.

Esta es la potencia que utiliza la bomba para cumplir el trabajo que se demanda y se haya por la formula:

$$N_b = Qt.\Delta P_t \quad (2.25)$$

$$\Delta P_t = H_t.g.\rho_c \quad (2.26)$$

Donde:

$Q_t$  y  $\Delta P_t$  - son el caudal y la caída de presión de la bomba en el punto de trabajo

$\rho_c$  - densidad de la pulpa de Cieno Carbonatado para un 40 % de sólido

Potencia del motor

Determinar la potencia requerida por la bomba (potencia demandada por la bomba la entregada por el motor), mediante la ecuación:

$$N_m = \frac{N_b}{\eta_b} \quad (2.27)$$

$\eta_b = 0.90$  - Rendimiento de la bomba.

Potencia total del sistema

La potencia total del sistema es la suma de la potencia del motor y la potencia útil de la bomba y se determina por la expresión siguiente:

$$N_t = N_b + N_m \quad (2.28)$$

Rendimiento mecánico

El rendimiento mecánico nos permite conocer el tiempo de vida útil que posee la bomba, los tiempos de intervenciones para su adecuado mantenimiento, se puede determinar por la siguiente expresión:

$$\eta_m = 1 - \frac{N_m}{N_t} \quad (2.29)$$

Potencia eléctrica

La potencia eléctrica nos permite determinar la potencia que necesita el motor para poder impulsar el fluido donde se quiere y se calcula por la siguiente expresión:



$$N_{elec} = \frac{N_m}{\eta_m} \quad (2.30)$$

Donde:

$\eta_m$  - rendimiento del motor

Consumo de energía del motor kW al año

El consumo de energía se determina con la potencia que demanda el conjunto bomba-motor (kW) y el tiempo de operación del mismo (horas al año), se puede calcular por la siguiente ecuación:

$$E = N_m \cdot T \quad (2.31)$$

Donde:

T = 8640h - tiempo de trabajo del motor en un año

#### 2.4. Expresión de cálculo para obtener el consumo energético en el agitador

El consumo energético del agitador se calcula para tener conocimiento del gasto anual por concepto de trabajo que posee el equipo, se puede determinar por la expresión que se muestra:

$$E_R = P_s \cdot \eta_R \cdot T \quad (2.32)$$

Donde:

$\eta_R$  - eficiencia del agitador se calcula por:  $\eta_R = \frac{P_s}{P_m}$

T = 8640h - tiempo de trabajo del agitador.

#### 2.5. Cálculos para comprobar si el sistema cavita

Altura positiva neta de carga de succión.

Este cálculo representa el margen mínimo entre la carga de succión y la presión de vapor del líquido se puede calcular por la expresión que se muestra a continuación

$$S = \frac{n_1 \cdot \sqrt{Q_{pm}}}{(NPSH_{req})^{\frac{3}{4}}} \quad (2.33)$$



$$NPSH_{req} = \left( \frac{n_2 \cdot \sqrt{Q_{pm1}}}{S} \right)^{1,33} \quad (2.34)$$

Donde:

$n_1$  - velocidad de rotación (rmp)

$Q_{pm}$  - gasto ( $m^3/h$ )

$NPSH_{req}$  - este parámetro es una función del diseño de la bomba es dado por el fabricante

Altura positiva disponible de carga de succión.

$$NPSH_{dis} = P_{atm} \pm H_{suc} - h_T - \sum h_{suc} \quad (2.35)$$

Donde:

$P_{atm}$  - presión atmosférica ( $m$ )

$H_{suc}$  - altura de succión ( $m$ )

$h_T$  - tensión de vapor del líquido

La ecuación se toma positiva porque se succiona el líquido por encima de la bomba, si se succionara por debajo de la bomba se escogería el signo negativo además para que no ocurra el fenómeno de la cavitación se debe de cumplir  $NPSH_{dis} > NPSH_{req}$



## **2.6. Conclusiones parciales del capítulo**

- ✓ Se presentan las ecuaciones de balance de la energía mecánica para diseños de tuberías, así como las del cálculo energético de las bombas y el reductor que componen la instalación objeto de estudio.
- ✓ Se proponen las ecuaciones para comprobar si en el sistema ocurre el efecto de la cavitación, fenómeno este muy perjudicial para las máquinas de transportación de fluidos.
- ✓ Se establecen las características reológicas que conforman al cieno carbonatado para el cálculo del sistema por donde se transporta este fluido.



## CAPITULO III: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

### 3.1 Introducción

La puesta en marcha con efectividad del equipamiento de las instalaciones que se utilizan en el hidrotransporte se hace con la correcta selección de los instrumentos que se emplearán para las condiciones correctas de explotación de la instalación, para ello es necesario determinar y analizar el régimen de trabajo de las bombas para así lograr una correcta operación del sistema.

Con esta finalidad el **objetivo** de este capítulo es:

Analizar los resultados obtenidos en el cálculo de la instalación de transporte de Cieno Carbonatado para evaluarlo.

### 3.2 Determinación de la velocidad crítica

El cálculo de la velocidad crítica es lo que comprueba a que velocidad tiene que ir el fluido para que no se sedimente inmediatamente en el sistema de tubería, para que esto no ocurra se tiene que cumplir la condición de que  $V > V_{crit}$ , los resultados obtenidos empleando la metodología expuesta en el epígrafe 2.3.1 se muestran en la tabla 3.1

Tabla 3.1. Resultados obtenidos de la velocidad crítica.

Indicador	Resultados	Unidad de medida
diámetro medio	0,00008344	m
grosor hidráulico	0,0023	m/s
velocidad crítica	0,564	m/s

Como se puede apreciar se cumple la condición de que  $V > V_{crit}$  por lo que se puede afirmar que el sistema no estará expuesto a la sedimentación de las partículas que se transportan.



### 3.3 Análisis de las condiciones de trabajo del sistema de bombeo

Para realizar el análisis del sistema de bombeo de Cieno Carbonatado se debe tener en cuenta que la instalación cuenta con un tanque y cuatro bombas FELUWA de desplazamiento positivo con diafragma y bomba de pistón. Estas se encuentran conectadas en paralelo a una tubería de diámetro 0.152 m. Se encuentra el punto de trabajo más eficiente del sistema para el cual se logra mantener los niveles de Cieno Carbonatado que se entregan a los tanques de alimentación de la planta de neutralización. Trabajando en varias condiciones

1. Trabajando solo la bomba 6A
2. Trabajando solo la bomba 6D
3. Trabajando dos bombas (6A y 6D)
4. Trabajando dos bombas (6D y 6C)
5. Trabajando las 3 bombas (6D, 6A y 6C )
6. Trabajando las 4 bombas (6A, 6B,6C y 6D)

Las bombas 6A, 6B, 6C y 6D tienen una capacidad de  $43\text{m}^3/\text{h}$ ,  $16\text{m}^3/\text{h}$ , y  $21\text{m}^3/\text{h}$   $25.2\text{m}^3/\text{h}$  respectivamente.

#### 3.3.1. Resultados de la instalación trabajando la bomba PU 6A

Según la metodología establecida en el capítulo II se realiza el cálculo de las diferentes condiciones de trabajo del sistema objeto de estudio.

Tabla 3.2 Resultado de las condiciones de trabajo para las bombas 6A.

