



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

***EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LAS BOMBAS DE PULPA
PRECALENTADA DE LA PLANTA DE LIXIVIACIÓN DE LA
EMPRESA P.S.A-MOANICKEL S.A***

***Trabajo de diploma en opción al título de Ingeniero en
Metalurgia y Materiales***

Yannelis Favier Trueba

Moa, 2014

“Año 56 de la Revolución”



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

***EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LAS BOMBAS DE PULPA
PRECALENTADA DE LA PLANTA DE LIXIVIACIÓN DE LA
EMPRESA P.S.A-MOANICKEL S.A***

***Trabajo de diploma en opción al título de Ingeniero en
Metalurgia y Materiales***

Autora: Yannelis Favier Trueba

Tutores: MsC. Gabriel Hernández Ramírez

DrC. Antonio Chang Cardona

Moa, 2014

“Año 56 de la Revolución”

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Yo: Yannelis Favier Trueba

Autora de este trabajo de diploma, certifico su propiedad intelectual a favor del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa “Dr. Antonio Núñez Jiménez”, el cual podrá hacer uso del mismo con la finalidad que estime conveniente.

Yannelis Favier Trueba

Dr.C Antonio Chang Cardona

MS.C Gabriel Hernández Ramírez

DEDICATORIA

A mi padre, mi madre y hermano.

A mis familiares.

A mi novio.

A mis amigos.

A nuestra Revolución, por las posibilidades que me ofrece.

AGRADECIMIENTOS

Cuando quieres realmente una cosa, todo el Universo conspira para ayudarte a conseguirla. Son muchas las personas que forman parte de ese universo que hizo posible la transformación de este sueño en realidad. En especial quiero agradecer:

A mis padres Ariel Favier Chivás y María de los Ángeles Trueba Aleaga por ser mi mayor motivación.

A mis tutores Gabriel Hernández y Antonio Chang por su apoyo incondicional para la total realización de este trabajo.

A mi hermano Ariel, a mis tíos, primos y abuelos. A mi gran familia.

A los profesores del departamento por su apoyo y confianza depositada en mí, ya que hicieron todo lo posible por forjarme como una profesional.

A mi novio Lizander por su ayuda siempre desinteresada, por privarse de comodidades para ayudarme a resolver mis problemas.

A mis compañeros y amigos del Instituto, Osmar, Yorlaydis, Koffi, Boubacar, Anthony, Francisco, Redorijis y Edwin, que realmente me han brindado su apoyo en todos estos cinco años de estudio.

A los compañeros de la empresa Pedro Sotto Alba, Suraima, Yosbel y Fernando por dedicarme parte de su tiempo de trabajo.

A mi vecino René y amigo Julio Noa, por ser esas personas colaborativas y serviciales que siempre han sido conmigo.

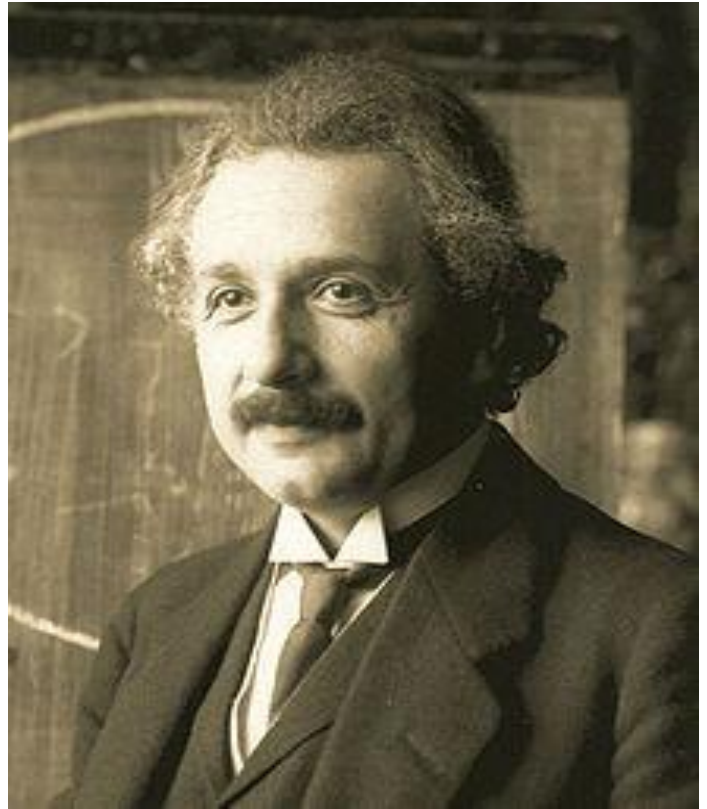
A todos aquellos que me brindaron su apoyo.

A todos muchas gracias.

PENSAMIENTO

Nunca consideres el estudio como una obligación, sino como una oportunidad para penetrar en el bello y maravilloso mundo del saber.

Hay una fuerza motriz más poderosa que el vapor, la electricidad y la energía atómica: la voluntad.



Albert Einstein

RESUMEN

La presente investigación tuvo como propósito determinar la influencia de los parámetros de la pulpa precalentada, tales como: porcentaje de sólido, densidad de la pulpa, número de mineral, temperatura y la productividad en el consumo energético de las bombas DENVER y WIRTH de la planta de Lixiviación de la empresa comandante Pedro Sotto Alba, debido a que existe poco conocimiento de cómo éstas variables influyen sobre la eficiencia energética de dicho equipamiento. Los datos se tomaron a escala industrial y se analizó dos bases de datos, una donde se contemplan las averías y otra libre de ellas. Los resultados fueron procesados empleando el software profesional Tierra versión 2.4. ISMM, 2004. En las condiciones de estudio, la productividad (P) resultó ser el parámetro de mayor coeficiente de correlación con un valor de 0,47, lo que demuestra que el consumo de energía de las bombas DENVER y WIRTH depende en gran medida de la productividad.

El modelo matemático-estadístico obtenido:

$$C_{energético} = 2,632 - 0,268 \cdot P_{sólido} - 0,091 \cdot N_{Mineral} + 9,133 \cdot D_{pulpa} + 0,049 \cdot T_{pulpa} + 0,0002 \cdot P$$

Se demostró que las principales causas de los elevados consumos energéticos de las bombas referidas, están dadas por la operación con elevados porcentos de sólidos ($P_{sólido}$, D_{pulpa}), por encima del 45 % y el ponche de los diafragmas y las roturas en los sellos mecánicos que provocan la operación inestable del equipamiento.

Palabras claves

Bombas, consumo energético, pulpa laterítica.

ABSTRACT

The present investigation has the purpose of determining the influence of the parameters of the preheated slurry, such as: the solid percent, the slurry density, number of mineral, productivity temperature in the energetic consumption of the pumps DENVER and WIRTH of the Leaching Plant in the Comandante Pedro Sotto Alba Enterprise. Due to the very little knowledge of these variables that influence on the energetic efficiency of the said equipment the data were taken on an industrial scale and the two sources of data was analysed, one where the mishaps were contemplated and another which was free from them. The results were processed employing a professional software Tierra version 2.4. ISMM, 2004. In the studying conditions, the productivity (P) resulted to be the parameter of greater correlation coefficient with a value of 0,47; which indicates that the energy consumption of the DENVER and WIRTH depends on a great productivity measures.

The mathematical-statistical model obtained:

$$C_{\text{energético}} = 2,632 - 0,268 \cdot P_{\text{sólido}} - 0,091 \cdot N_{\text{Mineral}} + 9,133 \cdot D_{\text{pulpa}} + 0,049 \cdot T_{\text{pulpa}} + 0,0002 \cdot P$$

It was demonstrated that the main causes of the elevated energetic consumption of the referred pumps, were given for the operation with elevated solid percentages ($P_{\text{sólido}}$, D_{pulpa}), over 45 % and the diaphragm punch and the mechanic seals that provoked the unstable operation of the equipment.

Key words

Pumps, energetic consumption, Lateritic slurry.

ÍNDICE	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
1 ESTADO DEL ARTE	6
1.1 Caracterización de las bombas de pulpa de la Planta de Lixiviación	6
1.1.1 Bombas centrífuga DENVER 5x4 SRL	7
1.1.2 Bombas de desplazamiento positivo WIRTH.....	9
1.1.3 Estado técnico del equipamiento	11
1.2 Antecedentes	11
1.3 Comportamiento reológico de suspensiones del mineral laterítico	15
1.4 Características químicas y mineralógicas de la pulpa limonítica	16
1.5 Comportamiento del consumo energético en la planta de Lixiviación.....	18
1.6 Base teórica de la investigación.....	20
Conclusiones parciales	27
2 MATERIALES Y MÉTODOS	28
2.1 Materiales	28
2.1.1 Procedencia de los parámetros	30
2.1.2 Obtención de las bases de datos de la investigación	32
2.2 Métodos	35
2.2.1 Regla de MAD (Desviación de la Mediana Absoluta)	36
2.2.2 Método de los mínimos cuadrados	37
Conclusiones parciales	42
3 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	43
3.1 Análisis de las matrices de correlación	43
3.2 Influencia de cada parámetro sobre el consumo energético para la base de datos libre de averías	44
3.2.1 Influencia del porcentaje de sólido sobre el consumo energético.....	44
3.2.2 Influencia del número de mineral sobre el consumo energético	45

3.2.3 Influencia de la densidad de la pulpa precalentada sobre el consumo energético	46
3.2.4 Influencia de la temperatura de la pulpa precalentada sobre el consumo energético	47
3.2.5 Influencia de la productividad de la planta sobre el consumo energético	49
3.3 Obtención del modelo matemático-estadístico de regresión de los parámetros de la pulpa precalentada sobre el consumo energético.....	50
3.4 Causas de los elevados consumos energéticos de las bombas DENVER y WIRTH	51
3.5 Medidas para mejorar la eficiencia energética de las bombas DENVER y WIRTH	52
3.6 Valoración económica.....	52
Conclusiones parciales	53
CONCLUSIONES.....	54
RECOMENDACIONES	55
BIBLIOGRAFÍA	56
ANEXOS	59

INTRODUCCIÓN

La problemática del uso racional de la energía en el contexto actual continúa ocupando un lugar prioritario en las investigaciones científicas a nivel mundial, debido a los precios crecientes y a la exigencia de ahorro de energía como vía hacia el desarrollo sustentable, el valor de la eficiencia energética juega un papel fundamental, principio tecnológico esencial para lograr el desarrollo tecnológico, en Cuba cobra mayor significado por lo limitado de sus recursos energéticos y en la industria cubana del níquel inmersa en un creciente y constante ascenso en sus producciones, demanda cada vez más un apreciable consumo de energía cuyos portadores deciden la rentabilidad de sus empresas aspectos recogidos en los lineamientos de la política económica y social del VI Congreso del Partido Comunista de Cuba.

Las bombas han tenido y tienen un papel decisivo en el desarrollo de la humanidad. No es posible imaginar los modernos procesos industriales y la vida en las grandes ciudades sin la participación de estos equipos.

Están presentes en las grandes centrales termoeléctricas, en las empresas de procesos químico, en las industrias alimenticias. Están presentes también en los equipos automotores. Tiene un decisivo papel en el confort de los grandes asentamientos humanos con el suministro de agua, evacuación de residuales y suministro de aire acondicionado. Los equipos de bombeo en particular son decisivos en los sistemas de riegos para la producción agrícola de alimentos.

En la Empresa Cmdte. Pedro Sotto Alba del municipio de Moa se lleva a cabo la tecnología ácida a presión, en la cual se efectúa la disolución de los óxidos de níquel y cobalto en forma de sulfatos a través del ácido sulfúrico como reactivo químico. En el proceso tecnológico de la fábrica (Anexo 1) intervienen las plantas que le dan tratamiento directo al mineral y las que producen ciertas materias primas. Cada una de estas plantas poseen funciones específicas, las cuales al tener un orden cronológico tributan a obtener como producto final de la entidad un sulfuro mixto de Ni y Co, que en un orden cronológico de producción son: Plantas de Pulpa, Espesadores, Lixiviación, Lavaderos, Neutralización y Precipitación de sulfuros.

En la planta de Lixiviación (Anexo 2), comienza el proceso metalúrgico del mineral laterítico después de haber recibido el tratamiento físico en las plantas de Pulpa y Espesadores. Este proceso se efectúa bajo condiciones específicas y apropiadas de operación como son: temperatura, presión y otros factores que influyen y que determinan en este proceso, los cuales son llevados a cabo en un sistema de reactores.

Las nuevas tendencias relacionadas con el incremento de los niveles productivos y el vertiginoso desarrollo de la Unión del Níquel y el MINEM, demandan que cada día se perfeccionen los procesos tecnológicos y se eleve la eficiencia metalúrgica y energética de los mismos.

En el costo de la extracción del níquel y en la eficiencia de su proceso tecnológico incide significativamente el tratamiento de las pulpas y en gran medida por el elevado consumo energético. En el tratamiento de las pulpas incide, además, una baja eficiencia operacional cuya causa se requiere precisar para disminuirlos costos e incrementar su fiabilidad, se hace necesario investigar los factores que inciden en la variación de los parámetros de las pulpas en los parámetros operacionales y en particular factores tales como: concentración de sólidos, porcentos de arena y gravilla, densidad de la pulpa, número de mineral y otras.

Las bombas DENVER y WIRTH, utilizadas para el trasiego de la pulpa precalentada en la planta referida, juegan un papel esencial dentro del proceso tecnológico. Estas son las encargadas de garantizar la presión y el caudal de pulpa precalentada para mantener la eficiencia operativa de la planta.

Las bombas centrífugas y de desplazamiento positivo poseen una amplia aplicación en la Industria Química y Metalúrgica, acerca de las mismas se han realizado numerosos estudios desde el punto de vista operacional en varios países, sin embargo, respecto al correcto funcionamiento, teniendo en cuenta la influencia de los parámetros del fluido a trasegar son pocos los intentos realizados.

En la actualidad no es posible dar a las suspensiones lateríticas que se procesan en el área del níquel, una caracterización que garantice un comportamiento reológico

predecible; de hecho, en una muestra este comportamiento cambia con el yacimiento, así como con el sitio y la profundidad con que se tome.

Las suspensiones lateríticas concentradas constituyen un sistema poco estudiado, dado su complejidad en cuanto a composición mineralógica y granulométrica. En las últimas décadas ha aumentado el interés por las mismas con vistas a la extracción de níquel y cobalto, metales que han alcanzado una alta demanda en diferentes tipos de industrias. El conocimiento del efecto que tienen estos factores en el comportamiento reológico de los fluidos constituye uno de los eslabones necesarios a tener en cuenta cuando las suspensiones de distintos materiales son utilizadas en procesos tecnológicos.

Por este motivo, es necesario conocer los parámetros técnico-organizativos de las bombas y los parámetros de la pulpa que describen el comportamiento de dichas suspensiones con vistas al cálculo y evaluación de los equipos, conductos, sistemas de bombeo y otros. En trabajos previos realizados se han abordado los efectos de las variables antes mencionadas, pero no se han obtenido parámetros racionales de operación para el correcto funcionamiento del sistema de bombeo, teniendo en cuenta los parámetros físico – mecánicos y reológicos de las pulpas.

Situación problémica

Necesidad de determinar los parámetros de la pulpa precalentada que influyen sobre el consumo energético de las bombas de pulpa DENVER y WIRTH de la planta de Lixiviación para poder ahorrar energía.

Problema de la investigación

El insuficiente conocimiento que existe sobre la influencia de los parámetros de la pulpa precalentada sobre el consumo de energía de las bombas DENVER y WIRTH para garantizar la productividad de la planta.

Objeto de estudio

Las bombas de pulpa precalentada DENVER y WIRTH de la Planta de Lixiviación.

Campo de acción

Consumo de energía de las bombas de pulpa precalentada DENVER y WIRTH de la Planta de Lixiviación.

Objetivo General

Determinar la influencia que existe entre los parámetros de la pulpa precalentada sobre el consumo de energía de las bombas DENVER y WIRTH para ahorrar energía y garantizar la productividad de la planta de lixiviación.

Hipótesis

Si se determina la influencia que ejercen los parámetros de la pulpa precalentada sobre el consumo energético de las bombas DENVER y WIRTH de la planta de lixiviación, mediante modelos de correlación, entonces se podrá mejorar la eficiencia energética de dicho equipamiento.

Objetivos específicos

1. Determinar las causas de los elevados consumos energéticos y las pérdidas de caudal de las bombas de pulpa precalentada DENVER y WIRHT en el año 2013.
2. Obtener los modelos matemático-estadísticos del consumo de energía en función de los parámetros de la pulpa precalentada y el caudal de las bombas.
3. Proponer medidas que contribuyan al mejoramiento de las operaciones de las bombas con el propósito de disminuir su consumo energético.

Sistema de Tareas

1. Revisión bibliográfica de trabajos investigativos relacionados con el análisis del comportamiento reológico de las pulpas lateríticas y la eficiencia energética de sistemas de bombeo, que se han realizado en los últimos años.
2. Obtención de una base de datos que relaciona los parámetros de la pulpa precalentada con el consumo energético de las bombas de pulpa DENVER y WIRTH en la planta de Lixiviación.

3. Determinar las causas de los elevados consumos energéticos y de las principales averías de las bombas de pulpa.
4. Elaboración de los modelos matemáticos para determinar la influencia de los parámetros de la pulpa precalentada sobre la eficiencia energética de las bombas de pulpa DENVER y WIRTH en la planta de Lixiviación.

1 ESTADO DEL ARTE

El objetivo del presente capítulo es establecer el marco teórico de la investigación, a partir del estado del arte del tema basado en el análisis de los trabajos precedentes, la base teórica que sustenta la investigación y una caracterización integral del estado actual del objeto de estudio.

1.1 Caracterización de las bombas de pulpa de la Planta de Lixiviación

Dentro del proceso productivo de la Planta de Lixiviación de la Empresa "Cmdte Pedro Sotto Alba", Moa Nickel S.A, las bombas de pulpa tienen una importancia vital para garantizar una alimentación estable, en cuanto a presión y caudal. El esquema tecnológico donde se muestran las bombas de DENVER y WIRTH se muestra en los anexos 3 y 4 respectivamente.

La planta cuenta con 5 unidades o trenes de producción, cada unidad o tren está formada por:

- 2 Bombas centrifugas DENVER SRL 5x4 Ø
- 2 Bombas WIRTH de Pistón de desplazamiento positivo
- Calentador
- 4 Autoclaves (Reactores)
- Enfriadores de pulpa (Calandrias de haz tubular, 4 pases con disposición triangular)
- Tanques despresurizadores (Flash tank).
- 2 Separadores de partículas de los flash
- 2 Separadores ciclónicos.
- 1 Caja distribuidora
- 1 Bomba LEWA de ácido

La pulpa con un 45 a 48 % de sólido y 28 °C de temperatura es bombeada desde la planta de Espesadores de pulpa a través de una de las dos líneas, dividiéndose en dos partes en la planta de Lixiviación, hacia los precalentadores de mineral. La pulpa

se introduce por la parte superior de los mismos donde se precalienta hasta 82 °C aproximadamente por contacto directo con vapor de 15 lb a contracorriente, y se distribuye en todas las secciones del mismo, lográndose de esta manera una mayor superficie de contacto entre la pulpa y el vapor. Una vez precalentada con aproximadamente 42 a 45 % de sólido descarga por el fondo a los tanques de almacenaje donde se mantiene homogeneizada por medio de un sistema de agitadores mecánico – neumático. De los tanques de almacenaje, mediante bombas centrífugas DENVER, la pulpa es enviada a las bombas de alimentación de alta presión WIRTH, las que suministran el mineral a los calentadores de cada tren.

De esta manera las bombas DENVER y WIRTH garantizan la productividad de la planta, con los 5 trenes en operación se garantiza de 9000 a 10 000 t de mineral procesado en un día, y con 4 trenes se maneja un rango productivo de 8000 a 9000 t.

1.1.1 Bombas centrífuga DENVER 5x4 SRL

Se codifican como (135-PU-1A; B; C; D; E; F;G; H; I;1J). En la figura 1.1 se muestra una bomba DENVER 5x4 SRL instalada en la planta de Lixiviación.



Figura 1.1 Bomba centrífuga DENVER

En su interior esta provista de un impelente de acero recubierto de goma y cuerpo protegido con revestimientos de goma. Posee sello mecánico del tipo CHESTERTON, (U.S.A) con sellos de carburo de silicio los estáticos y de carburo Tungsteno los móviles. Los aros de silicio están sometidos a tensión de unos resortes o muelles que garantizan la unión de ambos aros y con una presión de agua que garantizan el enfriamiento de estos y además compensan la presión de los resortes, esto garantiza que la pulpa no penetre al eje y ocasione daños por el efecto de abrasión. Opera con una presión de agua 10 lb/pg² por encima de la presión de descarga de la bomba. Este tipo de sello trabaja con agua desmineralizada para evitar incrustaciones. La alimentación es realizada por dos bombas centrifugas accionadas por motor eléctrico capaces de desplazar 7 L/min a una presión de 100 lb/pg². Este sistema posee además un sistema de protección (dos Cheques) que garantiza que al ocurrir un fallo de las bombas, el agua de proceso entre en línea y evita que exista penetración de la pulpa hacia todo el sistema de transporte y almacenaje

Características del equipo

Capacidad, g.p.m: 500

Potencia del motor: 30 HP / 60 Hz / 440 V

Frecuencia del motor, r.p.m: 1800

Frecuencia de la bomba, r.p.m: 1270.

