



Ministerio de Educación Superior
Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa
“Dr. Antonio Núñez Jiménez”
Facultad: Metalurgia – Electromecánica
Departamento: Metalurgia y Química

EFICIENCIA DEL SISTEMA DE BOMBEO DE PULPAS DE YESO EN LA EMPRESA COMANDANTE PEDRO SOTO ALBA

**TRABAJO DE DIPLOMA EN OPCIÓN AL TÍTULO DE INGENIERO
EN METALURGIA Y MATERIALES**

YORLAIDYS DURÁN TEXIDÓ

Moa, 2014



Ministerio de Educación Superior
Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa
“Dr. Antonio Núñez Jiménez”
Facultad: Metalurgia – Electromecánica
Departamento: Metalurgia y Química

EFICIENCIA DEL SISTEMA DE BOMBEO DE PULPAS DE YESO EN LA EMPRESA COMANDANTE PEDRO SOTO ALBA

**TRABAJO DE DIPLOMA EN OPCIÓN AL TÍTULO DE INGENIERO
EN METALURGIA Y MATERIALES**

Autora: Yorlaidys Durán Texidó
Tutores: Prof. Tit. Antonio Chang Cardona, Dr. C
Prof. Aux. Gabriel Hernández, MsC.
Ing. Maikel Regalado Romero

Moa, 2014

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Yo: Yorlaidys Durán Texidó, autor de este trabajo de diploma declaro la propiedad intelectual del mismo al servicio del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, para que dispongan de su uso cuando estimen conveniente.

Diplomante: Yorlaidys Durán Texidó

Dr.CAntonio Chang Cardona

Ms.C Gabriel Hernández

Ing. Maikel Regalado Romero

PENSAMIENTO

PENSAMIENTO

“El hombre puede hacer muchas cosas producto de su propio esfuerzo físico y espiritual, y el que se propone cultivar la virtud, la cultiva; el que se proponga alcanzar una moral alta, la alcanza; el que se proponga adquirir más conocimientos, los adquiere; el que se proponga ser mejor estudiante, puede llegar a ser mejor estudiante; el que se proponga alcanzar los más altos niveles del conocimiento, los alcanza”

Fidel



DEDICATORIA

DEDICATORIA

La vida nos pone metas, nuestro éxito es cumplirlas y solo; la humanidad reconocerá si es historia.

Dicen que nunca se llega solo a la meta, y el haber llegado hasta aquí se lo debo a muchas personas; por eso quiero dedicar este trabajo de diploma a:

- *A Dios por haberme permitido llegar hasta el fin.*
- *A mi madre por entregarme la vida, su confianza y apoyo incondicional.*
- *A mi papá por su dedicación y devoción.*
- *A mi hija por existir y regalarme momentos felices.*
- *A mis hermanos Yoandris y Yordany Durán Texidó.*

AGRADECIMIENTOS

AGRADECIMIENTOS

- *A mis padres René R. Durán Barrientos y Ana Celia TexidóOrtíz por ser mi ejemplo de lucha y perseverancia.*
- *A mi hija por no permitir que me rindiera y hacer otra persona de mí con su entrega y amor.*
- *A mis profesores que en el transcurso de estos cinco años hicieron posible mi formación como Ingeniera en Metalurgia y Materiales.*
- *A todos aquellos que de una forma u otra tuvieron que ver para que este sueño se hiciera realidad.*
- *A la Revolución Cubana, por la oportunidad que da a los jóvenes de formarse como profesionales.*
- *A mis compañeros de grupo.*
- *A mis amigos y hermanos Héctor Torres y Marilú Sosa que siempre me apoyaron.*
- *A mis profesores y amigos LiannisColumbié, Rodney Martínez, José Alayo, Evangelia García, Amaury Palacios y BeatrizRamirez que siempre fueron implacables conmigo para que llegara hasta el final.*
- *A mis amigos del aula YannelisFavier, Osmar Reyes y Yosbel Romero.*
- *A mis tutores el Dr.C Antonio Chang Cardona, Ms.C Gabriel Hernández y al Ing. Maikel Regalado por su gran apoyo.*
- *A mi amiga Suraima Pavón por siempre estar disponible para cumplir mis caprichos.*
- *A mi amiga Tatiana Poulot por ser siempre tan pegajosa y colaboradora.*
- *A mi amor Yorley por tenerme fe y no permitirme que dejara la universidad.*

A todos, ¡muchas gracias!

RESUMEN

RESUMEN

En la presente investigación se realizó el estudio sobre la correlación entre los parámetros de operación de las bombas centrífugas de yeso, la productividad y el consumo de energía de la planta de neutralización de la empresa “Comandante Pedro Soto Alba”, actualmente desconocido. El trabajo fue llevado a cabo a escala industrial, donde empleando el método de la observación y la recopilación de datos se hizo un diagnóstico donde se estableció que las principales causas que limitan la productividad de la planta fueron los bajos y los altos inventarios en los tanques de licor lixiviado y lavado, así como las averías en las líneas y bombas centrífugas de yeso, cuya información fue procesada empleando software profesionales como el Excel y el STATGRAPHICS CENTURION XV.II, para conocer las desviaciones y tendencias del consumo de energía en la planta de estudio. Se concluyó que las principales causas de sobreconsumo de energía eléctrica están motivadas por el inventario de los tanques de licor lixiviado, las averías, problemas operacionales y poco control del sistema, además se obtuvo un modelo estadístico matemático que describe las normas adecuadas de consumo de energía en el sistema de bombeo de la planta de neutralización de la empresa Comandante Pedro Soto Alba de Moa, donde se obtuvo utilizando el método de correlación múltiple que el modelo estudiado tiene un 33,04 % de correlación según las variables estudiadas, por debajo de las exigencias a nivel industrial.

Palabras Clave

Bombas centrífugas, neutralización, energía, correlación múltiple, diagnóstico

SUMARY

This research was conducted to study the correlation between the operational parameters of the gypsum centrifugal pumps and productivity and energy consumption rates of the Neutralization plant from the "Comandante Pedro Soto Alba-Moa Nickel S.A" company, which are currently unknown. The investigation was carried out on an industrial scale. Observation and data collection were used as diagnostics methods to determine that the main causes that limit plant productivity were low and high inventories in the leached and washed liquor tanks, as well as failures reported to occur in the gypsum pipeline and centrifugal pumps. The collected information was processed using professional software like Excel and STATGRAPHICS CENTURION XV.II to calculate deviations and trends of energy consumption in the plant operations being studied. It was concluded that the main causes of overconsumption of electricity are attributed to the inventory in the leached liquor tank, breakdowns, operational problems and poor control of the system. Moreover, a mathematical statistical model that describes the appropriate rates of energy consumption was obtained for the pumping system from the Neutralization plant in the "Comandante Pedro Soto Alba-Moa Nickel S.A" company based in Moa. This proposed model resulted from the application of the multiple correlation method showing a 33,04 % correlation according to the studied variables, which are below the industrial level requirements.

Key Words

Centrifugal pumps, neutralization, energy, multiple correlation, diagnostics

INDICE

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
1 MARCO TEÓRICO.....	4
1.1 Generalidades del proceso y equipos de la planta de Neutralización.....	4
1.2 Características de las bombas de pulpa de yeso.....	5
1.3 Antecedentes.....	7
1.4 Los métodos de investigación.....	9
1.5 La reología como ciencia y el comportamiento reológico de diferentes sistemas.....	10
1.6 Análisis y aplicación del transporte hidráulico.....	11
1.6.1 Propiedades de los fluidos.....	12
1.6.2 Ecuación de balance de energía mecánica.....	16
1.7 Bombas.....	17
1.7.1 Definiciones básicas.....	17
1.7.2 Bombas centrífugas.....	18
1.7.3 Potencia teórica.....	19
1.7.4 Eficiencia de bombeo.....	19
1.7.5 Trabajo de las bombas para las redes.....	20
1.7.6 Funcionamiento conjunto de las bombas.....	20
Conclusiones del capítulo.....	21
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	22
2.1 Herramientas.....	22
2.2 Metodologías utilizadas.....	26
2.2.1 Diagnóstico de las principales averías en la Planta de Neutralización y las bombas centrífugas de yeso.....	26
2.2.2 Obtención del modelo estadístico-matemático.....	29
Conclusiones del Capítulo.....	33
3 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	34
3.1 Principales afectaciones en la planta de neutralización en el año 2013.....	34
3.2 Principales averías de las bombas centrífugas de yeso.....	38
3.3 Obtención del modelo estadístico-matemático.....	38
3.4 Caracterización de los parámetros escogidos.....	38

3.5 Influencia de cada parámetro sobre el consumo energético para la base de datos libre de averías.....	43
3.6 Obtención del modelo estadístico - matemático para el consumo de energía de la planta de neutralización	46
3.6.1 Validación del modelo obtenido	51
3.7 Valoración económica.....	53
3.8 Principales riesgos tecnológicos y medioambientales en la planta de neutralización.....	53
Conclusiones del Capítulo	54
CONCLUSIONES.....	53
RECOMENDACIONES.....	56
BIBLIOGRAFÍA.....	57

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

Desde los inicios de la revolución industrial en el siglo XVII se ha debatido mucho acerca del ahorro de la energía. Algunos pensadores como William Stanley Jevons en su libro (1865) titulado "The Coal Question" (la cuestión del carbón) han introducido la Paradoja de Jevons que viene a enunciar: aumentar la eficiencia disminuye el consumo instantáneo pero incrementa el uso del modelo lo que provoca un incremento del consumo global.

La eficiencia energética es una práctica empleada que tiene como objeto reducir el consumo de energía. Los individuos y las organizaciones que son consumidores directos de la energía pueden reducir el consumo energético para disminuir costes y promover sostenibilidad económica, política y ambiental. Los usuarios industriales y comerciales pueden desear aumentar eficacia y maximizar así su beneficio.

La tecnología moderna consume grandes cantidades de energía eléctrica. Esta es normalmente generada en una planta de energía que convierte otras clases de energía en energía eléctrica. Cada sistema tiene ventajas e inconvenientes, pero muchos de ellos plantean preocupaciones medioambientales. Entre las preocupaciones actuales está el ahorro de energía y el efecto medioambiental de la generación de energía eléctrica.

La industria es uno de los sectores de la sociedad más necesitados del ahorro de energía, ya que su logro supone una mayor competitividad. En este sector es muy importante el ahorro de combustible mediante manejo y distribución de la energía, así como el aumento de la eficiencia de los equipos que la utilizan todo esto reduce los costos de combustible aumentando los beneficios para las empresas.

El orden económico mundial exige de los países, un incremento en la eficiencia de su economía con el objetivo esencial de elevar su nivel competitivo y con ello conquistar un espacio en el mercado mundial. En Cuba la industria metalúrgica del níquel desempeña una ardua labor, debido a que su objetivo específico es elevar en cada una de sus empresas la productividad y la eficiencia.

La caracterización de los minerales en solución permitiría ampliar la comprensión de la influencia de algunos de los factores antes mencionados. En el proceso de lixiviación ácida a presión (LAP) de Níquel más Cobalto se manipulan y transportan gran variedad de suspensiones de diferente naturaleza: laterita, cieno carbonato, yeso, sulfuro de Ni+ Co, entre otras; sin embargo, los estudios reológicos se han concentrado hasta el momento en las pulpas de mineral lateríticos.

En los últimos veinte años la industria minerometalúrgica ha enfrentado serios problemas, referido fundamentalmente a los costos de minería y de procesos extractivos, que continuamente se han incrementado. La situación se hace más difícil al considerar la baja ley de metales valiosos en las menas, el agotamiento de las reservas de minerales y el incremento de los costos de amortización y de la energía eléctrica.

La planta “Comandante Pedro Sotto Alba” situada en Moa, fue diseñada para la obtención de Níquel y Cobalto en forma de pulpa, a partir de un material laterítico que contiene alrededor de 1,36 % de Níquel y 0,13 % de Cobalto. La obtención de esta pulpa se realiza sometiendo el mineral laterítico a diversos procesos físicos y químicos a través de plantas de proceso continuo tales como: Planta de Pulpa, Espesadores, Lixiviación, Lavaderos, Neutralización y Precipitación de sulfuros (ver Anexos 1, figura 1).

La planta de neutralización (ver Anexos 2, figura 2), tiene como objetivo principal la neutralización de licores ácidos que contienen Ni y Co con coral (90% CaCO_3) se realiza con el objetivo de eliminar el ácido sulfúrico libre contenido en esta pulpa o licor, para de esta forma lograr en un proceso posterior, la precipitación del Ni y Co en forma de sulfuros.

Se considera **situación problemática** del trabajo: Elevado consumo energético de las bombas centrífugas de pulpa de yeso de la Planta de Neutralización de la Empresa Comandante Pedro Soto Alba.

De esta forma se expone como **problema de la investigación**: El insuficiente conocimiento sobre la influencia de los parámetros de operación de la pulpa de yeso sobre el consumo de energía de las bombas centrífugas SVEDALA y la planta de neutralización para garantizar la productividad.

Objeto de estudio

Las bombas centrífugas de pulpa de yeso SVEDALA de la planta de Neutralización.

Campo de acción

Consumo de energía

El **objetivo general** del trabajo es obtener un modelo estadístico-matemático que permita optimizar el consumo de energía en función de los parámetros de operación de la planta de Neutralización garantizando la productividad.

Objetivos específicos

1. Diagnosticar las causas de los elevados consumos energéticos y las pérdidas de caudal de las bombas de pulpa de yeso que afectaron la productividad de la planta de Neutralización, en el año 2013.
2. Obtener el modelo matemático – estadístico del consumo de energía en función de las productividades de la pulpa de yeso y el caudal de las bombas.
3. Proponer medidas que contribuyen al mejoramiento de las operaciones de las bombas de pulpa de yeso con el propósito de disminuir su consumo energético.

La **hipótesis de la tesis** establece que: Si se correlacionan los parámetros de la pulpa de yeso, parámetros de operación de las bombas centrífugas con el consumo de energía de la planta de Neutralización se obtendrá un modelo que permita predecir el consumo energético de las bombas.

MARCO TEÓRICO

1 MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se evalúa el marco teórico, antecedentes investigativos en los que se describen opiniones y explicaciones de la problemática planteada en este trabajo de investigación; así como también, conceptualización y las fundamentaciones respectivas en las que se especifican las orientaciones teóricas correspondientes.

1.1 Generalidades del proceso y equipos de la planta de Neutralización.

Dentro del proceso productivo de la Planta de Neutralización de la Empresa "Comandante Pedro Sotto Alba", Moa Nickel S.A, las bombas de pulpa de yeso desempeñan un papel fundamental.

La planta está compuesta por dos trenes o unidades de producción (ver Anexo 2, figura 2), cada tren o unidad de producción cuenta con la capacidad suficiente para satisfacer los planes de producción de la empresa y cuenta con los siguientes equipos:

- Cuatroreactores de neutralización.
- Un sedimentador de pulpa de yeso. Diámetro 43 m.
- Dos bombas de pulpa de yeso. Bombas centrífugas marca Svedala, modelo: HRC – 2005.

La planta cuenta además con los siguientes equipos comunes:

- Un tanque de almacenaje de licor crudo (174-TK-7).
- Cinco bombas de licor producto. Marca Durco, modelo: HHK4 – 0 – 110.
- Dos tanques de almacenaje de pulpa de coral.
- Un compresor de aire
- Dos cajas distribuidoras de pulpa de yeso
- Extractor de gases
- Bombas para el bombeo de Coral

- Bomba de achique

En dependencia de las características del proceso, el licor puede ser procesado en la planta de cuatro formas diferentes:

1. Puede recibirse directamente desde Lavaderos (Operación directa).
2. Puede recibirse directamente desde Lavaderos y además agregar licor del tanque de almacenaje de licor crudo (174-TK-7) (Operación semidirecta).
3. Puede recibirse en el tanque de almacenaje de licor crudo y consumirse de este; es decir todo el licor que se procesa se extrae de dicho tanque (Operación directa del tanque de licor ácido).
4. Puede recibirse desde lavaderos a través de las bombas de licor ácido de Neutra como reforzadoras (Operación en serie).

El licor antes de llegar a los reactores recibe una inyección de H_2S , con el objetivo de reducir el hierro, el cromo y precipitar el cobre en forma de sulfuro de cobre (CuS). Luego el licor reducido es neutralizado en un sistema de cuatro reactores en serie mediante la adición de pulpa de coral (90 % de $CaCO_3$)

La pulpa neutralizada que sale de los reactores llega a la caja distribuidora número 2 y de esta es alimentada en partes iguales a los sedimentadores por medio de canales de alimentación

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

El reboso de los sedimentadores lo constituye el licor producto, producto final de la planta, este se puede enviar directamente hacia la Planta de Lixiviación o almacenado en el tanque 174-TK-8.

1.2 Características de las bombas de pulpa de yeso

Las bombas centrífugas de yeso se codifican como 174-PU-3A,3B,3C y 3D. Su función es extraer el yeso del fondo de los sedimentadores para enviarlo a Lavaderos y a la caja distribuidora 1 (figura 1.1).

Tabla 1.1. Características de las bombas centrífugas 174-PU-3A/B/C/D de la planta de Neutralización.

Bomba	
Marca	Svedala
Diámetro del impelente	482 mm
Capacidad	7,57 m ³ /min
Carga dinámica total	19,8 m
Material de Construcción	SS-316
Motor	
Potencia:	55 kW
Velocidad del motor y bomba	1780 r.p.m.
Tensión	440 V 60 Hz 3 fases
Son bombas centrífugas de velocidad variable	

Los datos técnicos de las bombas centrífugas fueron tomados de la ficha técnica ofrecida por el fabricante Metso Minerals, la misma se puede encontrar en el archivo técnico de la Empresa Pedro Soto Alba. En el anexo 3, figura 3, se puede encontrar la curva característica de las bombas centrífugas SVEDALA.



Figura 1.1. Bombas centrífugas de pulpa de yeso de la planta de Neutralización. Marca SVEDALA

1.3 Antecedentes

Para la realización de este trabajo se ha realizado una extensa búsqueda bibliográfica, se han consultado artículos, revistas y otros materiales. Esta búsqueda estuvo dirigida en dos líneas fundamentales como son: la información relacionada con el enfoque teórico y los trabajos relacionados con la de sistemas de bombeo.

En los últimos años se han emprendido varios estudios en relación a la eficiencia energética de las empresas, sistemas de bombeo, entre otros.

De Armas, (2007); plantea una metodología, sobre la base del análisis técnico - económico, posibilitando la minimización de las pérdidas de energía en los sistemas eléctricos industriales integralmente.

Un principio importante, es el uso de los motores con fines de accionamiento para adaptar éstos óptimamente a las máquinas de trabajo. Los motores eléctricos se refieren al tipo de construcción y conmutación del motor, así como a sus magnitudes de potencia.

Los motores sobredimensionados repercuten negativamente sobre el grado de eficiencia, el factor de potencia y por tanto, sobre la economía de la empresa y los costos de la inversión, Reyes Carvajal & Jáuregui, (2006); realizan un estudio de la carga de los motores asíncronos y su incidencia sobre el reactivo, no tiene en cuenta las mejoras del factor de potencia por disminución de reactivo.

Todos los equipos eléctricos que en su funcionamiento necesitan campos magnéticos, tienen siempre junto a la potencia eficaz hacia el exterior (potencia eléctrica efectiva) una potencia necesaria no eficaz hacia afuera para la constitución del campo magnético (demanda eléctrica de potencia reactiva).

El factor de potencia es la relación de la potencia activa con la potencia reactiva, el mismo caracteriza la correlación de las potencias eficaces activa y reactiva, que constituyen un índice de utilización cualitativa de la energía eléctrica. Mejorar este parámetro es una necesidad económica real. Elevar el factor de potencia al valor cercano a la unidad es una de las grandes tareas de las empresas industriales, utilizando dos vías:

- Medidas que no exijan la utilización de medios de compensación.
- Utilización de los medios de compensación.

Borroto Nordelo, (2002); propone mejorar la eficiencia en los sistemas eléctricos industriales utilizando la programación lineal.

Al crecer los costos de la energía y a medida que el suministro y el uso de la misma requieren un esfuerzo de planificación a medio plazo, se comprende la necesidad de establecer mecanismos de gestión energética. Es decir, es preciso conocer los consumos y usos de las distintas fuentes energéticas.

Campos, Gómez, & Santos, (2006); proponen las herramientas básicas y procedimientos para programas de control y mejoramiento de la eficiencia energética en empresas de producción y servicios.

Lo más importante para lograr la eficiencia energética de una empresa no es sólo que tengamos un plan de ahorro de energía, sino que exista un sistema de gestión energética que garantice que ese plan sea renovado cada vez que sea necesario, que involucre a todos, que eleve cada vez más la capacidad de los trabajadores y directivos para generar y alcanzar nuevas metas en este campo, que desarrolle nuevos hábitos de producción y consumo en función de la eficiencia, que consolide los hábitos de control y autocontrol y en general que integre las acciones al proceso productivo o de servicios que se realiza.

El proceso para optimizar la gestión energética se inicia con un diagnóstico para evaluar la situación actual, identificando las principales oportunidades de ahorro que posteriormente son objeto de estudios y proyectos específicos.

Borroto Nordelo, (2006); propone una metodología para la gestión de la energía en pequeñas y medianas empresas.