Parámetros	Resultados
Caudal de las bombas 6A	$Q = 43\text{m}^3/\text{h} = 0,012\text{m}^3/\text{s}$
Velocidad Media	$V = 0,662\text{m}/\text{s}$
Número de Reynolds	$Re = 6168$
Factor de fricción	$\lambda = 0,046$
Pérdida total por accesorios en el sistema	$\Sigma\xi_t = 20,02$
Altura geométrica en la línea de impulsión	$\Delta Z_x = 34,509 \cdot m$
Altura de carga de la red	$H_{red} = 69,509m$



Característica de la red para el sistema trabajando con la bomba 264-PU-6A

Tabla 3.3 Parámetros del sistema de trabajo con las bombas 6A

$Q(m^3/h)$	49,9	48,4	48,1	47,7	47,4	47	46,8	46,5	46,7	46,6	46,8	46,9	46,9	42,9	3	0,7
$P(bar)$	0,2	4,5	9,9	16,3	22,2	32,2	31,9	37,5	38,4	38,6	39	38,8	39,7	46,7	57,1	56,2
$H(m)$	2,03	45,9	100	166	226	328	325	382	391	393	397	396	404	476	582	573

Tabla 3.4 Altura de la carga en la impulsión para el trabajo con Cieno

$Q(m^3/h)$	0	10	20	30	40	50	60
$H_{red}(m)$	34,509	36,109	40,909	48,909	60,909	74,509	92,109

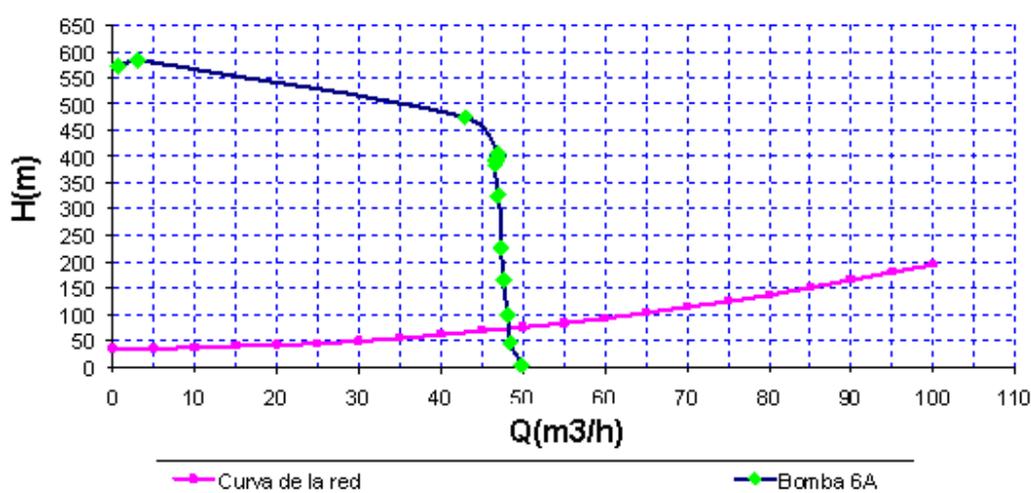


Figura 3.1. Curva característica de la bomba 6A

Según la figura 3.1 se obtiene el punto de trabajo de la bomba la cual se encuentra trabajando para un caudal de  $Q_t = 48,1m^3/h$  y  $H_t = 71m$

Tabla 3.5. Resultados de la potencia y la eficiencia del sistema para esta condición de trabajo

Parámetros	Resultados
Caída de presión	$\Delta P_t = 9,3kgf/cm^2$
Potencia bomba	$N_b = 12,19kW$
Potencia del motor	$N_m = 13,65kW$
Potencia total del sistema	$N_t = 25,74kW$
Rendimiento mecánico	$\eta_m = 0,474$
Potencia eléctrica	$N_{elec} = 14,89kW$
Consumo de energía	$E = 117 \cdot 10^3 kW/año$



### 3.3.2 Resultados de la instalación trabajando la bomba PU 6D

Tabla 3.6. Resultados de las condiciones de trabajo para las bombas 6D

Parámetros	Resultados
Caudal de las bombas 6D	$Q = 25,2 \text{ m}^3 / \text{h} = 0,007 \text{ m}^3 / \text{s}$
Velocidad Media	$V = 0,386 \text{ m} / \text{s}$
Número de Reynolds	$Re = 3598$
Factor de fricción	$\lambda = 0.018$
Pérdida total por accesorios en el sistema	$\Sigma \xi_t = 20,02$
Altura geométrica en la línea de impulsión	$\Delta Z_x = 34,509 \cdot \text{m}$
Altura de carga de la red	$H_{red} = 69,509 \cdot \text{m}$

Característica de la red para el sistema trabajando con la bomba 264 – PU - 6D

Tabla 3.7 Parámetros del sistema de trabajo con las bombas 6D

$Q(\text{m}^3/\text{h})$	32,1	30,6	30,3	29,9	29,6	29,2	28,2	28,7	28,9	28,8	29	29,1	29,1	23,3	3	0.7
$P(\text{bar})$	0,2	4,5	9,9	16,3	22,2	32,2	31,9	37,5	38,4	38,6	39	38,8	39,7	46,7	57,1	56,2
$H(\text{m})$	2,03	45,9	100	166	226	328	325	382	391	393	397	396	404	476	582	573

Tabla 3.8 Altura de la carga en la impulsión para el trabajo con Cieno

$Q(\text{m}^3/\text{h})$	0	10	20	30	40	50	60	70
$H_{red}(\text{m})$	34,509	36,109	40,909	48,909	60,909	74,509	92,109	112,91

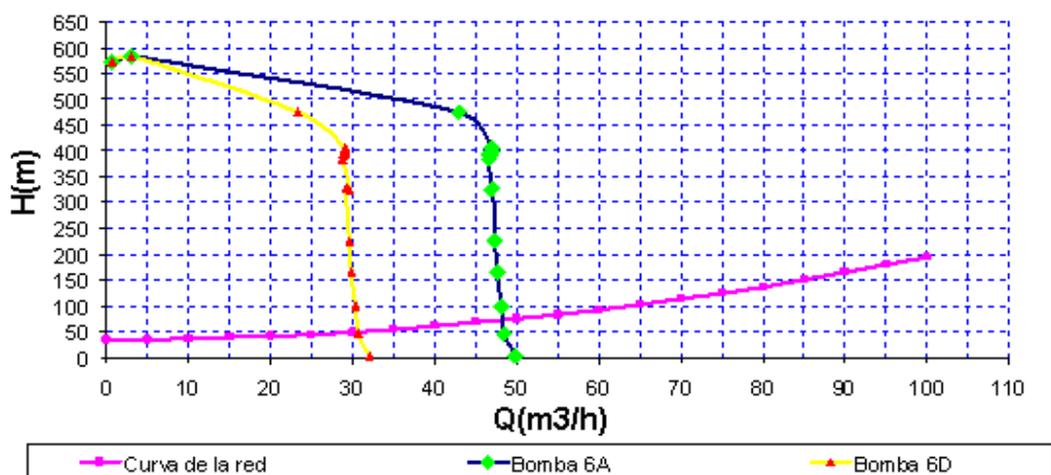


Figura 3.2. Curva característica del sistema para la bomba 6D



Según la figura 3.2 se obtiene el punto de trabajo de la bomba la cual se encuentra trabajando para un caudal de  $Q_t = 31,8 m^3/h$  y  $H_t = 50m$

Tabla 3.9. Resultados de la potencia y la eficiencia del sistema para esta condición de trabajo

Parámetros	Resultados
Caída de presión	$\Delta P_t = 6,6 kgf/cm^2$
Potencia bomba	$N_b = 5,7 kW$
Potencia del motor	$N_m = 6,3 kW$
Potencia total del sistema	$N_t = 11,98 kW$
Rendimiento mecánico	$\eta_m = 0,474$
Potencia eléctrica	$N_{elec} = 6,93 kW$
Consumo de energía	$E = 5,449 \cdot 10^4 kW/año$

Trabajando solo una bomba nos muestran los resultados que posee una caída de presión algo baja comparada con dos bombas, la potencia de la bomba y el motor son las adecuadas para el trabajo con una sola bomba el consumo energético es mucho mas bajo con el trabajo de una sola bomba que con el de dos.