Eficiencia, %: 66

Presión de descarga, lb/pg²: 60

Presión de Succión, lb/pg²: 0

Presión Máx. Succión, lb/pg²: 10

Head de Descarga, psig: 90.

Lubricante: HYP SIN AWS-68

Función dentro del proceso productivo

Transferir la pulpa de alimentación de un porcentaje de sólido determinado, aproximadamente a un 45 %, con una densidad específica de $1,443 \text{ g/m}^3$ y a unos 82°C de los tanques de almacenaje a las bombas de desplazamiento positivo de alimentación de alta presión que requieren de una altura de succión positiva de 60 a 65 lb/pulg^2 de presión aproximadamente.

1.1.2 Bombas de desplazamiento positivo WIRTH

Se codifican como (135-PU-3A, B; 4A, B; 5A, B; 6A, B y 22A, B). En la figura 1.2 se muestra una bomba WIRTH instalada en la planta de Lixiviación.



Figura 1.2. Bomba de desplazamiento positivo WIRTH

Estas bombas son de desplazamiento positivo, dúplex, con dos pistones o émbolos y 4 diafragmas accionados con aceite hidráulico, en el recorrido de uno de los pistones hacia el frente, la pulpa es alimentada al diafragma trasero, una vez terminado su recorrido, reinicia su recorrido en sentido inverso donde el cheque de la succión del diafragma trasero se cierra y el de la descarga se abre, al mismo tiempo, en el diafragma delantero se abre el cheque de succión y comienza a llenar el mismo hasta completar el ciclo descrito. Para estas bombas, la succión tiene que ser positiva, o

sea, que no son capaces de succionar por si solas, de aquí que las bombas DENVER son las que alimentan a estas. Con los dos émbolos y los 4 diafragmas, y las campanas de compensación en la succión y la descarga, es decir, los amortiguadores se logra un flujo más lineal garantizando una operación estable en el proceso de calentamiento de la pulpa. Las bombas “A” presentan un sistema de control de parámetros por P.L.C, las “B” por sistema de relay y timer. Sistema de campana compensadora en la succión y descarga, sistema de alimentación de aceite a diafragmas automático, sistema de lubricación a puntos de apoyos y bielas.

En la planta de las 10 bombas WIRTH existentes, 4 son accionadas por motor eléctrico de 75 HP (4B, 6B, 22B y 5B), y las 6 restantes operan mediante una turbina de 300 HP de potencia.

Características del equipo

Capacidad, g.p.m: 475 a 500

Presión de succión, lb/pg²: 60

Presión de. Descarga, lb/pg²: 600 a 657

Diámetro de los pistones, mm: 7 ¾

Recorrido de los pistones: 18”

Número de recorrido, min: 30 a 40

Emboladas por minuto: 30 a 40

Máxima embolada por minuto: 60

Diámetro del diafragma, mm: 720

Lubricante: HYP SIN AWS-68

Función dentro del proceso productivo

Tienen como objetivo aumentar la presión de la pulpa a lixiviar de 60 lb/pg² de presión hasta 650 lb/pg² y garantizar un bombeo estable de dicha pulpa precalentada hacia el calentador de cada tren. Con el fin de evitar cualquier golpe repentino en la línea de mineral de alimentación, llevado a cabo por las bombas Denver, poseen un

amortiguador de baja en la línea de succión. Con este mismo objetivo, estas bombas constan, en la descarga, de otro amortiguador de alta, pero en este caso, los golpes en la línea pueden ser causados por el retroceso del mineral desde el calentador al parar la bomba.

1.1.3 Estado técnico del equipamiento

Las bombas DENVER 5x4 datan prácticamente desde los inicios de la fábrica, siendo sustituidas las originales norteamericanas por otras de similar diseño, pero de fabricación española y manteniendo las actuales en uso. El cuerpo donde han sido sustituidas las transmisiones y la voluta conjuntamente con los elementos internos, el revestimiento y el impelente, adquiridos de nuevos suministradores bajo el mismo diseño y dimensiones originales. El estado técnico que presentan actualmente podemos catalogarlo de aceptable, aunque ya hay dos de los cuerpos que han tenido que ser reparados por rotura, debido a esfuerzos inadmisibles para el estado de fragilidad que presentan por el largo período de explotación. Se trabaja en la búsqueda de nuevas alternativas para adquirir una bomba de similar diseño. Se prueba en estos momentos un modelo nuevo de bomba en este caso una METSO HR 100.

La instalación de las bombas WIRTH data de la década de los años 80. Vinieron a sustituir las originales bombas Wilson Snyder, para el trasiego de la pulpa hacia los calentadores y de estos a los reactores de los trenes tecnológicos. Estas bombas presentan un estado técnico satisfactorio a pesar de los años de operación, donde no ha sido necesario trabajar en lo relacionado al sistema de fuerza que mantiene sus elementos originales. Trabajan de forma muy estable y eficiente. Están sometidas a un programa de mantenimiento periódico, realizándose la sustitución de los elementos de bombeos, como elementos interiores a las válvulas de succión y descarga, cheques, diafragmas, etc.

1.2 Antecedentes

Para la realización de este trabajo se ha hecho una intensa búsqueda bibliográfica, se han consultado una serie de artículos, revistas y otros materiales, donde se pudo comprobar que existe muy poco material relacionado con la influencia de los

parámetros de las pulpas lateríticas sobre la eficiencia energética de los sistemas de bombeo. Esta búsqueda estuvo dirigida en dos líneas fundamentales como son: la información relacionada con el enfoque teórico y los trabajos relacionados con análisis de las pulpas lateríticas y la eficiencia energética de sistemas de bombeo, que se han realizado en los últimos años.

En los últimos años se han emprendido estudios con el manejo de las suspensiones lateríticas, tanto en la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad de Oriente como en el Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa (ISMM), la Facultad de Ingeniería Química del Instituto Superior Politécnico de La Habana y el Centro de Investigaciones del Níquel (CEDINIQ) de Moa. Así la información experimental sobre la mineralogía y la distribución del tamaño de partículas de las lateritas cubanas /Puchol R. Q, 1984; Rojas A. L., P. Beyris, 1994; Ariosa J. D. et. Al., 2003; Agyei G., 2006; Falcón H. J., 2006; y su comportamiento durante el proceso de sedimentación /Falcón H. J., 1985; Almaguer A. F.,1996; Beyris P.E., 1997; Beatón B.M., 2001/ ha ido incrementándose, propiciando una mejor comprensión acerca de la influencia de los diferentes factores que determinan las características reológicas de las pulpas que se alimentan al proceso productivo / Garcell L., 1991; Cerpa A. et al., 1996; Cerpa A. et al.,1999; Cerpa A. et al.,2001; Cerpa A. et al., 2003; Pérez L. et. al., 2004; Pérez L. et. al., 2008; Pérez L., Y. Cardero, L. Garcell, 2009/.

Sin embargo, estas relaciones de influencia aún poseen un carácter más bien cualitativo, lo que obliga a realizar nuevas caracterizaciones experimentales, para determinar la influencia que existe entre los parámetros de la pulpa precalentada con respecto al consumo energético de los sistemas de bombeo.

Vastos estudios realizados entre los años 2004 y 2011 en materia de eficiencia energética en América Latina y El Caribe (AL&C), analizan la situación y las perspectivas de las acciones e instrumentos implementados para mejorar la eficiencia energética. Dichos estudios se han enfocado principalmente en cinco aspectos: los avances en el marco político, normativo e institucional; los actores clave de la eficiencia energética y su rol efectivo; los recursos y mecanismos de financiación de los programas de eficiencia energética; los resultados de los programas; y en las

lecciones aprendidas, (Carpio, et al., 2010; SENER, 2010; Horta, 2010; Lutz, Tecno. Lógicas., No. 30, enero-junio de 2013, 2011, Guzmán, 2009; ENTE, S.C., 2010; McNeil, et al., 2007; Ruchanski & Acquatella, 2010).

Miguel Turiño Hurtado, 1996:

En su tesis doctoral obtuvo modelos matemáticos que reflejan el funcionamiento de las bombas centrífugas y de desplazamiento positivo, los que 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. Las aplicaciones efectuadas corroboraron la factibilidad de empleo a escala industrial del programa ESBO versión 1.0, y la validez de los modelos matemáticos elaborados por el autor.

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.

Alberto Turro Breff, 2002:

En su tesis doctoral titulada "Estudio del Hidrotransporte de las Colas en el Proceso Carbonato Amoniacal", 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. El conjunto de 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.

Luis Delfín Rojas Purón, 2006:

En su tesis doctoral 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. Rojas demuestra la necesidad de instalar un controlador difuso para la mejora de la eficiencia energética de los motores de las bombas centrífugas de la planta de Lixiviación y Lavado de la empresa Ernesto Che Guevara y demuestra que con su uso la eficiencia del motor de inducción se mejora en un 8,34 %, en base al control de sus pérdidas para las condiciones de explotación de las plantas minero metalúrgicas, pero no tiene en cuenta la influencia que tienen los parámetros de la pulpa a trasegar en el consumo energético de dichas bombas,. El controlador difuso permite un efecto económico anual de 241 204 CUC pesos convertibles, por concepto de energía dejada de consumir en forma de pérdidas.

Liudmila Pérez García, 2010:

En su tesis doctoral determinó que las principales variables que influyen sobre el comportamiento reológico de las suspensiones lateríticas que se manipulan en el proceso de Lixiviación Ácida a Presión (LAP) de la Empresa “Comandante Pedro Sotillo Alba”, de Moa son: el contenido de sólidos, la composición química, el pH y la distribución de tamaños de las partículas. Como resultado del diseño de experimentos, determinó que el comportamiento reológico de las pulpas lateríticas puede ser evaluado utilizando como variables respuesta la viscosidad aparente (μ) y el esfuerzo cortante inicial (τ_0), pues sobre el índice de consistencia (K) y el índice de flujo (n) ninguna de las variables analizadas resultaron ser significativas. Obtuvo un modelo matemático empírico-teórico que correlaciona la viscosidad relativa de las suspensiones lateríticas con las principales variables que determinan su comportamiento reológico. El cual es válido en el dominio de operación del proceso, a niveles de: contenidos de sólidos entre 43 y 45 %, número de mineral entre 10 y 20, índice de estabilidad entre 0,03 y 0,12 y coeficiente de poli-dispersión entre 0,74 y 0,79; lo que constituye un aporte del trabajo.

Esta tesis describe el comportamiento reológico de las pulpas lateríticas pero no hace referencia a la influencia que tienen en la eficiencia energética de las bombas que trasiegan dichas pulpas.

Alexey Abad Batista, 2013:

En su trabajo de diploma realiza propuestas para mejorar la eficiencia en los accionamientos de bombas WIRTH. Determinó las características de explotación de los accionamientos, lo que facilitó la realización de un conjunto de mediciones, que sirvieron de referencia para conocer el comportamiento de la eficiencia energética en el accionamiento. Realizó la simulación de los accionamientos eléctricos considerando las condiciones industriales de explotación, sugiriendo como propuesta la aplicación de Lógica Difusa en el motor de inducción. Propuso el uso de filtros de armónicos, además, realizó la valoración económica de los resultados obtenidos con la aplicación de las propuestas, logando así mejorar la eficiencia en los accionamientos de la bomba de transporte laterítico cuando operan con cargas variables por lo que se obtienen ahorros de energía eléctrica. Con la aplicación del controlador difuso obtiene un ahorro promedio de energía de 15 586,01 CUC anuales, por concepto de reducción de pérdidas en el sistema de accionamiento eléctrico.

1.3 Comportamiento reológico de suspensiones del mineral laterítico

La dispersión de un sólido en un líquido puede exhibir características de flujo newtoniano o no newtoniano, dependiendo de las interacciones físicas y químicas que tienen lugar entre las partículas y el líquido así como de la naturaleza y características de las fases. En la literatura especializada se analizan diversos tipos de interacciones, resumiéndose dentro de tres categorías diferentes, Cheng D. C-H., 1980:

1. Interacciones hidrodinámicas entre el líquido y las partículas sólidas dispersas, las cuales incrementan la disipación viscosa en el líquido.
2. La atracción entre partículas, que da lugar a la formación de agregados y estructuras.
3. El contacto partícula – partícula, el cual es la causa de las interacciones de fricción

En cada tipo de interacción intervienen una variedad de factores que determinan el comportamiento y las características reológicas de la dispersión.

Los factores más importantes son:

1. Las características coloide-químicas de la dispersión (estabilidad), que dependen del pH, de la naturaleza del sólido y de la superficie de las partículas, y de la composición iónica del medio dispersante.
2. Composición mineralógica.
3. Forma, tamaño y distribución granulométrica de las partículas.
4. Concentración de la fase sólida.
5. Temperatura de la dispersión.

La influencia de cada factor en particular, o de un conjunto de ellos, puede ser muy compleja, Bhattacharya I.N., D. Panda, P. Bandopadhyay, 1998; Stickel J. J., R. L. Powell, 2005; de ahí la necesidad de especificar claramente bajo qué condiciones se determinan las características reológicas de la suspensión.

Además de una dependencia fuerte sobre la velocidad de deformación, la viscosidad de las suspensiones de laterita también depende del tiempo, Blakey B. C., D. F. James, 2003; y sus características de flujo son complejas, sobre todo a las concentraciones requeridas para el proceso productivo que permite separar hidro-metalúrgicamente el Ni y el Co que contienen, James D. F., B. C. Blakey, 2004; Klein A., D. J. Hallbom, 2002.

1.4 Características químicas y mineralógicas de la pulpa limonítica

La laterita ferro-niquelífera juega un rol importante en la industria del níquel, a partir de esta se produce aproximadamente el 40 % del total del níquel comercializable, además se considera que alrededor del 70 % del níquel en la corteza terrestre se encuentra en los yacimientos lateríticos, Gleeson S. A. *et. al.*, 2004; Hernández A. *et. al.*, 2010. Es un producto del intensivo intemperismo químico en ambientes tropicales y subtropicales, desarrollado bajo fuertes condiciones de oxidación, Kenneh F., 2008.

En la metalurgia extractiva la composición mineralógica de la mena es un factor importante para lograr resultados con adecuados índices tecnológicos. La presencia de los elementos en las diferentes fases minerales es un aspecto importante a tener en cuenta. En los estudios de separación desarrollados se observa la tendencia de los metales (Ni, Co, Fe, Al, Mg) a concentrarse en determinados productos; el níquel lo hace hacia los productos finos y débilmente magnéticos, el aluminio y el magnesio se concentran en los productos gruesos, Agyei G., 2006; Hernández A. *et. al.*, 2010. Resulta de mucha importancia conocer las fases minerales en las que se encuentran, porque en dependencia de ello, así serán los resultados del proceso extractivo, Li J. *et. al.*, 2009.

Las diferentes clases granulométricas de las cortezas de intemperismo presentan contrastes significativos en cuanto al porcentaje en peso de la fracción, contenido químico y mineralógico que resulta de interés desde el punto de vista tecnológico. La meteorización o intemperismo consiste en un grupo de procesos mediante los cuales las rocas y minerales expuestos a la acción de factores atmosféricos pueden ser destruidos físicamente o desintegrados químicamente, pudiendo cambiar su color, coherencia, forma, textura y composición, Manceau A. *et. al.*, 2000; Ariosa J. D. *et. al.*, 2003; Hernández A. *et. al.*, 2010.

Las principales fases mineralógicas que constituyen las menas lateríticas son: Goethita que contiene del 58 al 78 % del níquel presente en las lateritas, Rojas A., 2001; Agyei G., 2006; Madigan C., Y.K. Leong, B.C. Ong, 2009; Luo W. *et. al.*, 2009; Hernández A. *et. al.*, 2010, en la maghemita y magnetita se distribuye del 15 al 25 % y en las asbolanas la presencia de níquel está entre 12 y 17 %. El cobalto se distribuye del 80 al 90 % en las asbolanas, del 10 al 20 % en la maghemita y magnetita, y en menor porcentaje en la goethita, pero en los reactores del proceso de lixiviación en la tecnología ácida a presión el níquel y cobalto presente en la fracción magnética prácticamente no se lixivian, creando dificultades tecnológicas y ocasionando pérdidas en las colas del proceso.

El aluminio se encuentra en gibbsita, goethita y las espinelas fundamentalmente, en las dos últimas fases minerales, además de ser menor su concentración no ocasiona

serias dificultades en la extracción. Sin embargo, la gibbsita, por su pequeña densidad y su forma irregular, es un elemento esencial en la formación de las llamadas mallas que se originan en los espesadores de pulpa y que obstruyen su espesamiento. Con anterioridad se hacía referencia al comportamiento de las fases de acuerdo al diámetro de las partículas y se aprecia la tendencia de la goethita a concentrarse en las clases de tamaño finas, la cromita y gibbsita lo hacen en las clases intermedias, la serpentina se concentra en las partículas de mayor diámetro y la magnetita no ofrece una regularidad en su concentración, Hernández A. *et. al.*, 2010; Wilson J., *et. al.*, 2006. Según Cerpa A., *et. al.* 1999, las lateritas cubanas están compuestas fundamentalmente por serpentina y goethita en diferentes proporciones.

En la composición mineralógica de los materiales de mala sedimentación se detecta una marcada diferencia entre la fracción gruesa y la fina, pues mientras que la fracción ($< 0,074$ mm) está constituida por fases mineralógicas tradicionalmente conocidas en las lateritas como son: goethita, hematina y magnetita, en la clase granulométrica gruesa están presentes los silicatos de magnesio y sílice: clorita, olivino y cuarzo, que son minerales de metales ligeros (Si y Mg) que le proporcionan una baja densidad; constituyendo su presencia en la pulpa un factor desfavorable para la sedimentación, Rojas P., P. Beyris, 1994.

1.5 Comportamiento del consumo energético en la planta de Lixiviación

Los datos del consumo energético, portadores de energía y medios de consumo se extraen del informe del control de electricidad de la planta de Lixiviación en el año 2013, de esta manera se obtienen los datos para conformar nuestras bases de datos.

El diagrama de Pareto es una gráfica en forma de barras que clasifica en forma descendiente los que se analizan en función de su frecuencia, importancia absoluta o relativa. Adicionalmente permite observar en forma acumulada la incidencia total del consumo energético.

En la tabla 1.1 se establecen los portadores de energía de la planta de Lixiviación (Gómez, 2014) y se demuestra que las bombas ocupan el 77,9 % del consumo total de energía.

Tabla 1.1 Portadores de energía de la planta de Lixiviación.

Portadores	kW	%
Consumo Planta	28608	100,0
Bombas	22296	77,9
Otros	4278	15,0
Luminarias	2034	7,1

En la figura 1.3 se muestra la distribución de la energía en la planta de Lixiviación, al observarse el porcentaje que representa.

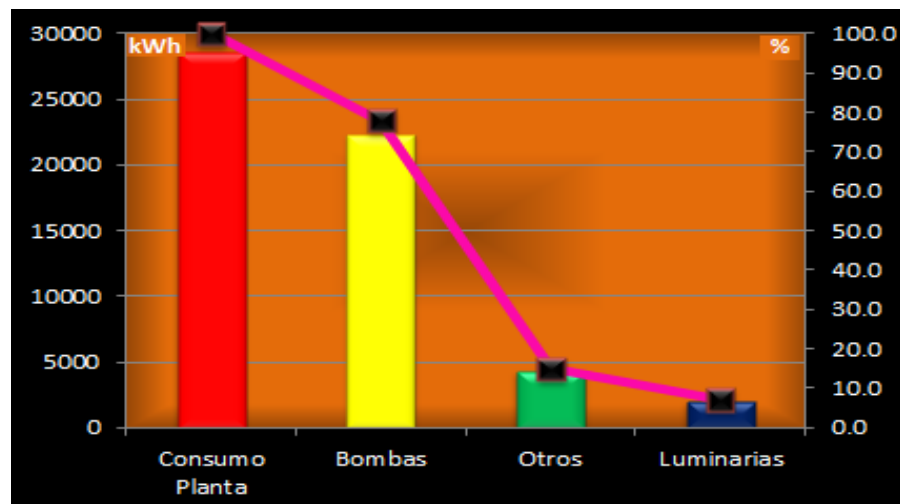


Figura. 1.3 Distribución de la energía en la planta de Lixiviación

En la figura 1.4 se muestra el consumo de energía de los principales medios de consumo de la planta de Lixiviación.