Básicamente el alcance de la gestión energética consiste en realizar, conjuntamente con el cliente, un análisis de la situación energética de la planta industrial, a manera de diagnóstico (cuánta energía se consume, dónde se consume, qué cantidad de ella se desperdicia, etc.), con el objetivo de identificar oportunidades evidentes de ahorro que se traduzcan en beneficios económicos directos.

Un análisis de esta naturaleza, cuyos principales indicadores son el índice energético y el potencial de ahorro de energía, puede conducir a la introducción de mejoras que aumentarán la eficiencia energética en las instalaciones industriales.

1.4 Los métodos de investigación

Falcón Hernández, (2008); comenta que el éxito de toda investigación científica está en la solución del problema científico, en alcanzar los objetivos y en la comprobación de la hipótesis y esto depende del acierto que se tenga en la selección del método, los procedimientos y técnicas de investigación.

Podemos definir el método como el camino, la vía, la estructura del proceso de la investigación científica; es el sistema de procedimientos; la forma de estructuración de la actividad para transformar el objeto, para resolver el problema, para lograr los objetivos. Los procedimientos son las distintas operaciones que, en su integración, componen el método. El método se refiere al todo y está relacionado con el objetivo, el procedimiento es la parte que adecua a las condiciones específicas en que se va desarrollando la investigación.

La técnica es una operación del método que está relacionada con el medio que se utilice. Constituye una operación especial para recolectar, procesar o analizar información. La técnica se realiza bajo una orientación definida, y está más ligada a la etapa empírica de la investigación. Todo método de investigación científica está basado en un aparato conceptual determinado y en las reglas que permiten avanzar en el proceso de conocimiento, desde lo conocido a lo desconocido.

Expone que los métodos de la ciencia resulta una familia de métodos cada uno de los cuales difiere de acuerdo a la materia involucrada, a la medida del fenómeno y experimentación u observaciones repetidas. Entre los métodos de la ciencia se incluye el estudio de la hipótesis científica, la inducción y además de teorías, leyes y métodos de explicación.

El método científico se aplica a la ciencia no-experimental, observacional y teórica, así como a la ciencia experimental. Existen métodos lógicos o generales aplicados a todos los campos de la investigación. Entre ellos se encuentran:

Métodos teóricos:

1. **Histórico lógico:** Se hace necesario para determinar los rangos de los parámetros **óptimos** de operaciones, el análisis de los datos estadísticos obtenidos en las diferentes etapas, así como la valoración de trabajos anteriores asociados.
2. **Hipotético-Deductivo:** Propicia la correlación entre los resultados esperados y los resultados obtenidos durante el proceso de investigación, por lo que permite establecer parámetros de calidad y fijar valores predeterminados.

3. **Análisis y Síntesis:** Favorece el proceso de valoración de los aspectos más generales de estudios realizados al respecto y aplicarlos a los aspectos particulares de la investigación.
4. **Métodos Analíticos:** Se realizan valoraciones físico-químicas para determinar los parámetros de calidad del producto final, que permitan corregir las operaciones en el proceso de sinterización del producto final.

Métodos empíricos:

1. **Entrevistas a expertos:** Se utiliza con la finalidad de obtener las mayores y mejores experiencias relacionadas con la temática investigada.
2. **Métodos estadísticos:** Contribuyen a la cuantificación de los resultados de la investigación, así como a la recogida de datos de los análisis realizados, los cuales luego permiten realizar una valoración acertada de la técnica empleada.

El término diagnóstico es asociado comúnmente con el área médica, definiéndose como un conjunto de signos o síntomas particulares de una enfermedad, a partir de los cuales el médico toma las medidas necesarias para combatir los agentes que la causaron.

De manera análoga el “diagnóstico energético” efectúa una serie de técnicas de exploración y evaluación que permiten determinar el grado de eficiencia/deficiencia que tiene una empresa o planta en nuestro caso.

Tiene como base la identificación del consumo energético, que puede definirse como la respuesta a la pregunta ¿Cómo, dónde y cuánta energía es empleada o desperdiciada? En sistemas, además del análisis del consumo energético se requieren los perfiles energéticos, lo cual permite establecer las áreas potenciales de ahorro de energía.

1.5 La reología como ciencia y el comportamiento reológico de diferentes sistemas

La reología, como una rama independiente de las ciencias naturales, surgió hace más de 60 años. Su origen se relaciona con la observación de un comportamiento "extraño" o anormal de muchos materiales bien conocidos como las pinturas, las soluciones coloidales, las arcillas, el yogurt, los plásticos, pastas farmacéuticas, selladores empleados para la construcción, entre otros. Según Garcell, Díaz, & Surrís, (1988); Malkin, (1994); James & Blakey, (2004); la reología es una ciencia que estudia las propiedades mecánicas de diversos productos naturales y tecnológicos, o sea, estudia la deformación de los materiales, incluyendo el flujo de los mismos.

Varios investigadores en el mundo han dedicado sus estudios al campo de la reología de las lateritas procedentes de distintos yacimientos Bhattacharya , Panda , & Bandopadhyay, (1998); Lason, (1999);Klein & Hallbom, (2002); Blakey & James,(2003).

Otros han analizado el comportamiento reológico de suspensiones de minerales tales como bentonita, Bekkour, Leyama, Benchabane, & Scrivener, (2005);(İşçi, Seniha Güner, Işık Ece, & Güngör, (2005);Blakey & James, (2003); y lateritas procedentes de distintos yacimientos Bhattacharya , Panda , & Bandopadhyay, (1998);Lason, (1999);Klein & Hallbom, (2002); Blakey & James, (2003).

1.6 Análisis y aplicación del transporte hidráulico

El transporte hidráulico consiste en el traslado de fluidos a través de una tubería o canal; este tiene una gran aplicación. En la industria metalúrgica tiene gran efectividad para la transportación de concentrados de materiales y materias primas hacia las diferentes plantas que integran los complejos metalúrgicos y puertos marítimos.

Alcanzar la fiabilidad y rendimiento óptimo en el transporte de materiales, hidromezclas, gases, líquidos puros, etc, se hallará siempre en la máxima prioridad del hombre en la búsqueda de una forma de traslado (transporte) más rápido y efectivo, con la garantía de bajos costos, alta productividad, máxima seguridad operacional y bajo peligro ambiental.

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

Turino, (1996); obtuvo modelos matemáticos que reflejan el funcionamiento de las bombas centrífugas y de desplazamiento positivo. Se toman en consideración el diseño del equipo de bombeo, variaciones de la velocidad de giro, recortes en el diámetro exterior del impelente (bombas centrífugas), regulación por cambio en los volúmenes de trabajo (bombas de desplazamiento positivo) y los efectos que sobre la operación de estos equipos tiene el trasiego de fluidos de naturaleza newtoniana y no newtoniana.

Este documento profundiza en la importancia de la aplicación de modelos matemáticos para determinar el funcionamiento de las bombas centrífugas y de desplazamiento positivo, pero no correlacionan los parámetros del fluido a trasegar.

Turro, (2002); demuestra que la composición mineralógica, la concentración y temperatura de las muestras ejercen gran influencia sobre el gradiente hidráulico. Se obtuvo las correlaciones gráficas y expresiones matemáticas que describen el flujo de esas colas por tuberías; así como el factor de fricción para régimen laminar y turbulento.

Las correlaciones obtenidas permitió conformar un modelo matemático aplicado para la metodología de cálculo de las instalaciones de transporte de colas trifásicas en el proceso CARON, que permitió calcular las instalaciones, establecer regímenes racionales de trabajo y seleccionar adecuadamente el equipamiento; así como valorar el trabajo de las existentes.

Rojas, (2006), demuestra que las variables principales que participan en la evaluación de la eficiencia del accionamiento del motor de inducción son: la potencia de entrada P_e , la frecuencia angular de rotación del rotor ω_r y la densidad de la pulpa laterítica ρ , que transporta la bomba centrífuga.

1.6.1 Propiedades de los fluidos

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

La rama de la mecánica aplicada que estudia el comportamiento de los fluidos, ya sea en reposo o en movimiento, constituye la mecánica de los fluidos y la hidráulica.

Los fluidos son sustancias que se adaptan a la forma de los recipientes que los contienen. Cuando están en equilibrio no pueden soportar fuerza tangencial o cortante. Todos los fluidos son comprensibles en cierto grado y ofrecen poca resistencia a los cambios de forma.

Densidad de un fluido:

Díaz, (1989); plantea que la densidad de un fluido de una sustancia se define como su masa por unidad de volumen es, decir:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1.2.1)$$

donde:

m : Masa del fluido (kg)

V : Volumen que ocupa dicha masa (m^3)

ρ : Densidad (kg/m^3)

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

Peso específico:

El peso específico se define como su peso por unidad de volumen, se encuentra relacionado con la densidad por la aceleración de gravedad.

$$\gamma = \rho \cdot g \quad (1.2.2)$$

donde :

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

γ : Peso específico (N/m^3)

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

Se puede calcular a través de la ecuación de estado de los gases $PV = nRT$ como $P = \rho \cdot R \cdot T$

$$\gamma = \frac{P \cdot g}{R \cdot T} \quad (1.2.3)$$

donde:

P : Presión del gas (kg/cm^2)

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

R : Constante específica del gas (adimensional)

T : Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)

Volumen específico:

Es el volumen por unidad de masa y es por lo tanto el recíproco de la densidad, es decir:

$$V = \frac{1}{\rho} \quad (1.2.4)$$

donde:

V : Volumen (m^3)

ρ : Densidad (kg/m^3)

Gravedad específica:

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

$$SG = \frac{\rho}{\rho_{H_2O}} \quad (1.2.5)$$

donde:

ρ : Densidad del fluido (Kg/m^3)

ρ_{H_2O} : Densidad del agua (Kg/m^3)

Viscosidad de un fluido:

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

$$\tau = \mu \cdot \gamma^{\circ} \quad (1.2.6)$$

donde:

τ : Esfuerzo cortante (Pa)

γ° : Gradiente de velocidad (S^{-1})

μ - Viscosidad (Pa.s)

Presión de vapor:

Cuando tiene lugar el fenómeno de la evaporación dentro de un espacio cerrado, la presión parcial a que dan lugar las moléculas de vapor se llama presión de vapor. Depende de la temperatura, aumentando con ella.

Gasto:

Es la cantidad de líquido que pasa a través de la sección viva de flujo en la unidad de tiempo. Dicha cantidad se puede medir en una unidad de volumen, de peso o de masa, por lo que existen: el gasto volumétrico Q, el gasto en peso G, y el gasto en masa M (Nekrasov, 1986).

$$Q = A \cdot V \rightarrow \text{Gasto volumétrico} \left(\frac{m^3}{s} \right) \quad (1.2.7)$$

$$G = Q \cdot \gamma \rightarrow \text{Gasto en peso} \left(\frac{N}{s} \right) \quad (1.2.8)$$

$$M = \rho \cdot Q \rightarrow \text{Gasto en masa} \left(\frac{kg}{s} \right) \quad (1.2.9)$$

La forma más usada de determinar el gasto es:

$$Q = \frac{\text{volumen}}{\text{tiempo}}; \frac{l}{\text{min}}; \frac{m^3}{h} \quad (1.2.10)$$

1.6.2 Ecuación de balance de energía mecánica

Es conocido que el diseño de sistemas de tuberías requiere conocer la relación entre los gradientes de presión ($\Delta P/L$) requeridos para lograr flujos volumétricos (Q) en un intervalo de diferentes diámetros (D) del tubo, a distintas temperaturas de operación y diferentes propiedades físicas de los fluidos; Garcell, (2003).

El transporte de los fluidos a través de un conducto depende generalmente de sus características físico químicas, de los requerimientos energéticos y de las relaciones existentes entre las variables anteriormente mencionadas.

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

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

$$\frac{Z_1 g}{g_c} + \frac{P_1}{\rho} + E_{C1} = \frac{Z_2 g}{g_c} + \frac{P_2}{\rho} + E_{C2} + W_s + \sum F \quad (1.2.11)$$

Donde:

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

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

E_c – es la energía cinética media por unidad de masa, m^2/s^2

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

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

$$\sum F = \frac{\Delta P_f}{\rho} + \left(\begin{array}{l} \text{pérdidas por fricción por unidad} \\ \text{de masa debido a los efectos de} \\ \text{entrada, de accesorios de equipos etc.} \end{array} \right) \quad (1.2.12)$$

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

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

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

$$W_s = \frac{\Delta P_b}{\rho} = \frac{P_d - P_s}{\rho} \quad (1.2.13)$$

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

1.7 Bombas

Se denomina bombeo a la adición de energía a un fluido, con vista a transportarlo de un punto a otro. Desde el punto de vista físico es la transportación de la energía mecánica del motor acoplado a la bomba, en energía del líquido. Se han desarrollado un gran número de tipos de bombas que difieren ampliamente en su fundamento y construcción mecánica para cubrir una gran variedad de condiciones de trabajo.

1.7.1 Definiciones básicas

Capacidad: Es el flujo volumétrico o gasto que es capaz de entregar una bomba en unas condiciones dadas.

Carga de bombeo: Es el trabajo que debe proporcionar la bomba al fluido para que pueda vencer las diferentes resistencias que se oponen al movimiento del fluido, y se expresa en altura de líquido.

$$H_B = \frac{\Delta P}{\rho \cdot g} + \frac{\Delta v^2}{2g} + \Delta z + \frac{\sum F}{g} \quad (1.3.1)$$

Carga estática: Es la distancia vertical entre el nivel libre de la fuente de abastecimiento y el punto de descarga.

$$H_Z = Z \quad (1.3.2)$$

Carga de velocidad: Es la distancia vertical a la cual tendría que caer un cuerpo para adquirir la velocidad v:

$$H_c = V^2 / 2 \cdot g \quad (1.3.3)$$

Carga de presión: Es la longitud vertical de una columna de líquido que proporciona una presión hidrostática equivalente a la presión existente.

$$H_p = \frac{\Delta P}{\rho \cdot g} \quad (1.3.4)$$

Carga de fricción: Es la presión expresada en la altura de columna de líquido, necesaria para vencer la resistencia de fricción provocada por el movimiento del fluido.

$$H_f = \sum F / g \quad (1.3.5)$$

1.7.2 Bombas centrífugas

Principio de funcionamiento: En las bombas centrífugas la aspiración e impulsión del líquido se producen uniformes y continuamente en virtud de las fuerzas centrífugas, que surgen durante la rotación del rodete de álabes encerrado en un cuerpo de forma espiral; Karassik, (1968).

El funcionamiento de una bomba centrífuga determinada se expresa por medio de las llamadas curvas características, las cuales son brindadas por el fabricante.

Las variables que determinan el comportamiento de una bomba centrífuga son:

Q: flujo volumétrico (m^3/s)

H: carga (m)

N: revoluciones del impelente (s^{-1})

D: diámetro del impelente (m)

ρ : densidad del fluido (kg/m^3)

μ : viscosidad del fluido (Pa.s)

1.7.3 Potencia teórica

Es la potencia calculada por el balance de energía mecánica que debe ser suministrada por la bomba al fluido para poderlo transportar en las condiciones deseadas y se determina de la siguiente manera:

$$Pot_T = Q \cdot \rho \cdot g \cdot H_T \quad (1.3.6)$$

donde:

Pot_T – potencia teórica (W)

Q - caudal (m^3/s)

ρ - densidad del fluido (kg/m^3)

H_T – carga total (m)

1.7.4 Eficiencia de bombeo

La eficiencia o rendimiento mecánico es la relación existente entre la potencia que tiene el líquido a la salida de la bomba y la que se entrega a la bomba. Generalmente se expresa en porciento:

$$\% \eta = \frac{Pot_T}{Potent} \cdot 100 \quad (1.3.7)$$

donde:

Pot_T – potencia calculada por la ecuación 1.3.6,(W)

$Potent$ - potencia entregada,(W)

1.7.5 Trabajo de las bombas para las redes

Al elegir la bomba, es necesario tener en cuenta las características de la red, es decir, de la tubería y aparatos por donde se transporta el líquido. La característica de la red expresa la dependencia entre el caudal de líquido Q y la altura de elevación H , necesaria para transportar el líquido por la red dada. La altura de elevación H se puede definir como la suma de la altura geométrica de carga H_g y las pérdidas de carga h_p .

$$H = H_g + h_p \quad (1.3.8)$$

A la combinación de las características del sistema y de la bomba se denomina punto de trabajo. Este punto corresponde al caudal máximo de la bomba Q_1 durante su funcionamiento para la red dada. Si se necesita un caudal más grande es necesario aumentar el número de revoluciones del motor eléctrico o bien cambiar la bomba por una de mayor caudal. El aumentar del caudal puede también lograrse reduciendo la resistencia hidráulica h_p .

1.7.6 Funcionamiento conjunto de las bombas

A veces en la práctica se emplea la conexión en paralelo o en serie de bombas que funcionan para una misma red.

En el caso de la conexión en paralelo, la característica total de las bombas se obtiene sumando las abscisas de las características de cada una de ellas para la altura de elevación dada. No obstante, el caudal total siempre será menor que la suma de las capacidades de las bombas que funcionan independientemente una de la otra. Por eso la conexión en paralelo de las bombas se emplea para aumentar la capacidad del equipo de bombas.

En el caso de la conexión en serie de las bombas la característica total se obtiene sumando las alturas de elevación de las mismas para valor de caudal. Para semejante conexión de las bombas se logra aumentar considerablemente la carga desarrollada, aun cuando la característica de la red sea relativamente pendiente.

Sistema de tuberías en serie y en paralelo

Cuando se conectan tuberías de diferentes diámetros en serie, las pérdidas por fricción del sistema serán igual a la suma de las pérdidas de cada uno de los tramos:

$$\sum F_1 + \sum F_2 = \sum F_T \quad (1.3.9)$$

Y

$$Q_1 = Q_2 = Q_T \quad (1.3.10)$$

Cuando dos o más tuberías, partiendo del mismo punto A, vuelven a unirse en otro punto B o descargan en un punto a la misma presión, se dice que el sistema constituye una conexión en paralelo, y en estos casos:

$$Q_1 + Q_2 = Q_T \quad (1.3.11)$$

y

$$\sum F_1 = \sum F_2 \quad (1.3.12)$$

Conclusiones del capítulo

1. Existe suficiente información acerca de la utilización de las metodologías para realizar un diagnóstico energético en los sistemas de bombeo que intervienen en el proceso de lixiviación ácida a presión.
2. Las propiedades de las pulpas que tienen mayor peso sobre el consumo energético de las bombas son el porcentaje de sólidos, densidad, configuración de la red hidráulica y el flujo o caudal de la bomba.

MATERIALES Y MÉTODOS

2. MATERIALES Y MÉTODOS

En este capítulo se abordan los principales aspectos relacionados con el trabajo desarrollado en la Planta de Neutralización de la Empresa Comandante Pedro Sotto Alba. Se hace una breve descripción de los materiales empleados, software utilizado y los principales métodos.

2.1 Herramientas

Las herramientas utilizadas en el presente trabajo se relacionan a continuación:

Manual de operaciones de la Planta de Neutralización

El manual de operaciones de la planta, es el documento normativo que establece los parámetros de operaciones de la planta, describe los principales equipos y operaciones.

Utilizando como referencia el manual, se identificaron los principales parámetros de operación de la planta.

Tabla 2.1. Parámetros de operación de la planta de neutralización para el año 2013.

Parámetros	
Flujo de licor a procesar en la planta, m ³ /h	991,40
Porcentaje de sólidos en la pulpa de yeso, %	22
Porcentaje de arena en pulpa de yeso, %	4,50
pH en el licor producido (u)	2,10
CaCO ₃ en yeso (%)	0,52
Ácido libre, g/L	23,20
Relación de recirculación de yeso	3
CuSO ₄ *5H ₂ O/Ni+Co, t/t	6,52
Exceso H ₂ S (ppm)	10-20
Consumo de coral/Ni+Co (t/t)	7,17

Los datos de la tabla 2.1 fueron tomados del documento digital del KeyParameter 2013.xls, que contiene los valores de operación planificados.

Los parámetros escogidos para la construcción de las bases de datos en el estudio fueron las siguientes:

Potencia consumida por la bomba centrífuga de yeso: este es el parámetro objeto de estudio. Las unidades del parámetro, tomado del Software CitectSCADA, están en galones por minutos kWh.

Flujo o caudal de las bombas centrífugas de yeso: este parámetro influye directamente proporcional con el consumo de energía de las bombas. Las unidades del parámetro, tomado del Software CitectSCADA, están en galones por minutos (gpm). Los valores mostrados en las bases de datos corresponden al caudal de yeso total de las bombas en operación y no al caudal unitario de las bombas.

Porcentaje de sólidos en la pulpa de yeso:este parámetro influye directamente sobre el consumo de energía, a mayor porcentaje de sólidos alimentados a las bombas centrífuga mayor será el consumo de energía. Las unidades del parámetro, tomado del Software CitectSCADA, están en porciento (%).

Porcentaje de arena en la pulpa de yeso:Las unidades del parámetro, tomado del Software CitectSCADA, están en porciento (%).

Densidad del licor presente en la pulpa de yeso: este parámetro estaba incluido en el diseño del estudio. No se utilizó ya que en la planta no existe un registro sistemático de los valores obtenidos durante las operaciones del año 2013.

pH licor presente en la pulpa de yeso: este parámetro se escogió porque existe un registro confiable de los valores en la base de datos de la planta y en el Software CitectSCADA.

Libro de operaciones de la Planta de Neutralización

El libro de operaciones es el documento normativo que se utiliza para la recolección de incidencias en las operaciones de la planta. En este trabajo se utiliza como referencia para la toma de datos de operaciones, averías ocurridas en la planta y las averías relacionadas con las bombas centrífugas 174-PU-3A, B, C y D con fines investigativos para la confección de la base de datos.