### 3.3.3 Resultados de la instalación trabajando las bombas PU 6A+6D

Tabla 3.10 Resultados de las condiciones de trabajo para las bombas 6D

Parámetros	Resultados
Caudal de las bombas 6A+6D	$Q = 68,2 m^3/h = 0,0189 m^3/s$
Velocidad Media	$V = 1,048 m/s$
Número de Reynolds	$Re = 9766$
Factor de fricción	$\lambda = 0,035$
Pérdida total por accesorios en el sistema	$\Sigma \xi_t = 20,02$
Altura geométrica en la línea de impulsión	$\Delta Z_x = 34,509 \cdot m$
Altura de carga de la red	$H_{red} = 84,909 \cdot m$

Característica de la red para el sistema trabajando con la bomba 264-PU-6A+6D

Tabla 3.11 Parámetros del sistema de trabajo con las bombas 6A+6D

$Q(m^3/h)$	69,86	67,76	67,34	66,78	66,36	65,8	65,52	65,1	65,38	65,24	65,52	65,66	65,66	60,06	4,2	0,98
$P(bar)$	0,2	4,5	9,9	16,3	22,2	32,2	31,9	37,5	38,4	38,6	39	38,8	39,7	46,7	57,1	56,2
$H(m)$	2,03	45,9	100	166	226	328	325	382	391	393	397	396	404	476	582	573

Tabla 3.12 Altura de la carga en la impulsión para el trabajo con Cieno

$Q(m^3/h)$	0	10	20	30	40	50	60	70
$H_{red}(m)$	34,509	36,109	40,909	48,909	60,909	74,509	92,109	112,91

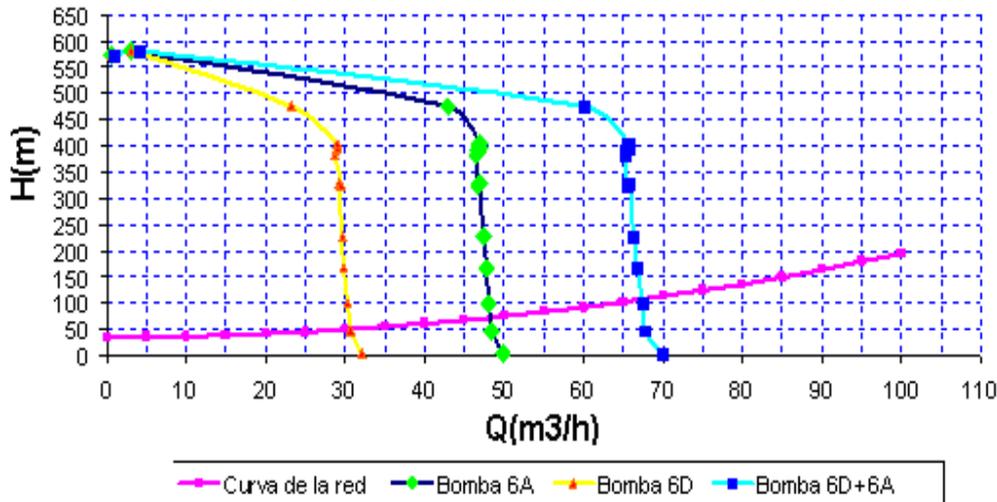


Figura 3.2. Curva característica del sistema para la bomba 6A+ 6D

Según la figura 3.2 se obtiene el punto de trabajo de la bomba la cual se encuentra trabajando para un caudal de  $Q_t = 65,9 m^3/h$  y  $H_t = 103m$

Tabla 3.13 Resultados de la potencia y la eficiencia del sistema para esta condición de trabajo

Parámetros	Resultados
Caída de presión	$\Delta P_t = 13,5 kgf / cm^2$
Potencia bomba	$N_b = 23,83 kW$
Potencia del motor	$N_m = 26,47 kW$
Potencia total del sistema	$N_t = 50,3 kW$
Rendimiento mecánico	$\eta_m = 0,473$
Potencia eléctrica	$N_{elec} = 29,09 kW$
Consumo de energía	$E = 2,287 \cdot 10^5 kW/año$

Estos resultados nos muestran que con esta caída de presión la pulpa llegará a la planta sin problemas, la potencia del motor y de la bomba es el necesario para que la mezcla llegue sin contratiempos a la planta de neutralización, aunque posee un consumo energético algo elevado.



### 3.3.4 Resultados de la instalación trabajando las bombas PU 6D+6C

Tabla 3.14 Resultado de las condiciones de trabajo para las bombas 6D+6C

Parámetros	Resultados
Caudal de las bombas 6D+6C	$Q = 46,2 m^3/h = 0,0128 m^3/s$
Velocidad Media	$V = 0,717 m/s$
Número de Reynolds	$Re = 6682$
Factor de fricción	$\lambda = 0,011$
Pérdida total por accesorios en el sistema	$\Sigma \xi_t = 20,02$
Altura geométrica en la línea de impulsión	$\Delta Z_x = 34,509 \cdot m$
Altura de carga de la red	$H_{red} = 69,509 \cdot m$

Característica de la red para el sistema trabajando con la bomba 264-PU-6D+6C

Tabla 3.15 Parámetros del sistema de trabajo con las bombas 6D+6C

$Q(m^3/h)$	43,34	41,31	40,91	40,37	39,96	39,42	39,83	38,75	39,02	38,88	39,15	39,,29	39,29	31,46	4,1	0,95
$P(bar)$	0,2	4,5	9,9	16,3	22,2	32,2	31,9	37,5	38,4	38,6	39	38,8	39,7	46,7	57,1	56,2
$H(m)$	2,03	45,9	100	166	226	328	325	382	391	393	397	396	404	476	582	573

Tabla 3.16 Altura de la carga en la impulsión para el trabajo con Cieno

$Q(m^3/h)$	0	10	20	30	40	50	60	70
$H_{red}(m)$	34,509	36,109	40,909	48,909	60,909	74,509	92,109	112,91

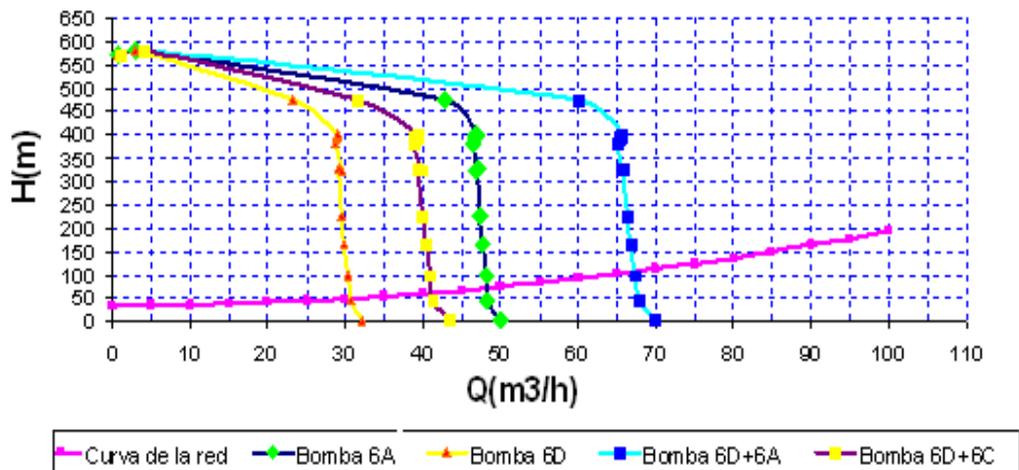


Figura 3.3 Curva característica del sistema para la bomba 6D+ 6C



Según la figura 3.3 se obtiene el punto de trabajo de la bomba la cual se encuentra trabajando para un caudal de  $Q_t = 41,8 m^3/h$  y  $H_t = 52m$

Tabla 3.17. Resultados de la potencia y la eficiencia del sistema para esta condición de trabajo

Parámetros	Resultados
Caída de presión	$\Delta P_t = 6,8 kgf / cm^2$
Potencia bomba	$N_b = 8,019 kW$
Potencia del motor	$N_m = 8,91 kW$
Potencia total del sistema	$N_t = 16,93 kW$
Rendimiento mecánico	$\eta_m = 0,474$
Potencia eléctrica	$N_{elec} = 9,7 kW$
Consumo de energía	$E = 7,698 \cdot 10^4 kW/año$

La caída de de presión trabajando estas dos bombas en conjunto es relativamente baja para suplir las demandas de cieno que se necesitan en la planta de neutralización poseen una potencia y un consumo energético relativamente bajo comparado con el trabajo de tres y cuatro bombas.