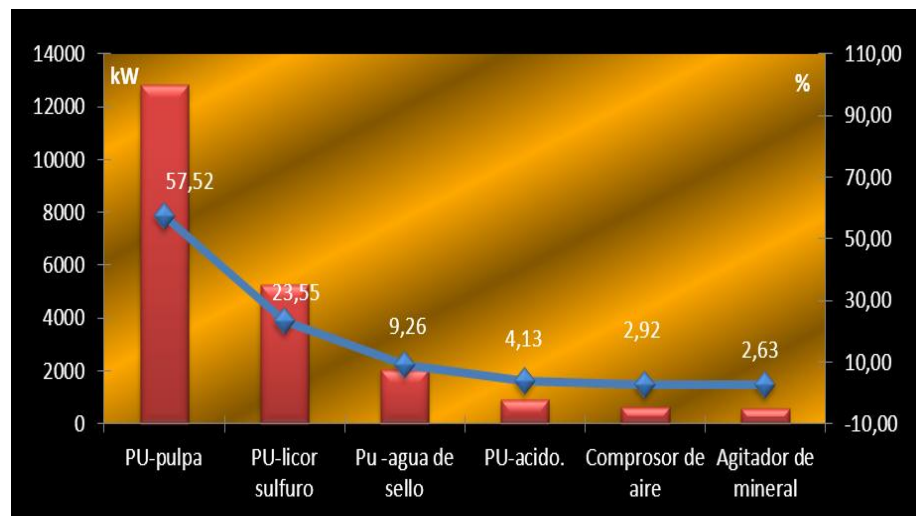


Figura 1.4. Principales medios de consumo

La figura 1.3 muestra que las bombas son el principal portador energético de mayor consumo, y la figura 1.4 demuestra que la pulpa es el medio de consumo de mayor gasto, por esta razón se enfoca la investigación en las bombas de pulpa de la planta de Lixiviación.

1.6 Base teórica de la investigación

En la industria química tiene gran importancia el transporte de productos líquidos y gaseosos por tubería, tanto dentro de la empresa, en instalaciones y aparatos aislados, como fuera de ella.

El movimiento de los líquidos por tuberías y aparatos está vinculado con gastos de energía. En algunos casos, por ejemplo, en caso de movimiento desde un plano superior a otro inferior el desplazamiento del líquido es de marcha natural, o sea, sin gasto de energía externa, debido a la transformación de una parte de su energía potencial en cinética. Para el transporte de líquidos a través de tuberías horizontales y desde un plano inferior a otro superior se emplean las bombas, A. Mariño et al, 1994.

Se denominan bombas a las máquinas hidráulicas que transforman la energía mecánica de un motor en energía de un fluido bombeado, aumentando la presión. El transporte de líquido se basa en la diferencia de presiones en la bomba y la tubería; Kasatkin, 1985.

Parámetros fundamentales de las bombas

Los parámetros fundamentales de las bombas de todo tipo son: el caudal, la altura de elevación y la potencia.

El caudal o capacidad Q (m^3/s) se define como el volumen del líquido impulsado por la bomba en la tubería de descarga en unidad de tiempo.

La altura de elevación o carga desarrollada H (m) caracteriza la energía específica comunicada por la bomba a la unidad de peso del líquido. Este parámetro muestra, en que magnitud aumenta la energía específica del líquido al pasar a través de la bomba y se determina acorde a la ecuación de Bernoulli (Ecuación 1.1) para líquidos no viscosos y viscosos (ecuación 1.2) respectivamente, A. Mariño et al, 1994

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{\omega_1^2}{2g} + h_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{\omega_2^2}{2g} + h_2 \quad (1.1)$$

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{\omega_1^2}{2g} + h_1 - h_{p\acute{e}rdidas} = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{\omega_2^2}{2g} + h_2 \quad (1.2)$$

donde

P_1 y P_2 : Presiones estáticas absolutas en las secciones I y II, respectivamente, Pa;

ω_1 y ω_2 : Velocidades lineales medias en las secciones correspondientes, $\frac{m}{s}$;

h_1 y h_2 : Alturas geométricas con respecto al plano de referencia, m;

$h_{p\acute{e}rdidas}$: Altura de pérdidas, m.

La potencia útil N_u , gastada por la bomba para comunicar al líquido la energía de presión, es igual al producto de la energía específica H por el caudal $\gamma \cdot Q$ de pulpa precalentada.

$$N_u = \gamma \cdot Q \cdot H = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \quad (1.3)$$

La potencia en el árbol de la bomba N_e es mayor que la potencia útil debido a las pérdidas de energía en la propia bomba. La magnitud relativa de esta pérdida se valora por el rendimiento de la bomba η_b .

$$N_e = \frac{N_u}{\eta_b} \quad (1.4)$$

El rendimiento η_b caracteriza la perfección de la estructura de la bomba y su eficacia durante la explotación.

La potencia consumida por el motor o la potencia nominal del motor N_{motor} es mayor que la potencia impulsada en el árbol de la bomba en la magnitud de las pérdidas mecánicas en las transmisiones desde el motor eléctrico hasta la bomba y en el propio electromotor como se muestra en la ecuación 1.5.

$$N_{motor} = \frac{N_e}{\eta_t \cdot \eta_{motor}} = \frac{N_u}{\eta_b \cdot \eta_t \cdot \eta_{motor}} \quad (1.5)$$

El producto $\eta_b \cdot \eta_t \cdot \eta_{motor}$ representa el rendimiento completo de la instalación de bomba.

La potencia total de una instalación N_{ins} es calculada a base de la magnitud N_{motor} teniendo en cuenta las posibles sobrecarga durante la puesta en marcha de la bomba, que surgen con motivo de la necesidad de superar la inercia de la masa del líquido en reposo, se determina mediante la ecuación 1.6, Kasatkin, 1985.

$$N_{ins} = \beta \cdot N_{motor} \quad 1.6$$

Aquí β es el coeficiente de reserva de potencia; su valor se define a tenor de la magnitud nominal de la potencia del motor N_{motor} , que se expresa en la tabla 1.2.

Tabla 1.2 Coeficiente de reserva de potencia.

N_{motor}	menos de 1	1 a 5	5 a 50	más de 50
β	2 a 1,5	1,5 a 1,2	1,2 a 1,5	1,1

Eficiencia de bombeo

La ecuación 1.6 expresa la eficiencia o rendimiento mecánico de bombeo, que 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 por ciento:

$$\% \eta = \frac{Pot_T}{Potent} \cdot 100 \quad (1.6)$$

donde:

Pot_T – potencia calculada por la ecuación (1.3), kW;

$Potent$ - potencia entregada, kW.

Características de las bombas centrífugas

Las dependencias gráficas entre la altura de elevación, la potencia consumida, el rendimiento de la bomba y su caudal, siendo el número de revoluciones n constante, se denominan características de la bomba. Estas dependencias se obtienen durante

los ensayos de las bombas centrífugas, cambiando el grado de abertura de la válvula en el tubo de impulsión. Dichas características se exponen en los catálogos de las bombas por sus productores.

De la figura 1.5 se deduce que al aumentar el caudal $n = \text{constante}$, la altura de elevación de la bomba disminuye, la potencia consumida aumenta, y el rendimiento pasa al máximo; Kasatkin, 1985.

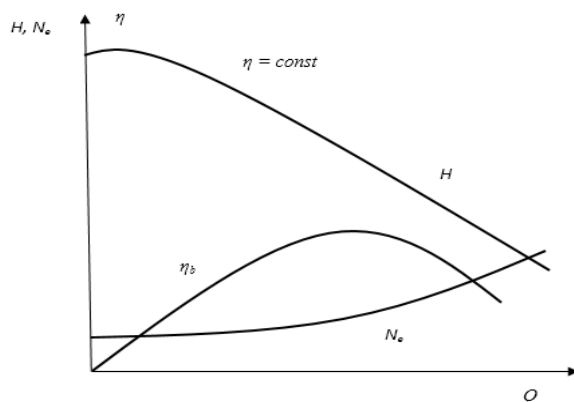


Figura 1.5. Características de la bomba centrífuga

Trabajo de las bombas para las redes

Al elegir la bomba es necesario tener en cuenta las características de la red, es decir, las tuberías y aparatos, por donde se transporta el líquido.

Las características de la red expresa la dependencia entre el caudal del líquido y la altura de elevación necesaria para transportar el líquido por la red dada. La altura de elevación se puede definir como la suma de la altura geométrica de carga H_g y de las pérdidas de carga h_p .

La combinación de las características del sistema y de la bomba viene mostrada en la figura 1.6. El punto A de cruce de estas características 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 dada por otra de mayor caudal. El aumento del caudal puede también lograrse reduciendo la resistencia hidráulica h_p . En este caso el punto de trabajo se traslada por la característica de la bomba a la derecha; Kasatkin, 1985.

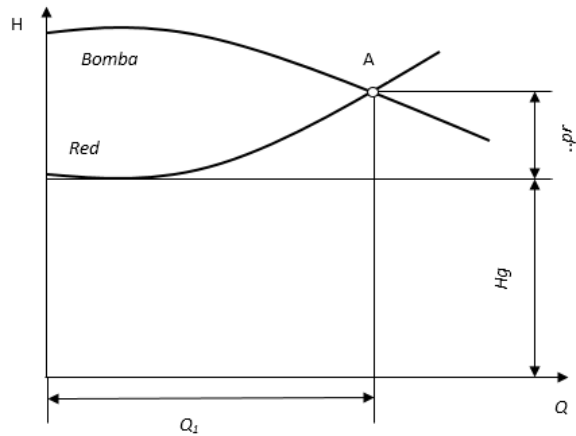


Figura 1.6. Combinación de las características de la bomba con la red

Funcionamiento conjunto de las bombas

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

En caso de la conexión en paralelo la característica total de la bomba se obtiene sumando las abscisas de las características de cada una de ellas para la altura de elevación dada. En la figura 1.7 a, se muestra las características de dos bombas iguales que funcionan paralelamente. La reunión de las características de la red, con la característica total de la bomba muestra que el punto de trabajo B corresponde al caudal Q_2 mayor, que la capacidad Q_1 de una sola bomba es el punto A.

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 un valor de caudal.

En la figura 1.7 b, se muestra la característica total de dos bombas iguales, conectadas en serie. El punto de cruce de estas características con la característica de la red, el punto B, corresponde a la altura de elevación y caudal H_2 y Q_2 totales de las bombas conectadas en serie y que funcionan para la red dada. Para semejante conexión de las bombas se logra aumentar considerablemente la carga desarrollada aún, cuando las características de la red sea relativamente pendiente; Kasatkin, 1985.

Combinación de las características de la bomba con la red.

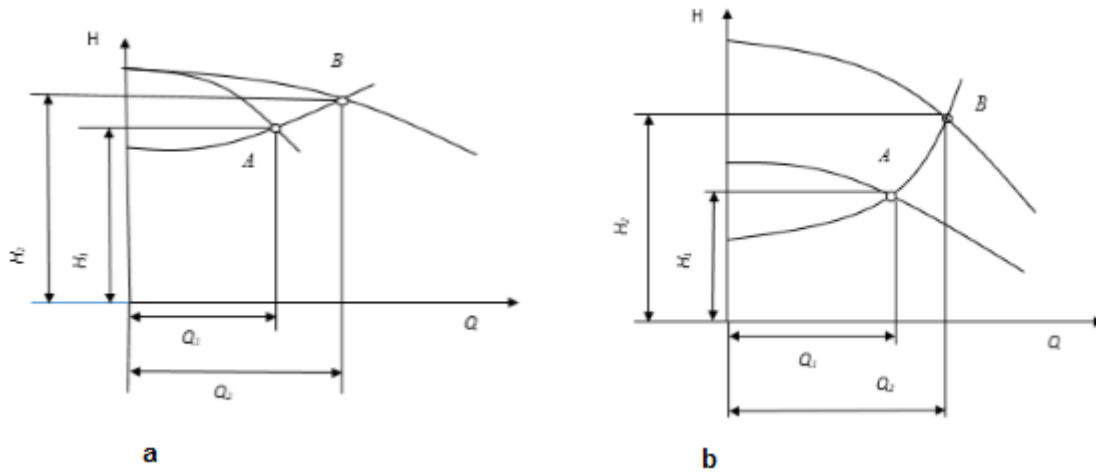


Figura 1.7. Funcionamiento conjunto de la bomba: a) conexión en paralelo, b) conexión en serie.

Característica de las bombas de desplazamiento positivo

En la figura 1.8 se muestra la dependencia entre la carga desarrollada H y el caudal Q de la bomba de émbolo, se representa como una recta vertical. La característica muestra, que el caudal de la bomba de émbolo es una magnitud constante, que no depende de la carga. Prácticamente a causa del aumento de las fugas del líquido a través de las holguras, que crecen al elevar la presión, la característica real no coincide con la teórica. Con el incremento de la presión la capacidad real de la bomba de émbolo disminuye un poco. Kasatkin, 1985

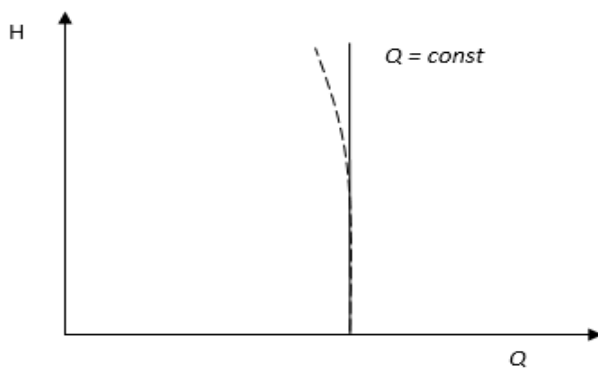


Figura 1.8. Característica de una bomba de émbolo

Tipos especiales de bombas de émbolo y centrífugas

Para transportar líquidos químicos activos y tóxicos, así como también líquidos que contienen suspensiones sólidas se emplean bombas de émbolo y centrífugas de estructura especial.

En este caso se usan bombas de diafragma, que no son más que bombas de émbolo de simple efecto y se usan para trasladar suspensiones y líquidos químicos agresivos. En estas bombas al desplazar el pistón hacia arriba, el diafragma, bajo la acción de las diferencias de presiones sobre sus ambos lados, se acopla hacia la derecha y el líquido a través de la válvula de impulsión es impelido a la tubería de descarga. Todas las piezas de válvulas, se fabrican de materiales acidorresistentes o se protegen por recubrimientos acidorresistentes.

En la industria química obtuvieron la mayor aplicación las bombas centrífugas, pues poseen varias ventajas, al compararlas con las bombas de émbolo. A estas ventajas se refieren: 1) gran caudal y carga uniforme, 2) compactibilidad y rapidez, es decir, facilidad de conexión eléctrica con el motor eléctrico, 3) sencillez de su estructura, lo que permite fabricarlas de materiales químico-resistentes, que resultan difíciles para el maquinado mecánico, por ejemplo de ferrosilicio, cerámica, etc., 4) posibilidad de bombear líquidos que contienen partículas sólidas suspendidas, gracias a las holguras relativamente grandes entre los álabes y a la ausencia de válvulas; 5) posibilidad de montarlas sobre filamentos ligeros.

A las imperfecciones de las bombas centrífugas se deben referir las alturas de elevación relativamente bajas, así como la reducción del caudal al aumentar la resistencia del sistema y la caída brusca del rendimiento al disminuir el caudal.

El empleo de las bombas de émbolo resulta conveniente sólo para relativamente pequeños caudales y altas presiones, para el bombeo de fluidos de alta viscosidad, de fluidos inflamables, así como también para dosificar medios líquidos.

Con tales argumentos se puede fundamentar el protocolo de la presente investigación, mediante las siguientes:

Conclusiones parciales

- La aplicación de la teoría relacionada con las bombas centrífugas y de desplazamiento positivo, permitió establecer las características fundamentales, el estado técnico y la función que ejerce dicho equipamiento dentro del proceso productivo de la planta de Lixiviación.
- Los parámetros de la pulpa que se alimenta a la planta de Lixiviación de la empresa Pedro Sotto Alba, y en especial, la densidad de la misma, es un tema bastante estudiado, sin embargo son pocos los intentos realizados en cuanto a su influencia con respecto a la eficiencia energética de las bombas que la trasiegan, de ahí la importancia de la presente investigación, lo que se manifiesta en la no existencia de una base de datos que las correlacionen, ni se controla sus parámetros eléctricos individuales.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

La principal particularidad de la presente Tesis es la creación de una nueva base de datos de producción, cuyo parámetro dependiente es el consumo de energía de la bomba, el cual no se controla sistemáticamente en toda la empresa, y no aparece en la INTRANET para actuar sobre esta oportunamente, ya sea para ahorrar energía o proponer medidas técnico-operacionales que garanticen la máxima productividad de la planta en condiciones de extrema densidad de la pulpa.

Para lograr este propósito fue necesario utilizar el reporte de averías correspondiente al año 2013 realizado por el jefe de mantenimiento de la planta de Lixiviación, independientes de los tecnólogos para después conectarlos y clasificar las bases de datos en dos: una que considere las pérdidas de productividad por problemas mecánicos en las bombas y su red de conductos con válvulas; y la segunda, el consumo de energía y la productividad de la planta que quedan dependientes solo de las propiedades de la pulpa que se controlan en la empresa. Esto presupone un trabajo indagativo de ingeniería de gran envergadura, así como, la creatividad para organizar las datas, de tal manera, que permita demostrar la necesidad de incluir en el sistema informativo de la empresa las mediciones de los parámetros electro-energéticos de cada bomba por sus implicaciones en la factura energética de la empresa y la productividad de la planta.

Por consiguiente, el presente trabajo no usó directamente materiales para realizar experimentos, pero si los datos de producción que la empresa almacenó durante el año 2013. Esto obliga a esclarecer la procedencia de los mismos, así como los métodos y normas empleadas por la empresa para obtenerlos.

La nueva base de datos a crear es la que permitirá demostrar la hipótesis científica.

2.1 Materiales

Los materiales utilizados en la investigación se relacionan a continuación:

1. Manual de operación de la planta de Lixiviación.
2. Libro de operaciones de la planta de Lixiviación.
3. Base de datos de los parámetros de operación 2013 de la planta de Lixiviación

4. Software de Supervisión CitectSCADA. Versión 7.10 Service Pack 3

Manual de operaciones de la Planta de Lixiviación: es el documento oficial de la planta de Lixiviación que establece los parámetros de operaciones de la planta, describe los principales equipos y las principales operaciones. Este documento se utilizó para seleccionar los parámetros a estudiar en el presente estudio y tomar como referencia los valores de diseño de los parámetros.

Libro de operaciones de la Planta de Lixiviación: 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, averías y otros datos de interés con fines investigativos para la confección de la bases de datos.

Base de datos de los parámetros de operación 2013 de la planta de: es el documento donde se recoge el comportamiento diario de los parámetros de operación de la planta de Lixiviación correspondiente a un año natural.

Software de Supervisión CitectSCADA. Versión 7.10 Service Pack

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.

Los datos reales con los que se desarrolla la investigación están basados en el año 2013.

Los parámetros a analizar son los siguientes:

- Porcentaje de sólido, %;
- Densidad de la pulpa, g/m^3 ;
- Número de mineral, adimensional;
- Temperatura, $^{\circ}\text{C}$;
- Productividad de la planta, t/h ;
- Consumo energético de la Planta, kWh ;

Para analizar la procedencia de cada parámetro se requiere relacionar el número y

nombre de la norma empresarial que se empleó y el lugar de procedencia de los datos tomados.

2.1.1 Procedencia de los parámetros

Número de mineral

Para determinar el número de mineral, se parte de la composición química de la pulpa. Este análisis se realiza en el laboratorio de la empresa Pedro Sotto Alba, por la técnica de fluorescencia de rayos X (Anexo 5) para determinar la composición química del mineral laterítico. Se determina el número de mineral para predecir el comportamiento de la pulpa en la sedimentación /Iglesias C., 2010/, que se determina por la ecuación 2.1, se decidió utilizarlo como variable representativa de la composición química, en la presente investigación:

$$N_{Mineral} = \frac{\%Mg + \%SiO_2}{\%Co + \%Mn} \quad (2.1)$$

Se ha comprobado que cuando el número de mineral radica entre 7 y 14 la pulpa tiene buena sedimentación (Pérez L, 2010).

Densidad de la pulpa

La densidad de la pulpa se obtiene a partir del cálculo establecido por la planta referida (Anexo 6). En esta metodología se divide el volumen de agua y de pulpa para obtener la densidad de la pulpa (Pavlov, 1981).

Porcentaje de sólidos

El contenido de sólidos de la pulpa, expresado en porciento en peso, es una de las variables de mayor control, sobre todo a la salida de los tanques de almacenaje de donde succionan las bombas DENVER, pues de ella depende la eficiencia del proceso de extracción, así como el consumo de ácido requerido para ello.