Se detectó como deficiencia en la planta de neutralización lo siguiente:

1. No se encuentran registros sobre las pérdidas de producción asociadas a las averías ocurridas en la planta.
2. No existe sistematicidad en los registros de las averías asociadas a las bombas centrífugas de la planta.
3. La planta no cuenta con el registro del consumo de electricidad diario.

Base de datos de los parámetros de operación 2013 de la planta de neutralización

La base de datos de los parámetros de operación es el documento donde se recopila el comportamiento diario de los parámetros de operación de la planta de neutralización correspondiente a un año natural.

En él se pueden encontrar datos por horas de operación, caudal manejados en las bombas centrífugas de pulpa de yeso, porcentaje de sólidos alcanzado en los sedimentadores, pH del licor contenido en la pulpa de yeso, porcentaje de arena, número de bombas centrífugas trabajando y el consumo energético de las mismas.

A continuación se muestran las bases de datos confeccionadas durante el estudio:

Tabla 2.2. Base de datos obtenida para los parámetros de operación escogidos durante el 2013.

Fecha	Horas de operación, Planta (h)	Caudal de las bombas centrífugas (GPM)	Porcentaje de Sólidos Pulpa de yeso (%)	Porcentaje de Arena en el yeso (%)	pH del licor en la pulpa de yeso	Consumo energético Bombas, (kW/d)	Bombas trabajando/día
01-01-2013	24,00	1433	14,13	4,31	2,19	3830,8	3
07-01-2013	24,00	1404	16,69	3,18	2,12	3677,0	3
06-02-2013	19,00	2209	16,7	2,72	2,23	3102,9	3
07-02-2013	13,50	2014	15,7	2,80	1,75	3048,0	3
08-02-2013	24,00	2580	17,51	2,89	2,17	3275,1	3
09-02-2013	24,00	2013	16,59	4,25	2,17	2731,5	3
06-06-2013	24,00	2446	19,3	3,60	2,17	4036,5	3
04-07-2013	10,50	2391	17,89	4,53	2,10	1423,5	2
05-07-2013	12,00	2392	19,41	4,58	0,00	3204,9	3
29-09-2013	24,00	1558	18,44	4,34	2,15	0,0	3
30-09-2013	24,00	1463	17,28	4,34	2,19	3760,6	3

La base de datos con avería se construyó eliminando los días que no ocurrieron averías y los días que trabajó la planta las 24 horas.

Tabla 2.3. Base de datos de las averías ocurridas durante el 2013.

Fecha	Horas de operación, Planta (h)	Caudal de las bombas centrífugas (GPM)	Porcentaje de Sólidos Pulpa de yeso (%)	Porcentaje de Arena en el yeso (%)	pH del licor en la pulpa de yeso	Consumo energético Bombas, (kW/d)	Bombas trabajando/día
08-01-2013	18,00	1369	13,91	3,18	2,23	3867,1	3
10-01-2013	12,50	1465	16,13	2,86	2,19	3892,3	3
06-02-2013	19,00	2209	16,7	2,72	2,23	3102,9	3
07-02-2013	13,50	2014	15,7	2,80	1,75	3048,0	3
17-03-2013	24,00	-	16,12	4,13	2,26	3080,3	3
18-03-2013	24,00	-	16,4	4,04	2,21	3304,7	3
25-04-2013	23,50	2209	18,17	7,54	2,61	3423,1	3
05-06-2013	22,67	2261	18,76	3,02	2,34	4042,5	3
07-11-2013	19,63	1181	16,91	2,23	2,20	449,0	1

Tabla 2.4. Base de datos libre averías ocurridas durante el 2013

Fecha	Horas de operación, Planta (h)	Caudal de las bombas centrífugas (GPM)	Porcentaje de Sólidos Pulpa de yeso (%)	Porcentaje de Arena en el yeso (%)	pH del licor en la pulpa de yeso	Consumo energético Bombas, (kW/d)	Bombas trabajando/día
04-01-2013	24,00	1483	14,18	3,57	2,19	3447,4	3
05-01-2013	24,00	1615	14,2	3,17	2,23	1559,8	2
14-02-2013	24,00	2335	16,69	3,88	2,27	3149,8	3
16-02-2013	24,00	2404	17,59	3,62	2,04	3299,4	3
17-02-2013	24,00	2437	17,42	4,64	2,26	3284,9	3

Software de Supervisión CitectSCADA. Versión 7.10 Service Pack 3

En la Empresa Pedro Soto Alba se utiliza para la supervisión del proceso productivo el CitectSCADA. Versión 7.10 Service Pack 3. Este es un Software de Supervisión perteneciente a la compañía Schneider Electric, que permite la supervisión online del

proceso industrial. En el mismo se pueden supervisar variables eléctricas, temperaturas, flujos, datos de fecha necesarios en las plantas de producción.

2.2 Metodologías utilizadas

Las metodologías utilizadas durante el desarrollo del trabajo se describen a continuación.

2.2.1 Diagnóstico de las principales averías en la Planta de Neutralización y las bombas centrífugas de yeso

Las bombas centrífugas de pulpa de yeso de la planta de neutralización son el objetivo del presente diagnóstico, para ellos primero se seguirá la siguiente metodología.

Primero se identificaron las características de la pulpa de yeso que tienen mayor influencia sobre los parámetros de operación de las bombas centrífugas de yeso 174-PU-3A/B/C/D. Luego se recopilaron los datos de producción planificados para la planta de Neutralización correspondientes al año 2013.

Se determinaron los datos técnicos de las bombas centrífugas de yeso con el objetivo de comparar los parámetros de operación y diseño. Luego se compilaron los principales problemas asociados a la producción y las principales averías ocurridas en la planta durante el año 2013.

Después se construyó la base de datos con los parámetros escogidos para el estudio. Luego se realizó un análisis donde se conformaron dos bases de datos a partir de la información recopilada. Primero se construyó la base de datos con las averías y una libre de averías. La base de datos libre de averías fue la escogida para el procesamiento estadístico y la obtención del modelo que correlaciona los parámetros escogidos con el consumo energético.

Captura de datos del Software CitectSCADA

Primer paso. Consiste en abrir el Software con el usuario predeterminado como se puede observar en la figura 2.1.

Con la ayuda del programa se pueden recopilar los parámetros correspondientes a los flujos de la planta, de las bombas centrífugas 174-PU-3A/B/C/D, porcentaje de sólidos de la pulpa de yeso a la salida de los sedimentadores, porcentaje de arena

en la pulpa de yeso, pH del licor y los flujos de la pulpa de yeso de las bombas en operación.

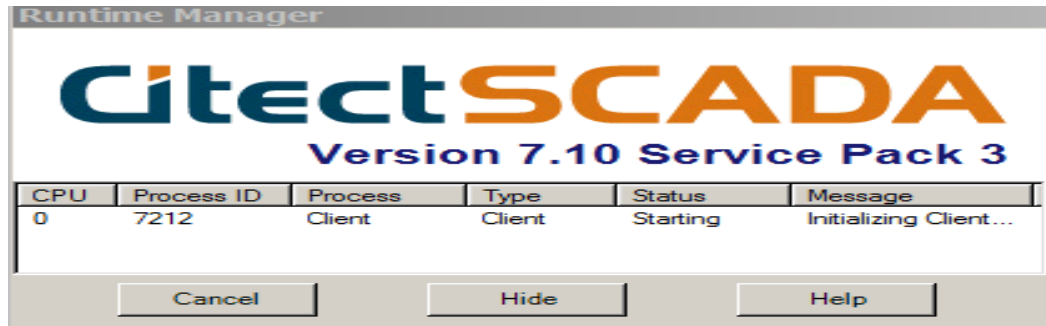


Figura2.1. Software de supervisión del proceso productivo CitectSCADA Versión 7.10 Service Pack 3

Segundo paso. Se seleccionó la pestaña Neutralización T1, como se puede observar en la figura 2.2, utilizando la interfaz correspondiente a la planta de neutralización.



Figura 2.2. Interfaz del Software CitectSCADA para la toma de muestra de los parámetros de la planta de Neutralización.

Tercer paso. Se selecciona el parámetro que se desea estudiar dando un clic sobre el mismo, como se muestra en la figura 2.3. Se obtiene una gráfica que describe el comportamiento como se puede observar en la figura 2.4. Luego se seleccionó el intervalo de tiempo correspondiente al año 2013 y por último se captan los datos y se procede a su análisis

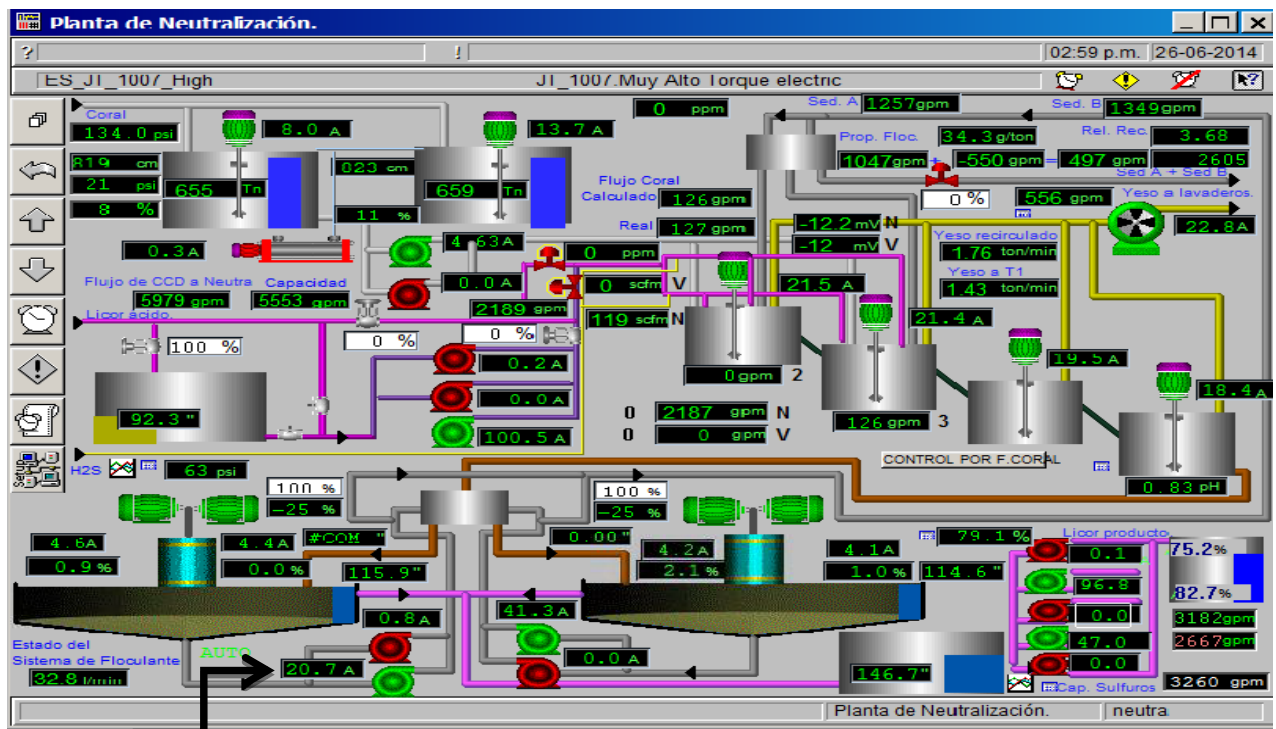


Figura 2.3. Interfaz del Software CitecSCADA para la toma de muestra de los parámetros de la planta de Neutralización.

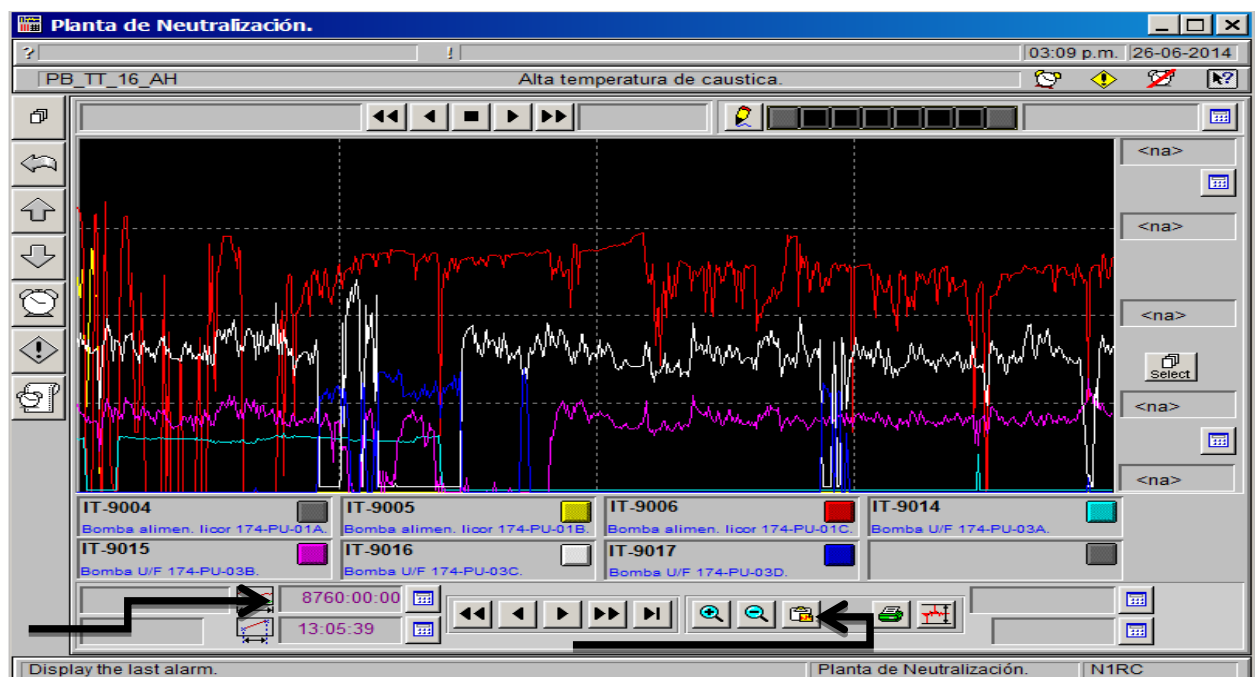


Figura 2.4. Interfaz del Software CitecSCADA para la toma de muestra de los datos de la planta de Neutralización (continuación)

2.2.2 Obtención del modelo estadístico-matemático

Para la determinación del modelo estadístico-matemático, se siguieron los siguientes pasos:

1. Caracterización de los parámetros de la base de datos.

Esta caracterización se realizó, a cada uno de los parámetros que pertenecen a la base de datos libres de averías, con el objetivo para determinar si los parámetros ajustan a una distribución normal. Esta es una condición indispensable que deben cumplir los parámetros antes de realizar cualquier estudio estadístico.

2. Obtención del modelo estadístico-matemático.

Utilizando el método de regresión múltiple se describió el impacto de los parámetros seleccionados sobre la variable respuesta consumo energético. Este método está diseñado para construir un modelo estadístico que correlaciona el efecto de los parámetros a estudiar sobre el consumo energético.

Caracterización de parámetros de la base de datos

El análisis de una muestra es uno de los principales procedimientos para caracterizar un parámetro o base de datos. La información que brinda el Software STATGRAPHICS CENTURION XV.II cuando se caracterizan los parámetros se pueden observar en las tablas 2.5 y 2.6.

Tabla 2.5. Tablas ofrecidas por el STATGRAPHICS CENTURION XV.II.

Resumen de análisis	Resume el tamaño de muestra y rango.
Resumen estadístico	Muestra resúmenes estadísticos para las n observaciones.
Tabulación de frecuencia	Tabula los datos en clases adyacentes que no se traslapan.
Percentiles	Calcula percentiles de la muestra bajo los cuales se encuentran los porcentajes especificados de los datos.
Diagrama de tallo y hoja	Muestra una tabulación de los datos usando dígitos.
Intervalos de confianza	Calcula intervalos de confianza para la media, la mediana, y la desviación estándar.
Pruebas de hipótesis	Ejecuta una prueba t, prueba de signo, y prueba de jerarquía con signo para probar hipótesis concernientes a la media y a la mediana de la población de la cual los datos son muestreados.

Tabla 2.6. Gráficos ofrecidos por el STATGRAPHICS CENTURION XV.II. Análisis de una variable.

Gráfica de dispersión	Muestra un gráfico de n observaciones.
Gráfico de caja y bigotes	Muestra un resumen de 5 números de los datos con una indicación de cualesquiera puntos atípicos.
Histograma de frecuencias	Muestra un gráfico de barras o polígono ilustrando el número de observaciones en un grupo de intervalos que cubren el rango de los datos.
Gráfico de cuantil	Muestra la distribución acumulada de los datos.
Gráfico normal de probabilidad	Crea un gráfico diseñado para ayudar a determinar si los datos vienen de una distribución normal.
Indicio de densidad	Muestra un estimado de la forma de la distribución de la cual los datos provienen sin asumir en particular ninguna forma funcional.
Gráfico de simetría	Crea un gráfico diseñado para ayudar a juzgar si los datos provienen de una distribución simétrica.

Pasos para caracterización de la muestra

La caracterización de los parámetros se realiza mediante los siguientes pasos.

Primer paso. Introducir los parámetros de la base de datos libre de averías.

Segundo paso. Seleccionar el parámetro a caracterizar. Abrir el entorno del Software STATGRAPHICS CENTURION XV.II e ir a la opción del menú **Describir**, utilizar el submenú **Datos Numéricos** y de este submenú seleccionar **Análisis de Una Variable** como se observa en la figura 2.5.

Tercer paso. Se selecciona la opción Resumen del Análisis, mediante el cual se calcula un número de diferentes estadísticas que comúnmente se usan para resumir un parámetro de n observaciones.

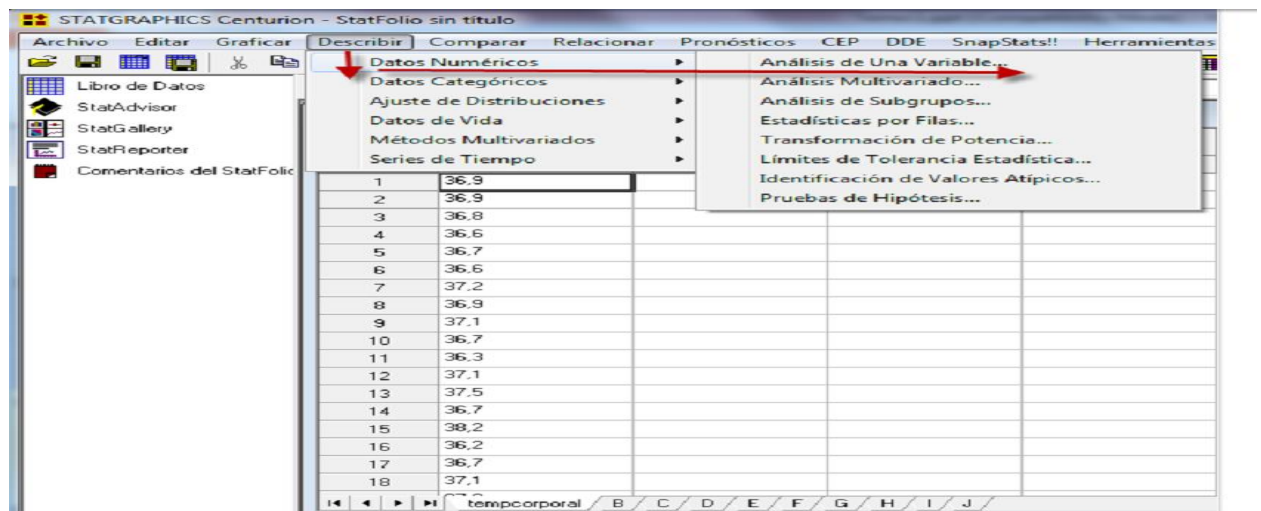


Figura 2.5. Interfaz de inicio para la caracterización de la muestra.

Cuarto paso. Se procede a caracterizar todos los parámetros de la base de datos utilizando la metodología descrita en el paso dos y tres.

Tabla2.7. Resumen estadístico de la muestra utilizando el Software STATGRAPHICS CENTURION XV.II

Resumen estadístico para caudal bomba	
Recuento	290
Promedio	2134,56
Desviación estándar	378,53
Coeficiente de variación	17,73
Mínimo	1212,0
Máximo	2825,0
Rango	1613,0
Sesgo estandarizado	-7,54
Curtosis estandarizada	0,98

Pasos para la determinación del modelo estadístico-matemático

Para la realización del modelo estadístico-matemático se utilizó el método de regresión de variables múltiples.

El procedimiento de regresión múltiple está diseñado para construir un modelo estadístico describiendo el impacto de dos o más factores cuantitativos X sobre una variable dependiente Y.

El procedimiento incluye una opción para realizar regresión por pasos, en la cual se selecciona una de las variables X antes establecidas. El modelo colocado puede ser usado para hacer predicciones, incluyendo límites de confianza y límites de predicción. Los residuos pueden también ser graficados observando la manera en que influyen.

El resumen del análisis muestra la información acerca del modelo ajustado como se muestra en la figura 2.6.