### 3.3.5 Resultados de la instalación trabajando las bombas PU 6D+6A+6C

Tabla 3.18. Resultado de las condiciones de trabajo para las bombas 6D+6A+6C

Parámetros	Resultados
Caudal de las bombas 6D+6C	$Q = 89,2 m^3/h = 0,0247 m^3 / s$
Velocidad Media	$V = 1,378 m / s$
Número de Reynolds	$Re = 12850$
Factor de fricción	$\lambda = 0,031$
Pérdida total por accesorios en el sistema	$\Sigma \xi_t = 20,02$
Altura geométrica en la línea de impulsión	$\Delta Z_x = 34,509 \cdot m$
Altura de carga de la red	$H_{red} = 93,659 \cdot m$

Característica de la red para el sistema trabajando con la bomba 264-PU-6D+6A+6C

Tabla 3.19 Parámetros del sistema de trabajo con las bombas 6D+6A+6C

$Q(m^3/h)$	89,82	87,12	86,58	85,86	85,32	84,6	84,24	83,7	84,06	83,88	84,24	84,42	84,42	77,22	5,4	1,26
$P(bar)$	0,2	4,5	9,9	16,3	22,2	32,2	31,9	37,5	38,4	38,6	39	38,8	39,7	46,7	57,1	56,2
$H(m)$	2,03	45,9	100	166	226	328	325	382	391	393	397	396	404	476	582	573



Tabla 3.20 Altura de la carga en la impulsión para el trabajo con Cieno

$Q(m^3/h)$	0	10	20	30	40	50	60	70
$H_{red}(m)$	34,509	36,109	40,909	48,909	60,909	74,509	92,109	112,91

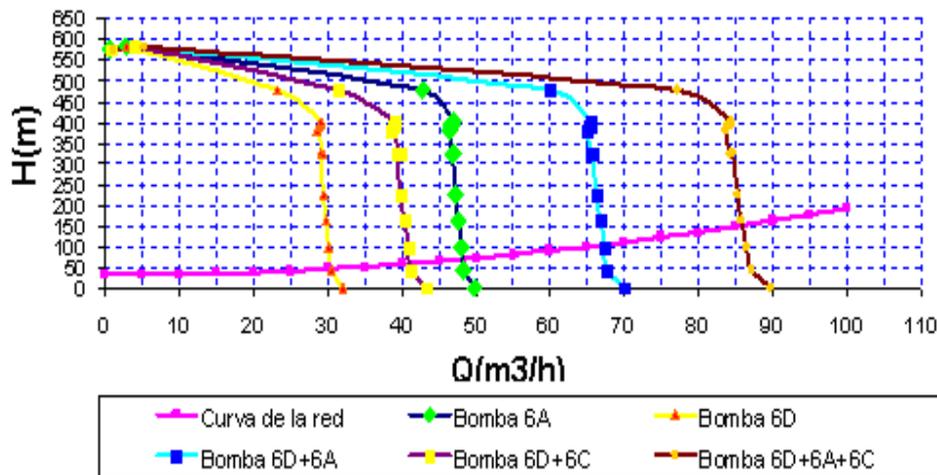


Figura 3.5 Curva característica del sistema para la bomba 6D+ 6A+6C

Según la figura 3.5 se obtiene el punto de trabajo de la bomba la cual se encuentra trabajando para un caudal de  $Q_t = 86,5 m^3/h$  y  $H_t = 150m$

Tabla 3.17. Resultados de la potencia y la eficiencia del sistema para esta condición de trabajo

Parámetros	Resultados
Caída de presión	$\Delta P_t = 19,66 kgf / cm^2$
Potencia bomba	$N_b = 46,26 kW$
Potencia del motor	$N_m = 51,4 kW$
Potencia total del sistema	$N_t = 97,67 kW$
Rendimiento mecánico	$\eta_m = 0,474$
Potencia eléctrica	$N_{elec} = 56,49 kW$
Consumo de energía	$E = 4,44110^5 kW/año$

Trabajando tres bombas en conjunto se puede ver que la caída de presión aumenta con respecto a dos bombas, así como la potencia del motor, también se ve el aumento de la potencia de las bombas y la eléctrica, su consumo de energía es relativamente elevado.



### 3.3.6 Resultados de la instalación trabajando las bombas PU 6A + 6B + 6C + 6D

Tabla 3.18 Resultado de las condiciones de trabajo para las bombas 6A + 6B + 6C + 6D

Parámetros	Resultados
Caudal de las bombas 6A + 6B + 6C + 6D	$Q = 105,2 m^3/h = 0,0292 m^3/s$
Velocidad Media	$V = 1,599 m/s$
Número de Reynolds	$Re = 14910$
Factor de fricción	$\lambda = 0,03$
Pérdida total por accesorios en el sistema	$\Sigma \xi_t = 20,02$
Altura geométrica en la línea de impulsión	$\Delta Z_x = 34.509 \cdot m$
Altura de carga de la red	$H_{red} = 103,11 \cdot m$

Característica de la red para el sistema trabajando con la bomba 264-PU-6A+ 6B+ 6C + 6D

Tabla 3.19. Parámetros del sistema de trabajo con las bombas 6A+ 6B+ 6C + 6D

$Q(m^3/h)$	94,81	91,96	91,39	90,63	90,06	89,3	89,92	88,35	88,73	88,54	88,92	89,11	89,11	81,51	5,7	1,3
$P(bar)$	0,2	4,5	9,9	16,3	22,2	32,2	31,9	37,5	38,4	38,6	39	38,8	39,7	46,7	57,1	56,2
$H(m)$	2,03	45,9	100	166	226	328	325	382	391	393	397	396	404	476	582	573

Tabla 3.20 Altura de la carga en la impulsión para el trabajo con Cieno

$Q(m^3/h)$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
$H_{red}(m)$	34,509	36,109	40,909	48,909	60,909	74,509	92,109	112,91	136,909	164,109

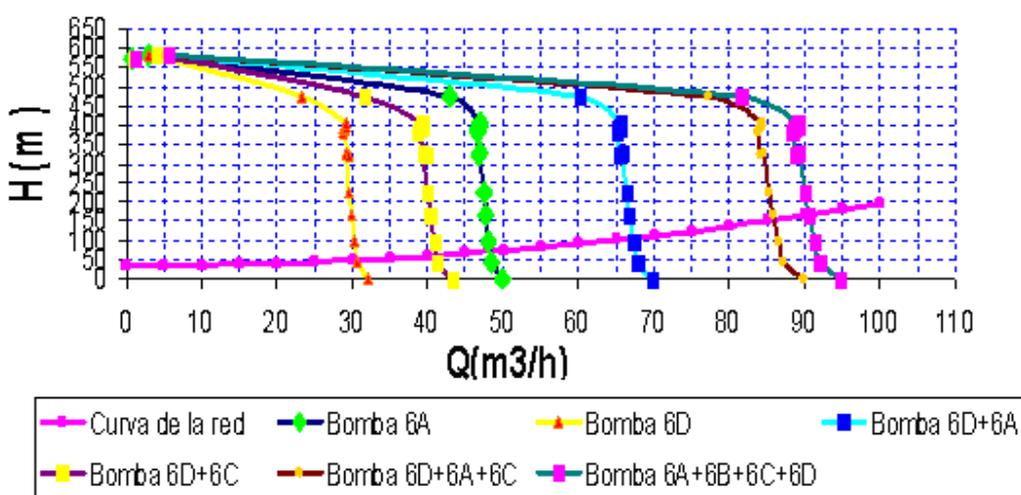


Figura 3.6 Curva característica del sistema para las bombas 6A + 6B + 6C + 6D



Según la figura 3.6 se obtiene el punto de trabajo de la bomba la cual se encuentra trabajando para un caudal de  $Q_t = 90 m^3/h$  y  $H_t = 151m$