En la planta este parámetro se determina mediante la norma NEIB 050302, (Anexo 7).

Temperatura

Se han realizado muy pocos estudios acerca del efecto de la temperatura en el caso de las suspensiones de laterita, entre ellos están los realizados por Avotins P. A., S. S.

Ahlschlager, R. G. Wicker., 2006 (cit. por Pérez L., 2004); Pérez L. (2004); Pérez L. *et. al.* (2008) donde, de acuerdo con los resultados obtenidos se confirma que el esfuerzo cortante y a la viscosidad, así como los demás parámetros reológicos, disminuyen al aumentar la temperatura y este es el comportamiento típico esperado en la mayoría de los líquidos y suspensiones. Los problemas de alta viscosidad que en ocasiones se presenta con las pulpas lateríticas ocurren a temperatura ambiente.

En la planta de Lixiviación la temperatura se mide en los precalentadores ubicados encima de los tanques de almacenaje mediante un termopar.

Productividad de la planta

Esto es un cálculo que diariamente y a cada instante se determina. Esta capacidad se basa en la capacidad de bombeo de las bombas. La productividad de la planta la determinan las bombas WIRTH mediante la siguiente ecuación:

$$P = \frac{Emb}{\min} \cdot \frac{kg}{Emb} \cdot \frac{\%_{sólido}}{100} \quad (2.2)$$

Donde

$\frac{Emb}{\min}$: Se determina a partir de la lectura horaria de los contadores de emboladas;

$\frac{kg}{Emb}$: Es cada kg de pulpa impulsado por la bomba.

Consumo de energía

El consumo de energía en la planta se obtiene a través del Citect mediante una PQM, que realiza lecturas de las variables eléctricas como: potencia activa, reactiva y aparente, corriente, tensión, factor de potencia, energía activa y reactiva. A partir de estas lecturas se pudo determinar el consumo energético de la planta y de las bombas de pulpa precalentada. Estas lecturas son declaradas diariamente en el informe del control de electricidad de la planta de Lixiviación, para este caso se trabaja con el referido al año 2013.

2.1.2 Obtención de las bases de datos de la investigación

La Planta de Lixiviación está compuesta por cinco trenes que deben procesar y lixiviar entre 8000 y 10 000 t/día de mineral como promedio; las cuales se han visto afectadas por problemas técnico-operacionales y averías en el sistema de bombeo. A continuación se realiza un análisis de las principales averías y su influencia en la productividad de la planta.

Para analizar la influencia de los parámetros de la pulpa precalentada sobre el consumo energético de la planta en el período comprendido por el año 2013, se analizó una base de datos general que se muestra a continuación una parte de ella en la tabla 2.1, el resto se encuentra en el Anexo 8.

Tabla 2.1 Base de datos general de la planta de Lixiviación

Fecha	% de sólido	No, Mineral	Densidad, g/cm ³	Productividad, t/h	Temperatura, °C	Consumo energético total, MWh
03-01-2013	36,87	10,54	1,415	64	8406	23,220
05-01-2013	37,59	12,32	1,411	63	7687	19,700
06-01-2013	37,76	9,537	1,413	63	7484	19,400
11-01-2013	39,76	9,997	1,427	64	7934	20,449
12-01-2013	38,02	10,718	1,409	65	8707	20,162
14-01-2013	38,15	12,477	1,425	64	7555	18,200
15-01-2013	38,46	10,938	1,451	64	7860	18,837
16-01-2013	39,32	10,444	1,422	64	7908	19,528
17-01-2013	38,72	8,392	1,417	64	7534	18,500
18-01-2013	39,31	8,395	1,460	65	7981	18,600

Esta base de datos es de vital importancia para proceder a la identificación de las principales averías y obtener una base de datos libre de averías y otra donde se contemplen ellas.

En la tabla 2.2 se precisa una parte de las averías ocurridas en el sistema de bombeo de la planta de Lixiviación en el período del año 2013, el resto se encuentra en el Anexo 9.

Tabla 2.2 Una parte de las verías de las bombas de pulpa de la planta de Lixiviación

Fecha	Tren	Equipo	Modo	tiempo, h	Pérdidas, t
03-01-2013	3	PU-1F	Avería entredós	1,083	16,740
05-01-2013	4	PU-6B	Diafragma ponchado	7,083	80,760
06-01-2013	3	PU-5B	cheque calzado	3,000	32,790
06-01-2013	3	PU-5B	cheque calzado	0,917	10,110
06-01-2013	3	PU-5B	cheque calzado	2,000	38,240
06-01-2013	5	PU-22B	espárragos partidos	5,167	53,810
08-01-2013	4	PU-6B	cheque calzado	0,833	11,990
09-01-2013	4	PU-6B	cheque calzado	2,000	39,670
09-01-2013	4	PU-5A	espárragos partidos	1,333	10,370

Vale aclara las principales averías antes nombradas en la base de datos para una mejor comprensión:

La avería entredós, se refiere a una avería en la red, el entredós es la unión del reducido empleado para el acoplamiento a la succión y descarga de las bombas.

La avería PU, es la avería que incurre en el cambio total de la bomba, exceptuando la voluta que es la parte externa del equipamiento.

Para reducir la base de datos anterior se realiza la tabla 2.3 donde se recogen las principales averías en que incurrió la planta.

Tabla 2.3 Principales averías

Principales averías	tiempo, h	Pérdidas, t	%
Avería entredós	6,000	47,110	0,150
Diafragma ponchado	179,283	9520,170	30,215
cheque calzado	483,333	9777,820	31,033
espárragos partidos	148,550	3477,440	11,037
Avería PU	328,150	4918,270	15,610
Disparo PU	13,450	186,010	0,590
Instrumentación	8,250	93,580	0,297
Fugas	66,713	1197,570	3,801
Espárragos flojos	1,417	21,030	0,067
Ponche línea calibración	29,533	10,960	0,035
Avería válvula	4,750	140,880	0,447
Avería codo	6,917	157,950	0,501
Avería tenedor descarga	7,500	484,000	1,536
Avería revestimiento	4,250	349,920	1,111
Avería motor	25,033	825,750	2,621

Avería línea de aire	14,250	132,120	0,419
Avería eléctrica	5,433	94,020	0,298
Ponche reducido succión	0,333	6,520	0,021
Avería Cameron	0,950	66,660	0,212
Total	13 34,097	31 508	100,000

De esta manera se demuestra que las principales averías están dadas por los cheques calzados para ambos tipos de bombas DENVER y WIRTH, que expresa un 31 % del total de averías, y los ponches de los diafragmas en el caso de las bombas WIRTH que representa un 30 %. Estos tipos de averías comprenden un período de 662, 617 h de trabajo, en las cuales las pérdidas fueron de 19 297,990 t.

El total de averías ocurridas en la planta en el período comprendido, demuestra el elevado valor de pérdidas de productividad, que representa 31 508 t de mineral perdidas en el año 2013.

Al relacionar las averías antes mencionadas se procede a la separación de la base de datos general, para obtener una base de datos donde se contemplan las averías y otra libre de ellas.

La base de datos donde se contemplan las averías se muestra a continuación solo una parte de ella en la tabla 2.4, el resto se encuentra en el anexo 10.

Tabla 2.4 Una parte de la base de datos donde se contemplan las averías

Base de datos donde se contemplan las averías						
Fecha	% de sólido	No, Mineral	Densidad, g/cm³	Productividad, t/h	Temperatura, °C	Consumo energético de las bombas, MWh
03-01-2013	36,870	10,540	1,415	8406	64	17,879
05-01-2013	37,590	12,320	1,411	7687	63	15,169
06-01-2013	37,760	9,537	1,413	7484	63	14,938
08-01-2013	38,490	9,491	1,415	5504	65	13,637
09-01-2013	38,510	8,279	1,540	5634	64	13,358
11-01-2013	39,760	9,997	1,427	7934	64	15,746
12-01-2013	38,020	10,718	1,409	8707	65	15,525
14-01-2013	38,150	12,477	1,425	7555	64	14,014
15-01-2013	38,460	10,938	1,450	7860	64	14,504

Esta base de datos recoge la relación entre las variables referidas en ella por días. De esta manera se aprecia detalladamente la productividad lograda por la planta y su respectivo consumo energético con respecto a la cantidad de bombas en operación. Con esta base de datos se realiza el diagnóstico de las principales causas de los elevados consumos energéticos.

En la base de datos libre de verías se recogen los mismos parámetros lo que difiere de la anterior es que están en operación los 10 sistemas de bombeo, a continuación se muestra una parte de ella en la tabla 2.5, el resto se encuentra en el anexo 11.

Tabla 2.5 Una parte de la base de datos libre averías

Base de datos donde se contemplan las averías						
Fecha	% de sólido	No, Mineral	Densidad, g/cm ³	Productividad, t/h	Temperatura, °C	Consumo energético de las bombas, MWh
01-01-2013	38,670	10,540	1,428	8921	64	19,499
02-01-2013	37,490	11,499	1,412	8551	64	18,930
04-01-2013	35,730	12,051	1,394	7538	64	16,898
07-01-2013	36,730	11,111	1,411	6496	65	13,544
10-01-2013	39,440	8,609	1,423	7526	65	15,074
13-01-2013	37,730	12,360	1,410	8251	63	16,446
23-01-2013	39,590	10,106	1,430	8249	63	19,008
31-01-2013	39,310	12,911	1,420	9323	63	17,459
02-02-2013	38,210	11,210	1,420	9039	64	17,964
05-02-2013	36,810	12,516	1,406	8688	64	14,628

Con la base de datos libre de averías se obtiene un modelo matemático-estadístico, por el método del mínimo cuadrado para la correlacionar los parámetros antes descritos, y determinar cuál de ellos tiene mayor influencia en el consumo energético de las bombas de pulpa precalentada DENVER y WIRTH de la planta referida.

2.2 Métodos

Al tomar los datos del sistema de control automatizado de la empresa, el Citect, se pueden producir errores, tanto en la operación como al organizarlos. Por eso debe realizarse la depuración de datos a partir de métodos estadísticos. La estadística está

relacionada con los métodos científicos para la recolección, organización, tabulación, presentación y análisis de los datos, así como para sacar conclusiones válidas y tomar decisiones razonables en base a ese análisis.

Cuando se realizan observaciones a partir de mediciones está latente la posibilidad de que se incluyan valores anómalos o atípicos.

Para probar la anomalía de un dato x_s pueden realizarse las siguientes pruebas:

- Regla de MAD (Desviación de la Mediana Absoluta)
- Criterio de los Cuartiles
- Regla de Chauvenet
- Regla de Grubb
- Regla de Dixon (o también llamada Q de Dixon)
- Prueba de Cochran
- Prueba de Bartlett

De estas pruebas una de las más sencillas es la regla de la desviación de la mediana absoluta, que por su sencillez y efectividad fue la utilizada en esta investigación.

2.2.1 Regla de MAD (Desviación de la Mediana Absoluta)

La desviación de la mediana absoluta se calcula por la ecuación 2.6:

$$C = \left| \frac{x_s - M}{M_m} \right| \quad (2.6)$$

Donde:

M : Mediana de los datos a analizar;

M_m : Mediana de las diferencias $|x_i - M|$;

x_s : Dato a analizar.

Si $C < 4,5$ entonces se dice que x_s es un número anómalo.

De esta manera se limpia la base de datos de números anómalos que impidan la fiabilidad de los resultados obtenidos.

2.2.2 Método de los mínimos cuadrados

Sean los n datos $(P_i; Y_i)$ donde $p=(X_1, X_2, \dots, X_v)$. Se quiere encontrar un modelo descrito por una ecuación $Y_i=f(P)$ y en particular encontrar una función f tal que para cualquier índice i , los valores de $f(P_i)$ sean “cercaños” a los valores Y_i

En su forma más simple, este método se aplica cuando los datos son de la forma $(X_i; Y_i)$ y consiste en hallar los valores de **a** y **b** de manera que la suma de los cuadrados de las diferencias entre Y_i y $Y_{ti} = f(X_i) = a X_i + b$, sea mínima. Formalmente

se trata de hallar los valores a y b para los cuales la función $d(a,b) = \sum_{i=1}^n (aX_i + b - Y_i)^2$

tiene su valor mínimo. Si para buscar los posibles puntos de extremo derivamos esta función respecto a las variables **a** y **b**, se obtiene:

$$\begin{cases} d'_a = 2 \sum_{i=1}^n X_i (aX_i + b - Y_i) \\ d'_b = 2 \sum_{i=1}^n (aX_i + b - Y_i) \end{cases}$$

Igualando a cero las derivadas se tiene:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n X_i (aX_i + b - Y_i) = 0 \\ \sum_{i=1}^n (aX_i + b - Y_i) = 0 \end{cases}$$

Que se puede escribir de la siguiente forma:

$$\begin{cases} \left[\sum_{i=1}^n X_i^2 \right] a + \left[\sum_{i=1}^n X_i \right] b = \left[\sum_{i=1}^n X_i Y_i \right] \\ \left[\sum_{i=1}^n X_i \right] a + [n] b = \left[\sum_{i=1}^n Y_i \right] \end{cases}$$

Los valores de a y b se pueden encontrar resolviendo ese sistema de ecuaciones lineales.

Nótese que en este procedimiento estamos encontrando cuales son los valores de a y

de b que minimizan la suma $\sum_{i=1}^n (aX_i + b - Y_i)^2$.

La regresión lineal puede generalizarse para varias variables en el **Modelo Lineal Generalizado**. En el caso más general, si consideramos las variables independientes $X_1, X_2, \dots, X_V$ (que de manera general podemos denotar por $\mathbf{X}$) y la variable dependiente $\mathbf{Y}$, el modelo de regresión tiene la forma:

$$Y_t = a_0 + a_1 f_1(X) + a_2 f_2(X) + \dots + a_k f_k(X) = a_0 + \sum_{j=1}^k a_j f_j(X).$$

sea mínima la suma $\sum_{i=1}^n (Y_{ti} - Y_i)^2$. Si se conocen datos $(X_i, Y_i) = (X_{1i} ; X_{2i} ; \dots ; X_{vi} ; Y_i)$

$$d(a_0, a_1, \dots, a_k) = \sum_{i=1}^n \left(a_0 + \sum_{j=1}^k a_j f_j(X_i) - Y_i \right)^2 \text{ tome un valor m\u00ednimo.}$$
$$\left\{ \begin{array}{l} [\sum_{i=1}^n f_0(X_i) f_0(X_i)]a_0 + \dots + [\sum_{i=1}^n f_k(X_i) f_0(X_i)]a_k = [\sum_{i=1}^n f_0(X_i) Y_i] \\ [\sum_{i=1}^n f_0(X_i) f_1(X_i)]a_0 + \dots + [\sum_{i=1}^n f_k(X_i) f_1(X_i)]a_k = [\sum_{i=1}^n f_1(X_i) Y_i] \\ [\sum_{i=1}^n f_0(X_i) f_2(X_i)]a_0 + \dots + [\sum_{i=1}^n f_k(X_i) f_2(X_i)]a_k = [\sum_{i=1}^n f_2(X_i) Y_i] \\ \dots \qquad \qquad \dots \qquad \qquad \dots \qquad \qquad \dots \\ [\sum_{i=1}^n f_0(X_i) f_k(X_i)]a_0 + \dots + [\sum_{i=1}^n f_k(X_i) f_k(X_i)]a_k = [\sum_{i=1}^n f_k(X_i) Y_i] \end{array} \right.$$

38

$$[MS] = \begin{bmatrix} [\sum_{i=1}^n f_0(X_i) f_0(X_i)] & \dots & [\sum_{i=1}^n f_k(X_i) f_0(X_i)] \\ [\sum_{i=1}^n f_0(X_i) f_1(X_i)] & \dots & [\sum_{i=1}^n f_k(X_i) f_1(X_i)] \\ [\sum_{i=1}^n f_0(X_i) f_2(X_i)] & \dots & [\sum_{i=1}^n f_k(X_i) f_2(X_i)] \\ \dots & \dots & \dots \\ [\sum_{i=1}^n f_0(X_i) f_k(X_i)] & \dots & [\sum_{i=1}^n f_k(X_i) f_k(X_i)] \end{bmatrix}$$

$$(A) = \begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ \dots \\ a_k \end{pmatrix} \quad (I) = \begin{pmatrix} [\sum_{i=1}^n f_0(X_i) Y_i] \\ [\sum_{i=1}^n f_1(X_i) Y_i] \\ \dots \\ [\sum_{i=1}^n f_k(X_i) Y_i] \end{pmatrix}$$

Por ejemplo:

1. Sean $n=100$ datos $(X_i; Y_i)$ donde es obvio que $v=1$. En este caso se pueden ajustar modelos como los siguientes:
 - a. Tomando: $f_0(X)=1$; $f_1(X)=X$, se tiene que $k=1$ y el modelo lineal $Y = a_0 + a_1 X$
 - b. Sean: $f_0(X)=1$; $f_1(X)=e^X$, se tiene que $k=1$ y el modelo exponencial $Y = a_0 + a_1 e^X$
 - c. Asumiendo que: $f_0(X)=1$; $f_1(X)=X$; $f_2(X)=X^2$, se tiene que $k=2$ y el modelo parabólico $Y = a_0 + a_1 X + a_2 X^2$
2. Sean $n=200$ datos $(X_{1i} ; X_{2i} ; Y_i)$ donde se observa que $v=2$. En este caso se pueden ajustar modelos como los siguientes:
 - a. Tomando: $f_0(X_1; X_2)=1$; $f_1(X_1; X_2)=X_1$; $f_2(X_1; X_2)=X_2$ se tiene que $k=2$ y se construye el modelo de un plano: $Y = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2$
 - b. Sean: $f_0(X_1; X_2)=1$; $f_1(X_1; X_2)=X_1^2$; $f_2(X_1; X_2)=X_2^2$; $f_3(X_1; X_2)=X_1 X_2$ ($k=3$) se construye el modelo de una superficie cuadrática: $Y = a_0 + a_1 X_1^2 + a_2 X_2^2 + a_3 X_1 X_2$

Veamos otro aspecto relacionado con la evaluación de la calidad del modelo. Si se calculan:

- La Variación Explicada: $V_e = \sum_{i=1}^n (Y_{ti} - Y_M)^2$
- La Variación Residual: $V_r = \sum_{i=1}^n (Y_{ti} - Y_i)^2$
- La Variación Total: $V_t = \sum_{i=1}^n (Y_i - Y_M)^2$

Entonces se puede calcular el **coeficiente de correlación** $r = \sqrt{\frac{V_e}{V_t}}$ que es un valor entre 0 y 1 que expresa el nivel de correlación entre las variables X e Y. Cuando r está cerca de 0 (correlación nula) la correlación es peor que cuando está cerca de 1 (correlación perfecta).

Ahora es necesario aclarar algo de suma importancia. Cuando se hallan los coeficientes de un modelo de regresión, estamos obteniendo la mejor caracterización posible de un tipo de modelo para los datos dados y esto implica dos cosas:

1. Si cambian los datos, los valores de los coeficientes a_i han de cambiar. Esto es de suma importancia cuando para integrar alguno de nuestros modelos solo seleccionamos algunas de las variables disponibles o una parte de los valores de las mismas.
2. La selección de las funciones f_k es parte del trabajo creativo que debemos efectuar y para esto podemos auxiliarnos de alguna aplicación informática pero es la experiencia y un profundo conocimiento del problema que estamos modelando lo que nos permite seleccionar al más conveniente entre varios tipos de modelos.

Un criterio práctico elemental para seleccionar uno entre varios modelos de los mismos datos es tomar aquel que tenga mejor coeficiente de correlación pero también

es conveniente considerar algunas pruebas de hipótesis relacionadas con estos modelos y para su exposición nos basaremos en el caso lineal generalizado.

Para ello se deben precisar los siguientes parámetros:

- N: número de datos (X_i, Y_i) .
- K: número de funciones en el modelo.
- V: número de variables independientes $\mathbf{X}=(X_1, \dots, X_V)$
- Variación Explicada V_e . Donde Y_{t_i} es el resultado de evaluar en el modelo a los valores medidos X_i . Tiene K-1 grados de libertad
- Variación Residual V_r . Tiene N-K grados de libertad
- Variación total V_t . Tiene N-1 grados de libertad

- Error estándar de estimación $e_s = \sqrt{\frac{V_r}{N - K - 1}}$

- Error probable de una estimación $e_p = 0.6745 \sqrt{\frac{V_r}{N - K}}$

- Coeficiente de correlación r

Intervalo de confianza (r_1, r_2) del coeficiente de correlación.