Regresión Múltiple - Consumo de bombas					
Regresión Múltiple - Consumo de bombas					
Variable dependiente: Consumo de bombas					
Variables independientes:					
Caudal Bomba					
pH del licor					
Porcentaje de Arena					
Porcentaje Sólidos					
		Error	Estadístico		
Parámetro	Estimación	Estándar	T	Valor-P	
CONSTANTE	-1612.97	1299.98	-1.24077	0.2157	
Caudal Bomba	1.58563	0.153639	10.3205	0.0000	
pH del licor	912.731	546.79	1.66925	0.0962	
Porcentaje de Arena	84.2662	36.1386	2.33175	0.0204	
Porcentaje Sólidos	-61.7905	44.9282	-1.37532	0.1701	
Análisis de Varianza					
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	1.07934E8	4	2.69836E7	35.51	0.0000
Residuo	2.16542E8	285	759796.		
Total (Corr.)	3.24476E8	289			
R-cuadrada = 33.2642 por ciento					
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 32.3276 por ciento					

Están incluidas en la salida:

- **Variables:**(Consumo de energía de las bombas centrífugas de pulpa de yeso).
La forma general del modelo es:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k \quad (2.3.1)$$

Donde k es el número de variables independientes. (caudal, porcentaje de sólidos y arena, pH del licor)

- **Coeficientes:** los coeficientes estimados, errores estándar, estadístico t y P-valores. Las estimaciones de los coeficientes del modelo pueden ser usadas para escribir la ecuación ajustada.

Conclusiones del Capítulo

1. En este capítulo se relacionan los principales procedimientos utilizados para la determinación del diagnóstico de las averías de la planta de neutralización.
2. Las técnicas de análisis estadístico utilizando el Software STATGRAPHICS CENTURION XV.II brinda información para la toma de decisiones sobre el comportamiento y proporciona análisis para determinar la correlación entre los parámetros escogidos.

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

3 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

En el presente capítulo se procedió a realizar el análisis de las principales averías ocurridas en la planta utilizando la metodología de diagnóstico descrita en el capítulo 2. Luego se utilizó el método de regresión múltiple con el objetivo de obtener el modelo estadístico-matemático que permita correlacionar los parámetros escogidos.

3.1 Principales afectaciones en la planta de neutralización en el año 2013

Para la determinación de las principales incidencias ocurridas en la planta de neutralización se procedió a recopilar la información existente en los libros de operaciones correspondientes al año 2013 y años anteriores de la planta de neutralización. A continuación se enuncian de las principales incidencias ocurridas en la planta durante el 2013, que provocaron una limitación en la operación de la planta.

- a) Limitaciones de la capacidad de la planta por bajo inventario de licor en el tanque 174-TK-7. Al existir bajo inventario de licor la planta no puede procesar el flujo de licor necesario para garantizar la producción en la planta de sulfuros.
- b) Limitaciones de la capacidad de la planta por alto inventario de licor en el tanque 174-TK-8. Al existir alto inventario de licor en este tanque, la planta no puede procesar el flujo de licor necesario para garantizar la producción en la planta de sulfuros ya que la capacidad de la planta de neutralización es mayor que sulfuros y no existe capacidad en el tanque para almacenar el licor restante.
- c) Limitada por bajo inventario de coral. Cuando esto ocurre se debe bajar la capacidad de la planta, si demora el problema se puede parar la operación de la planta.
- d) Afectaciones por fallos eléctricos.
- e) Afectaciones por ponches y trabajos de mantenimiento en las líneas de yeso de los sedimentadores.
- f) Afectaciones por averías en los reactores de neutralización.

Tabla 3.1. Resumen de las principales incidencias ocurridas en la planta de neutralización en el año 2013.

	Enero	Observaciones
1	8	Se encuentra limitado un tren por bajo inventario de licor.
2	9	Se encuentra limitado un tren por bajo inventario de licor.
3	10	Tren 1 limitado por mantenimiento al ventilador número 2
4	15	Se encuentra limitada la capacidad de la planta por alto inventario del TK-8.
5	16	Se encuentra limitada la capacidad de la planta por alto inventario del TK-8.
6	17	Se encuentra limitada la capacidad de la planta por alto inventario del TK-8.
7	29	Se encuentra limitada 10,48 h por coral.
	Febrero	
1	4	Se encuentra limitada la capacidad de la planta por alto inventario del TK-8.
2	6	La capacidad limitada además por ponche de la línea de yeso
3	7	Restableciendo la capacidad con dos trenes desde las 17,15 h que se montó el ventilador
	Febrero	
4	15	Se encuentra limitado un tren por bajo inventario de licor
5	22	Se encuentra limitado un tren por bajo inventario de licor
	Marzo	
1	12	1,58 h de paro por trabajos en la succión en el TK-8
2	13	Se paró el Tren-2 2,33 h para cambio de entre dos y reducido para inyección de H ₂ S inertes
3	14	Se encuentra limitada la planta por afectaciones en las líneas de yeso sedimentadores
4	17	Se encuentra limitado el tren por avería en reactor den tren 1
5	18	Continua limitado el tren por avería en reactor den tren 1
6	19/	Limitada la capacidad por línea el reactor-2y la limpieza de las canales de los reactores del tren-2
7	20	Limitada la capacidad durante 3,67 hrs por paro del tren - 1 para sacar de línea el reactor-3A
	Abril	
1	9	Se encuentra limitada la capacidad de la planta por bajo inventario del TK-7.
2	17	Se encuentra limitada la capacidad de la planta por bajo inventario del TK-7.
3	22	Se encuentra limitada la capacidad de la planta por bajo inventario del TK-7.
4	25	Se encuentra limitada la capacidad de la planta por bajo inventario del TK-7.

Tabla 3.1. Resumen de las principales incidencias ocurridas en la planta de neutralización en el año 2013 (continuación)

	Mayo	
1	8	Capacidad limitada por alto inventario del TK-8
2	13	Se mantiene limitada capacidad por alto inventario del TK-8
3	16	Parada de la planta por 2,25 h por cambio de pieza ponchada en TK-8
4	17	Se encuentra limitado el tren por avería en reactor 3 del tren- 2
	Junio	
1	4	Parada por paro planificado, los parámetros en operaciones operaron según instrucción
2	5	Parada por paro planificado
1	11	Parada de la planta por trabajos en líneas de yeso caja distribuidora
2	12	La planta operó 18,00 h, el resto del tiempo estuvo parada por fallo eléctrico
3	13	Avería en líneas de yeso sedimentador 6A
4	29	Limitada 10,8 h por coral
	Julio	
1	4	La planta operó – 12,15 h el resto del tiempo estuvo parada por trabajo planificado
2	5	Estuvo limitada con el tren 2 a 3200 g/m -por bomba, reactor 3A fuera de operación por limpieza
3	6	El reactor 3A fuera de operación por limpieza
4	12	El tren 2 estuvo parado 3h para sacar el reactor 2B de línea
	Agosto	
1	4	Capacidad limitada por nivel del TK-8
2	9	La planta opero las 15,00 horas el resto del tiempo estuvo parada por fallo eléctrico
3	22	Avería en líneas de yeso sedimentador 6B
4	23	Estuvo limitada 12 h desde 4000 g.p.m a 2500 g.p.m por bajo inventario de coral
5	24	Estuvo limitada 2,35 h , desde 2500 g.p.m a 3100 g.p.m por bajo inventario de coral
	Septiembre	
1	4	9,95 horas, parada a partir de las 4:57 h por paro planificado para mantenimiento
2	5	Avería en líneas de yeso sedimentador 6B
3	7	Avería en líneas de yeso sedimentador 6B, trabajos en las bombas centrífugas de yeso
4	10	Limitación por fallo eléctrico en hidrogeno
5	11/	Limitación por fallo eléctrico en hidrogeno estuvo parara 4,50 h por problema en hidrogeno
6	17	Avería en líneas de yeso sedimentador 6B
7	19	Operó 22,35 horas, estuvo parada 1,25 h por alto inventario ,por fallo eléctrico en sulfuro
8	21	Reactor 2B para mantenimiento

Tabla 3.1. Resumen de las principales incidencias ocurridas en la planta de neutralización en el año 2013 (continuación)

	Octubre	
1	21	El tren-2 parado desde las 18 h para la interconexión de la PU-3A
2	22	El tren-2 parado desde las 19,00 h y hasta las 20,25 h para la interconexión de la PU-3A
3	28	Se sacó sedimentador 6A para limpieza y trabajos de mantenimiento
	Noviembre	
1	1	Se sacó sedimentador 6A para limpieza y trabajos de mantenimiento
2	3	Se sacó sedimentador 6A para limpieza y trabajos de mantenimiento
3	7	Se sacó sedimentador 6A para limpieza y trabajos de mantenimiento
4	9	Se sacó sedimentador 6A para limpieza y trabajos de mantenimiento
5	10	Se sacó sedimentador 6A para limpieza y trabajos de mantenimiento
6	14	Se sacó sedimentador 6A para limpieza y trabajos de mantenimiento
7	21	Limitación por fallo eléctrico en hidrogeno
	Diciembre	
1	2	Se saca de operaciones el sedimentador 6A. se procede al vaciado del mismo
2	4	Se saca de operaciones el sedimentador 6A. se procede al vaciado del mismo
3	7	Se saca de operaciones el sedimentador 6A. se procede al vaciado del mismo
4	9	Se saca de operaciones el sedimentador 6A. se procede al vaciado del mismo
5	14	Limitación por fallo eléctrico en hidrogeno
6	17	Se encuentra limitada la capacidad de la planta por bajo inventario del TK-7.
7	18	Se encuentra limitada la capacidad de la planta por bajo inventario del TK-7.
8	19	Se encuentra limitada la capacidad de la planta por bajo inventario del TK-7.
9	26	Se encuentra limitada la capacidad de la planta por bajo inventario del TK-7.
10	30	Se encuentra limitada la capacidad de la planta por bajo inventario del TK-7.

Para la construcción de la tabla de averías, se tuvieron en cuenta los días donde estuvo limitada la capacidad de la planta por distintos motivos siempre y cuando no se lograra operar las 24 horas del día. Luego se procedió a construir la base de datos libre de averías donde se eliminaron los días que ocurrieron las averías enumeradas en las tabla 3.1.

Las tablas con averías y libre de averías, se construyeron a partir de la base de datos general. Las mismas se pueden encontrar en las tablas 1 y 2 de los anexos 4 y 5.

La base de datos libre de averías, se utilizó como punto de partida para el análisis estadístico con el objetivo de obtener un modelo que permita correlacionar los parámetros de operación escogidos con el consumo energético de las bombas centrífugas de pulpa de yeso.

3.2 Principales averías de las bombas centrífugas de yeso

En la planta existen 4 bombas centrífugas para garantizar los flujos productivos. Su función consiste en extraer el yeso del fondo de los sedimentadores para enviarlo a Lavaderos y a la caja distribuidora 1.

Las principales afectaciones asociadas a las bombas centrífugas se obtuvieron utilizando como referencia los libros de operaciones de neutralización y los reportes de mantenimiento de la planta en el año 2013. Como resultado del trabajo investigativo, se puede concluir que las principales afectaciones relacionadas con las bombas centrífugas fueron:

1. Cambios de correas de las bombas centrífugas
2. Cambio del sello mecánico de las bombas centrífugas (prende)
3. Cambio de las empaquetaduras de las bombas centrífugas

3.3 Obtención del modelo estadístico-matemático

Selección de los parámetros para el estudio

Para el análisis y obtención del modelo los parámetros seleccionados resultaron ser el porcentaje de sólidos en la pulpa de yeso, el porcentaje de arena contenido en la pulpa de yeso, el pH del licor contenido en la pulpa de yeso, el caudal de las bombas centrífugas de pulpa de yeso y el consumo de energía de las bombas centrífugas de yeso.

Estos parámetros fueron seleccionados teniendo en cuenta la relación que existe entre ellos y el consumo energético de las bombas centrífugas.

La base de datos libre de averías (tabla 2 Anexos), se analizó utilizando el Software STATGRAPHICS CENTURION XV.II.

3.4 Caracterización de los parámetros escogidos

La condición de normalidad es un requisito indispensable que deben cumplir los datos que se utilizarán para cualquier estudio estadístico. La caracterización de los parámetros escogidos se realizó siguiendo el método descrito en el capítulo 2. Este procedimiento se realizó con el objetivo de determinar si los datos de los parámetros escogidos proceden de una distribución normal.

El método para caracterizar la muestra utilizando el Software STATGRAPHICS CENTURION XV.II, está diseñado para resumir una sola muestra de datos. Además calcula varios parámetros estadísticos y brinda información gráfica.

Análisis del parámetro caudal de la bomba centrífuga de pulpa de yeso

El parámetro caudal de la bomba analizado contó con 290 valores. Los valores del parámetro estuvieron en el rango de 1212 a 2825 galones por minuto.

Tabla 3.2. Resumen Estadístico para caudal de bomba centrífuga de pulpa de yeso

Recuento	290
Promedio	2134,56
Desviación estándar	378,53
Coeficiente de variación, %	17,733
Mínimo	1212,0
Máximo	2825,0
Rango	1613,0
Sesgo estandarizado	-7,54
Curtosis estandarizada	0,98

Al observar los resultados del resumen estadístico, se infiere que los datos del parámetro caudal de la bomba no proceden de una distribución normal. Esto se debe a que el valor del sesgo estandarizado esta fuera del rango de -2 a +2 indicando desviaciones del comportamiento normal.

Aunque este parámetro no se ajuste a la distribución normal se considerará para el estudio de regresión múltiple, ya que pudieron haber existido problemas en la toma de los caudales en el Software CitetSCADA. Estos errores son posibles debido a la presencia de defectos técnicos en los medidores de flujo de la planta.

El valor de curtosis estandarizada se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes de una distribución normal. Este comportamiento fuera de la distribución normal se puede comprobar observando la figura 3.1.

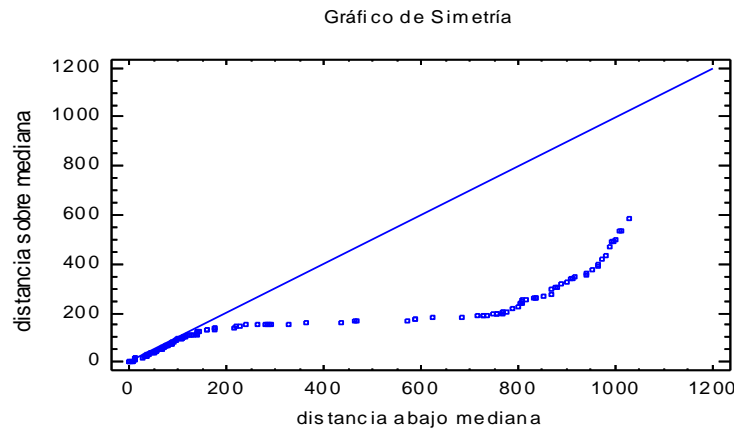


Figura 3.1. Gráfico de probabilidad normal. Parámetro caudal de las bombas centrífugas de pulpa de yeso.

Análisis del parámetro porcentaje de sólidos en la pulpa de yeso

El parámetro porcentaje de sólidos en la pulpa de yeso analizado contó con 290 valores. Los valores del parámetro estuvieron en el rango de 13,17 a 20,8 %.

Tabla 3.3. Resumen estadístico para porcentaje de sólidos en la pulpa de yeso

Recuento	290
Promedio	17,09
Desviación estándar	1,28
Coeficiente de variación, %	7,53
Mínimo	13,17
Máximo	20,8
Rango	7,63
Sesgo estandarizado	-0,97
Curtosis estandarizada	2,09

De particular interés en el análisis del parámetro porcentaje de sólidos, es que el sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada, muestran que el comportamiento del parámetro proviene de una distribución normal. Los valores de estos estadísticos están dentro del rango de -2 a +2 que indica la procedencia de los datos de la distribución normal. Este resultado se puede comprobar observando la simetría de los datos en la figura 3.2

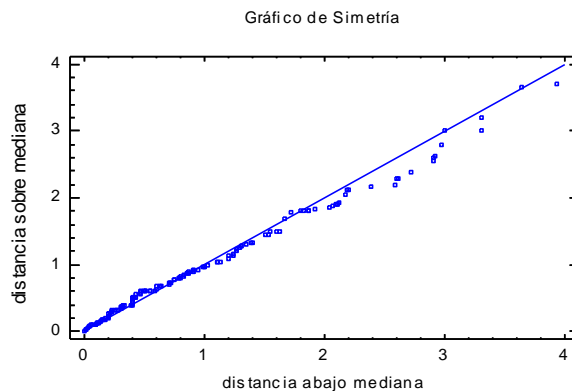


Figura 3.2. Gráfico de probabilidad normal. Parámetro porcentaje de sólidos en la pulpa de yeso.

Análisis del parámetro pH del licor

El parámetro pH del licor analizado contó con 290 valores. Los valores del parámetro estuvieron en el rango de 1,87 a 2,44.

Tabla 3.4. Resumen estadístico para pH del licor.

Recuento	290
Promedio	2,18
Desviación estándar	0,09
Coefficiente de variación, %	4,35
Mínimo	1,87
Máximo	2,44
Rango	0,57
Sesgo estandarizado	-3,91
Curtosis estandarizada	1,83

Análisis del parámetro porcentaje de arena en pulpa de yeso

El parámetro porcentaje de arena en pulpa de yeso analizado conto con 290 valores. Los valores del parámetro estuvieron en el rango de 0 a 14,1 %.

Tabla 3.5. Resumen estadístico para el porcentaje de arena en pulpa de yeso.

Recuento	290
Promedio	4,24
Desviación estándar	1,42
Coeficiente de variación, %	33,64
Mínimo	0,0
Máximo	14,1
Rango	14,1
Sesgo estandarizado	12,06
Curtosis estandarizada	33,76

Análisis del parámetro Consumo de energía de las Bombas centrífugas de pulpa de yeso

El parámetro consumo de energía de las bombas centrífugas de pulpa de yeso analizado contó con 290 valores. Los valores del parámetro estuvieron en el rango de 0 a 5690,8 kW.

Tabla 3.6. Resumen estadístico para consumo de energía de las bombas centrífugas de pulpa de yeso.

Recuento	290
Promedio	3064,19
Desviación estándar	1059,6
Coeficiente de variación, %	34,58
Mínimo	0,0
Máximo	5690,8
Rango	5690,8
Sesgo estandarizado	-9,30
Curtosis estandarizada	3,43

3.4.1 Resumen de la caracterización de los parámetros estudiados

En la tabla 3.7, se puede observar el resumen estadístico obtenido para todos los parámetros estudiados

Tabla 3.7 Resumen estadístico de los parámetros estudiados

Parámetro estudiado	Porcentaje de solidos yeso	Porcentaje de arena en pulpa de yeso	pH del licor	Consumo Energía bombas centrífugas
Recuento	290	290	290	290
Promedio	17,09	4,24	2,18	3064,19
Desviación Estándar	1,28	1,42	0,09	1059,6
Coefficiente de Variación	7,53	33,64	4,35	34,58
Mínimo	13,17	0,0	1,87	0,0
Máximo	20,8	14,1	2,44	5690,8
Rango	7,63	14,1	0,57	5690,8
Sesgo Estandarizado	-0,97	12,06	-3,91	-9,30
Curtosis Estandarizada	2,09	33,76	1,83	3,43

Como se puede deducir de la tabla 3.7, los variables pH del licor, consumo de energía de las bombas centrífugas y porcentaje de arena en pulpa de yeso muestran un comportamiento errático en su distribución. Esto se puede inferir porque en el análisis los valores de sesgo y la curtosis estandarizada están fuera del rango de -2 a 2, el cual se establece para el comportamiento normal. Estas variables según los resultados del análisis no tienen un comportamiento normal por tanto se tienen dos opciones una es utilizarla previendo un margen de error mayor en los resultados o no utilizarlas.

Este comportamiento errático de estos parámetros, puede estar influenciado por problemas en las mediciones que capta el Software CitecSCADA. Estos errores son provocados por problemas técnicos en los equipos de instrumentación tales como valores de flujo e intensidad de la corriente.

3.5 Influencia de cada parámetro sobre el consumo energético para la base de datos libre de averías

Influencia del caudal de las bombas centrífugas de yeso sobre la potencia consumida

El modelo matemático-estadístico de correlación par (ec. 3.1) entre los parámetros potencia consumida y caudal de las bombas centrífugas, demuestra que al aumentar el mismo aumenta el consumo energético pero con muy bajo coeficiente de correlación, lo que evidencia la poca significación de este parámetro.

$$P_{consumida} = 1,402 \cdot C_{bomba} - 227,7$$

ec. (3.1)

Al correlacionar la potencia consumida con el caudal de las bombas centrífugas se observa que existe muy poca correlación. La figura 3.3 muestra la curva del modelo de correlación lineal, donde se ubican los puntos alejados de la recta, lo que determina un coeficiente de correlación de 0,148; esto hace que esta correlación sea poco significativa dentro del fenómeno de los elevados consumos energéticos existentes en el sistema de bombeo de la planta de neutralización.