Tabla 3.21 Resultados de la potencia y la eficiencia del sistema para esta condición de trabajo

Parámetros	Resultados
Caída de presión	$\Delta P_t = 19,79 kgf / cm^2$
Potencia bomba	$N_b = 48,51 kW$
Potencia del motor	$N_m = 53,55 kW$
Potencia total del sistema	$N_t = 102,4 kW$
Rendimiento mecánico	$\eta_m = 0,474$
Potencia eléctrica	$N_{elec} = 59,23 kW$
Consumo de energía	$E = 4,657 \cdot 10^5 kW/año$

Los resultados obtenidos nos muestran que la caída de presión posee un ligero aumento a medida que aumentan la cantidad de bombas trabajando, la potencia aumenta al aumentar la cantidad de equipos de bombeo pero el rendimiento mecánico se mantiene igual ya que para estos equipos su rendimiento mecánico no varía, los resultados también nos muestran que hay un elevado consumo de energía.

Se puede apreciar en todas las gráficas obtenidas que las bombas trabajan por debajo del punto de trabajo donde se tienen que encontrar trabajando, lo anterior le proporciona un elevado esfuerzo de trabajo y sobre consumo de energía.

### 3.5 Análisis de los resultados obtenidos para el agitador y bomba DURKO

Para realizar el correspondiente análisis del reductor se debe de tener en cuenta que este cumple la función de agitador para evitar la sedimentación de la mezcla de Cieno Carbonatado, la bomba que se desea sacar del sistema de producción es una bomba de balancín de desplazamiento positivo que es la se encarga de transportar la mezcla desde el sedimentador # 1 hacia el tanque número 3, empleando la ecuación expuesta en el capítulo II epígrafe 2.4 para el reductor y epígrafe 2.3 para la bomba DURKO se obtienen los datos que se muestran a continuación en la tabla 3.10.



Tabla 3.22. Resultados del consumo energético y gasto para el agitador y bomba DURKO

Indicador	Consumo Energético (kW/año)	Gasto (CUC/año)
Agitador Reductor	49 931,46	7025,36
Bomba DURKO	7907	1106,8
Total	57837,46	8132,34

### 3.5 Análisis de los resultados para el fenómeno de la cavitación

Los resultados para el cálculo para verificar si el sistema cavitaba o no se realizaron con el empleo del Mat Cad (2001) utilizando las ecuaciones (2.53), (2.54) y (2.55) que se hayan en el capítulo II y arrojaron los siguientes resultados que se muestran en la tabla a continuación

Tabla 3.23 Resultados para la comprobación de la cavitación

Indicador	(m)
$NPSH_{req}$	3,154
$NPSH_{dis}$	8,983

Como se puede apreciar se cumple la condición  $NPSH_{dis} > NPSH_{req}$  por lo que se puede afirmar que en este sistema no ocurre el efecto de la cavitación tan perjudicial para los equipos de bombeo.

### 3.6 Valoración Económica

Gasto de la explotación de la instalación para transportar un  $m^3$  de Cieno Carbonatado a 4.220 m. de distancia.

$$G_{exp} = \frac{G_b}{Q_c}$$

$Q = 777600 m^3/año$  Caudal transportado por las bombas (6A + 6B + 6C + 6D) en un año.

$G_b$  Gasto anual de explotación de una bomba.

$$G_b = V + F$$

**V - Gasto unitario variable.**

$$V = g_{elect} + g_{mant} + g_{agua} + g_s$$

Gastos por consumo de energía eléctrica.

$$g_{elect} = \frac{T \cdot N_m \cdot K_p \cdot t_{pu}}{\eta}$$



$T = 0.14 kW/h$  - tarifa de corriente eléctrica.

$N_m = 53.55 kW$  - potencia consumida por el motor de las máquinas.

$K_p = 4.16$  - coeficiente de pérdida.

$t_{pu} = 8640h$  - tiempo trabajo de las bomba.

$\eta = 0.91$  - rendimiento del motor.

$g_{elec} = 296100 CUC/año$

$g_{manti} = 67975.5 CUC/año$  - gastos anual por mantenimiento

$g_{agua}$  - gastos por consumo de agua.

$$g_{agua} = P_a \cdot Q_a \quad (3.1)$$

$$P_a = 0.25 CUC/m^3 \quad Q_a = 5200 m^3/año$$

$$g_{agua} = 1300 CUC/año$$

$g_s$  - gastos por salarios de los operadores de la instalación

$$g_s = t_a \cdot t_n \cdot k_{ss} \cdot k_{dr} \cdot k_{pc} \quad (3.2)$$

$t_a = 3.23 CUC/año$  - tarifa salarial del personal directo de la instalación

$t_n = 8700h$  - tiempo de trabajo del operario en la instalación

$K_{ss} = 0.388$  - coeficiente de seguridad social

$$k_{ss} = 12\% \cdot t_a$$

$k_{dr} = 1.0909$  - coeficiente de descanso distribuido

$k_{pc} \approx 1$  - coeficiente de pago complementario

$$k_{pc} = 1 + \frac{C}{100}$$

$$g_s = 11890 CUC/año$$

$$V = 377300 CUC/año$$

**F - Gastos fijos globales.**

$$F = g_{amort1} + g_{amort2} + g_{spi} \quad (3.3)$$



$$g_{amort1} = \frac{N_g \cdot I}{100} \cdot n \quad \text{- gastos por amortización de las bombas} \quad (3.4)$$

$I = 32192.987CUC$  - valor inicial de las máquinas

$N_g = 5\%$  - tasa de amortización de las máquinas

$$g_{amort1} = 1610CUC/año$$

$$g_{amort2} = \frac{N_{gt} \cdot I_t}{100} \quad \text{- gastos por amortización de tuberías y soportes} \quad (3.5)$$

$$I_t = 597000CUC$$

$N_{gt} = 3\%$  - tasa de amortización de las tuberías y soportes

$$g_{amort2} = 17910CUC/año$$

$g_{spi} = 1006CUC/año$  - gasto por salario del personal indirecto

$$F = 20530CUC/año$$

$$G_b = 397800CUC/año$$

$$G_{exp} = 0.512$$

Tabla 3.24: Resultados de los valores económicos para las variantes

Indicadores	6A	6D + 6A	6D + 6C	6D + 6A + 6C	6A + 6B + 6C + 6D	6D
Gastos por consumo de energía eléctrica	18870	73180	24630	143100	296100	8709
Gastos por mantenimiento	39161	50513	55545	60975.5	67975.5	39161
Gastos por consumo de agua	1300	1300	1300	1300	1300	1300
Gastos por salarios de los operadores	11980	11980	11980	11980	11980	11980
<b>V Gasto unitario variable</b>	<b>71310</b>	<b>136900</b>	<b>93370</b>	<b>217200</b>	<b>377300</b>	<b>61060</b>
Gastos por amortización de las bombas	402.35	618.25	618.25	908.28	1610	402.404
Gastos por amortización de tuberías y soportes	17910	17910	17910	17910	17910	17910
Gastos por salarios de personal indirecto	1006	1006	1006	1006	1006	1006
<b>F Gastos fijos globales</b>	<b>19320</b>	<b>20530</b>	<b>14560</b>	<b>20530</b>	<b>20530</b>	<b>19320</b>
<b>Gb</b>	<b>90630</b>	<b>157400</b>	<b>107900</b>	<b>240800</b>	<b>397800</b>	<b>74330</b>
Gasto por transportar 1m <sup>3</sup> de Cieno Carbonatado (USD/m <sup>3</sup> )	0.21	0.276	0.299	0.32	0.512	0.27