Para hallarlo se dan los siguientes pasos:

a. Se le aplica la transformada z al valor r y se obtiene el valor $r_z = \frac{1}{2} \ln \left(\frac{1+r}{1-r} \right)$

b. Se calcula: $a = r_z - \frac{Z_{(1+\alpha)/2}}{\sqrt{N-3}}$; $b = r_z + \frac{Z_{(1+\alpha)/2}}{\sqrt{N-3}}$ donde Z se obtiene resolviendo la

ecuación $\frac{1+\alpha}{2} = \int_{-\infty}^z N(0;1) dz$.

c. Ahora se obtienen los valores r_1 y r_2 aplicando la anti-transformada de z , es decir

$$\text{se calculan: } r_1 = \frac{e^{2a} - 1}{e^{2a} + 1} \text{ y } r_2 = \frac{e^{2b} - 1}{e^{2b} + 1}.$$

Prueba F de Fisher para todo el modelo.

Se calcula $F_{\text{exp}} = \frac{r^2}{(1-r^2)} \frac{(N-K)}{(K-1)}$ y se toma de la tabla correspondiente de la

Distribución F de Fisher: $F_{\text{teor}} = F_{K, N-K-1, 1-\alpha}$. Si $F_{\text{teor}} > F_{\text{exp}}$ entonces se acepta el modelo.

Debe ser conocido por el lector que desea profundizar en estos temas que en la literatura especializada se explican pruebas para decidir la aceptación o rechazo de los coeficiente $a_1, \dots, a_k$ en un modelo dado.

Finalmente, para quienes sea de mayor interés trabajar con modelos más complejos, es conveniente señalar la existencia de métodos para obtener modelos de regresión no lineales. Por ejemplo, puede ser encontrada una explicación breve del Método de Levenberg-Marquard en la ayuda del software CurveExpert Versión 1.3, de Daniel Hyams (1997).

Para la obtención de los modelos matemático por el método del mínimo cuadrado, se utilizó el Software Tierra. Versión 2.4. ISMM, 2004.

Conclusiones parciales

- Se demostró la necesidad de crear una nueva base de datos con el consumo de energía de las bombas para demostrar la hipótesis científica mediante los métodos y metodologías expuestas.
- Se establecen las variables independientes y dependientes a partir de la obtención de las bases de datos con y sin averías para evitar confusiones en los resultados de los modelos matemáticos estadísticos previstos a obtener.
- Se fundamentó la base del cálculo del consumo de energía para las bombas de la planta de lixiviación.

3 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

3.1 Análisis de las matrices de correlación

La matriz de correlación para la base de datos con averías se muestra en la tabla 3.1, que expresa el coeficiente de correlación de cada parámetro al ser correlacionado con los demás.

Tabla 3.1 Matriz de correlación para la base de datos con averías

Variable	% sólido	Número de mineral	Densidad, g/cm ³	Temperatura, °C	Productividad, t/h	Consumo energetico, MWh
% sólido	1	-0,028285	0,573949	0,043095	0,409655	0,188014
Número de mineral		1	-0,025954	0,027693	-0,04563	-0,079849
Densidad			1	0,006068	0,26967	0,258003
Temperatura				1	0,068932	0,163474
Productividad					1	0,474645
Consumo energético						1

De esta tabla se infiere que la productividad es la variable de mayor influencia con respecto al consumo energético, al tener un coeficiente de correlación de 0,474; que se encuentra en el rango de 0,4 a 0,6 que a escala industrial se considera significativo. Como parámetro de la pulpa precalentada la densidad resulta también significativa, aunque existen disciplinas tecnológicas que impiden que los datos sean estrictamente confiables, de ahí su bajo coeficiente de correlación. La matriz de correlación para la base de datos sin averías se muestra en la tabla 3.2.

Tabla 3.2 Matriz de correlación para la base de datos sin averías

Variable	% sólido	Número de mineral	Densidad, g/cm ³	Temperatura, °C	Productividad, t/h	Consumo energetico, MWh
% sólido	1	-0,127274	0,64998	0,019279	0,447707	0,126378
Número de Mineral		1	-0,079851	0,008891	-0,057688	-0,06102
Densidad			1	0,090296	0,308939	0,153542
Temperatura				1	0,018379	0,136254
Productividad					1	0,472413
Consumo Energético						1

De la tabla 3.2 se infiere que la productividad es la variable de mayor influencia con respecto al consumo energético, al tener un coeficiente de correlación de 0,47; que se encuentra en el rango de 0,4 a 0,6 que a escala industrial se considera significativo. El porcentaje de sólido, el número de mineral, y la densidad de la pulpa influyen positivamente con respecto al consumo energético de las bombas de pulpa, pero en menor proporción. Sin embargo el número de mineral ejerce una influencia negativa en la variable de respuesta a analizar, esto significa, que con el aumento de los contenidos de elementos y compuestos de composición química de la pulpa precalentada, como el SiO₂, Mg, Mn y el Co, disminuye el consumo energético del equipamiento en cuestión.

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

3.2.1 Influencia del porcentaje de sólido sobre el consumo energético

El modelo matemático-estadístico de correlación par (ecuación 3.1) entre las variables consumo energético y porcentaje de sólido, demuestra que al aumentar el porcentaje de sólido aumenta el consumo energético pero con muy bajo coeficiente de correlación, lo que evidencia la poca significación de este parámetro.

$$C_{\text{energético}} = 15,788 + 0,202 \cdot P_{\text{sólido}} \quad (3.1)$$

Al correlacionar el consumo energético con el porcentaje de sólido se observa que existe muy poca correlación. La figura 3.1 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 0,126; 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 Lixiviación. De esta manera se demuestra que al aumentar el porcentaje de sólidos, aumenta el consumo energético, con poca significación.

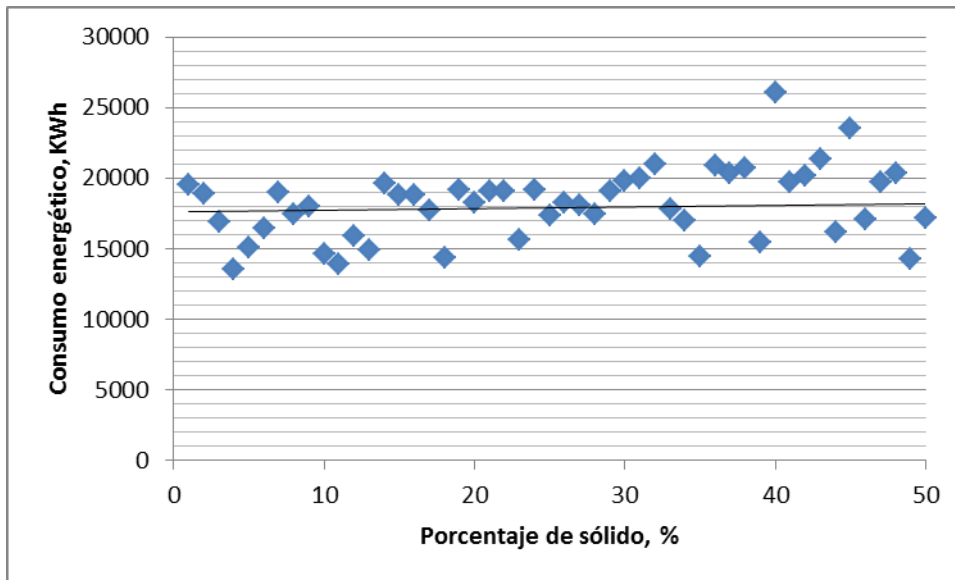


Figura 3.1. Influencia del porcentaje de sólido sobre el consumo energético

Se realiza la prueba F de Fisher con un nivel de confianza 0,95 y se demuestra que el valor de la F de Fisher calculada (F_c) para el ajuste es 5,519 y la F de Fisher teórica (F_t) tiene un valor de 3,022. De esta manera se explica que el ajuste es estadísticamente significativo ya que $F_c > F_t$.

3.2.2 Influencia del número de mineral sobre el consumo energético

En el modelo matemático-estadístico de regresión múltiple (ecuación 3.2) se observa la baja correlación existente entre el consumo energético y el número de mineral, es decir, que con el aumento del número de mineral disminuye el consumo energético con un coeficiente de correlación de -0,061.

$$C_{\text{energético}} = 25,419 - 0,118 \cdot N_{\text{Mineral}} \quad (3.2)$$

La figura 3.2 demuestra que el parámetro número de mineral no tiene gran influencia en los indicadores de elevados consumos en las bombas de pulpa DEBVER y WIRTH de la planta de Lixiviación.

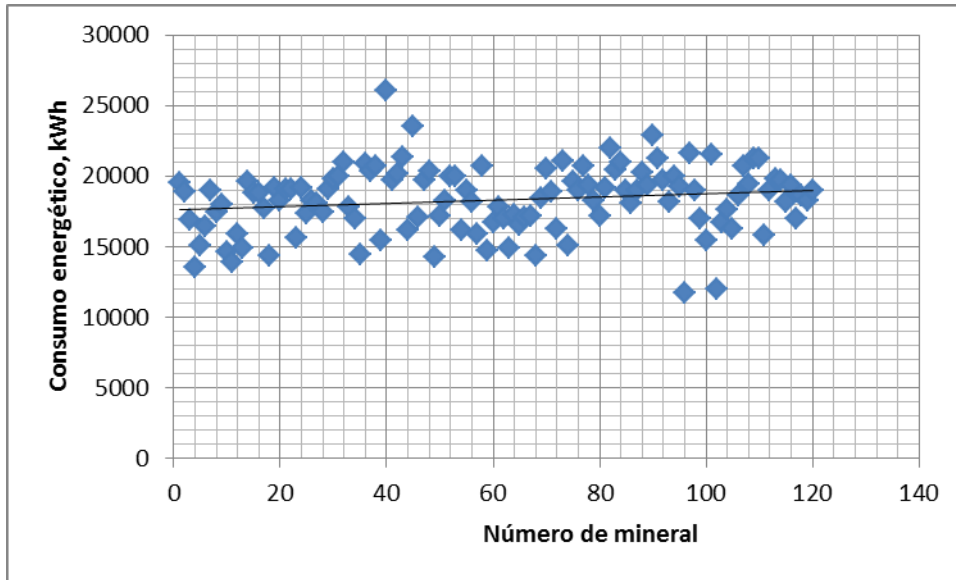


Figura 3.2 Influencia del número de mineral sobre el consumo energético

El modelo obtenido refleja que el número de mineral presenta muy poca correlación con el consumo energético, pero vale declarar que ejerce un comportamiento negativo, es decir que con su aumento, disminuye el consumo energético, pero con muy poca significación.

Se realiza la prueba F de Fisher con un nivel de confianza 0,95 y se demuestra que el valor de la F de Fisher calculada (F_c) para el ajuste es 1,271 y la F de Fisher teórica (F_t) tiene un valor de 1,271. De esta manera se explica que el ajuste no es estadísticamente significativo ya que $F_c < F_t$.

3.2.3 Influencia de la densidad de la pulpa precalentada sobre el consumo energético

Al correlacionar las variables densidad de la pulpa precalentada y consumo energético se obtiene un modelo matemático-estadístico de regresión múltiple (ecuación 3.3) que con el aumento del número de mineral disminuye el consumo energético con un coeficiente de correlación de 0,153. Esto determina la baja correlación existente entre ambas variables.

$$C_{\text{energético}} = 2,004 + 15,287 \cdot D_{\text{pulpa}} \quad (3.3)$$

La figura 3.3 muestra la curva del modelo de correlación lineal, donde se ubican los puntos muy alejados de la recta, lo que determina un coeficiente de correlación de 0,154; esto hace que esta correlación no sea significativa dentro del fenómeno de los elevados consumos energéticos existentes en el sistema de bombeo de la planta de Lixiviación.

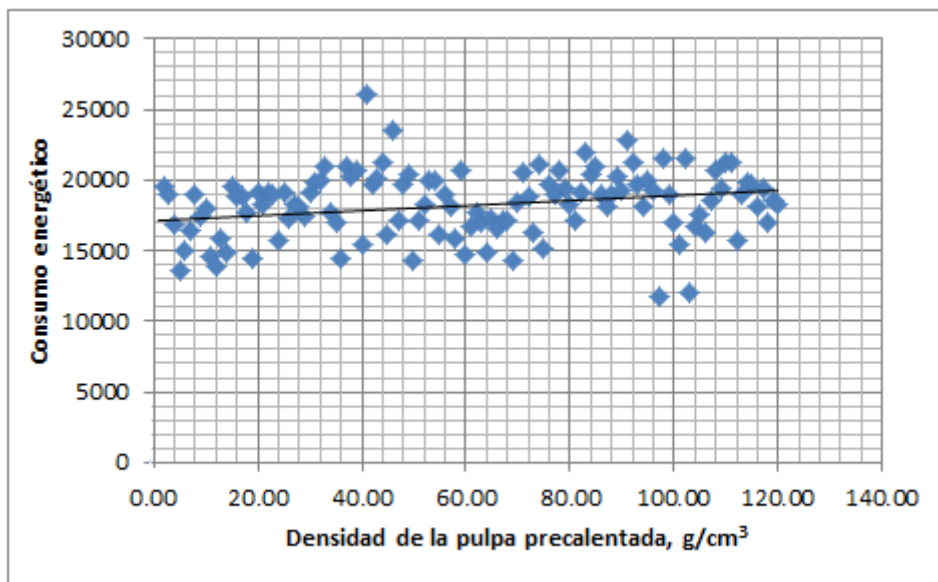


Figura 3.3 Influencia de la densidad de la pulpa precalentada sobre el consumo energético

El modelo refleja que con el aumento de la densidad de la pulpa, aumenta el consumo energético, pero este comportamiento ocurre con muy bajo coeficiente de correlación.

Al realizar la prueba F de Fisher con un nivel de confianza 0,95 se demuestra que el valor de la F de Fisher calculada (F_c) para el ajuste es 8,209 y la F de Fisher teórica (F_t) tiene un valor de 3,022. De esta manera se explica que el ajuste es estadísticamente significativo ya que $F_c > F_t$.

3.2.4 Influencia de la temperatura de la pulpa precalentada sobre el consumo energético

Para determinar la influencia de la temperatura de la pulpa precalentada sobre el consumo energético se obtiene un modelo matemático-estadístico de regresión múltiple (ecuación 3.4). De esta manera se demuestra que con el aumento de la

temperatura aumenta el consumo energético con un coeficiente de correlación de 0,136. Esto determina la baja correlación existente entre ambas variables.

$$C_{\text{energético}} = 20,411 + 0,551 \cdot T_{\text{pulpa}} \quad (3.4)$$

Al correlacionar el consumo energético con la temperatura de la pulpa precalentada se observa que existe muy poca correlación. La figura 3.4 muestra la curva del modelo de correlación lineal, donde se observan 2 poblaciones de temperatura bien definidas, es decir, que este parámetro ocurre en 2 niveles, esto puede estar dado por indisciplinas tecnológicas, ocasionadas tanto por el instrumento de medición, como por los seres humanos encargados de organizar y verificar los datos. De igual manera este comportamiento con un coeficiente de correlación igual a 0,136 hace que esta correlación no sea significativa, dentro del fenómeno de los elevados consumos energéticos existentes en el sistema de bombeo de la planta de Lixiviación.

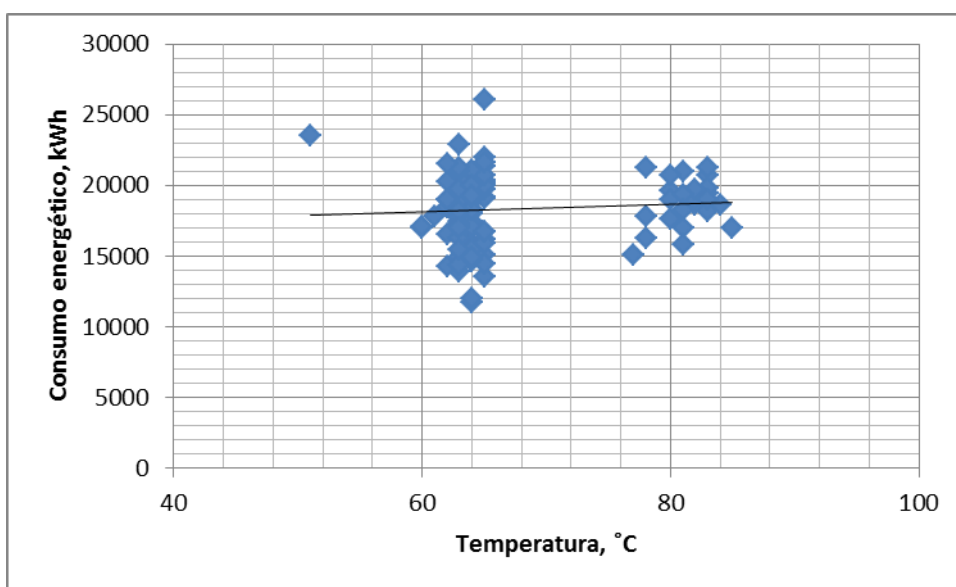


Figura 3.4 Influencia de la temperatura de la pulpa precalentada sobre el consumo energético

Al realizar la prueba F de Fisher con nivel de confianza 0,95 se demuestra que el valor de la F de Fisher calculada (F_c) para el ajuste es 6,432 y la F de Fisher teórica (F_t) tiene un valor de 3,022. De esta manera se explica que el ajuste es estadísticamente significativo ya que $F_c > F_t$.

3.2.5 Influencia de la productividad de la planta sobre el consumo energético

Para determinar la influencia de la productividad de la planta sobre el consumo energético se obtiene un modelo matemático-estadístico de regresión múltiple (ecuación 3.5). Este modelo demuestra que con el aumento de la productividad de la planta, aumenta el consumo energético con un coeficiente de correlación de 0,472. Esto determina que existe correlación entre ambas variables, ya que el coeficiente de correlación se encuentra dentro del rango de 0,4 a 0,6, que a escala industrial se considera una correlación significativa.

$$C_{\text{energético}} = 8,533 + 0,002 \cdot P \quad (3.5)$$

La figura 3.5 muestra la curva del modelo de correlación lineal, donde se ubican los puntos cercanos a la recta, esto hace que esta correlación sea significativa dentro del fenómeno de los elevados consumos energéticos existentes en el sistema de bombeo de la planta de Lixiviación.

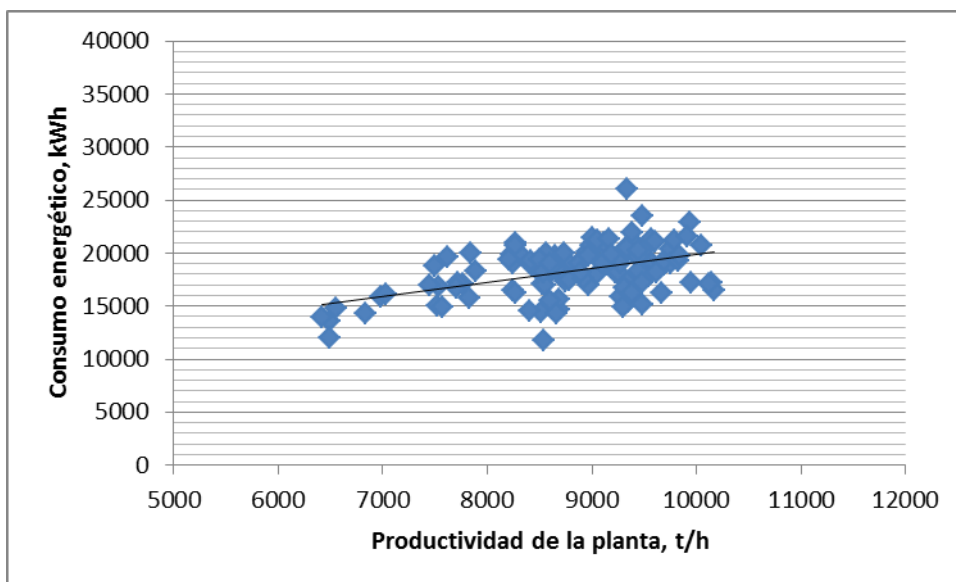


Figura 3.5 Influencia de la productividad de la planta sobre el consumo energético

Al realizar la prueba F de Fisher con nivel de confianza 0,95 se demuestra que el valor de la F de Fisher calculada (F_c) para el ajuste es 92,474 y la F de Fisher teórica (F_t) tiene un valor de 3,022. De esta manera se explica que el ajuste es estadísticamente significativo ya que $F_c > F_t$.

De esta manera se demuestra que a medida que aumenta la productividad de la planta, aumenta el consumo energético de las bombas DENVER y WIRTH, de manera significativa, es decir, que este parámetro es el que representa mayor influencia en el análisis de correlación entre las demás variables analizadas.

Esto significa que por la ecuación de potencia de la bomba están involucrados el caudal de la bomba y la densidad de la pulpa, que a su vez se relaciona con el porcentaje de sólido.

De manera general se puede decir que existe muy poca correlación entre los parámetros estudiados. La densidad, el porcentaje de sólidos, la temperatura influyen positivamente con menor coeficiente de correlación que la productividad que evidentemente es quien influye con mayor significación en el modelo obtenido.