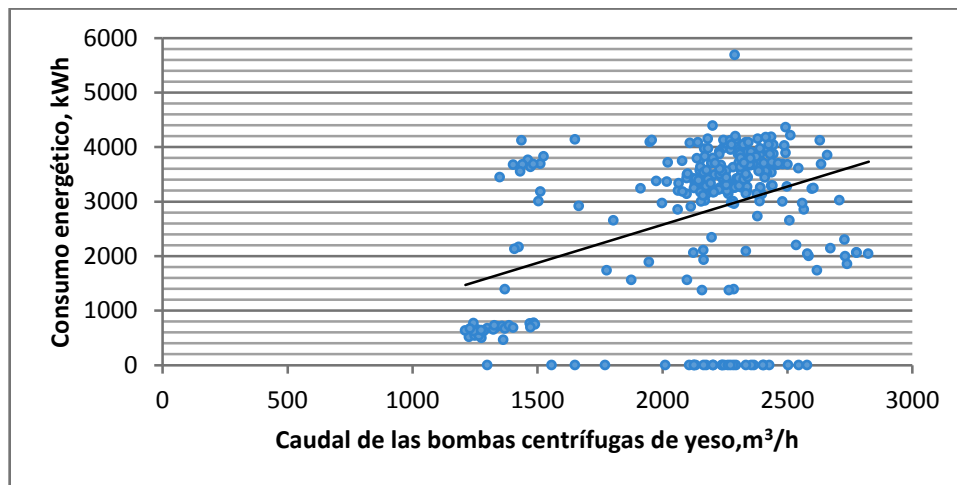


Figura 3.3 Influencia del caudal de las bombas centrífugas sobre el consumo energético.

Influencia del porcentaje de sólidos de la pulpa de yeso sobre la potencia consumida.

Al correlacionar el parámetro porcentaje de sólidos de la pulpa de yeso y la potencia consumida (ecuación 3.2), se obtuvo un coeficiente de correlación de 0,031. Esto determina la baja correlación existente entre ambos parámetros. Esta correlación no es significativa para el análisis del consumo de potencia en las bombas centrífugas de yeso de la planta de neutralización.

$$P_{consumida} = 543,2 + 147,8 \cdot P_{sólido}$$

ec. (3.2)

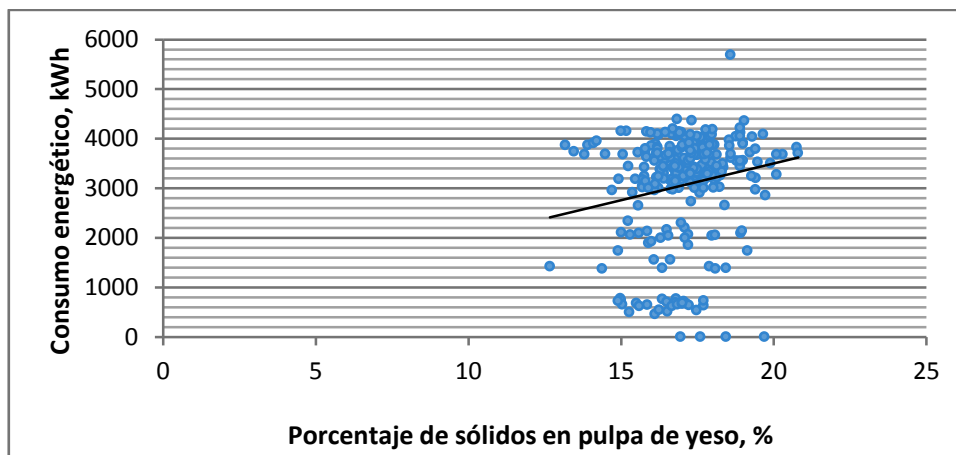


Figura 3.3. Influencia del porcentaje de sólidos en pulpa de yeso.

Influencia del porcentaje de arena en la pulpa de yeso sobre la potencia consumida.

La correlación del parámetro porcentaje de arena en la pulpa de yeso y la potencia consumida (ec. 3.3), proporcionó un coeficiente de correlación de 0,037. Esto determina la baja correlación existente entre ambos parámetros.

$$P_{consumida} = 2457 + 141,9 \cdot P_{arena} \quad \text{ec. (3.3)}$$

La figura 3.4 muestra la curva del modelo de correlación lineal, donde existen puntos pequeños alejados de la recta, lo que determina un coeficiente de correlación de 0,037; esta correlación no es significativa para el fenómeno estudiado en la planta de neutralización.

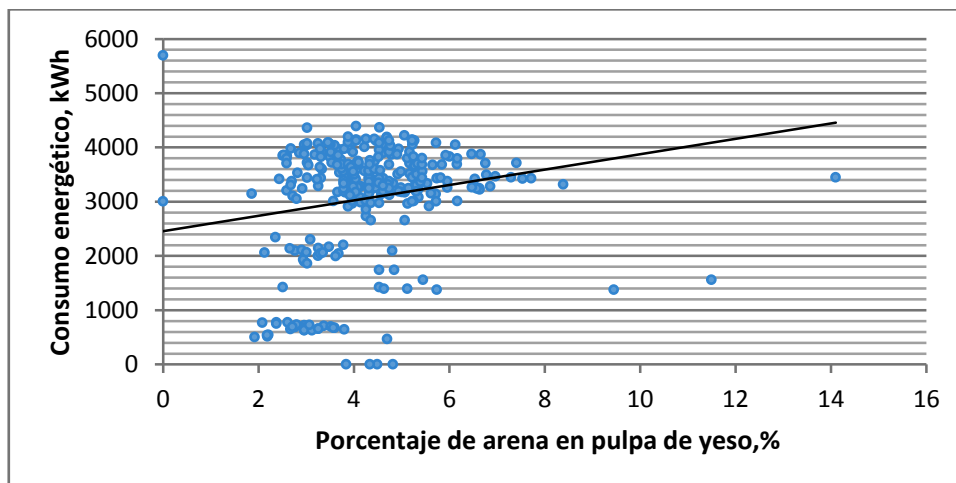


Figura 3.4. Influencia del porcentaje de arena en pulpa de yeso.

Influencia del pH del licor sobre la potencia consumida.

La correlación del parámetro pH del licor y la potencia consumida (ec. 3.4), proporcionó un coeficiente de correlación de 0,009. Se demostró la baja correlación existente entre ambos parámetros.

$$P_{consumida} = 1723 + 620,7 \cdot P_{arena} \quad \text{ec. (3.4)}$$

La figura 3.5, muestra la curva del modelo de correlación lineal, donde existen puntos pequeños alejados de la recta, lo que determina un coeficiente de correlación de 0,009; la cual no es significativa para el estudio desarrollado en la planta de neutralización.

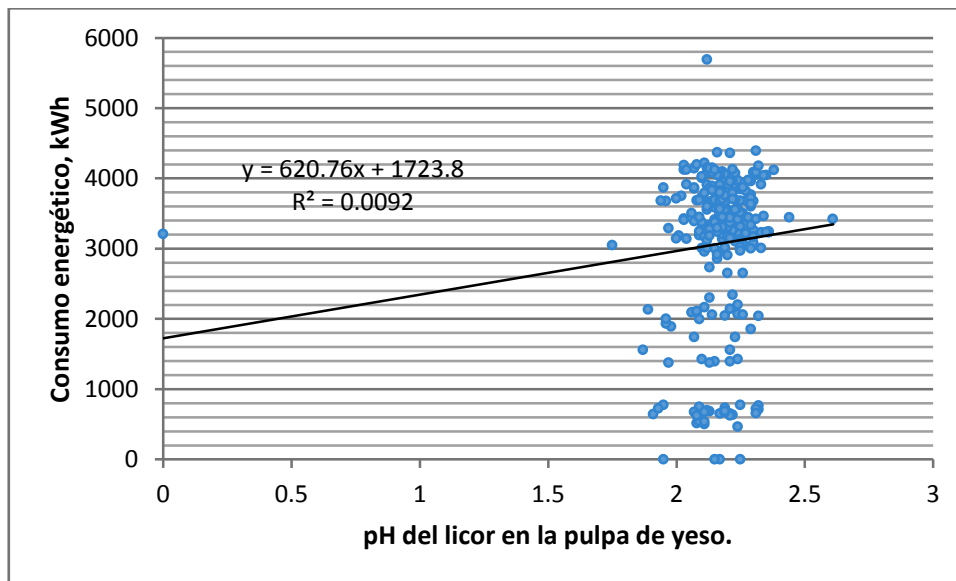


Figura 3.5. Influencia del pH del licor en la pulpa de yeso.

3.6 Obtención del modelo estadístico - matemático para el consumo de energía de la planta de neutralización

Para la obtención del modelo se utilizó el método de regresión múltiple donde:

Variable dependiente

- Consumo energía de las bombas centrífugas de pulpa de yeso (MW/d)

Variables independientes:

- Porcentaje de Arena en pulpa (%)
- Porcentaje de sólidos yeso (%)
- Caudal de las bombas centrífugas de pulpa de yeso (m³/h)
- pH del licor

Resultados del método de Regresión Múltiple

Tabla 3.8. Intervalos de confianza del 95 % para las estimaciones de los coeficientes

		<i>Error</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimación</i>	<i>Estándar</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
CONSTANTE	-732,3	1287,82	-0,56	0,57
Caudal Bomba	1,54	0,15	10,08	0,00
pH del licor	476,75	541,75	0,88	0,37
Porcentaje de Arena	113,95	35,75	3,18	0,0016
Porcentaje Sólidos	-58,84	44,46	-1,32	0,18

Tabla 3.9. Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	1,041E8	4	2,60 E7	35,04	0
Residuo	2,109 E8	284	742765		
Total (Corr.)	3,150 E8	288			

R-cuadrada = 33,04 porciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 32,10 porciento

Error estándar del est. = 861,83

Error absoluto medio = 640.097

Estadístico Durbin-Watson = 0,92 (P=0,0000)

Tabla 3.10. Matriz de Correlación para las estimaciones de los coeficientes

	CONSTANTE	Caudal Bomba	pH del licor	Porcentaje Sólidos	Porcentaje de Arena
CONSTANTE	1	0,09	-0,84	-0,40	-0,07
Caudal Bomba		1	-0,07	-0,44	-0,10
pH del licor			1	-0,08	-0,025
Porcentaje de Arena				1	0,0067
Porcentaje Sólidos					1

Como resultado de ajustar al modelo de regresión lineal múltiple para describir la relación entre Consumo de bombas y 4 variables independientes. La ecuación del modelo ajustado es:

$$P_{\text{consumida}} = -732,327 + 1.542 \times C_{\text{bomba}} + 476,759 \times \text{pH del licor} + 113,953 \times P_{\text{Arena}} - 58,846 \times P_{\text{Sólidos}}$$

Donde:

$P_{\text{consumida}}$: Potencia consumida por las bombas centrífugas de pulpa de yeso, kW

C_{bomba} : Caudal o flujo volumétrico de las bombas centrífugas de pulpa de yeso, m³/h

pH_{licor} : pH del licor contenido en las bombas centrífugas de pulpa de yeso

P_{Arena} : Porcentaje de arena en la pulpa de yeso, %

$P_{\text{Sólidos}}$: Porcentaje de sólidos en la pulpa de yeso, %

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo así ajustado explica 33,04 % de la variabilidad en el consumo de energía de las bombas centrífugas de pulpa de yeso.

Este valor del coeficiente R-cuadrada está por debajo del valor promedio para la industria el cual oscila entre 45 y 60 %. Este resultado se debe a la alta variabilidad y dispersión en los datos observados del caudal de las bombas centrífugas.

La desviación estándar de este parámetro es 378,53 galones por minuto. Esta desviación es muy grande para un parámetro de operación donde se exige un control riguroso del cual depende el balance del yeso en la planta.

El estadístico R-Cuadrada ajustada, es más apropiada para comparar modelos con diferente número de variables independientes, para el modelo obtenido es 32,10 %.

El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 861,83. Puesto que el valor-P es menor que 0,05, hay indicación de una posible correlación serial con un nivel de confianza del 95 %.

Para determinar si el modelo puede simplificarse, note que el valor-P más alto de las variables independientes es 0,53, que corresponde a pH del licor. Puesto que el valor-P es mayor o igual que 0,05; ese término **no es estadísticamente significativo con un nivel de confianza del 95 %**. Consecuentemente, se debe eliminar pH del licor del modelo obtenido quedando como resultado.

Ajuste del modelo

Tabla 3.11. Intervalos de confianza del 95 % para las estimaciones de los coeficientes

		Error	Estadístico	
Parámetro	Estimación	Estándar	T	Valor-P
CONSTANTE	227,09	685,23	-1121,68	1575,86
Caudal bomba	1,55	0,15	1,25	1,85
Porcentaje de arena	114,75	35,72	44,43	185,08
Porcentaje sólidos	-55,65	44,29	-142,84	31,53

Tabla 3.12. Análisis de varianza

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	1,03 E8	3	3,451E7	46,50	0
Residuo	2,11 E8	285	742177		
Total (Corr.)	3,15 E8	288			

R-cuadrada = 32,86 porciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 32,15 porciento

Error estándar del est. = 861,497

Error absoluto medio = 638,11

Estadístico Durbin-Watson = 0,906 (P=0,0000)

$$P_{\text{consumida}} = 227,09 + 1.552 \times C_{\text{bomba}} + 114,756 \times P_{\text{Arena}} - 56,656 \times P_{\text{Sólidos}}$$

Donde:

$P_{\text{consumida}}$: Potencia consumida por las bombas centrífugas de pulpa de yeso, kW

C_{bomba} : Caudal o flujo volumétrico de las bombas centrífugas de pulpa de yeso, m³/h

P_{Arena} : Porcentaje de arena en la pulpa de yeso %

$P_{\text{Sólidos}}$: Porcentaje de sólidos en la pulpa de yeso %%

Tabla 3.12. Matriz de Correlación para las estimaciones de los coeficientes

	CONSTANTE	Caudal bomba	Porcentaje sólidos	Porcentaje de arena
CONSTANTE	1	0,055	-0,17	-0,88
Caudal bomba		1	-0,11	-0,45
Porcentaje de arena			1	0,0047
Porcentaje sólidos				1

3.6.1 Validación del modelo obtenido

En la figura 3.4 se muestra el comportamiento mensual del consumo de energía para la planta de neutralización durante el 2013.

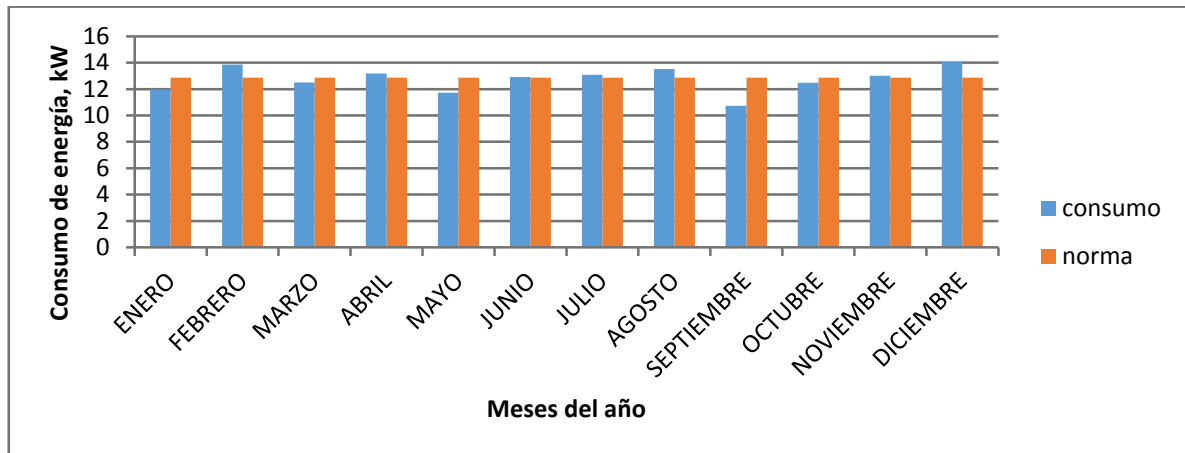


Figura 3.6. Comportamiento anual del consumo de energía durante el 2013.

El comportamiento exhibido durante los meses de febrero, agosto y diciembre se comportaron de igual forma que el real (figuras 3.6, 3.7 y 3.8). Este sobre consumo de la norma de energía de la planta, fue producto a necesidades de recuperar los atrasos en la producción de la empresa desde el mes de enero.

A continuación se muestra el comportamiento para los meses escogidos del año 2013.

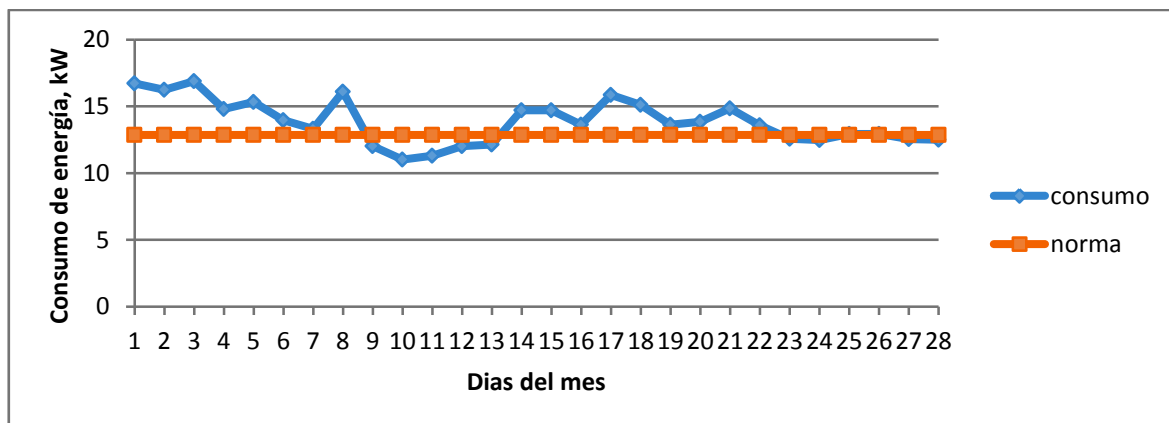


Figura 3.5. Comportamiento diario del consumo de energía durante el mes de febrero de 2013.

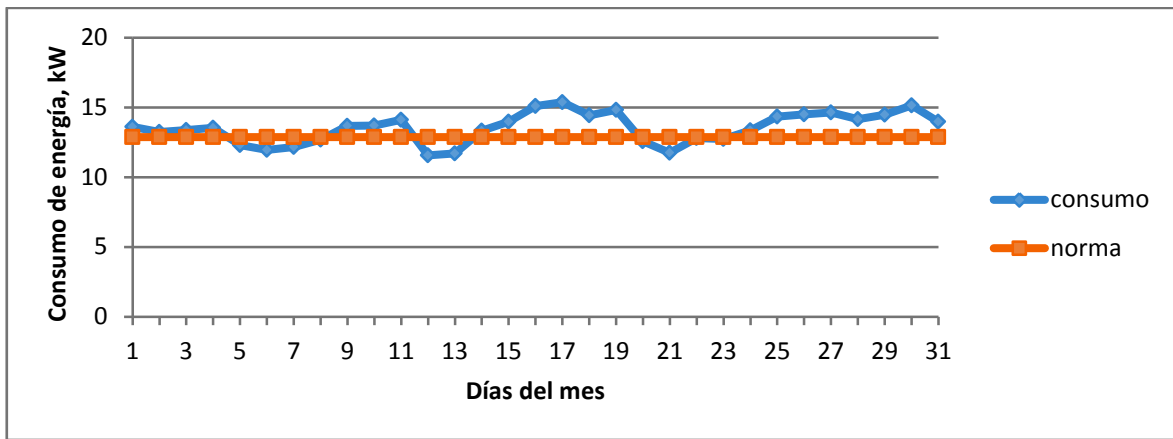


Figura 3.6. Comportamiento diario del consumo de energía durante el mes de agosto de 2013.

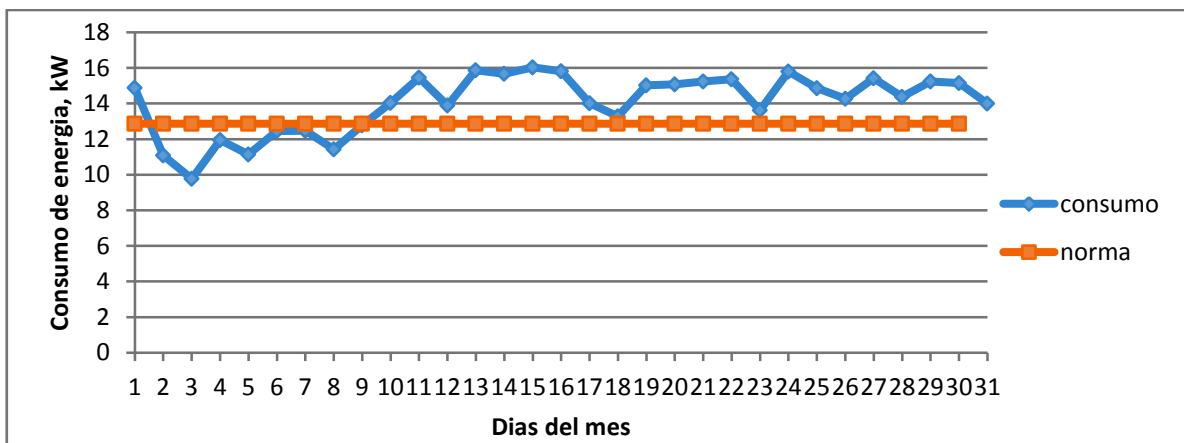


Figura 3.7. Comportamiento diario del consumo de energía durante el mes de diciembre de 2013.