Los resultados de la valoración económica nos permiten conocer que el gasto total por concepto de consumo energético de las bombas y el agitador en la planta es de 405 932 CUC/año, sacando del sistema de producción la bomba DURKO y el agitador la empresa se ahorraría un total de 8132,34 CUC/año y 57837,46 kW/año, Con las curvas de las bombas y de la red se llega a la conclusión que para obtener lo que la planta de neutralización demanda se puede trabajar con las bombas 6D+6A, y de necesitar mas poner a trabajar otra bomba. (Otros tipos de gastos se pueden observar en el anexo 3)

### 3.7 Impacto medio ambiental

Los sistemas de hidrotransporte para el Cieno Carbonatado son regulados bajo los requerimientos ambientales dispuestos en la Ley 81 y se materializan a través de un programa de mantenimiento planificado y financiado por la empresa encaminada a restaurar los tramos defectuosos de tuberías y soportes de este sistema, los cuales evitan procesos de derrames y como consecuencia contaminación del medio ambiente. En la actualidad se construyen sistemas de drenajes para la evacuación de las cargas líquidas en los pipe rack, evitando el impacto visual del entorno y de los suelos respectivamente.

En los sistemas de hidrotransporte existen válvulas de seguridad, para evitar escapes y sobrecargas en las líneas, además un sistema de inspección visual por turnos de operación que garantiza la toma de decisiones rápidas ante un incidente en estos sistemas.

### 3.8 Conclusiones parciales.

- ✓ Se obtiene la velocidad critica de sedimentación de las partículas, arrojando un valor para que las partículas no se sedimenten de  $V = 0,64 \text{ m/s}$ , también los cálculos de cavitación nos demuestran que el sistema no estará expuesto a este fenómeno tan perjudicial.
- ✓ Se obtiene el punto de trabajo para la bomba nueva instalada 6D y trabajando la 6A+6B+6C+6D conjuntamente, siendo este de  $Q_t = 31,8 \text{ m}^3/\text{h}$  y  $H_t = 50 \text{ m}$  para la



bomba 6D y  $Q_t = 90\text{m}^3/\text{h}$  y  $H_t = 151\text{m}$  para las cuatro bombas trabajando en conjunto.

- ✓ Los cálculos económicos nos aportan que la bomba nueva instalada posee un gasto en CUC/año de 74 330 y las cuatro bombas trabajando juntas consumen un total de
- |     |     |          |
|-----|-----|----------|
| 397 | 800 | CUC/año. |
|-----|-----|----------|



### **Conclusiones generales**

- Se obtiene el punto de trabajo para la bomba nueva instalada 6D y trabajando la 6A+6B+6C+6D conjuntamente, siendo este de  $Q_t = 31,8 m^3/h$  y  $H_t = 50m$  para la bomba 6D y  $Q_t = 90 m^3/h$  y  $H_t = 151m$  para las cuatro bombas trabajando en conjunto.
- Los cálculos económicos nos aportan que la bomba nueva instalada posee un gasto en CUC/año de 74 330 y las cuatro bombas trabajando juntas consumen un total de 397 800 CUC/año además de que para obtener la demanda de cieno que se necesita en la planta de neutralización de  $60 m^3/h$ , se puede obtener trabajando la bomba 6D+6A con  $65,9 m^3/h$ .
- El Cálculo para la comprobación de la cavitación del sistema demostró que  $NPSH_{dis} > NPSH_{req}$  por lo que en la instalación no ocurrirá este fenómeno.
- Los cálculos económicos abordan que sacando del sistema de producción el agitador y la bomba DURKO la empresa se ahorraría un total de 58433,22 kW/año por concepto de energía y 8217,61 CUC/año



### **Recomendaciones**

- Se recomienda que se continúe trabajando con las bombas 6A+6C ó 6A+6D para suplir las demandas de Cieno Carbonatado en la planta de neutralización y en caso de necesitar más poner a trabajar otra bomba.
- Sacar del sistema de producción el agitador reductor y la bomba DURKO y poner a succionar las bombas de transferencia directo al sedimentador #1 y 2 para que haya un mayor ahorro de energía y presupuesto al país y solo ponerlas a funcionar cuando ocurran averías en el sistema.
- Realizarle en el tiempo establecido los trabajos de mantenimiento a los equipos de bombeo para que no ocurran fallas inesperadas.



## BIBLIOGRAFÍA

1. Andreiev, S.E. *Trituración, desmenuzamiento y cribado de minerales*. Editorial pueblo y educación, 1980.
2. Ávila Jiménez N. E., Becerra Lotero C., Iza Mustafá Y., Sanz Uribe J. R., *Pérdidas de presión en el transporte hidráulico de café por tubería pvc de 88 mm.*, Scientia et Técnica, Universidad Tecnológica de Pereira, Año XII, No 34, ISSN 0122-1701, Mayo de 2007.
3. Bandala M. *Pérdidas por Fricción en Fluidos No Newtonianos*. Tesis de Licenciatura. Universidad de las Américas, Puebla, México , 2001. Bayvel, L. y Orzechowsky, Z., *Liquid Atomization*, Taylor & Francis Ed., 1993.
4. Caballero. Y.N. *Caracterización de las pulpas de Cieno Carbonatado para su perfeccionamiento en el hidrotransporte*. Tesis de diploma. ISMM.2008
5. 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.
6. Caldiño V. I., Salgado M. G. *Estudio experimental con mezclas agua-sedimentos orientado al cálculo de flujos de lodos y debris*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua Jiutepec, Morelos, México. VII Congreso Internacional de Ingeniería Hidráulica. (2004).
7. Castillo. D. *Informe sobre problemas de extracción y utilización de la materia prima de Cieno Carbonatado*. 1988.
8. Cerpa, A.; Garcell. L .R *Propiedades superficiales y reológicas de suspensiones minerales lateríticas*. La Habana: Informe al evento Metalurgia 98, 1998.
9. CEPRONIQUEL. *Proyecto de extracción del fango coralino al sur de Cayo Moa Grande*. 2000.
10. CESIGMA. *División América. Proyecto de explotación del yacimiento de Cienos Carbonatados al sur de Cayo Moa Grande*. 1997.
11. Costa N. E., *Fenómenos de transporte*, Editorial Alambra S.A., Madrid, 1984
12. Darby R., *Laminar and Turbulent Pipe Flows of Non Newtonian Fluids*, in *Flow Dynamics and Transport Phenomena*.