3.3 Obtención del modelo matemático-estadístico de regresión de los parámetros de la pulpa precalentada sobre el consumo energético

El modelo matemático-estadístico general donde se correlacionan los parámetros de la pulpa precalentada con el consumo energético se expresa en la ecuación (3.6).

$$C_{energético} = 2,632 + 0,268 \cdot P_{sólido} - 0,091 \cdot N_{Mineral} + 9,133 \cdot D_{pulpa} + 0,049 \cdot T_{pulpa} + 0,0002 \cdot P \quad (3.6)$$

Este modelo expresa la influencia de cada parámetro de la pulpa precalentada sobre el consumo energético. A continuación se determina la influencia de cada parámetro:

- Al aumentar el porcentaje de sólido, aumenta el consumo energético
- Al aumentar el número de mineral, disminuye el consumo energético
- Al aumentar la densidad de la pulpa, aumenta el consumo energético
- Al aumentar la temperatura de la pulpa, aumenta el consumo energético
- Al aumentar la productividad de la planta, aumenta el consumo energético

Esta correlación general realizada a partir de a base de datos libre de averías presenta un coeficiente de correlación de 0,49, lo que para una prueba F de Fisher con nivel de confianza 0,95, se demuestra que el valor de la F de Fisher calculada (F_c)

para el ajuste es 21,869 y la F de Fisher teórica (F_c) tiene un valor de 2,126. De esta manera se explica que el ajuste es estadísticamente significativo ya que $F_c > F_t$.

Los coeficientes de correlación parcial de cada parámetro son:

- Porcentaje de sólido: 0,126
- Número de mineral -0,061
- Densidad de la pulpa: 0,153
- Temperatura: 0,136
- Productividad: 0,472

De esta manera se demuestra que el parámetro de mayor influencia en el consumo energético de las bombas DENVER y WIRTH, es la productividad.

3.4 Causas de los elevados consumos energéticos de las bombas DENVER y WIRTH

En el capítulo 2 se exponen las principales causas de averías en las bombas de pulpa precalentada de la planta de Lixiviación. En este capítulo se hace referencia a las causas de los elevados consumos energéticos para proponer medidas que permitan incrementar la productividad y ahorrar energía.

Las causas de los elevados consumos energéticos de las bombas de pulpa precalentada de la planta de Lixiviación se describen a continuación:

- Operación de las bombas DENVER y WIRTH con altos contenidos de sólidos, por encima del 45 %, en los días 20; 26 y 29 de enero, 14 y 30 de abril, 15 y 27 de mayo, 12 de julio, 9; 10; 15 y 16 de octubre y 12 y 26 de diciembre. Anualmente este comportamiento incrementa considerablemente el consumo energético de las bombas ya que tienen que emplear una mayor potencia para poder trasegar la pulpa con tales características.
- Ponches de diafragmas en las bombas WIRTH y rotura en los sellos mecánicos de las DENVER.
- Temperatura de la pulpa precalentada por debajo del rango de operación establecido por la planta, de 90 a 95 °C.

3.5 Medidas para mejorar la eficiencia energética de las bombas DENVER y WIRTH

Para mantener, prever y controlar la eficiencia en los sistemas de bombeo, se pueden tomar en cuenta las siguientes consideraciones

- Lograr que el porcentaje de sólido sea el menor posible de 40 a 45 %. En condiciones de elevados porcentajes de sólidos, se debe bajar la capacidad de las bombas para impedir que ocurra el fenómeno de arenamiento y abrasión de las partículas sólidas, y en casos extremos diluir la pulpa con agua o para el equipo.
- Control de los parámetros del fluido a trasegar. En el caso de la temperatura no existe un control estricto de su comportamiento, ya que su rango oscila entre 60 y 84 °C a partir de los datos obtenidos, y en la industria afirman manejar un intervalo de 90 a 95 °C.
- Control de fricción en los sellos mecánicos. Los sellos mecánicos poseen dos extremos a los cuáles va acoplado el conjunto bomba-motor, de no controlar su fricción provoca grandes derrames de pulpa, lo que pone a operar a la bomba prácticamente en vacío, e incurre en pérdidas de mineral a la planta.
- Control de los ponche de los diafragmas de las bombas WIRTH. Es de vital importancia controlar este tipo de avería, ya que al poncharse un diafragma permite el paso de la pulpa hacia la cámara de aceite, esto provoca la contaminación de la pulpa volviéndose un fluido más viscoso con peor fluidez.
- Cambiar periódicamente los sellos mecánicos y los diafragmas, ya que estas fueron las principales causas de averías en el período analizado.

3.6 Valoración económica

Durante el trabajo investigativo realizado se obtuvo resultados que demuestran que la productividad es la variable de mayor influencia sobre el consumo energético, pero el porcentaje de sólido, la densidad y la temperatura de la pulpa también son influyentes en menor medida.

Para una 45 % de sólido y 891 rpm las bombas necesitan 6 horas con 15 minutos para bombear el caudal de diseño 450 m³/h equivalente a un consumo de 565,8 kWh y para un 41 % de sólido y 873 rpm la bomba necesita 2 horas y 10 minutos aproximadamente para un consumo de 173.2 kWh. El consumo para un 45 % de sólido es 3.3 veces mayor que para un 41 %.

El costo de bombeo en que se incurre al transportar el fluido se expresa mediante la siguiente ecuación

$$C_{bombeo} = P_m \cdot t_t \cdot t_{el} \quad (3.7)$$

Donde:

C_{bom} : Costo por consumo (CUC/año).

P_m : Potencia eléctrica (kW).

t_{el} : Tarifa eléctrica; (CUC/ kWh).

t_t : Tiempo de trabajo del equipo; (h/año).

El costo del consumo de las bombas al año según la fórmula 3.1 asciende a 25 954,5 CUC/año. Al no mantener los parámetros requeridos de operación como porcentaje de sólido y temperatura ocasionan un mayor costo de bombeo, lo que conlleva a un sobreconsumo energético y gasto innecesario de energía eléctrica y por consiguiente un mayor costo económico.

Conclusiones parciales

- Se determinan las causas de los elevados consumos energéticos y las pérdidas de caudal de las bombas de pulpa precalentada DENVER y WIRHT en el año 2013, a partir de la base de datos donde se contemplan las averías.
- Se proponen medidas para contribuir al mejoramiento de las operaciones de las bombas con el propósito de disminuir su consumo energético.
- Se realizó el análisis estadístico de las variables de entrada y de salida. El mismo mostró que la correlación de la productividad con el consumo energético es significativa para las 2 bases de datos, y es la de mayor influencia en el modelo matemático – estadístico de regresión.

CONCLUSIONES

- Se determinan las causas de los elevados consumos energéticos y las pérdidas de caudal de las bombas de pulpa precalentada DENVER y WIRHT en el año 2013, a partir de la base de datos donde se contemplan las averías.
- Se realizó el análisis de correlación de los parámetros: porcentaje de sólidos, número de mineral, densidad de la pulpa, temperatura y productividad con respecto al consumo energético de las bombas DENVER y WIRTH de la planta de Lixiviación; y se demostró que el parámetro de mayor influencia en el consumo energético de las bombas DENVER y WIRTH, es la productividad. Esto significa que a medida que aumente la productividad, aumenta el consumo energético de forma significativa, con un coeficiente de correlación de 0,49; mostrandose según el siguiente modelo matemático-estadístico ajustado:

$$C_{\text{energético}} = 2,632 - 0,268 \cdot P_{\text{sólido}} - 0,091 \cdot N_{\text{Mineral}} + 9,133 \cdot D_{\text{pulpa}} + 0,049 \cdot T_{\text{pulpa}} + 0,0002 \cdot P$$

- Se proponen medidas para contribuir al mejoramiento de las operaciones de las bombas con el propósito de disminuir su consumo energético.
- De esta manera se demuestra la influencia que ejercen los parámetros de la pulpa precalentada sobre el consumo energético de las bombas DENVER y WIRTH de la planta de Lixiviación, mediante modelos de correlación, entonces se podrá mejorar la eficiencia energética de dicho equipamiento.

RECOMENDACIONES

- Revisar el sensor de temperatura que emite el valor de este parámetro, ya que la investigación demuestra que existe una gran variabilidad de esta variable en el tiempo, que nunca alcanza el rango establecido por la planta de 90 a 95 °C.
- Se requiere fundamentar las mediciones de los parámetros electro-energéticos de cada bomba e incluirla en la red interna para que se pueda ahorrar energía en correspondencia con las particularidades operacionales de estas.

BIBLIOGRAFÍA

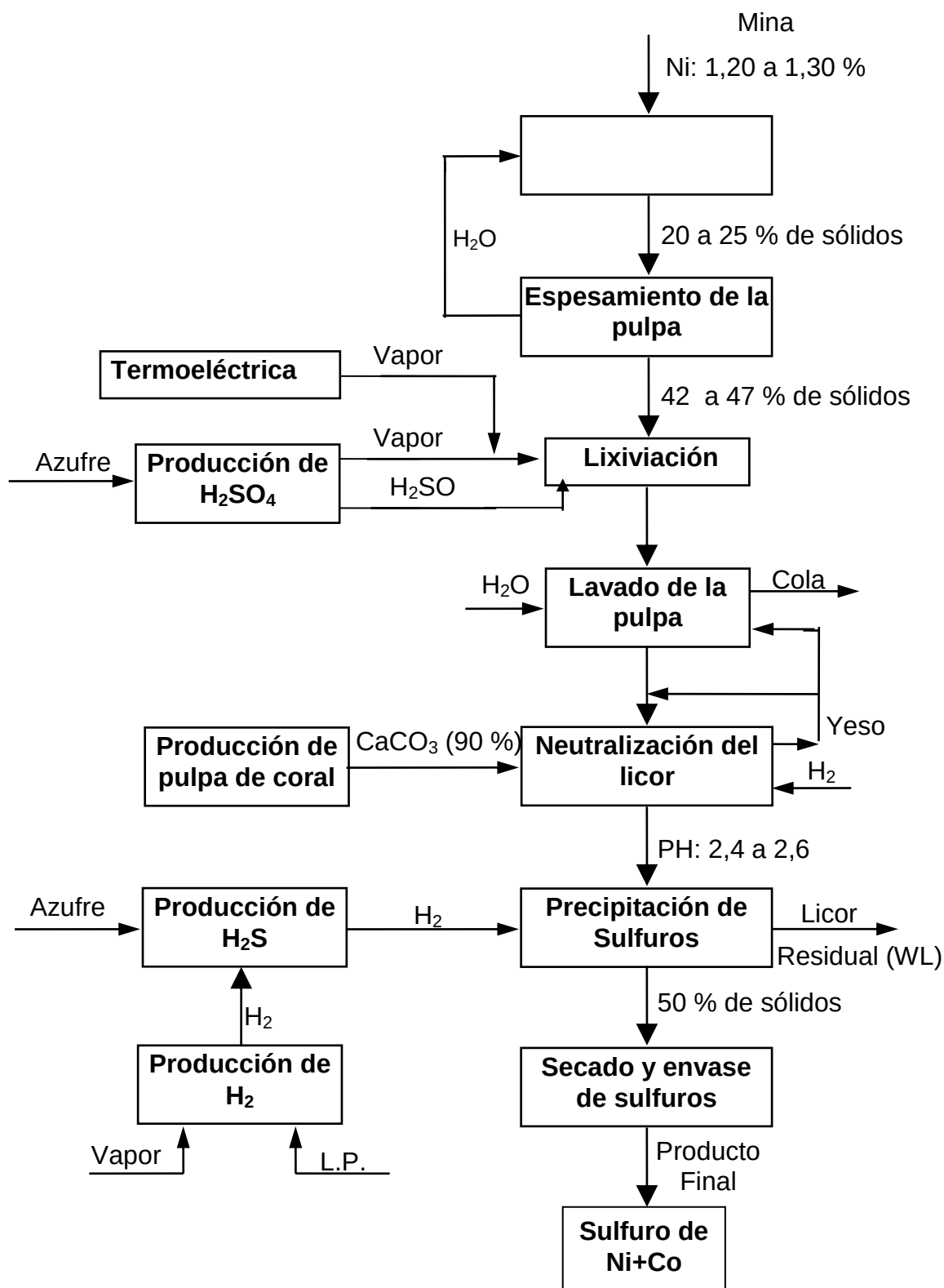
1. Mariño A. et al, "Equipos de la Metalurgia no Ferrosa", La Habana, 1994.
2. Kasatkin A. G. "Operaciones básicas y aparatos en la tecnología química", Editorial Pueblo y Educación, La Habana, 1985.
3. Agyei G.: "Distribución fraccional de las especies metálicas y mineralógicas de la mena níquelífera de un perfil del yacimiento Punta Gorda, Moa, Holguín, Cuba". Tesis doctoral. Departamento de Metalurgia. Instituto Superior Minero Metalúrgico "Dr. Antonio Núñez Jiménez", Moa, Holguín, 2006.
4. Beyris. P. E. "Mejoramiento del proceso de sedimentación de la pulpa de mineral laterítico de la Empresa Comandante "Pedro Sotro Alba" (Moa Níquel S.A.). Tesis doctoral. Departamento de Metalurgia. Instituto Superior Minero Metalúrgico "Dr. Antonio Núñez Jiménez", Moa, Holguín, 1997.
5. Brown, G., "Operaciones Básicas de la Ingeniería Química", Edición Revolucionaria, La Habana, 1969.
6. Cerpa A., P. Tartaj, M. T. García-González, J. Requena, L.R. Garcell, C. J. Serna, "Rheological properties of concentrated lateritic suspensions". Progr Colloi Polym Sci. 100 (número) 266-270, 1996.
7. Cerpa A., P. Tartaj, M. T. García-González, C. J. Serna, A. García, "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, 2003.
8. Falcón H. J., "Sedimentación de minerales limoníticos". Revista Minería y Geología. Vol. 2, 1985.
9. Famouri P, Cathey J. J., "Loss Minimization Control Induction Motor Drive," IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 27, No. 1, January/February 1991.
10. García G., Mendes J., Stephan L., Watanabe E., An efficient controller for an adjustable speed induction motor drive. IEEE Transaction on Industrial Electronics. Vol. 41. No. 5. Pp 533 – 539. October 1994.
11. Kostenko M, Piotrovski L. Máquinas Eléctricas. Tomo II. Editorial Mir. Moscú, 1976.

12. Nuez M. V. Simulación y control del motor de inducción por Campo Orientado. Tesis Doctoral. La Habana, 1998.
13. Arsdén D.D Efecto del Ph en dependencia de la temperatura, densidad y viscosidad cinemática. Revista Sudáfrica, Instituto de Minas y Metalurgia. No.6; 1962.
14. Martínez M. S; Millán N. Estudio de las físico mecánicas de la pulpa laterítica influyente en el proceso de Hidrotransporte. Trabajo de diploma. ISMM, Facultad de Metalurgia – Electromecánica. Moa, Holguín, 1995.
15. Matos T. R; Cortón R. M. Aspectos fundamentales de la química – física. La Habana. Editorial Pueblo y Educación, 1988. 338 p.
16. Gujarati D. N. Econometría. Segunda Edición. S.I: S.n, S.a.
17. Spiegel M. R. Teoría de los problemas de estadística. Instituto Cubano del Libro. La Habana, 1989.
18. Rojas L.D. Accionamiento eléctrico asincrónico para el transporte eficiente de pulpa laterítica. Tesis Doctoral. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. Dr. ANJ. Moa, Holguín, 2006.
19. Turini H. M. Procedimientos metodológicos para el diagnóstico operacional de sistemas de bombeo mediante modelos matemáticos. Tesis doctoral. Universidad Central de las Villas. Santa Clara, 1996.
20. Abad B. A. Eficiencia energética en los accionamientos de transporte laterítico de la empresa Comandante Pedro Sotto Alba. Tesis de grado. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. Dr. ANJ. Moa, Holguín, 2013.
21. Turro B. A. Estudio del Hidrotransporte de las colas en el proceso carbonato amoniacal. Tesis doctoral. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. Dr. ANJ. Moa, Holguín, 2002.
22. Pérez G.L. Modelo matemático que correlaciona los principales factores de influencia sobre el comportamiento reológico de las pulpas lateríticas. Tesis doctoral. Universidad de Oriente. Santiago de Cuba, 2010.
23. Rojas L. D; Columbié A. Identificación del accionamiento del motor de inducción con bomba centrífuga usando lógica difusa. Trabajos Teórico Experimentales. Energética Vol. XXV, No. 3/2004.

24. Muñiz M. A; Simón L. Influencia de las propiedades reológicas y superficiales en las características de sedimentación de la pulpa laterítica. Trabajo de diploma. Universidad de Oriente, Facultad de Ingeniería Química, 2001.
25. Ostle B. Estadística Aplicada. La Habana. Editorial Félix Varela, 1981
26. Pacheco P. B. Bombas, ventiladores y compresores. Santiago de Cuba. Ediciones ISPJAM, 1987.
27. Pavlov K. F; Romankov P. G.; Noskov A. A.. Problemas y ejemplos para el curso de operaciones básicas y aparatos en la tecnología química. La Habana. Editorial Abril, 1981.
28. Pérez F. Equipos de Bombeo. La Habana. Editorial Pueblo y Educación, 1983.
29. ENTE, S.C. Situación actual de la energía y eficiencia energética en América Latina. México: Preparado por ENTE, S.C. (Energía, Tecnología y Educación) para la International Copper Association Latinoamérica, 2010.
30. Guzmán O. Eficiencia energética. Un panorama regional. Buenos Aires, Argentina: Nueva Sociedad., 2009.
31. Manual de Operaciones de la Planta de Lixiviación de la empresa Comandante Pedro Sotto Alba.
32. Legrá L. A. Software Tierra. Versión 2.4. ISMM, 2004.
33. Gómez Y. L. Análisis de la eficiencia energética del sistema de bombeo de pulpa de la planta lixiviación de la empresa Comandante Pedro Sotto Alba Moa Nickel S.A. Bomba DENVER (135 - PU – 01C). Tesis de grado. ISMM, 2014.
34. Manual de operaciones de la planta de Lixiviación. Normas de operaciones, 1988.
35. Informe del control de electricidad de la planta de Lixiviación, 2013.
36. Reporte de averías de la planta de Lixiviación, 2013.

ANEXOS

Anexo 1. Esquema tecnológico principal de la empresa “Cmdte. Pedro Sotto Alba”.



Anexo 2. Flujo tecnológico de la Planta de Lixiviación.