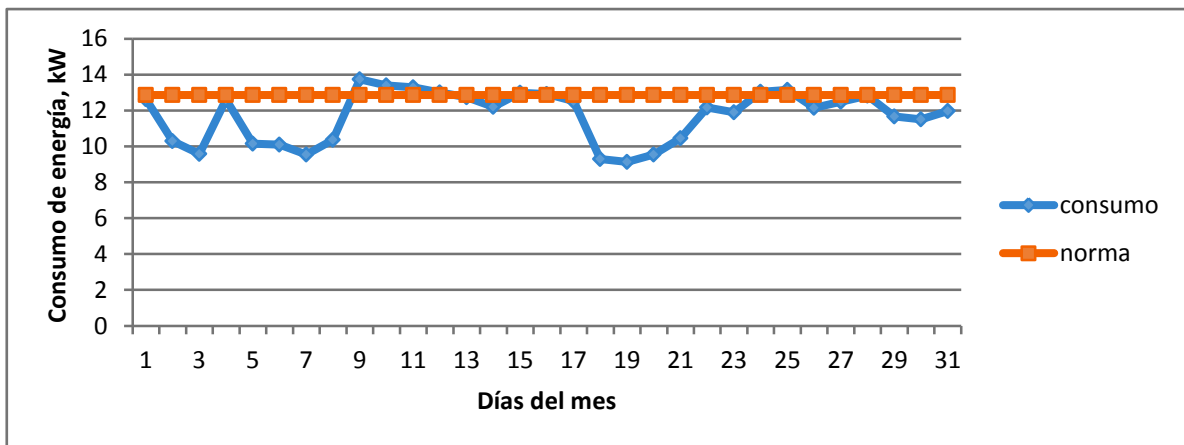


Figura 3.8. Comportamiento diario del consumo de energía durante el mes de mayo de 2013.

3.7 Valoración económica

Las bases que se tuvieron en cuenta para el cálculo económico son:

1. Gastos de operación evitados por ahorro de energía: \$ 80,000 para todos los años.
2. Precio del níquel: 7,25\$/lb. para el primer año, 9,00\$/lb. para el segundo año; 10,00 \$/lb. para el tercer y cuarto años y 10,50 \$/lb. para el resto.
3. Precio del cobalto: 13,00\$/lb. para el primer año; 14,15\$/lb. para el segundo año; 15,50\$/lb. para el tercer año; 15,90\$/lb. para el cuarto año y 16,00\$/lb. para el resto.
4. Vida útil del proyecto: 20años.

Sobre la base de lo anteriormente expuesto, los resultados del análisis económico son los siguientes:

TIR: 33,3 %; Recuperación de la Inversión: 2,4años; VAN @ 15%; \$ 53,000.

El valor de la tasa interna de retorno de 33,3 % es aceptable para las operaciones de la empresa. Los resultados de la evaluación económica confirman que es factible utilizar esta metodología, ya que al final del período de la vida útil del proyecto se obtienen ganancias de \$ 53,000.

3.8 Principales riesgos tecnológicos y medioambientales en la planta de neutralización

- Posibles salideros en la línea de licor ácido con una temperatura de 80 °C. Pueden producir quemaduras.
- Posibles salideros y explosión en la línea de H₂S. Pueden provocar asfixia.
- Desbordamiento de uno de los tanques de licor. Puede provocar quemaduras.
- Altas concentraciones de H₂S en los reactores. Afecta a vista, garganta y puede provocar la muerte por asfixia.
- Vapores de ácido en los sedimentadores. Pueden ser inhalados y causar afectaciones a la vista y a la garganta.
- Gran altura de los tanques de coral, así como alta densidad en este producto. Puede ocasionar una caída o la muerte por ahogamiento.

- Alto voltaje (13 800 V) en los alimentadores y cuarto de electricidad. Puede provocar la muerte por electrocución.
- Posibles salideros o escape de gases de solución amoniacal y H_2S en la planta de hidrosulfuro de amonio anexa a la planta de Neutralización. Pueden causar afectaciones a la vista, garganta, sistema respiratorio e incluso la muerte por asfixia.
- Exposición a posibles caídas de objetos y resbalones o caídas de diferentes niveles de altura.

Conclusiones del Capítulo

Con la realización de este capítulo se llegaron a las siguientes conclusiones:

1. Se determinó que la causa fundamental que limitó la producción en la planta de neutralización fueron los bajos inventarios existentes en el tanque 174-TK-7 y los altos inventarios en el tanque 174-TK-8.
2. Al correlacionar los parámetros analizados se excluyó del análisis el parámetro pH del licor.
3. La correlación entre los parámetros estudiados puede ser descrito utilizando el modelo:

$$P_{\text{consumida}} = 227,09 + 1,552 \times C_{\text{bomba}} + 114,756 \times P_{\text{Arena}} - 56,656 \times P_{\text{Sólidos}}$$

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

Con la realización del presente trabajo se llegaron a las siguientes conclusiones:

1. Al realizar el diagnóstico en la planta de neutralización se determinó que las principales averías en las bombas centrífugas de yeso y en la planta de neutralización fueron las siguientes:
 - Cambios de correas de las bombas centrífugas
 - Cambio del sello mecánico de las bombas centrífugas (prende)
 - Cambio de las empaquetaduras de las bombas centrífugas
 - Producción de la planta de neutralización limitada por los bajos inventarios existentes en el tanque 174-TK-7 y los altos inventarios en el tanque 174-TK-8.
 - Limitada por bajo inventario de coral.
 - Afectaciones por fallos eléctricos
2. La correlación entre los parámetros estudiados puede ser descrito utilizando el modelo:

$$P_{\text{consumida}} = 227,09 + 1.552 \times C_{\text{bomba}} + 114,756 \times P_{\text{Arena}} - 56,656 \times P_{\text{Sólidos}}$$

3. Con el desarrollo de este trabajo se proponen las siguientes medidas:
 - Realizar el estudio reológico de las pulpas de yeso con el objetivo de actualizar el comportamiento que describen las pulpas de yeso.
 - Evaluar el sistema de bombeo de las bombas centrífugas de yeso utilizando como base la reología de las pulpas de yeso para estudios posteriores el cual permitirá mejorar la eficiencia del sistema de bombeo y disminuir el consumo energético de la planta.
 - Proponer este método para la evaluación y supervisión del consumo energético de las otras plantas del proceso de la empresa

RECOMENDACIONES

RECOMENDACIONES

Como resultado del trabajo se recomienda lo siguiente:

1. Aplicar en la planta de neutralización las medidas que se proponen en el trabajo.
2. Utilizar la metodología propuesta en el presente trabajo agregando otros criterios de filtrado para la construcción de la base de datos que permita eliminar los errores.
3. Extender el uso de esta metodología a las otras plantas del proceso de la empresa.
4. Proponer este método para la evaluación y supervisión del consumo energético de las otras plantas del proceso de la empresa.

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFÍA

1. Agyei, G. (2006). Distribución fraccional de las especies metálicas y mineralógicas de la MENA niquelífera de un perfil del yacimiento Punta Gorda, Moa, Holguín, Cuba. Moa, Holguín.
2. Ancey, C., & Jorrot, H. (2001). Yield stress for particle suspensions within a clay dispersion. *J. Rheol.* , 45(2).
3. Ariosa, J. D., Lavaut Copa, W., & Borgues Garrido, P. S. (2003). Modelo geológico descriptivo para los yacimientos lateríticos de Fe-Ni-Co en la faja ofiolítica Mayarí – Baracoa de Cuba Oriental. *Minería y Geología*, Volumen 1-2.
4. Avramidis, K., & Turian, R. (1991). Yield Stress of Laterite Suspensions . *Journal of Colloid and Interface Science.* , Vol. 143 (1) , 54.
5. Beatón, B. (2001). Análisis de factores que influyen sobre el proceso de sedimentación de pulpas lateríticas. Tesis de Maestría en Ingeniería de Procesos. Departamento de Ingeniería Química. Universidad de Oriente. Santiago de Cuba.
6. Bekkour, K., Leyama, M., Benchabane, A., & Scrivener, O. (2005). Time-dependent rheological behavior of bentonite suspensions: An experimental study. *J. Rheol.*, 49(6), 1329-1345.
7. Beyris, P. (1997). Mejoramiento del proceso de sedimentación de la pulpa de mineral laterítico de la Empresa Comandante “Pedro Sotto Alba” (Moa Níquel SA.). Tesis doctoral. Departamento de Metalurgia. Instituto Superior Minero Metalúrgico “Dr. Antonio Núñez Jiménez”. Moa, Holguín.
8. Bhattacharya , I., Panda , D., & Bandopadhyay, P. (1998). Rheological behaviour of nickel laterite suspensions. *Int. J. Miner. Process.* , Vol. 53, 251–263.
9. Blakey, B., & James , D. (2003). Characterizing the rheology of laterite slurries. *Int. J. Miner. Process.* , Vol. 70, 23– 39.
10. Blakey, B., & James, D. (2003). The viscous behaviour and structure of aqueous suspensions of goethite”. *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects.*, Vol. 231, 19–30.
11. Borroto Nordelo , A. (2002). Ahorro de Energía en Sistema Termomecánico.
12. Briceño , M., Salager, J., & Bertrand, J. (Mayo de 2001). Influence of the dispersed phase viscosity on the mixing of concentrated oil-in-water emulsions in the transition flow regime ,). *International Symposium on Mixing in Industrial Processes – ISMIP4*. Toulouse, France.

13. Briceño, M. (2007). Rheological behavior of dispersed systems . Comunicación personal. Universidad de Los Andes , Venezuela.
14. Briceño, M., Ramirez, M., Bullón, J., & Salager, J. (23-26 de September de 1997). Customizing Drop Size Distribution to Change Emulsion Viscosity . 2nd World Congress on Emulsion CME2. Bordeaux, France.
15. Brown, G. (1969). Operaciones Básicas de la Ingeniería Química. La Habana: Edición Revolucionaria.
16. Cameron Hydraulic Data . (1977).
17. Campos, J., Gómez, R., & Santos, L. (2006). La Eficiencia Energética en la gestión empresarial. Cuba.
18. Caram , Y., Bautista , F., Puig , J., & Manero, O. (2006). On the rheological modeling of associative polymers. Rheol Acta, 46, 45-57.
19. Cerpa , A., García-González, M., Serna, C., & Tartaj, P. (2001). Relationship Between the Colloidal and Rheological Properties of Mineral Suspensions. The Canadian Journal of Chemical Engineering, Vol. 79, 608-611.
20. Cerpa , A., Tartaj, P., García-González, M., & Serna, C. (2003). Estudio comparativo del comportamiento reológico de muestras lateríticas de diferentes yacimientos que procesa la Empresa Moa Níquel S.A. Rev. Latin. Am. Met. Mat., 23((1) x-x).
21. Cerpa, A., Tartaj, P., García-González , M., & Serna, C. (1999). Mineral-content and particle-size effect on the colloidal properties of concentrated lateritic suspensions. Clays and Clay Minerals., 47(4), 515-521.
22. Cerpa, A., Tartaj, P., García-González, M. T., & Serna, C. (1996). Rheological properties of concentrated lateritic suspensions. Progr Colloi Polym Sci, Volumen 100, 266-270,.
23. Cheng, D.-H. (1980). Viscosity-concentration equations and flow curves for suspensions. Chemistry and Industry , Vol. 17, 403-406.
24. Conigliio, A., Fierro, A., Herman, H., & Nicodemi, M. (2004). Unifying Concepts in Granular Media and Glasses . Editorial Elsevier B.V.
25. CRANE, División de Ingenieros. (1990). Flujo de fluidos en Válvulas, Accesorios y Tuberías. México: McGraw. Hill/Interamericana de México, S.A.
26. De Armas, M. (2007). Temas especiales de sistemas eléctricos industriales. Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente Universidad de Cienfuegos.
27. Descamps, I., Harion, J., & Baudoin, B. (2005). Taking-off model of particles with a wide size distribution. Chemical Engineering and Processing, Vol. 44, 159–166.

28. Díaz, A., & G, D. (1989). Manual de Hidráulica Aplicada. Santiago de Cuba: Ediciones IPJAM.
29. Eshel, G., Levy, G., Mingelgrin, U., & Singer, M. (2004). Critical Evaluation of the Use of Laser Diffraction for Particle-Size Distribution Analysis. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Vol. 68, 736–743.
30. Falcón Hernández, J. (2008). Elementos para cursos de metodología de la investigación. Santiago de Cuba.
31. Falcón, H. (1985). Sedimentación de minerales limoníticos. *Minería y Geología*, 2.
32. Falcón, H. J. (Octubre de 2006). El Beneficio de Minerales y la Separación de Fases en las Tecnologías Limpias de la Industria Minero Metalúrgica. VII Clean Technology in the Mining Industry (CTMI).
33. Garcell, L. (1991). Comportamiento reológico de las pulpas lateríticas. *Revista Minería y Geología.*, Volumen 1((91)), 19-23.
34. Garcell, L. (2003). Flujos de tuberías de suspensiones minerales no Newtonianas. Santiago de Cuba: ISPJAM. Facultad de tecnología Química. Departamento de Procesos Químicos. .
35. Garcell, L., Díaz, A., & Surís, G. (1988). Transferencia de cantidad de movimiento, calor y masa. Ciudad de la Habana: Editorial Pueblo y Educación.
36. Garcell, L., Díaz, A., & Surrís, G. (1988). Transferencia de cantidad de movimiento, calor y masa. Ciudad de la Habana: Editorial Pueblo y Educación.
37. Garcell, L., Morales, M., Andres-Vergés, M., Tartaj, P., & Serna, C. (1998). Interfacial and Rheological Characteristics of Maghemite Aqueous Suspensions. *Journal of Colloid and Interface Science*, Vol. 205, 470-475.
38. Gleeson, S., Herrington, R., & Durango, J. (2004). The Mineralogy and Geochemistry of the Cerro Matoso S.A. Ni Laterite Deposit, Montelíbano, Colombia. ©2004 by Economic Geology. Vol. 99, 1197–1213.
39. He , M., Wang , Y., & Forssberg, E. (2006). Parameter studies on the rheology of limestone slurries. *Int. J. Miner. Process.*, 78, 63– 77,.
40. Hernández , A., Agyei, G., Rojas, L., & Falcón, J. (2010). Beneficio de la mena laterítica. Libro por Editar. Comunicación personal.
41. İşçi, S., Seniha Güner, F., Işık Ece, Ö., & Güngör, N. (2005). Investigation of rheological and colloidal properties of bentonitic clay dispersion in the presence of a cationic surfactant. *Progress in Organic Coatings*, Vol 54, 28–33.
42. James , D., & Blakey, B. (2004). Comparison of the rheologies of laterite and goethite suspensions. *Korea-Australia Rheology Journal*. 16 (3) , (págs. 109-115).

43. James, D., & Blakey, B. (2004). Comparison of the rheologies of laterite and goethite suspensions. *Korea-Australia Rheology Journal.*, 16(3), 109-115.
44. Karassik, I. (1968). *Bombas centrífugas*. Edición Revolucionaria.
45. Kasatkin, A. (1987). *Operaciones básicas y aparatos en la tecnología química*. Editorial Pueblo y Educación.
46. Kenneh, F. (Enero de 2008). Mechanism of arsenic sorption onto laterite iron concretions. Socorro, New Mexico.
47. Klein, A., & Hallbom, D. (2002). Modifying the rheology of nickel laterite suspensions. *Minerals Engineering*, Vol. 15, 745-749.
48. Klein, A., & Hallbom, D. (2002). Modifying the rheology of nickel laterite suspensions. *Minerals Engineering*, Vol. 15, 745-749.
49. Lason, R. (1999). *The Structure and Rheology of Complex Fluids*. En Oxford University Press. Library of Congress Cataloging-in- Publication Data. New York.
50. Li, J., Li, X., Hu, Q., Wang, Z., Zhou, Y., & Zhen, J. (2009). Effect of pre-roasting on leaching of laterite. *Hydrometallurgy*, Vol. 99, 84–88.
51. Lou, J., & Harinath, V. (2004). Effects of mineral fillers on polystyrene melt processing. *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 152, 185–189.
52. Luckham, P., & Ukeje, M. (1999). Effect of Particle Size Distribution on the Rheology of Dispersed Systems. *Journal of Colloid and Interface Science*, Vol. 220, 347–356.
53. Luo, W., Feng, Q., Ou, L., Zhang, G., & Lu, Y. (2009). Fast dissolution of nickel from a lizardite-rich saprolitic laterite by sulphuric acid at atmospheric pressure. *Hydrometallurgy*, Vol. 96, 171–175.
54. Madigan, C., Leong, Y., & Ong, B. (2009). “Surface and rheological properties of as-received colloidal goethite (α -FeOOH) suspensions: pH and polyethylenimine effects. *Int. J. Miner. Process*, Vol. 93, 41–47.
55. Malkin, A. (1994). *Rheology Fundamentals*, Chem Tec Publishing ISBN 1-895198-09-7.
56. Malkin, A. (1994). *Rheology Fundamentals*. Totonto-Scarborough, Ontario MIE IC6: Chem Tec Publishing ISBN-895198-09-7.
57. Manceau, A., Schlegel, M., Musso, M., Sole, V., Gauthier, C., Petit, P., & Trolard, F. (2000). Crystal chemistry of trace elements in natural and synthetic goethite. *Geochimica et Cosmochimica Acta.*, 64(21), 3643–3661.

58. McGuire, M., Addai-Mensah, J., & Bremmell, K. (2006). The effect of polymer structure type, pH and shear on the interfacial chemistry, rheology and dewaterability of model iron oxide dispersions. *Physicochem. Colloids and Surfaces A:Eng. Aspects.*, 275, 153-160.
59. Mewis, J., Frith, W., Strivens, T., & Russe, W. (1989). The Rheology of Suspensions Containing Polymerically Stabilized Particles. *AIChE Journal*, 35(3), 415-422.
60. Moa Nickel S.A. (s.f.). NEIB 03-05-02. Muestreo de pulpas de coral y de yeso en la planta de Nuetralización.
61. Moa Nickel S.A. (s.f.). NE IB 01-05-01:2011 método para determinar el % sólidos y el % de arena en las pulpas de coral y de yeso en la Planta de Neutralización.
62. Moa Nickel S.A. (s.f.). NEIB 01-05-02. Acido libre al licor acido y ph a la pulpa de salida del sistema de reactores (r5). Método por valoración potencio métrica.
63. Moa Nickel S.A. (s.f.). NEIB 01-16-23:2011 Requisitos para la preparación de muestras sólidas y líquidas del proceso hidrometalúrgico .
64. Nekrasov, B. (1986). *Hidráulica*. Cuba: Editorial Pueblo y Educación.
65. Ohtake, T., Hano, T., Takagi , K., & Nakashio, F. (1997). Effects of viscosity on drop diameter of w/o emulsion dispersed in a stirred tank. *Journal of Chemical Engineering of Japan*(20), (5) páginas.
66. Pal, R. (2002). Novel shear modulus equations for concentrated emulsions of two immiscible elastic liquids with interfacial tension. *J. Non-Newtonian Fluid Mech*, Vol. 105, 21–33.
67. Pérez, L. (2004). Efecto de la temperatura y de la distribución de tamaño de las partículas sobre la correlación entre las propiedades reológicas y coloidequímicas de las suspensiones lateríticas. Tesis de Maestría en Ingeniería Química. Departamento de Ing Departamento de Ingeniería Química. Universidad de Oriente. Santiago de Cuba.
68. Pérez, L., Cardero , Y., Lamothe, Y., & Garcell, L. (2008). Estudio del comportamiento reológico de una suspensión industrial de laterita. *Revista Tecnología Química*, Vol. XXVIII,(No. 1).
69. Pérez, L., Cardero, Y., & Garcell, L. (2009). Modelo matemático para describir la distribución granulométrica de la fase dispersa de las suspensiones de laterita. *Revista Tecnología Química*, Vol. XXIX(No. 2).
70. Puchol , R. (1984). Estudio de la pulpa cruda del mineral laterítico del yacimiento de Moa (I): análisis granulométrico. *Revista Minería y Geología*, 3.

71. Reyes Carvajal, T., & Jáuregui, S. (2006). Análisis de la gestión energética de entidades estatales de la Provincia Villa Clara.
72. Rojas, A. (2001). Evidencias a favor de que la goethita es la principal portadora de níquel en los horizontes lateríticos de las cortezas ferroniquelíferas. *Rev. Minería y Geología*, XVIII(3-4), 21-31.
73. Rojas, A., & Beyris, P. (1994). Influencia de la composición mineralógica en la sedimentación del material limonítico de frentes de explotación de la industria "Pedro Sotto Alba. *Revista Minería y Geología*., Volumen XI(1).
74. Rojas, L. (2006). Accionamiento eléctrico asincrónico para el transporte eficiente de pulpa laterítica. Tesis Doctoral. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. Dr. ANJ. Moa, Holguín.
75. Skelland , A. (1970). *Non Newtonian Flow and Heat Transfer* . La Habana: Ediciones Revolucionarias .
76. Stickel, J., & Powell, R. (2005). Fluid mechanics and rheology of dense suspensions . *Annu. Rev. Fluid Mech*, Vol. 37, 29-149.
77. Turino H. , M. (1996). Procedimientos metodológicos para el diagnóstico operacional de sistemas de bombeo mediante modelos matemáticos. Tesis doctoral. Universidad Central de las Villas. Santa Clara,.
78. Turro B. , A. (2002). Estudio del Hidrotransporte de las colas en el proceso carbonato amoniacal. Tesis doctoral. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. Dr. ANJ. Moa, Holguín,.
79. Vennar, K. (1986). *Transporte de fluidos*. México: Editorial Revolucionaria.
80. Wikipedia. (06 de Junio de 2014). Obtenido de Wikipedia: http://es.wikipedia.org/wiki/Eficiencia_energetica
81. Wilson, J., Savage, D., Cuadros, J., Shibata, M., & Vala Ragnarsdottir, K. (2006). The effect of iron on montmorillonite stability. (I) Background and thermodynamic considerations. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 70, 306–322.