13. De la Paz N. *Uso de la reología en la evaluación de la jalea dentífrica fluida*. Centro de Investigación y Desarrollo de Medicamentos, Rev Cubana Farm 2002;36(1):21-7
14. Díaz, A., *Manual de hidráulica aplicada*. Santiago de Cuba, Ediciones ISPJAM, 1990.
15. Díaz A., Hechavarría T., *Selección del diámetro óptimo de tuberías para fluidos no newtonianos viscosos. Método generalizado. Régimen turbulento*, Tecnología química vol. xix, no. 3, 1999.
16. Garcell, L., *Características reológicas y mineralógicas de las pulpas limoníticas de Moa en períodos de sedimentación crítica*. Trabajo investigativo. ISPJAM, Facultad de Ingeniería Química., 1984.
17. 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.
18. 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.
19. Garcell, L. *Determinación de parámetros reológicos en pulpas minerales que se comportan como plásticos reales*. Revista Tecnología Química, 1984.
20. Garcell, L. *Flujo por tuberías de suspensiones minerales no newtonianas*. Apuntes para una monografía, 2001.
21. García E.J. y. Steffe J.F., *Comparison of Friction Factor Equations for Non-Newtonian Fluids in Pipe Flow*. Journal of Food Process Engineering: 9, 93-120, 1987.
22. 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.
23. Iakovlev, S.V y Dalkov Y.M., *Transporte de calizas y sedimentos de aguas residuales*. Moscú: Gosstroishdat, 1961. 232 p



24. Ibarz A., J. Vélez y G. Barbosa. *Transporte de Alimentos Fluidos a Traves de Tuberías*. Inéditos: 60 hojas. Universidad de las Américas, Puebla, México, 2001.
25. 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.
26. Jiménez. D.Y. *Cálculo 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.
27. Karassik, I., Carter, R., *Bombas centrifugas. Selección operación y mantenimiento*, Editorial Revolucionaria, La Habana, 1968.
28. Macedo C., Martínez J. y Vélez. J., *Diseño, Construcción y Validación de una Unidad Piloto Para el Manejo de Fluidos Newtonianos*. Información Tecnológica: 12 (6), 169-176, 2001.
29. Manual de operaciones de las plantas de Coral.
30. Martínez, R.R. *Cálculo y proyección de las variantes alternativas de los esquemas del transporte de hidromezcla de alta densidad en el proceso carbonato amoniaca*. Tesis de diploma. ISMM.2004.
31. Martínez, R.R. *Caracterización de las propiedades físico mecánicas y de flujo del Cieno Carbonatado para el mejoramiento de su transporte por tuberías*. Tesis de maestría. ISMM. 2009
32. Menéndez, H.M *Conferencia sobre la naturaleza de los Cienos Carbonatados y los factores minero – ambientales que se tienen en cuenta durante el minado en la bahía de cayo Moa*. Empresa Comandante Pedro Soto Alba, Moa Níkel S.A. Moa 2001.
33. Menéndez, H.M. *Explotación racional del yacimiento de Cienos Carbonatados en la bahía de Moa*. Tesis de maestría. Instituto Superior Minero Metalúrgico. 2001



34. Nakayama T., E. Niwa y I. Hamada., *Pipe Transportation of Minced Fish Paste*. Journal of Food Science: 45 (4), 844-847 (1980).
35. Nápoles. E. *Informe exploración orientativa de Cienos Carbonatados al Sur de Cayo Moa Grande*. 1992.
36. Nedved. M. *Informe final sobre los trabajos de búsqueda de fangos coralinos al Sur de Cayo Moa Grande*. 1966.
37. Otero J. L., *Fenómenos de transporte en metalurgia extractiva*, Editorial Alambra, España, Madrid, ISBN 84-205-1784-4, 1989.
38. Pakrovskaya, V.I., *El transporte hidráulico en la industria minera*. Moscú: Niedra, 1985, 192 p.
39. Perona P., *An Experimental Investigation of Laminar-Turbulent Transition in Complex Fluids*. Journal of Food Engineering: 60, 137-145, 2003.
40. Pérez. B.R. *Investigación de los parámetros del transporte hidráulico de las menas y concentrados en flujos de alta concentración*. Tesis de Doctorado. Krivoi Rog, 1970.
41. Roque, D., *Método de recalcu de la característica de funcionamiento de las bombas centrifugas que manipulan soluciones azucaradas*, Memorias del VI encuentro Nacional de Jefes de Maquinarias. MINAZ. Santa Clara, 1989.
42. Skelland A.H. *Non Newtonian flow and heat transfer*. Ediciones revolucionarias, La Habana, 1970.
43. Steffe J.M. y R.G. Morgan., *Pipeline Design and Pump Selection for Non-Newtonian Fluid Foods*. Food Technology. Dic.: 78-85, 1986.
44. Suárez F.M. *Determinación de los parámetros del hidrotransporte de las pulpas del mineral serpentinito*. Tesis de doctorado. ISMMM, Facultad Metalurgia Electromecánica, 1998.
45. Suárez, M.; De la Cruz, R.K. *Relación entre las características granulométricas, reológicas y coloidesquímicas en suspensiones de laterita y de Cieno Carbonatado*. Trabajo de diploma. Universidad de Oriente. Santiago de Cuba. 2005.



46. Turro, B.A. *Estudio del hidrotransporte de las colas en el proceso carbonato amoniacal*. Tesis doctoral. Instituto Superior Minero Metalúrgico. Moa. 2002.
47. 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.
48. Pérez, F. D. Equipos de bombeo. Editorial Pueblo y Educación, La Habana, 1983.
49. Miranda, G. Y. Análisis de la instalación de hidrotransporte de Cieno Carbonatado de la empresa Comandante Pedro Sotto Alba para su modelación a escala Semiindustrial Tesis de Ingeniería. ISMM. 2009.



## **ANEXO # 1 : Datos del pasaporte de las máquinas analizadas**

### **PU-6A**

Características del motor:

- ✓ Tensión: 400 V
- ✓ Potencia: 110 kw
- ✓ frecuencia: 60 Hz
- ✓ Velocidad de rotación: 1182 rpm
- ✓ Corriente: 183 A.
- ✓ Característica de la bomba:
- ✓ Bomba de desplazamiento positivo (pistón), con diafragma. Tipo: ZGL 100/200 -K 200 -2 SM 460 HD. Feluwa.
- ✓ Presión de trabajo: 35 bar
- ✓ Capacidad: 43 m<sup>3</sup>/h.
- ✓ Número de emboladas: 25-50 min<sup>-1</sup>.
- ✓ Potencia absorbida por el eje motriz: 19.3-38.6 kw.

### **PU - 6B.**

Características del motor:

- ✓ tensión: 440 V
- ✓ Potencia: 30 kw
- ✓ frecuencia: 60 Hz
- ✓ Velocidad de rotación: 1200 rpm
- ✓ Características de la bomba :
- ✓ Bomba de desplazamiento positivo (pistón), con diafragma. Tipo: ZGL 50/135 -K 180 -2 SM 460 HD. Feluwa.
- ✓ Capacidad: 21 m<sup>3</sup>/h.



### **PU - 6C.**

Características del motor :

- ✓ tensión: 440 V
- ✓ Potencia: 32/46 kw
- ✓ frecuencia: 60 Hz
- ✓ Velocidad de rotación: 840/1630 rpm
- ✓ Características de la bomba :
- ✓ Bomba de desplazamiento positivo(pistón), con diafragma. Tipo:ZGL 50/135 -K 180 -2 SM 460 HD. Feluwa.
- ✓ Capacidad: 39 - 40 m<sup>3</sup>/h.