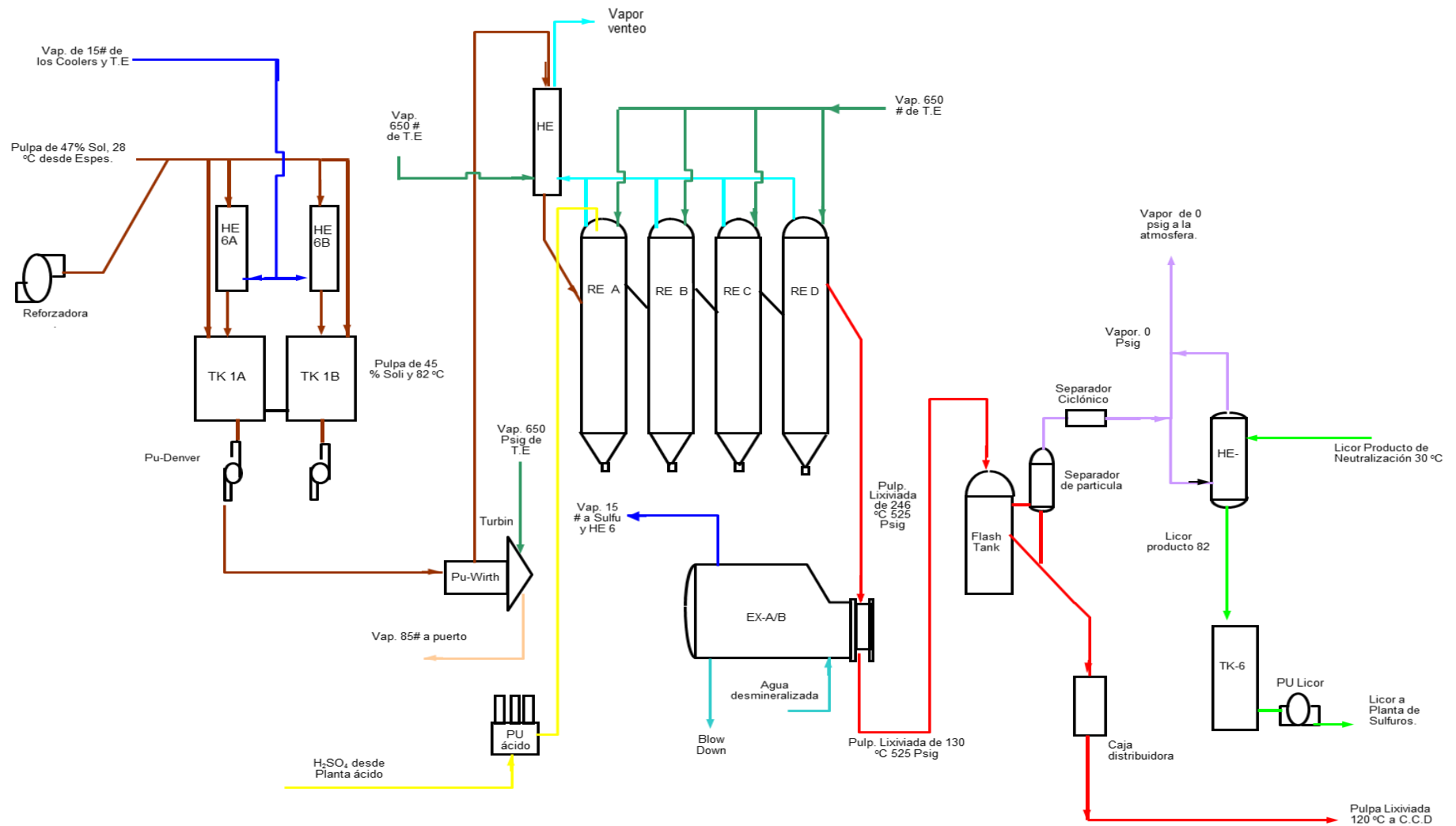
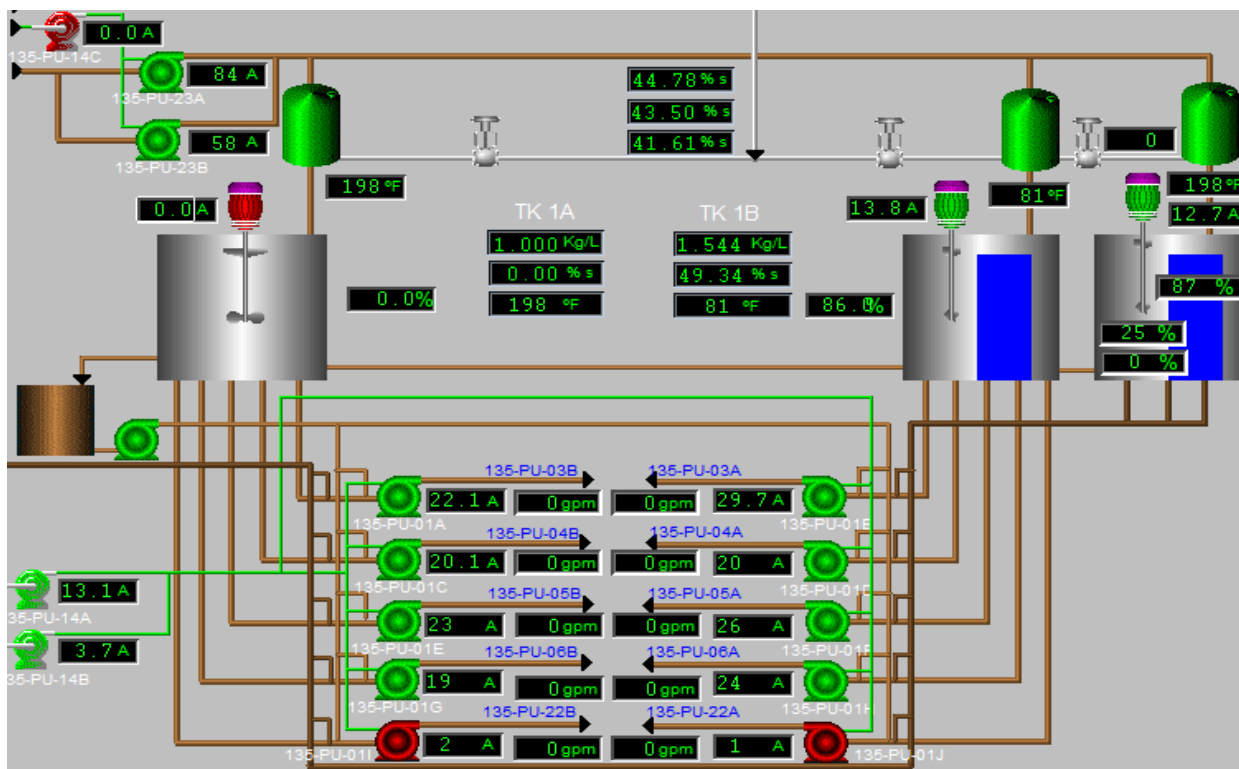
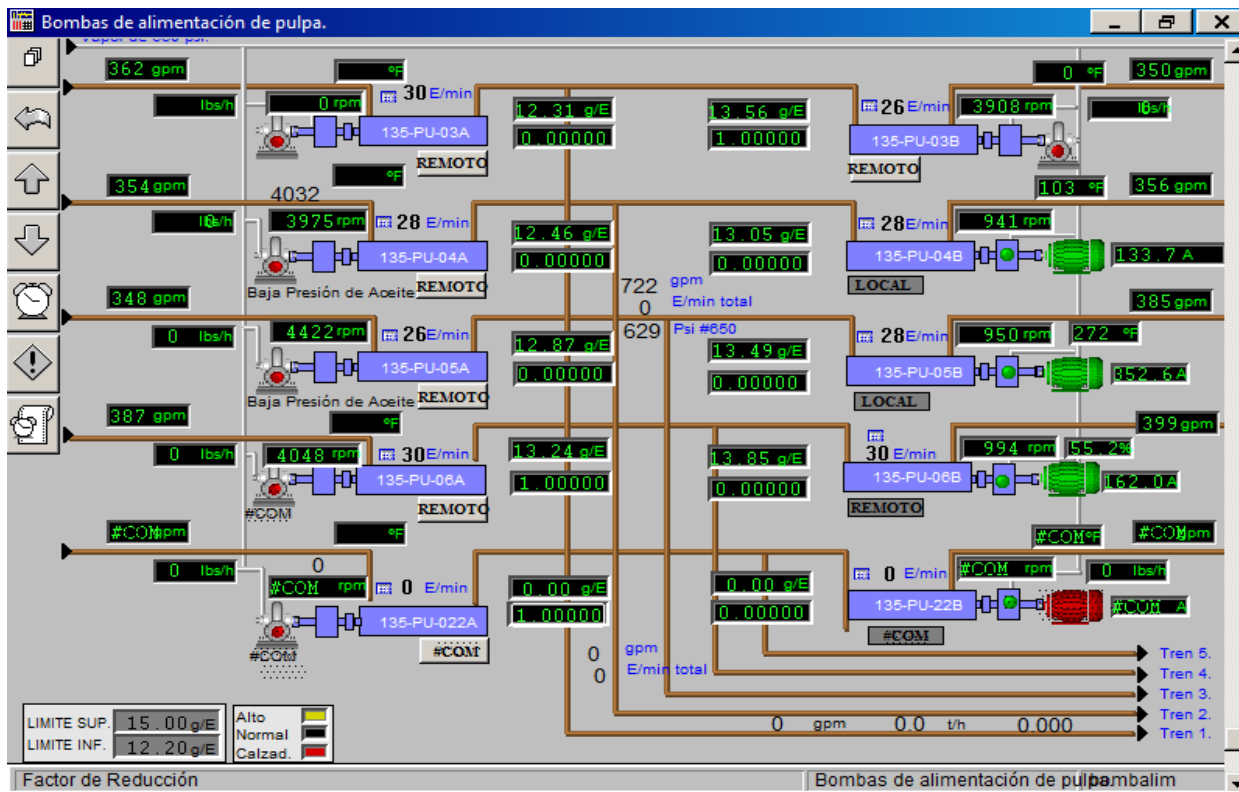


DIAGRAMA DE FLUJO TECNOLÓGICO DE PLANTA DE LIXIVIACIÓN



Anexo 3. Bombas DENVER de la planta de Lixiviación



Anexo 4. Bombas WIRTH de la planta de Lixiviación

Anexo 5. Técnica de fluorescencia de Rayos X para determinar la composición química del mineral laterítico empleada por la empresa

Para la determinación de la composición química de la pulpa alimentada a la planta de Lixiviación, en el laboratorio de la empresa emplean el método de fluorescencia de rayos X. Este espectrómetro secuencial automático de rayos es un instrumento compacto y de alta velocidad el cual se usa para el análisis de los elementos desde Bromo hasta Uranio. Es de alta flexibilidad, controlado por el microprocesador.

En la siguiente tabla se muestra un ejemplo de la composición química del mineral limonítico alimentado a la planta de lixiviación:

Tabla 2.1. Composición química del mineral limonítico alimentado

Elementos y compuestos	Ni	SiO ₂	Co	Fe	Cu	Mg	Al	Sólidos
Contenido, %	1,38	7,5	0,14	45	0,024	0,8	5	45

Anexo 6. Determinación de la densidad de la pulpa en la planta de Lixiviación

Tabla 2.2. Valores de la densidad del agua

T, °C	T, °F	ρ , g/cm ³	T, °C	T, °F	ρ , g/cm ³
31	87,2	0,99537	46	114,8	0,98982
32	89,6	0,99505	47	116,6	0,98940
33	91,4	0,99440	48	118,4	0,98894
34	93,2	0,99437	49	120,2	0,98852
35	95,6	0,99406	50	122,0	0,98807
36	96,8	0,99371	51	123,8	0,98762
37	98,6	0,99336	52	125,6	0,98715
38	100,4	0,99229	53	127,4	0,98669
39	102,2	0,99262	54	129,2	0,98621
40	104,0	0,99224	55	131,0	0,98573
41	105,8	0,99186	60	140,0	0,98324
42	107,6	0,99147	65	149,0	0,98059

43	109,4	0,99107	70	158,0	0,97781
44	111,2	0,99069	75	167,8	0,97489
45	113,0	0,99025	80	176,8	0,97183

Cálculo de la masa de agua añadida a la pulpa

La masa de agua añadida a la pulpa se calcula por la ecuación 2.1.

$$M = M_{PD} - M_p$$

donde:

M : Masa de agua añadida a la pulpa, g;

M_{PD} : Masa de pulpa con agua según el paso 3, g;

M_p : Masa de pulpa antes de la dilución determinada en el paso 2, g.

Cálculo del volumen de agua añadido

El volumen de agua añadido se determina por la ecuación 2.2.

$$V = \frac{M}{\rho_{H_2O}}$$

donde :

V : Volumen de agua añadido a la pulpa, en cm^3 .

M : Masa de agua determinada por la expresión 1.

ρ_{H_2O} : Densidad del agua a la temperatura de la pulpa. Determinada en el paso 5 del procedimiento.

Cálculo del volumen de pulpa

El volumen de pulpa se determina por la ecuación 2.3:

$$V_{pulpa} = 1000 - V$$

donde

1000 : Volumen del volumétrico, en gr/cm^3 .

V : Volumen de agua determinado por la expresión 2, en cm^3 .

V_{pulpa} Volumen de pulpa, cm^3 .

Cálculo de la densidad de la pulpa

La densidad de la pulpa se calcula por la siguiente fórmula:

$$\rho_{pulpa} = \frac{M_{pulpa}}{V_{pulpa}}$$

donde :

ρ_{pulpa} : Densidad de la pulpa, en g/cm^3

M_{pulpa} : Masa de pulpa determinada por el paso 2 del procedimiento, en g.

V_{pulpa} : Volumen de pulpa calculado por la expresión 3, cm^3 .

Anexo 7. Determinación del porcentaje de sólidos por el método matemático

Este método matemático que aquí se explica es válido para pulpas precalentadas y sin precalentar.

Con los datos obtenidos experimentalmente de densidad de la pulpa, se determina el porcentaje de sólidos por la siguiente expresión

$$x = \frac{m_{sólido}}{m_{susp}} \quad y \quad V = \frac{m}{\rho}$$

De esta manera se al obtener la masa del sólido y de la suspensión se determina el porciento de sólido, esto se recoge en la norma NEIB 050302.

Anexo 8. Base de datos general de la planta de Lixiviación

Fecha	% de sólido	No. Mineral	Densidad, g/cm3	Temperatura, °C	Productividad, t/h	Consumo energético total, MWh
03-01-2013	36.87	10.54	1.41	64	8406	23.220
05-01-2013	37.59	12.32	1.41	63	7687	19.710
06-01-2013	37.76	9.537	1.41	63	7484	19.420
11-01-2013	39.76	9.997	1.42	64	7934	20.449
12-01-2013	38.02	10.718	1.40	65	8707	20.162
14-01-2013	38.15	12.477	1.42	64	7555	18.200
15-01-2013	38.46	10.938	1.45	64	7860	18.837
16-01-2013	39.32	10.444	1.42	64	7908	19.528
17-01-2013	38.72	8.392	1.41	64	7534	18.500
18-01-2013	39.31	8.395	1.46	65	7981	18.600
19-01-2013	39.05	8.026	1.43	65	7953	20.800
20-01-2013	39.58	8.305	1.45	64	8062	27.409
21-01-2013	39.34	8.305	1.43	63	8236	25.386
22-01-2013	39.63	8.278	1.42	62	7950	26.446
24-01-2013	40.49	10.812	1.45	64	8311	22.520
25-01-2013	40.52	8.632	1.43	63	8625	23.446
26-01-2013	40.16	9.243	1.50	63	8575	27.049
27-01-2013	40.47	8.807	1.44	63	9366	24.976
28-01-2013	40.49	10.801	1.44	63	9317	26.738
29-01-2013	40.46	12.67	1.44	63	9475	27.467
30-01-2013	39.53	11.841	1.44	64	9335	25.616
01-02-2013	39.19	11.8	1.43	64	9310	24.790
03-02-2013	37.53	11.82	1.40	63	8913	26.265
04-02-2013	37.41	11.51	1.39	64	8842	22.399
06-02-2013	37.2	11.51	1.39	64	7075	15.54
12-02-2013	39.06	12.14	1.43	63	7934	20.36
13-02-2013	38.12	14.51	1.43	63	7766	16.500
17-02-2013	39.64	13.28	1.43	62	8290	22.902
18-02-2013	39.66	13.31	1.43	64	8581	21.990
19-02-2013	40.29	13.31	1.43	63	8385	25.730
20-02-2013	40.16	12.55	1.42	62	8302	20.524
21-02-2013	39.14	11.63	1.42	63	7909	30.926
22-02-2013	39.55	10.42	1.42	63	8327	24.967
23-02-2013	39.77	11.79	1.44	63	8390	24.481
25-02-2013	40.21	11.99	1.44	64	8593	24.730
26-02-2013	40.02	13.12	1.44	63	8368	24.829

27-02-2013	39.79	11.35	1.44	64	8271	24.705
01-03-2013	39.79	11.809	1.44	62	8630	22.221
04-03-2013	39.92	11.511	1.44	65	7995	25.384
05-03-2013	40.26	12.516	1.44	65	8560	18.673
07-03-2013	40.17	14.15	1.43	64	8422	24.993
08-03-2013	39.86	12.121	1.43	65	7813	25.029
09-03-2013	40.65	14.818	1.44	65	7242	20.064
10-03-2013	39.2	11.807	1.42	64	8004	24.046
11-03-2013	40.97	12.087	1.46	64	8149	18.270
13-03-2013	41.27	12.44	1.42	64	8559	20.665
14-03-2013	40.79	13.421	1.44	64	8420	24.773
19-03-2013	40.51	13.421	1.44	63	8771	24.270
26-03-2013	38.94	13.129	1.41	63	8678	21.557
27-03-2013	39.23	11.358	1.43	65	8631	22.727
01-04-2013	39.18	10.53	1.46	63	7925	20.969
02-04-2013	39.24	9.67	1.45	82	8177	22.693
05-04-2013	39.41	12.03	1.44	82	8670	23.346
06-04-2013	39.45	10.89	1.43	81	8521	23.753
07-04-2013	40.42	10.74	1.44	80	7909	22.923
08-04-2013	41.04	10.88	1.42	81	8438	20.969
10-04-2013	40.36	12.59	1.43	82	8760	18.410
12-04-2013	41.04	14.39	1.43	83	9497	26.131
13-04-2013	40.23	10.718	1.40	82	9524	26.626
14-04-2013	39.97	8.807	1.44	82	9403	27.607
17-04-2013	39.08	10.801	1.44	82	9001	25.169
19-04-2013	39.6	12.67	1.44	82	9226	28.188
23-04-2013	39.6	11.841	1.44	65	9275	26.836
25-04-2013	41.24	11.511	1.41	80	9017	24.825
26-04-2013	39.99	12.516	1.44	82	9734	29.238
30-04-2013	39.72	14.15	1.43	82	9541	27.072
01-05-2013	39.72	12.121	1.43	64	9541	25.040
02-05-2013	39.08	12.71	1.41	64	9530	23.579
03-05-2013	40.14	13.28	1.43	64	9609	24.100
05-05-2013	40.05	13.31	1.43	62	9028	20.200
07-05-2013	41.29	12.55	1.42	65	8064	21.759
08-05-2013	41.27	8.278	1.42	63	8165	23.015
09-05-2013	40.74	10.812	1.45	64	8829	26.126
10-05-2013	40.52	8.632	1.43	63	8693	26.166
13-05-2013	40.8	9.243	1.50	64	8673	26.187
14-05-2013	40.61	12.71	1.41	65	8865	24.579
15-05-2013	40.77	13.28	1.43	64	8934	26.881

16-05-2013	40.46	13.31	1.43	64	8882	27.267
17-05-2013	40.19	13.31	1.43	65	8437	21.922
18-05-2013	40.11	10.718	1.40	65	7918	20.362
23-05-2013	42.3	8.807	1.44	66	7614	25.454
24-05-2013	41.95	10.801	1.44	65	8412	25.284
26-05-2013	42.72	12.67	1.44	65	7794	23.644
27-05-2013	43.24	11.841	1.44	65	8722	27.091
28-05-2013	43.44	11.511	1.44	65	8780	27.330
29-05-2013	43.54	12.516	1.44	64	7960	22.083
30-05-2013	43.8	14.15	1.43	64	6835	18.957
02-06-2013	44.99	13.129	1.41	64	9638	23.939
05-06-2013	41.77	10.718	1.44	62	8907	21.137
09-06-2013	40.35	12.67	1.45	64	9942	28.562
10-06-2013	41.88	11.841	1.44	64	9013	21.626
11-06-2013	40.88	11.511	1.44	64	8814	23.651
13-06-2013	41	12.516	1.44	61	8720	20.197
14-06-2013	42.08	14.15	1.45	63	9204	20.133
15-06-2013	42.88	10.444	1.42	63	8759	19.118
16-06-2013	43.11	8.392	1.41	64	9118	20.036
17-06-2013	44.33	8.395	1.46	64	9289	23.242
18-06-2013	44.97	8.026	1.43	64	9527	21.681
28-06-2013	44.17	8.305	1.43	64	9671	21.692
01-07-2013	44.56	10.812	1.45	64	9604	23.777
02-07-2013	44.7	8.807	1.45	64	9477	25.993
03-07-2013	44.52	10.801	1.46	64	9348	28.479
04-07-2013	44.29	12.67	1.44	63	9223	20.877
06-07-2013	43.9	11.841	1.49	63	9381	25.950
07-07-2013	43.49	11.511	1.50	62	9359	25.351
08-07-2013	42.66	12.516	1.50	62	9067	25.793
10-07-2013	43.76	10.801	1.49	62	9296	26.892
11-07-2013	44.01	10.812	1.45	64	9605	26.674
12-07-2013	42.83	10.23	1.46	65	9282	27.195
14-07-2013	42.44	10.801	1.44	62	9319	25.619
15-07-2013	42.19	12.67	1.49	62	9298	23.222
17-07-2013	42.55	11.841	1.50	64	9536	25.840
20-07-2013	43.3	11.511	1.50	64	9475	27.637
21-07-2013	43.4	12.516	1.49	62	9635	26.728
22-07-2013	43.11	10.801	1.46	64	9409	27.204
23-07-2013	42.98	10.26	1.45	63	9698	27.020
24-07-2013	43.02	11.11	1.48	64	9470	26.475
25-07-2013	42.99	11.23	1.47	66	9405	27.221