ANEXOS

ANEXO 1

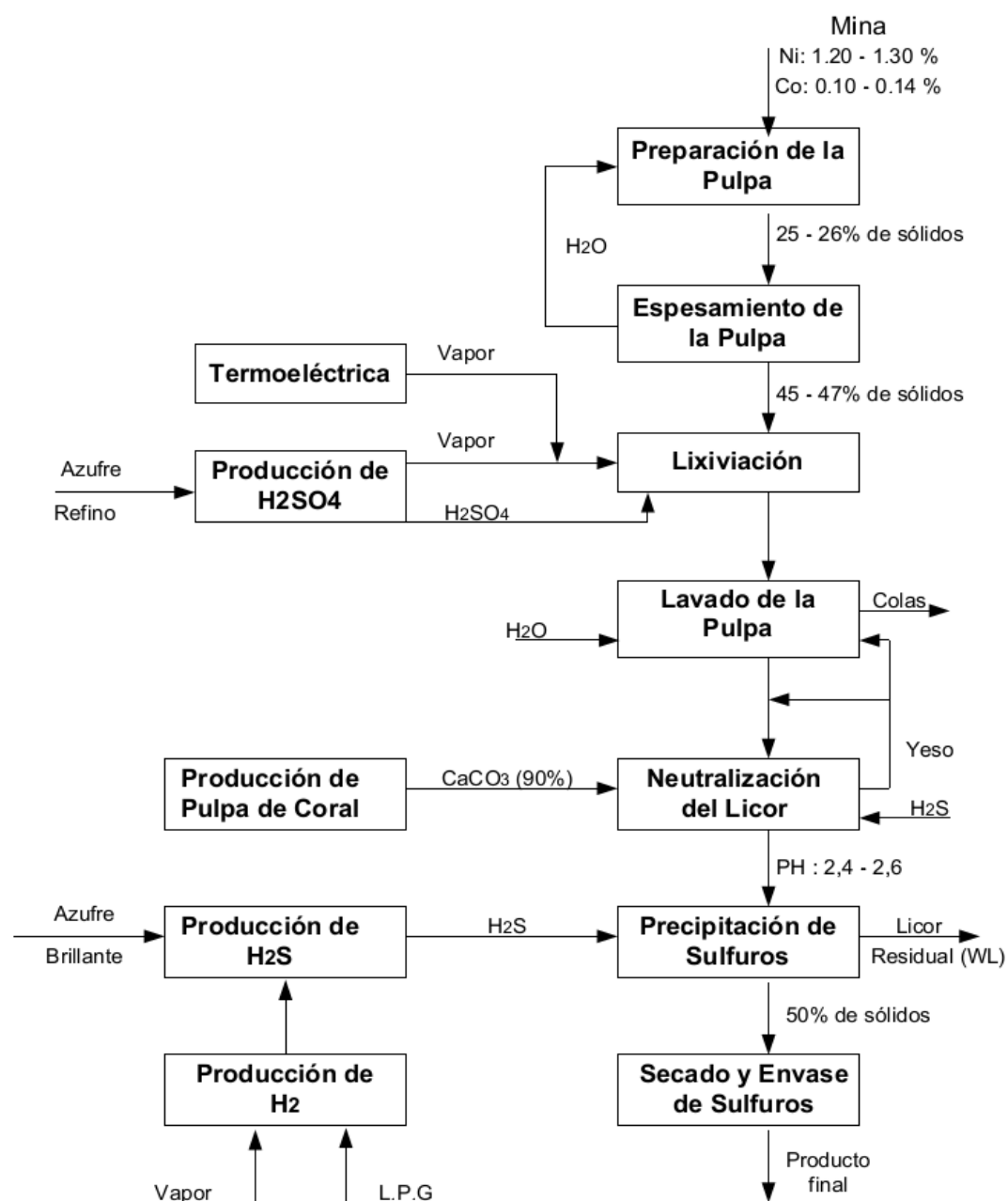


Figura 1. Esquema Tecnológico principal de la Empresa " Comandante Pedro Sotto Alba

ANEXO 2

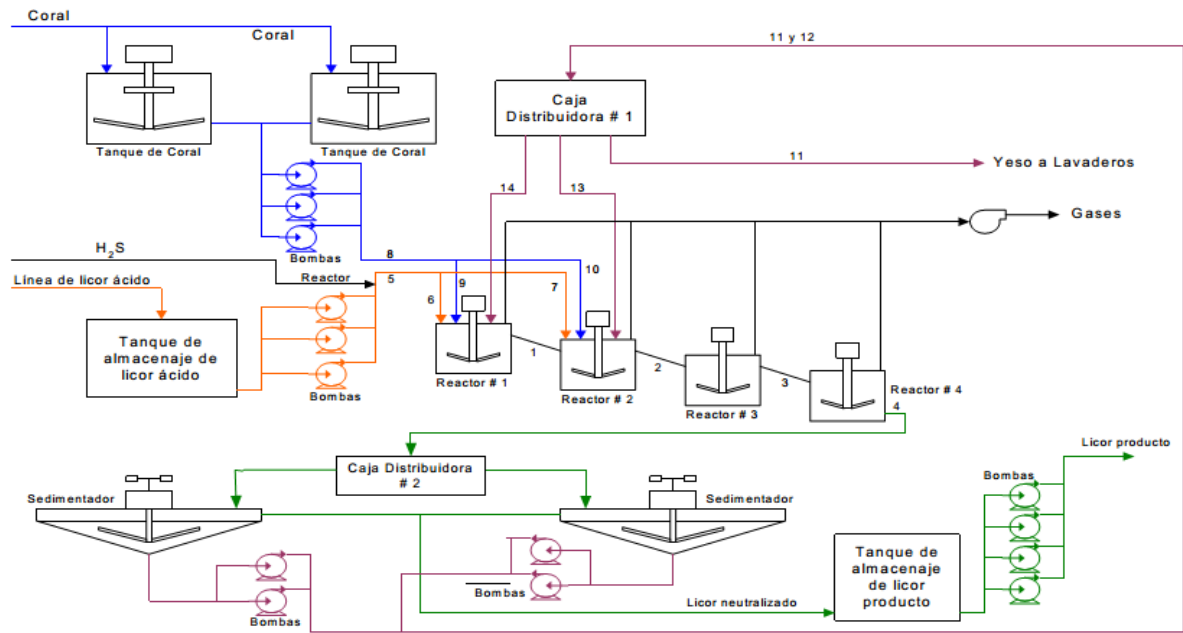


Figura 2. Diagrama de flujo de la planta de neutralización

ANEXO 3

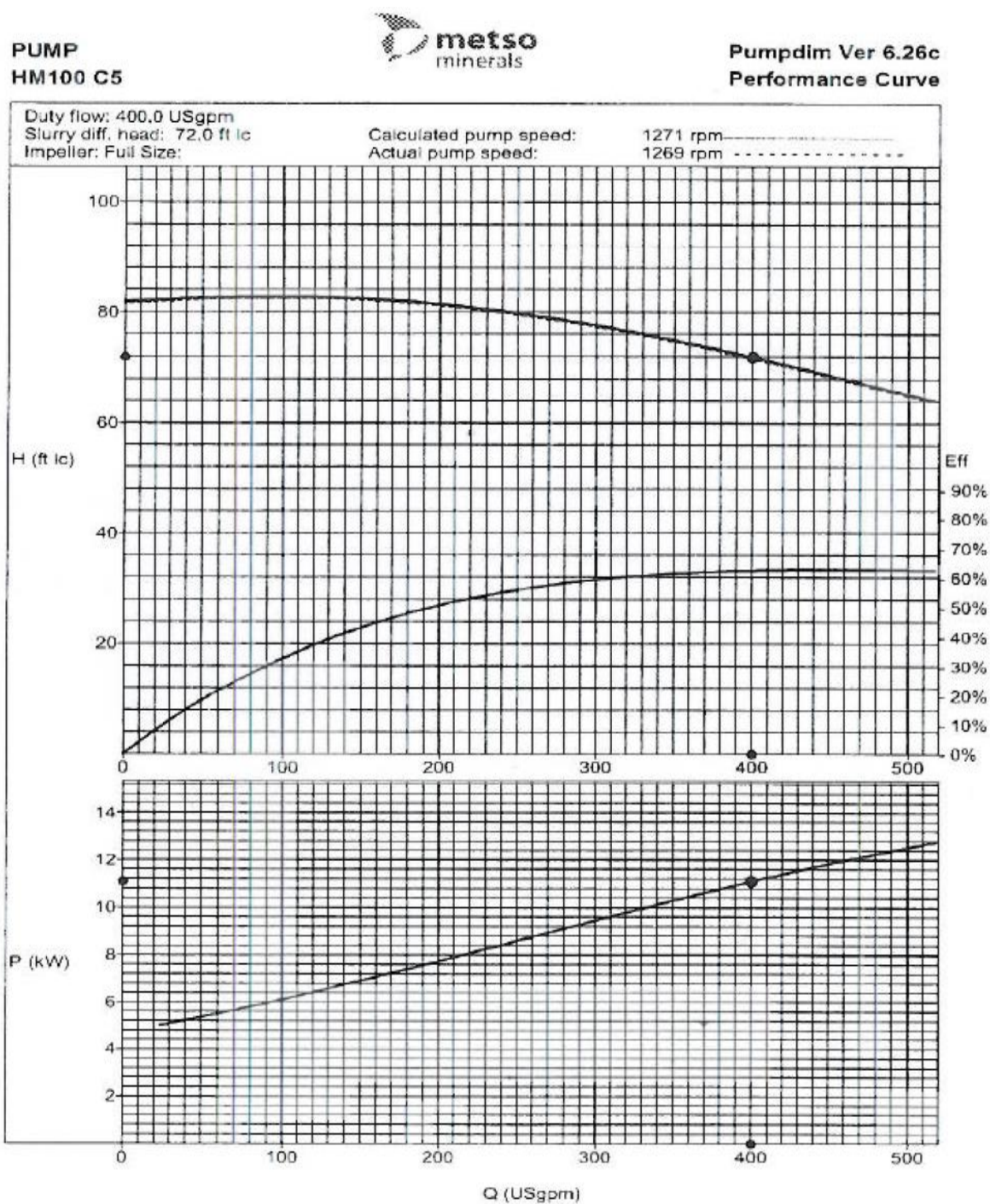


Figura 3. Curva característica de la bomba centrífuga SVEDALA.

ANEXO 4

Tabla 1. Tabla de las averías ocurridas durante el año 2013. Planta de Neutralización.

Fecha	Horas de operación, Planta	Caudal de las bombas centrífugas	% de Sólidos Pulpa de yeso	% de Arena en el yeso	pH del licor en la pulpa de yeso	Consumo energético Bombas,	Bombas trabajando/día
08-01-2013	18,00	1369	13,91	3,18	2,23	3867,1	3
09-01-2013	12,00	1166	16,81	2,96	2,35	4047,7	3
10-01-2013	12,50	1465	16,13	2,86	2,19	3892,3	3
15-01-2013	10,50	2150	15,59	2,77	2,06	2091,6	3
16-01-2013	18,50	1725	17,1	4,92	2,26	3502,2	3
17-01-2013	20,50	2341	16,79	5,54	2,17	3330,2	3
04-02-2013	19,50	2423	12,67	2,51	2,24	1423,5	2
05-02-2013	24,00	2357	17,24	2,59	2,19	3204,9	3
06-02-2013	19,00	2209	16,7	2,72	2,23	3102,9	3
07-02-2013	13,50	2014	15,7	2,80	1,75	3048,0	3
15-02-2013	19,50	2381	16,23	3,57	2,25	3006,1	3
22-02-2013	23,50	2171	16,1	3,97	2,17	2958,6	3
12-03-2013	23,00	2340	16,6	3,82	2,2	3169,2	3
13-03-2013	23,50	2135	15,77	4,32	2,17	3243,6	3
14-03-2013	24,00	2166	16,16	3,91	2,25	3218,4	3
17-03-2013	24,00	-	16,12	4,13	2,26	3080,3	3
18-03-2013	24,00	-	16,4	4,04	2,21	3304,7	3
19-03-2013	22,29	2073	15,7	3,66	2,26	3171,5	3
20-03-2013	22,50	2299	17,88	4,15	2,1	3282,6	3
09-04-2013	20,00	2195	17,46	5,72	2,18	3141,1	3
17-04-2013	22,00	2223	16,71	5,36	2,30	3080,3	3
22-04-2013	23,50	2217	17,64	7,72	2,24	3429,3	3
25-04-2013	23,50	2209	18,17	7,54	2,61	3423,1	3
08-05-2013	23,00	2056	16,5	3,33	2,29	3597,3	3
13-05-2013	22,50	2142	16,6	2,60	2,16	3840,8	3
16-05-2013	21,50	2222	16,78	3,85	2,15	3585,7	3
17-05-2013	21,55	2121	17,07	4,09	2,19	3603,3	3
04-06-2013	11,00	2319	18,9	3,02	2,28	3441,0	3
05-06-2013	22,67	2261	18,76	3,02	2,34	4042,5	3
12-06-2013	18,00	2530	17,32	4,54	2,16	4366,8	3
13-06-2013	22,50	2362	17,15	4,22	2,10	4005,1	3
21-06-2013	23,59	2233	17,68	3,86	2,26	3469,2	3
29-06-2013	19,00	2276	17,76	2,51	2,25	3847,1	3
04-07-2013	10,50	2391	17,89	4,53	2,10	1423,5	2
05-07-2013	12,00	2392	19,41	4,58	0,00	3204,9	3

**Tabla 1. Tabla de las averías ocurridas durante el año 2013. Planta de Neutralización.
(Continuación)**

Fecha	Horas de operación, Planta	Caudal de las bombas centrífugas	% deSólidos Pulpa de yeso	% de Arena en el yeso	pH del licor en la pulpa de yeso	Consumo energético Bombas,	Bombas trabajando/día
06-07-2013	22,50	2522	20,43	4,75	2,31	3102,9	3
12-07-2013	23,00	2427	17,96	4,22	2,15	3090,1	3
04-08-2013	22,52	2550	18,3	7,45	2,27	3753,4	3
09-08-2013	22,50	2372	17,1	6,07	2,17	3634,4	3
22-08-2013	22,50	2213	16,04	5,17	2,20	3845,5	3
23-08-2013	22,50	2304	17,03	5,44	2,20	3776,6	3
24-08-2013	22,84	2187	17,46	5,29	2,02	3764,0	3
28-08-2013	23,50	2403	17,72	4,70	2,12	4035,3	3
04-09-2013	10,00	2523	17,32	4,44	2,11	3718,6	3
05-09-2013	16,00	2239	17,71	4,77	2,34	3954,1	3
07-09-2013	17,00	2322	16,85	4,77	2,06	3986,0	3
10-09-2013	18,68	2435	15,8	4,94	1,96	3835,0	3
11-09-2013	18,00	1976	17,4	4,94	2,18	3546,5	3
19-09-2013	22,50	2410	17,6	6,22	2,08	5691,4	4
21-09-2013	22,51	2263	16,51	4,89	2,08	3142,4	3
21-10-2013	23,50	2242	17,2	2,59	2,11	3710,1	3
22-10-2013	22,75	2277	17,4	2,59	2,09	3760,0	3
28-10-2013	22,50	2141	14,2	4,53	2,16	3245,1	3
01-11-2013	12,00	1282	16,03	4,70	2,07	1310,7	2
03-11-2013	20,00	1295	15,27	3,20	2,28	480,2	1
07-11-2013	19,63	1181	16,91	2,23	2,20	449,0	1
09-11-2013	19,50	1407	16,82	2,13	2,12	713,4	1
10-11-2013	23,50	1430	18,27	2,02	2,14	0,0	0
14-11-2013	23,00	1333	14,3	2,51	2,19	696,2	1
21-11-2013	23,00	1230	15,9	3,54	2,29	664,2	1
02-12-2013	23,00	1257	17,33	3,74	2,16	1906,9	2
04-12-2013	21,00	1309	16,29	3,80	2,19	667,9	1
07-12-2013	23,63	1314	16	2,75	1,96	578,6	1
09-12-2013	20,50	1449	16,24	3,06	2,13	774,9	1
14-12-2013	23,50	2258	15,06	1,94	2,21	2345,4	2
17-12-2013	22,50	2250	15,1	3,21	2,09	1980,9	2
16-12-2013	24,00	-	15,7	2,86	2,13	2024,7	2
18-12-2013	20,50	2415	15,42	3,63	2,33	2057,9	2
19-12-2013	22,00	2490	16,91	3,78	2,12	2124,4	2
26-12-2013	23,34	2557	16,73	3,68	2,21	2000,8	2
30-12-2013	23,51	2902	17,98	3,62	2,12	2126,0	2

ANEXO 5

Tabla 2. Tabla libre de averías ocurridas durante el año 2013. Planta de Neutralización

Fecha	Horas de operación, Planta	Caudal de las bombas centrífugas	% de Sólidos Pulpa de yeso	% de Arena en el yeso	pH del licor en la pulpa de yeso	Consumo energético Bombas,	Bombas trabajando/día
01-01-2013	24,00	1433	14,13	4,31	2,19	3830,8	3
02-01-2013	24,00	1433	15,44	4,53	2,17	3552,1	3
03-01-2013	24,00	1454	14,52	4,53	2,24	1392,8	2
04-01-2013	24,00	1483	14,18	3,57	2,19	3447,4	3
05-01-2013	24,00	1615	14,2	3,17	2,23	1559,8	2
06-01-2013	24,00	1955	13,8	3,02	2,26	1375,2	2
07-01-2013	24,00	1404	16,69	3,18	2,12	3677,0	3
11-01-2013	24,00	1301	16,31	2,56	2,32	1738,5	2
12-01-2013	24,00	1652	15,72	2,51	2,22	3245,7	3
13-01-2013	24,00	2296	14,5	2,42	2,23	2971,2	3
14-01-2013	24,00	2134	16,1	2,52	2,11	2652,9	3
18-01-2013	24,00	2177	16,99	5,12	2,28	3711,5	3
19-01-2013	24,00	2240	17,98	4,91	2,17	3639,9	3
20-01-2013	24,00	2241	16,23	3,09	2,24	3374,5	3
21-01-2013	24,00	2127	18,99	3,70	2,26	3403,9	3
22-01-2013	24,00	2249	17,92	3,79	2,28	3489,3	3
23-01-2013	24,00	2264	18,38	3,42	2,24	3636,3	3
24-01-2013	24,00	2317	17,48	3,09	2,29	3546,0	3
25-01-2013	24,00	2151	16,63	3,09	2,27	3567,0	3
26-01-2013	24,00	2286	17,06	3,04	2,27	3731,7	3
27-01-2013	24,00	2205	18,37	2,73	2,15	3896,8	3
28-01-2013	24,00	2204	18,89	2,41	2,28	3833,7	3
29-01-2013	24,00	2407	19,23	2,74	2,21	3648,4	3
30-01-2013	24,00	2438	17,54	2,89	2,24	3537,0	3
31-01-2013	24,00	2368	16,7	2,85	2,15	3626,6	3
01-02-2013	24,00	2432	18,01	2,96	2,19	3913,0	3
02-02-2013	24,00	2429	17,6	2,41	2,27	3722,5	3
03-02-2013	24,00	2547	16,68	2,41	2,33	4118,8	3
05-02-2013	24,00	2357	17,24	2,59	2,19	3204,9	3
08-02-2013	24,00	2580	17,51	2,89	2,17	3275,1	3
09-02-2013	24,00	2013	16,59	4,25	2,17	2731,5	3
10-02-2013	24,00	2063	17,7	4,62	2,34	2855,0	3
11-02-2013	24,00	2109	17,09	4,74	2,24	3022,9	3
12-02-2013	24,00	2504	17,13	4,64	2,35	3090,1	3
13-02-2013	24,00	2128	16,72	3,88	2,21	3008,6	3
14-02-2013	24,00	2335	16,69	3,88	2,27	3149,8	3

Tabla 2. Tabla libre de averías ocurridas durante el año 2013. Planta de Neutralización (Continuación)