### **PU-6D.**

Características del motor :

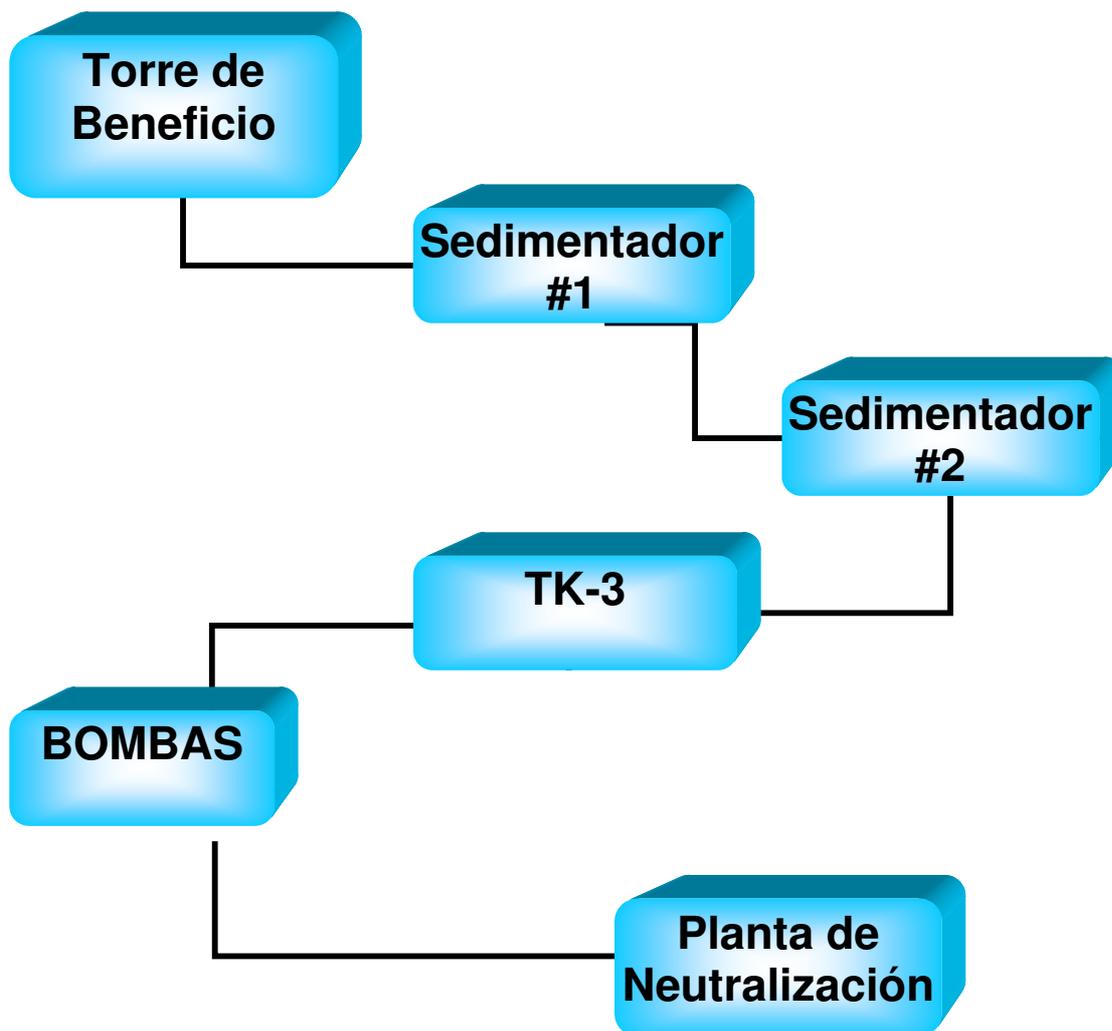
- ✓ Tensión: 400 V
- ✓ Potencia: 110 kw
- ✓ frecuencia: 60 Hz
- ✓ Velocidad de rotación: 1182 rpm
- ✓ Corriente: 183 A.
- ✓ Característica de la bomba:
- ✓ Bomba de desplazamiento positivo(pistón), con diafragma. Tipo:ZGL 100/200 -K 200 -2 SM 460 HD. Feluwa.
- ✓ Presión de trabajo: 16 bar
- ✓ Capacidad: 25.2 m<sup>3</sup>/h.
- ✓ Número de emboladas: 25-50 min<sup>-1</sup>.
  
- ✓ Potencia absorbida por el eje motriz: 19.3-38.6 kw.
  
- Tipo de Lubricante: CASTROL HISPIN AWHM 68



**DATOS DEL REDUCTOR (AGITADOR)**

- ✓ N° de modelo : B 0034 F L F 2 A M H 01
- ✓ Tipo: I K H
- ✓ Forma: F B K 1
- ✓ FR #: 182 T
- ✓ SF: 1.15
- ✓ Poleas: 4
- ✓ Clase: F
- ✓ Voltaje: 230/460 (60 Hz)
- ✓ Velocidad de rotación: 1755 rpm
- ✓ Máx. AMB: 40 °C
- ✓ NOM. F. L. EFF: 89.5
- ✓ MIN. F. L. EFF: 88.5
- ✓ N° Serie: 95705511 K
- ✓ BRG=L.S: 6207 ZZ
- ✓ NO= O. S: 6205 ZZ
- ✓ P.F: 84.0

**ANEXO # 2: Esquema del proceso tecnológico de la planta.**



**Figura 2.1** Esquema del proceso tecnológico planta de pulpa

**ANEXO # 3: Tablas de algunos tipos de gastos.****Tabla 4.1**

Tipos de Gastos	Gastos en USD	
	Transporte Hidráulico	Transporte Ferroviario
Desecar el carbón en la mina	-	0.757
Desecar el carbón en la industria	0.534	-
Hidrotransportación	0.34	-
Gastos no productivos	0.094	0.094
Transportación del carbón de la mina hasta la estación ferroviaria	-	0.196
Tarifa ferroviaria en la transportación	-	0.54
Transp, del carbón de la estación ferroviaria hacia la industria	-	0.11
Descarga del carbón en la industria	-	0.32
Entrega al taller de molienda	-	0.16
<b>Total</b>	<b>1.436</b>	<b>2.177</b>

**Tabla 4.2**

Material transportado	Gastos reducidos (U.S.D/T) mediante una distancia de hidrotransportación de 1km.					
	10	25	50	100	200	400
. Concentrado de mineral de hierro	0.10	0.17	0.29	0.5	1	1.96
. Suspensión de agua y carbón	-	0.56	0.64	0.78	1.13	1.79
. Carbón	-	0.5	0.61	0.82	1.22	2.02



Tabla 4.3

<b>País</b>	<b>Material transportado</b>	<b>Longitud de la Tubería Km</b>	<b>Diámetro de la Tubería mm</b>	<b>Productividad Anual M.P USD/Tm</b>	<b>Año de Entrada en explotación</b>
Papua Nueva Guinea	Concentrado de cobre	32	152	1.0	1972
Irán	Concentrado de cobre	124	102	0.3	1972
USA	Concentrado de cobre	20	102	0.4	1974
Inglaterra	Cal	102	254	1.7	1964
USA	Cal	31	178	1.5	1971
Colombia	Cal	31	178	0.4	1944
Brasil	Fósforo	126	254	2.0	1972
USA	Fábrica de Níquel	7.2	102	0.1	1970
Tanzania	Concentrado de mineral de Hierro	130	152	0.4	1957
Tanzania	Concentrado de mineral de Hierro	95	227	2.3	1967
Brasil	Concentrado de mineral de Hierro	450	510	1.2	1977
México	Concentrado de mineral de Hierro	30	204	1.5	1976
México	Concentrado de mineral de Hierro	54	204	1.8	1974
Argentina	Concentrado de mineral de Hierro	36	204	2.1	1976



Argentina	Concentrado de mineral de Hierro	176	250	1.2	1957
USD	Mineral de Hierro	437	450	4.8	1970

**Tabla 4.4**

<b>Método de transportación de la energía eléctrica por transportación del carbón</b>	<b>Gastos capitales Anuales en 1 Tm, USD</b>	<b>Gastos de explotación Anual en 1 Tm, USD</b>
Transporte hidráulico de carbón en la vía principal	10.35	2.53
Transporte de carbón por ferrocarril	12.35	3.67
Transmisión de la energía por la de alta tensión de corriente alterna	21.83	3.22
Transmisión de la energía por la de alta tensión de corriente directa	24.36	3.51