Fecha	Horas de operación, Planta	Caudal de las bombas centrífugas	% de Sólidos Pulpa de yeso	% de Arena en el yeso	pH del licor en la pulpa de yeso	Consumo energético Bombas,	Bombas trabajando/día
17-02-2013	24,00	2437	17,42	4,64	2,26	3284,9	3
18-02-2013	24,00	2277	16,64	4,14	2,25	2984,0	3
19-02-2013	24,00	2115	17,58	3,88	2,2	2908,6	3
20-02-2013	24,00	2599	16,89	4,39	2,27	3233,1	3
21-02-2013	24,00	2399	17,48	4,73	2,18	3137,9	3
23-02-2013	24,00	2171	15,7	3,97	2,19	3016,3	3
24-02-2013	24,00	2098	16,93	4,58	2,04	3140,0	3
25-02-2013	24,00	2176	17,26	4,75	2,25	3120,8	3
26-02-2013	24,00	2184	17,22	4,12	2,28	3268,8	3
27-02-2013	24,00	2306	16,95	3,89	2,17	3302,0	3
28-02-2013	24,00	2298	18,36	4,62	2,03	3424,7	3
01-03-2013	24,00	2317	17,7	4,46	2,22	3257,3	3
02-03-2013	24,00	2064	17,8	5,09	2,25	3201,7	3
03-03-2013	24,00	2066	16,8	4,83	2,13	3335,1	3
04-03-2013	24,00	2142	17,46	4,33	2,12	3269,1	3
05-03-2013	24,00	2158	16,88	4,70	2,33	3229,8	3
06-03-2013	24,00	2290	16,79	4,99	2,25	3254,9	3
07-03-2013	24,00	2131	16,28	4,74	2,28	3375,9	3
08-03-2013	24,00	2241	15,76	4,53	2,27	3427,0	3
09-03-2013	24,00	2265	15,81	4,32	2,12	3141,1	3
10-03-2013	24,00	2306	18,24	4,00	2,2	3342,2	3
11-03-2013	24,00	2340	16,7	3,79	2,09	3191,0	3
15-03-2013	24,00	2246	16,95	3,79	2,24	3236,6	3
16-03-2013	24,00	2233	17,05	4,08	2,21	3259,8	3
21-03-2013	24,00	2173	16,88	4,72	2,14	3314,7	3
22-03-2013	24,00	2122	16,39	4,36	2,27	3429,3	3
23-03-2013	24,00	2202	16,8	4,33	2,2	3464,3	3
24-03-2013	24,00	2183	16,94	4,32	2,28	3444,8	3
25-03-2013	24,00	2146	17,4	4,32	2,31	3423,1	3
26-03-2013	24,00	2100	16,8	3,96	2,25	3494,7	3
27-03-2013	24,00	2166	16,7	4,04	2,15	3413,2	3
28-03-2013	24,00	2149	18,2	4,32	2,22	3365,4	3
29-03-2013	24,00	2393	17,82	4,32	2,21	3244,3	3
30-03-2013	24,00	2422	17,7	3,92	2,28	3970,5	3
31-03-2013	24,00	2166	17,6	4,49	2,25	0,0	0
01-04-2013	24,00	2393	18,25	5,30	2,22	3257,3	3

Tabla 2. Tabla libre de averías ocurridas durante el año 2013. Planta de Neutralización (Continuación)

Fecha	Horas de operación, Planta	Caudal de las bombas centrífugas	% de Sólidos Pulpa de yeso	% de Arena en el yeso	pH del licor en la pulpa de yeso	Consumo energético Bombas,	Bombas trabajando/día
02-04-2013	24,00	2348	17,08	5,30	2,18	3201,7	3
03-04-2013	24,00	2330	18,3	5,30	2,27	3335,1	3
04-04-2013	24,00	2341	17,5	5,30	2,11	3269,1	3
05-04-2013	24,00	2273	17,47	5,36	2,36	3229,8	3
06-04-2013	24,00	2280	17,65	5,96	2,29	3254,9	3
07-04-2013	24,00	2187	16,31	5,96	2,15	3375,9	3
08-04-2013	24,00	2306	17,2	5,74	2,22	3427,0	3
10-04-2013	24,00	2264	17,33	4,52	2,19	3342,2	3
11-04-2013	24,00	2260	16,4	4,61	2,20	3191,0	3
12-04-2013	24,00	2203	18,07	5,07	2,20	3169,2	3
13-04-2013	24,00	2229	17,99	6,63	2,36	3243,6	3
14-04-2013	24,00	2227	18,15	6,64	2,27	3218,4	3
15-04-2013	24,00	2200	17,88	6,58	2,35	3236,6	3
16-04-2013	24,00	2292	17,99	6,48	2,30	3259,8	3
18-04-2013	24,00	2187	16,82	5,32	2,20	3304,7	3
19-04-2013	24,00	2208	16,97	5,01	2,30	3171,5	3
20-04-2013	24,00	2177	17,53	6,86	2,18	3282,6	3
21-04-2013	24,00	2132	17,49	8,39	2,25	3314,7	3
23-04-2013	24,00	2245	17,65	6,97	2,34	3464,3	3
24-04-2013	24,00	2239	17,15	7,30	2,19	3444,8	3
26-04-2013	24,00	2210	18,33	6,78	2,17	3494,7	3
27-04-2013	24,00	2184	16,9	6,54	2,18	3413,2	3
28-04-2013	24,00	2019	17,3	5,40	2,21	3365,4	3
29-04-2013	24,00	2128	17,04	5,15	2,11	3244,3	3
30-04-2013	24,00	2242	17,28	4,94	2,24	3970,5	3
01-05-2013	24,00	2306	17,45	3,70	2,29	3957,6	3
02-05-2013	24,00	2153	16,88	3,73	2,29	3767,5	3
03-05-2013	24,00	2284	16,63	3,76	2,16	3625,6	3
04-05-2013	24,00	2169	17,4	3,80	2,22	3970,8	3
05-05-2013	24,00	2171	17	3,50	2,21	3825,2	3
06-05-2013	24,00	2154	16,3	3,29	2,16	3635,1	3
07-05-2013	24,00	2099	16,7	3,31	2,24	3431,6	3
09-05-2013	24,00	2392	17,42	3,33	2,20	3915,7	3
10-05-2013	24,00	2277	16,67	3,98	2,13	4093,5	3
11-05-2013	24,00	2111	16,24	3,25	2,23	4073,5	3
12-05-2013	24,00	2392	16	2,53	2,25	3856,7	3

Tabla 2. Tabla libre de averías ocurridas durante el año 2013. Planta de Neutralización (Continuación)

Fecha	Horas de operación, Planta	Caudal de las bombas centrífugas	% de Sólidos Pulpa de yeso	% de Arena en el yeso	pH del licor en la pulpa de yeso	Consumo energético Bombas,	Bombas trabajando/día
14-05-2013	24,00	2185	17,6	3,30	2,28	3972,6	3
15-05-2013	24,00	2166	17,23	3,70	2,21	3535,2	3
19-05-2013	24,00	1914	16,23	2,92	2,16	3240,1	3
20-05-2013	24,00	1977	17,17	2,70	2,10	3375,6	3
21-05-2013	24,00	2134	16,9	2,44	2,24	3417,0	3
22-05-2013	24,00	2146	17,5	3,79	2,07	3387,9	3
23-05-2013	24,00	2194	17,88	3,79	2,29	3333,7	3
24-05-2013	24,00	2309	17,83	3,26	1,97	3288,1	3
25-05-2013	24,00	2327	17,38	3,23	2,03	3407,4	3
26-05-2013	24,00	2257	17,26	2,68	2,18	3305,9	3
27-05-2013	24,00	2420	19,48	2,82	2,21	3525,5	3
28-05-2013	24,00	2351	20,76	3,31	2,27	3821,7	3
29-05-2013	24,00	2365	20,3	4,10	2,27	3682,9	3
30-05-2013	24,00	2197	20,8	5,17	2,15	3705,8	3
31-05-2013	24,00	2102	17,96	5,17	2,25	3513,3	3
01-06-2013	24,01	2023	15,55	3,02	2,22	3718,5	3
02-06-2013	24,00	2252	17,77	3,02	2,12	4070,9	3
03-06-2013	24,00	2494	19,04	3,02	2,21	4362,1	3
06-06-2013	24,00	2446	19,3	3,60	2,17	4036,5	3
07-06-2013	24,00	2307	16,6	3,54	2,19	3718,7	3
08-06-2013	24,00	2303	18,06	2,96	2,20	3873,9	3
09-06-2013	24,00	2236	17,49	3,05	2,13	3667,8	3
10-06-2013	24,00	2343	17,38	3,52	2,12	3909,5	3
14-06-2013	24,00	2257	16,4	4,22	2,17	3561,0	3
15-06-2013	24,00	2080	15,8	4,09	2,02	3747,2	3
16-06-2013	24,00	1951	16,19	3,88	2,18	4093,5	3
17-06-2013	24,00	2369	17,91	3,67	2,07	3853,6	3
18-06-2013	24,00	2415	18,79	3,78	2,19	3555,3	3
19-06-2013	24,00	2230	17,19	4,01	2,17	3499,4	3
20-06-2013	24,00	2439	15,06	4,01	2,29	3683,6	3
22-06-2013	24,00	2546	18,6	3,75	2,18	3612,9	3
23-06-2013	24,00	2483	20,1	3,75	2,08	3685,1	3
24-06-2013	24,00	2461	18,14	3,65	2,30	3677,9	3
25-06-2013	24,00	2263	17,92	3,51	2,19	4053,3	3
26-06-2013	24,00	2336	17,98	3,47	2,17	4085,2	3
27-06-2013	24,00	2271	19,66	3,46	2,30	4086,0	3

Tabla 2. Tabla libre de averías ocurridas durante el año 2013. Planta de Neutralización (Continuación)

Fecha	Horas de operación, Planta	Caudal de las bombas centrífugas	% de Sólidos Pulpa de yeso	% de Arena en el yeso	pH del licor en la pulpa de yeso	Consumo energético Bombas,	Bombas trabajando/día
28-06-2013	24,00	2392	18,54	2,68	2,21	3974,8	3
30-06-2013	24,00	2274	19,7	4,82	1,95	0,0	0
01-07-2013	24,00	2309	19	3,98	2,33	3913,0	3
02-07-2013	24,00	2439	19,23	4,10	2,29	3722,5	3
03-07-2013	24,00	2632	18,91	4,47	2,38	4118,8	3
08-07-2013	24,00	2500	20,1	3,99	2,13	3275,1	3
09-07-2013	24,00	2382	17,3	4,26	2,13	2731,5	3
10-07-2013	24,00	2568	19,73	4,26	2,16	2855,0	3
11-07-2013	24,00	2709	18,23	4,25	2,25	3022,9	3
13-07-2013	24,00	2284	18,03	5,26	2,33	3008,6	3
14-07-2013	24,00	2336	17,71	5,62	2,21	3149,8	3
15-07-2013	24,00	2390	17,41	6,17	2,10	3006,1	3
16-07-2013	24,00	2374	17,6	6,01	2,18	3830,8	3
17-07-2013	24,00	2239	17,2	4,99	2,12	3552,1	3
18-07-2013	24,01	2287	18,44	5,12	2,21	1392,8	2
19-07-2013	24,00	2343	18,13	5,22	2,09	3447,4	3
20-07-2013	24,00	2100	16,61	5,45	1,87	1559,8	2
21-07-2013	24,00	2268	18,09	5,74	1,97	1375,2	2
22-07-2013	24,00	2321	17,89	5,65	1,96	3677,0	3
23-07-2013	24,00	2313	17,01	4,79	1,95	3867,1	3
24-07-2013	24,00	2325	18,9	4,59	2,17	4047,7	3
25-07-2013	24,00	2494	19	4,61	2,14	3892,3	3
26-07-2013	24,00	2620	19,14	4,85	2,07	1738,5	2
27-07-2013	24,00	2606	19,28	4,74	2,09	3245,7	3
28-07-2013	24,00	2561	19,4	4,36	2,11	2971,2	3
29-07-2013	24,00	2510	18,4	4,36	2,20	2652,9	3
30-07-2013	24,00	2336	18,92	4,81	2,08	2091,6	3
31-07-2013	24,00	2336	19,9	5,32	2,06	3502,2	3
01-08-2013	24,00	2391	19	4,31	2,17	3560,8	3
02-08-2013	24,00	2387	18,9	5,44	2,23	3555,2	3
03-08-2013	24,00	2661	18,55	5,93	2,13	3853,6	3
05-08-2013	24,00	2446	18,01	6,47	2,17	3875,9	3
06-08-2013	24,00	2314	16,28	5,26	2,13	3631,3	3
07-08-2013	24,00	2353	16,48	5,28	2,19	3666,2	3
08-08-2013	24,00	2465	16,15	5,34	2,16	3696,4	3
10-08-2013	24,00	2636	18,6	6,16	2,15	3689,6	3

Tabla 2. Tabla libre de averías ocurridas durante el año 2013. Planta de Neutralización (Continuación)

Fecha	Horas de operación, Planta	Caudal de las bombas centrífugas	% de Sólidos Pulpa de yeso	% de Arena en el yeso	pH del licor en la pulpa de yeso	Consumo energético Bombas,	Bombas trabajando/día
11-08-2013	24,00	2502	17,4	5,85	2,25	3680,5	3
12-08-2013	24,00	2315	17,42	5,12	2,20	3801,2	3
13-08-2013	24,00	2411	16,77	5,82	2,44	3441,8	3
14-08-2013	24,00	2427	17,1	6,13	2,31	4048,0	3
15-08-2013	24,00	2144	16,88	5,73	2,31	4084,3	3
16-08-2013	24,00	2246	16,98	5,27	2,22	4125,5	3
17-08-2013	24,00	2296	16,9	4,05	2,07	4141,2	3
18-08-2013	24,00	2273	16,92	4,05	2,03	4123,9	3
19-08-2013	24,00	2293	16,7	3,88	2,08	4197,4	3
20-08-2013	24,00	2202	16,83	4,05	2,31	4390,5	3
21-08-2013	24,00	2229	17,23	5,17	2,04	3915,5	3
25-08-2013	24,00	2513	18,9	5,06	2,11	4218,0	3
26-08-2013	24,00	2437	18	4,69	2,03	4188,2	3
27-08-2013	24,00	2415	17,78	4,69	2,32	4179,2	3
29-08-2013	24,00	2396	13,46	4,44	2,10	3737,9	3
30-08-2013	24,00	2383	15,18	4,26	2,12	4151,1	3
31-08-2013	24,00	2356	14,1	4,74	2,17	3910,4	3
01-09-2013	24,00	2229	13,17	4,91	2,07	3867,9	3
02-09-2013	24,00	2274	14,2	4,53	2,21	3953,8	3
03-09-2013	24,00	2183	15	4,43	2,14	4151,7	3
06-09-2013	24,00	2489	17,61	4,77	2,10	4027,2	3
08-09-2013	24,00	2376	17,68	4,52	2,17	3820,8	3
09-09-2013	24,00	2231	17,27	4,43	2,12	3596,9	3
12-09-2013	24,00	2178	17,77	4,55	2,24	3573,6	3
13-09-2013	24,00	2351	17,73	4,74	2,17	3682,2	3
14-09-2013	24,00	2354	19,4	6,17	2,22	3791,4	3
15-09-2013	24,00	2407	17,32	6,76	2,18	3705,8	3
16-09-2013	24,00	2328	17,82	7,41	2,00	3710,7	3
18-09-2013	24,00	2431	17,9	6,66	2,26	3870,3	3
20-09-2013	24,00	2156	16,9	5,73	2,15	3002,6	3
22-09-2013	24,00	2442	17,27	4,61	2,16	3293,0	3
23-09-2013	24,00	2288	14,71	5,13	2,11	2958,8	3
24-09-2013	24,00	1667	15,38	5,58	2,16	2917,1	3
25-09-2013	24,00	2082	15,47	4,94	2,01	3183,3	3
26-09-2013	24,00	2153	16,8	4,04	2,11	3172,1	3
27-09-2013	24,00	2164	16,7	3,92	2,12	3114,1	3

Tabla 2. Tabla libre de averías ocurridas durante el año 2013. Planta de Neutralización (Continuación)

Fecha	Horas de operación, Planta	Caudal de las bombas centrífugas	% de Sólidos Pulpa de yeso	% de Arena en el yeso	pH del licor en la pulpa de yeso	Consumo energético Bombas,	Bombas trabajando/día
28-09-2013	24,00	1772	16,95	3,84	2,17	0,0	3
29-09-2013	24,00	1558	18,44	4,34	2,15	0,0	3
30-09-2013	24,00	1463	17,28	4,34	2,19	3760,6	3
01-10-2013	24,00	1513	16,56	3,88	2,23	3695,8	3
02-10-2013	24,00	1473	15,84	3,94	2,29	3633,8	3
03-10-2013	24,00	1485	14,49	4,33	2,09	3689,0	3
04-10-2013	24,00	1442	13,8	5,43	1,94	3679,9	3
05-10-2013	24,00	2204	15,8	5,43	2,17	3800,6	3
06-10-2013	24,00	2257	15,24	5,43	2,21	3441,2	3
07-10-2013	24,00	2278	17,48	5,23	2,16	4047,4	3
08-10-2013	24,00	2346	17,27	4,53	2,14	4083,7	3
09-10-2013	24,00	1959	16,46	4,74	2,04	4124,9	3
10-10-2013	24,00	1652	15,84	5,22	2,13	4140,6	3
11-10-2013	24,00	1438	15,97	5,22	2,15	4123,3	3
12-10-2013	24,00	1506	15,9	5,22	2,12	3005,5	3
13-10-2013	24,00	1526	16,2	5,25	2,14	3830,2	3
14-10-2013	24,00	1432	16,1	3,99	2,23	3551,5	3
15-10-2013	24,00	1371	16,35	4,63	2,15	1392,2	2
16-10-2013	24,00	1351	16,38	14,10	2,18	3446,8	3
17-10-2013	24,00	1877	16,08	11,50	2,21	1559,2	2
18-10-2013	24,00	2160	14,38	9,45	2,13	1374,6	2
19-10-2013	24,00	2140	16,2	2,59	2,11	3790,8	3
20-10-2013	24,00	2212	16,2	2,59	2,22	3705,2	3
24-10-2013	24,00	2291	18,59	0,00	2,12	5690,8	4
25-10-2013	24,00	2481	17,71	0,00	2,29	3002,0	3
26-10-2013	24,00	2379	16,78	1,86	2,00	3141,8	3
27-10-2013	24,00	1778	14,91	4,53	2,23	1737,9	2
29-10-2013	24,00	2000	16,7	4,53	2,25	2970,6	3
30-10-2013	24,00	1805	15,57	5,07	2,26	2652,3	3
31-10-2013	24,00	1513	14,93	5,31	2,13	3182,7	3
02-11-2013	24,00	1364	16,11	4,70	2,24	462,8	1
04-11-2013	24,00	1278	15,27	1,92	2,11	501,5	1
05-11-2013	24,00	1228	16,52	2,19	2,08	515,3	1
06-11-2013	24,00	1251	16,25	2,21	2,09	542,5	1
08-11-2013	24,00	1267	17,47	2,18	2,11	538,0	1
11-11-2013	24,00	1471	16,35	2,08	2,32	765,0	1

Tabla 2. Tabla libre de averías ocurridas durante el año 2013. Planta de Neutralización (Continuación)

Fecha	Horas de operación, Planta	Caudal de las bombas centrífugas	% de Sólidos Pulpa de yeso	% de Arena en el yeso	pH del licor en la pulpa de yeso	Consumo energético Bombas,	Bombas trabajando/día
12-11-2013	24,00	1486	14,98	2,38	1,95	774,7	1
13-11-2013	24,00	1492	15	2,38	2,09	747,6	1
15-11-2013	24,00	1261	15,04	3,25	2,17	651,9	1
16-11-2013	24,00	1239	15,86	2,67	2,21	650,3	1
17-11-2013	24,00	1245	16,8	2,61	2,25	772,1	1
18-11-2013	24,00	1333	15,5	2,77	2,13	682,8	1
19-11-2013	24,00	1340	16,5	3,37	2,32	708,1	1
20-11-2013	24,00	1473	16,78	3,52	2,12	694,4	1
22-11-2013	24,00	1301	17	3,60	2,11	674,2	1
23-11-2013	24,00	1360	17,06	2,96	2,31	717,2	1
24-11-2013	24,00	1371	17,14	2,96	2,07	672,2	1
25-11-2013	24,00	1287	15,6	2,96	2,08	624,2	1
26-11-2013	24,00	1212	17,7	2,96	2,22	632,1	1
27-11-2013	24,00	1247	16,67	3,12	2,21	622,0	1
28-11-2013	24,09	1325	16,85	3,26	2,31	653,8	1
29-11-2013	24,00	1231	17	3,57	2,19	671,3	1
30-11-2013	24,00	1426	16,5	3,48	2,11	2165,3	2
01-12-2013	24,00	1410	15,86	2,66	1,89	2132,7	2
03-12-2013	24,00	1276	17,22	3,80	1,91	642,4	1
05-12-2013	24,00	1388	17,71	2,80	2,19	731,0	1
06-12-2013	24,00	1404	17,01	2,71	2,19	687,9	1
08-12-2013	24,00	1329	14,9	3,07	1,93	725,3	1
10-12-2013	24,00	1948	15,9	2,96	1,98	1891,3	2
11-12-2013	24,00	2166	16	2,94	1,96	1929,3	2
12-12-2013	24,00	2165	15,01	2,91	2,08	2108,7	2
13-12-2013	24,00	2199	15,23	2,36	2,22	2342,4	2
15-12-2013	24,00	2125	15,3	2,13	2,14	2060,4	2
20-12-2013	24,00	2537	17,09	3,78	2,24	2201,0	2
21-12-2013	24,00	2730	16,97	3,09	2,13	2300,3	2
22-12-2013	24,00	2778	17,2	3,01	2,24	2066,8	2
23-12-2013	24,00	2740	17,2	3,02	2,29	1856,2	2
24-12-2013	24,00	2586	16,3	3,25	1,96	2000,7	2
25-12-2013	24,00	2581	16,55	3,68	2,32	2041,4	2
27-12-2013	24,00	2674	18,96	3,26	2,21	2142,3	2
28-12-2013	24,00	2825	17,98	3,30	2,19	2043,3	2
29-12-2013	24,00	2779	18,08	3,35	2,26	2057,9	2
31-12-2013	24,00	2732	17,1	3,62	2,09	1995,4	2