29-07-2013	42.28	11.32	1.47	81	9001	24.511
01-08-2013	42.88	10.37	1.47	73	9326	24.523
02-08-2013	42.34	8.36	1.48	65	9108	23.484
04-08-2013	43.37	10.02	1.48	64	9243	24.535
06-08-2013	43.05	11.23	1.46	64	9451	21.070
07-08-2013	42.69	10.62	1.47	64	8983	20.966
09-08-2013	42.2	10.27	1.47	64	9905	28.313
10-08-2013	42.44	10.92	1.46	65	9937	28.595
12-08-2013	43.99	10.23	1.51	64	9251	23.342
13-08-2013	43.17	11.09	1.47	64	9181	23.559
15-08-2013	43.27	10.81	1.47	64	9378	27.332
16-08-2013	42.76	9.26	1.48	63	9343	26.896
18-08-2013	41.6	9.57	1.47	63	9145	27.031
24-08-2013	42.28	10	1.48	63	9534	26.189
26-08-2013	42.85	10.67	1.48	63	9930	27.084
28-08-2013	43.2	11.87	1.48	63	9783	29.600
01-09-2013	42.17	10.23	1.46	64	8756	25.953
03-09-2013	42.56	12.63	1.47	64	8014	24.987
04-09-2013	42.52	12.57	1.47	63	8109	21.213
05-09-2013	42.77	8.94	1.47	50	7495	16.436
06-09-2013	42.15	10.23	1.47	63	6643	19.181
07-09-2013	42.2	11.55	1.47	62	8724	23.692
08-09-2013	41.64	11.32	1.47	64	9094	24.461
09-09-2013	42.29	11.74	1.46	64	8717	25.669
12-09-2013	43.18	10.91	1.47	64	9553	31.618
13-09-2013	43.86	12.24	1.48	64	9753	26.391
14-09-2013	43.66	12.18	1.50	64	9741	27.061
16-09-2013	43.48	10.73	1.49	65	9632	26.692
17-09-2013	43.12	11.55	1.48	65	9118	27.997
18-09-2013	42.76	11.74	1.48	65	8945	25.720
19-09-2013	42.58	10.91	1.47	63	8304	25.705
20-09-2013	41.87	13.2	1.47	64	8851	24.408
21-09-2013	42.14	12.31	1.47	64	8755	26.365
22-09-2013	42.07	12.16	1.46	63	7963	28.710
23-09-2013	42.11	11.87	1.47	65	6607	22.197
24-09-2013	42.89	12.34	1.48	65	6730	19.950
25-09-2013	42.27	12.44	1.48	65	6864	20.141
26-09-2013	41.7	12.99	1.46	64	8628	25.972
27-09-2013	42.21	11	1.47	63	8682	26.528
28-09-2013	42.57	10.93	1.47	64	8977	26.369
29-09-2013	42.34	10.38	1.45	65	9154	26.311

02-10-2013	38.93	13.02	1.46	62	7920	21.768
04-10-2013	37.85	10.26	1.47	65	7508	22.229
06-10-2013	37.9	10.36	1.48	64	7810	27.736
07-10-2013	38.35	12.3	1.47	65	7530	26.941
09-10-2013	38.17	10.91	1.37	64	8079	17.303
10-10-2013	37.8	10.79	1.38	63	7807	25.906
11-10-2013	38.56	10.25	1.41	62	8272	26.004
12-10-2013	37.51	8.49	1.41	62	7790	25.234
13-10-2013	37.47	7.31	1.39	64	7926	26.170
14-10-2013	38.06	9.56	1.39	63	7300	26.942
15-10-2013	37.96	10.06	1.42	63	8143	27.967
16-10-2013	37.97	10.92	1.39	64	8464	27.626
17-10-2013	37.77	11.19	1.39	61	8365	25.101
20-10-2013	38.71	10.53	1.39	63	8798	33.628
21-10-2013	39.19	10.92	1.41	63	8314	22.471
22-10-2013	40.25	11.19	1.39	64	8718	25.378
23-10-2013	40.14	10.53	1.41	64	8240	25.343
24-10-2013	39.51	12.28	1.39	64	8426	21.384
25-10-2013	38.21	11.82	1.40	64	8089	19.234
27-10-2013	38.57	11.51	1.39	63	7510	21.370
28-10-2013	38.34	12.121	1.38	63	7567	24.638
29-10-2013	39.74	12.14	1.44	64	7000	24.078
02-11-2013	41.53	13.28	1.43	65	6474	15.369
03-11-2013	40.87	11.511	1.44	66	6670	20.207
06-11-2013	41.78	12.516	1.44	73	8878	22.491
07-11-2013	42.07	14.15	1.45	78	8819	27.215
08-11-2013	42.47	10.444	1.42	85	9137	27.051
09-11-2013	42.33	8.392	1.41	84	8960	26.333
10-11-2013	42.65	8.395	1.46	85	9113	26.989
11-11-2013	42.19	8.026	1.43	85	8960	25.674
13-11-2013	41.06	8.305	1.45	79	8568	20.171
15-11-2013	40.31	8.305	1.43	79	8447	23.362
17-11-2013	40.09	12.18	1.51	82	8397	26.465
20-11-2013	39.83	10.73	1.49	82	8237	25.004
21-11-2013	40.27	11.55	1.48	82	8546	25.892
22-11-2013	41.15	11.74	1.48	83	8862	26.313
24-11-2013	41.77	10.91	1.47	83	8419	27.844
25-11-2013	42.9	13.2	1.47	81	6953	25.061
26-11-2013	42.97	12.31	1.47	78	7023	23.975
27-11-2013	42.54	12.16	1.46	77	7043	25.185
28-11-2013	41.56	11.87	1.47	76	8251	24.487

29-11-2013	41.88	12.34	1.48	79	9104	27.007
30-11-2013	40.61	12.44	1.48	63	9020	25.786
02-12-2013	41.33	11	1.47	82	8872	25.18
03-12-2013	41.96	8.632	1.43	81	8899	23.029
04-12-2013	43	9.243	1.5	78	9561	25.191
05-12-2013	40.51	12.71	1.41	82	9372	24.251
06-12-2013	40.81	13.28	1.43	81	9416	25.746
07-12-2013	40.63	13.31	1.43	80	9596	27.008
08-12-2013	40.84	13.31	1.43	81	8321	23.175
10-12-2013	41.02	10.718	1.409	82	8451	22.124
11-12-2013	41.74	8.807	1.444	82	8971	27.113
14-12-2013	42.84	10.801	1.447	81	8971	26.452
16-12-2013	43.6	12.67	1.44	84	9107	24.205
17-12-2013	42.93	11.841	1.448	82	8800	24.116
18-12-2013	42.3	11.511	1.4	83	8727	25.115
21-12-2013	40.44	12.516	1.44	82	8818	22.352
22-12-2013	40.57	14.15	1.43	82	8386	24.089
23-12-2013	40.65	10.65	1.43	83	7820	26.38
24-12-2013	41.04	10.801	1.447	84	7483	25.296
25-12-2013	40.83	12.67	1.44	84	7961	24.725
26-12-2013	40.73	11.841	1.448	84	8385	27.478

Anexo 9. Averías de la planta de Lixiviación

Fecha	Tren	Equipo	Modo	tiempo, h	Pérdidas , t
03-01-2013	3	PU-1F	Avería entredós	1.083	16.740
05-01-2013	4	PU-6B	Diafragma ponchado	7.083	80.760
06-01-2013	3	PU-5B	cheque calzado	3.000	32.790
06-01-2013	3	PU-5B	cheque calzado	0.917	10.110
06-01-2013	3	PU-5B	cheque calzado	2.000	38.240
06-01-2013	5	PU-22B	espárragos partidos	5.167	53.810
08-01-2013	4	PU-6B	cheque calzado	0.833	11.990
09-01-2013	4	PU-6B	cheque calzado	2.000	39.670
09-01-2013	4	PU-5A	espárragos partidos	1.333	10.370
11-01-2013	2	PU-4B	cheque calzado	1.917	51.790
11-01-2013	5	PU-22B	Diafragma ponchado	5.083	75.800
12-01-2013	2	PU-4B	cheque calzado	0.667	12.110
12-01-2013	3	PU-5B	cheque calzado	2.583	58.450
12-01-2013	4	PU-6A	espárragos partidos	0.833	20.460
12-01-2013	5	PU-22B	Avería PU	20.750	372.890
13-01-2013	3	PU-5B	Diafragma ponchado	2.833	27.670
14-01-2013	5	PU-22A	Avería TU	2.000	36.220
14-01-2013	5	PU-22B	Disparo PU	0.100	

14-01-2013	5	PU-22A	Avería PU	4.717	88.100
15-01-2013	2	PU-4A	Instrumentación	0.417	7.430
16-01-2013	3	PU-5B	cheque calzado	0.750	13.430
16-01-2013	3	PU-5B	cheque calzado	0.417	6.550
16-01-2013	3	PU-5B	cheque calzado	0.417	5.280
16-01-2013	3	PU-5B	cheque calzado	0.250	
17-01-2013	2	PU-4A	Diafragma ponchado	2.917	83.140
17-01-2013	3	PU-5B	Avería PU	16.750	270.380
18-01-2013	4	PU-6A	cheque calzado	0.583	21.240
18-01-2013	4	PU-6A	cheque calzado	0.500	5.000
18-01-2013	4	PU-6A	espárragos partidos	4.167	46.610
18-01-2013	5	PU-22B	cheque calzado	0.833	20.660
18-01-2013	5	PU-1J	Disparo PU	0.083	
19-01-2013	4	PU-6A	cheque calzado	0.917	8.600
19-01-2013	5	PU-22A	cheque calzado	0.750	12.210
19-01-2013	5	PU-22A	cheque calzado	0.250	
19-01-2013	5	PU-22A	Diafragma ponchado	2.750	96.080
20-01-2013	5	PU-22A	cheque calzado	0.250	1.560
20-01-2013	5	PU-22A	cheque calzado	2.583	91.140
20-01-2013	5	PU-1J	Tupición filtro		
21-01-2013	2	PU-4B	Avería PU	0.333	6.130
22-01-2013	2	PU-4A	Fugas	1.250	13.040
22-01-2013	3	PU-5A	Diafragma ponchado	5.917	95.050
22-01-2013	5	PU-22B	espárragos partidos	4.750	81.660
22-01-2013	5	PU-22A	Disparo PU	0.083	6.140
24-01-2013	2	PU-4B	cheque calzado	0.350	5.140
24-01-2013	4	PU-1H	avería entredós	1.167	15.570
24-01-2013	4	PU-1H	avería entredós	5.250	124.370
25-01-2013	2	PU-4B	cheque calzado	1.250	15.640
25-01-2013	3	PU-5B	cheque calzado	1.717	35.840
25-01-2013	4	PU-1G	Avería PU	1.000	27.660
25-01-2013	5	PU-1J	Avería filtro	1.000	19.990
26-01-2013	2	PU-4A	Diafragma ponchado	8.250	142.870
27-01-2013	2	PU-4B	cheque calzado	1.833	20.150
28-01-2013	4	PU-6A	Avería PU	3.083	20.240
29-01-2013	3	PU-5B	Diafragma ponchado	2.383	37.620
29-01-2013	3	PU-1E	tupición	3.167	32.700
29-01-2013	5	PU-22B	Diafragma ponchado	6.667	84.620
30-01-2013	4	PU-1G	Avería codo	3.417	32.910
01-02-2013	1	PU-3B	Cheque calzado	0.117	9.530
01-02-2013	2	PU-4B	Cheque calzado	4.083	91.130
03-02-2013	1	PU-3B	cheque calzado	1.000	11.180
03-02-2013	2	PU-4B	Diafragma ponchado	8.833	76.340
03-02-2013	5	PU-22A	Diafragma ponchado	1.167	22.270
04-02-2013	2	PU-1C	Avería PU	32.583	465.890
04-02-2013	4	PU-6A	Diafragma ponchado	7.167	67.970
04-02-2013	5	PU-22B	Avería PU	1.417	31.180

06-02-2013	2	PU-4B	Diafragma ponchado	1.500	24.900
08-02-2013	2	PU-4B	cheque calzado	2.000	28.830
08-02-2013	2	PU-4B	Diafragma ponchado	5.500	37.070
12-02-2013	3	PU-5A	Avería PU	4.083	289.100
13-02-2013	5	PU-22A	cheque calzado	1.083	13.610
16-02-2013	1	PU-3B	cheque calzado	5.417	82.800
16-02-2013	3	PU-5B	Diafragma ponchado	6.333	71.200
17-02-2013	1	PU-3B	cheque calzado	7.333	85.970
18-02-2013	1	PU-1B	avería PU	6.833	57.270
18-02-2013	5	PU-22A	Espárragos flojos	24.000	183.300
19-02-2013	1	PU-3B	cheque calzado	0.833	5.280
19-02-2013	1	PU-3B	cheque calzado	0.833	5.280
20-02-2013	5	PU-22B	Fugas	0.967	20.020
21-02-2013	5	PU-22A	Avería PU	3.417	79.800
22-02-2013	1	PU-3B	Diafragma ponchado	2.083	33.620
23-02-2013	1	PU-3B	cheque calzado	0.667	5.240
23-02-2013	1	PU-3B	cheque calzado	1.583	43.630
25-02-2013	4	PU-6A	Diafragma ponchado	4.500	27.970
26-02-2013	1	PU-3A	Avería PU	6.000	153.720
26-02-2013	2	PU-4A	Avería PU	0.917	18.660
26-02-2013	4	PU-6B	Diafragma ponchado	3.000	28.850
27-02-2013	5	PU-22B	Avería PU	14.333	310.180
01-03-2013	1	PU-3B	cheque calzado	1.917	15.380
03-03-2013	4	PU-6A	Instrumentación	5.333	42.590
04-03-2013	1	PU-3B	Cheque calzado	0.917	21.450
05-03-2013	1	PU-3B	Fugas	0.667	11.910
05-03-2013	2	PU-4B	cheque calzado	1.167	14.200
06-03-2013	4	PU-6B	Disparo PU	1.083	68.600
07-03-2013	1	PU-3A	avería PU	0.250	10.140
07-03-2013	1	PU-1A	Avería entredos	0.667	6.770
07-03-2013	2	PU-4B	cheque calzado	1.500	6.880
07-03-2013	2	PU-4A	cheque calzado		
07-03-2013	3	PU-5A	cheque calzado	1.167	22.140
07-03-2013	3	PU-5A	cheque calzado	0.417	
08-03-2013	1	PU-3A	cheque calzado	0.667	14.630
08-03-2013	2	PU-1D	Disparo PU	2.833	33.210
08-03-2013	3	PU-5A	cheque calzado	6.417	155.000
08-03-2013	3	PU-5B	cheque calzado	3.417	17.180
08-03-2013	4	PU-6A	cheque calzado	0.500	65.200
09-03-2013	1	PU-3B	cheque calzado	2.917	61.240
09-03-2013	2	PU-4B	Disparo PU	0.067	1.950
09-03-2013	3	PU-5B	cheque calzado	1.333	41.730
09-03-2013	3	PU-5A	cheque calzado	0.750	12.910
09-03-2013	3	PU-5A	cheque calzado	4.333	160.070
09-03-2013	4	PU-1G	Avería codo	6.917	157.950
10-03-2013	1	PU-3B	cheque calzado	0.833	4.560
11-03-2013	1	PU-3B	Fugas	1.617	39.620

12-03-2013	1	PU-3B	cheque calzado	3.750	90.570
12-03-2013	3	PU-5B	cheque calzado	0.917	11.230
12-03-2013	5	PU-22A	Diafragma ponchado	1.000	53.300
13-03-2013	2	PU-4B	cheque calzado	1.333	4.680
14-03-2013	3	PU-1F	Avería codo	1.167	9.600
19-03-2013	3	PU-5B	cheque calzado	0.833	6.540
26-03-2013	3	PU-5B	Avería PU	1.083	23.420
26-03-2013	4	PU-6B	Diafragma ponchado	1.417	6.850
27-03-2013	1	PU-3A	Fugas	6.250	48.500
27-03-2013	5	PU-22B	Avería PU	11.583	133.240
01-04-2013	4	PU-6A	Avería PU	0.333	13.180
02-04-2013	4	PU-6A	Diafragma ponchado	3.917	33.100
05-04-2013	5	PU-1I	Avería entredós	2.417	45.220
06-04-2013	5	PU-22A	Diafragma ponchado	5.917	101.590
07-04-2013	4	PU-1G	Avería PU	2.750	32.930
08-04-2013	4	PU-1G	Avería PU	5.333	120.580
08-04-2013	1	PU-3A	Fugas	0.583	9.940
10-04-2013	1	PU-3A	Avería Tee descarga	1.833	35.680
12-04-2013	3	PU-5A	espárragos partidos	2.000	38.390
12-04-2013	4	PU-6B	Fugas	2.250	22.920
13-04-2013	4	PU-1H	Avería PU	0.133	4.110
14-04-2013	2	PU-4A	Disparo PU	5.000	52.750
14-04-2013	4	PU-6B	Fugas	0.583	5.670
17-04-2013	2	PU-4B	Avería PU	3.667	52.190
19-04-2013	3	PU-5B	Fugas	1.667	21.030
19-04-2013	4	PU-6A	Fugas	2.333	21.810
23-04-2013	3	PU-5A	Fugas	0.917	14.820
23-04-2013	3	PU-5A	Fugas	0.417	7.690
23-04-2013	4	PU-6A	Fugas	0.950	14.090
25-04-2013	1	PU-3B	Fugas	2.833	33.540
25-04-2013	2	PU-4B	Fugas	2.583	50.570
26-04-2013	4	PU-6A	Disparo PU	0.833	
30-04-2013	2	PU-4B	cheque calzado	0.667	10.010
30-04-2013	3	PU-5A	Fugas	1.583	27.920
01-05-2013	2	PU-4B	Diafragma ponchado	3.750	25.640
02-05-2013	4	PU-6B	cheque calzado	0.500	5.130
02-05-2013	2	PU-4B	Disparo PU	0.783	3.790
03-05-2013	2	PU-4B	cheque calzado	1.417	18.180
03-05-2013	5	PU-1J	Avería PU	13.333	132.120
03-05-2013	5	PU-22B	Disparo PU	0.167	19.450
04-05-2013	2	PU-4B	cheque calzado	1.583	6.080
04-05-2013	4	PU-6B	Fugas	0.667	16.440
05-05-2013	2	PU-4B	Diafragma ponchado	1.333	15.450
05-05-2013	4	PU-6B	cheque calzado	3.500	90.180
07-05-2013	3	PU-5A	cheque calzado	0.500	6.060
07-05-2013	5	PU-22B	cheque calzado	3.000	43.600
08-05-2013	5	PU-22A	Fugas	0.667	10.310

08-05-2013	3	PU-5A	espárragos partidos	7.000	77.200
09-05-2013	3	PU-5B	Fugas	1.333	24.840
09-05-2013	3	PU-1F	Avería entredós	0.500	10.290
09-05-2013	2	PU-4B	cheque calzado	1.000	8.580
10-05-2013	2	PU-4B	cheque calzado	0.667	4.030
10-05-2013	3	PU-5B	Fugas	0.667	6.750
10-05-2013	3	PU-1F	Avería PU	6.833	120.640
10-05-2013	4	PU-6A	Fugas	0.917	15.560
12-05-2013	3	PU-5A	Tapa diafragma floja	3.167	42.710
12-05-2013	5	PU-22B	espárragos partidos	3.083	20.440
13-05-2013	4	PU-6A	espárragos partidos	1.750	27.440
13-05-2013	4	PU-6A	espárragos partidos	10.183	207.350
14-05-2013	2	PU-4B	cheque calzado	1.167	23.270
14-05-2013	3	PU-5A	Diafragma ponchado	4.450	53.510
14-05-2013	4	PU-6A	Apretar tapas	0.833	20.260
14-05-2013	5	PU-11	Avería PU	0.233	5.400
15-05-2013	2	PU-1D	Avería entredós		NO
15-05-2013	2	PU-4A	Fugas	0.830	
15-05-2013	2	PU-1D	Avería PU	3.417	62.120
15-05-2013	5	PU-22A	Avería PU	1.167	21.270
16-05-2013	5	PU-22B	Fugas	1.333	29.550
17-05-2013	2	PU-4A	Fugas	0.750	15.100
17-05-2013	2	PU-4A	Fugas	0.500	9.580
17-05-2013	5	PU-22A	espárragos partidos	7.750	122.850
18-05-2013	4	FT-4A	Avería FT	11.500	389.230
23-05-2013	5	PU-1I	Disparo PU	0.083	10.210
24-05-2013	1	PU-3B	cheque calzado	0.583	
24-05-2013	1	PU-3B	cheque calzado	0.833	9.460
24-05-2013	1	PU-3B	cheque calzado	1.000	5.490
24-05-2013	2	PU-1I	Avería PU	0.250	8.570
24-05-2013	2	PU-1C	Avería PU	4.750	101.980
26-05-2013	1	PU-3B	cheque calzado	0.833	5.730
26-05-2013	1	PU-3B	cheque calzado	0.750	12.980
27-05-2013	1	PU-3B	cheque calzado	1.500	3.210
28-05-2013	1	PU-3B	cheque calzado	0.500	10.230
28-05-2013	5	PU-22A	cheque calzado	0.167	
29-05-2013	2	PU-4B	cheque calzado	0.333	
29-05-2013	5	PU-22B	Disparo PU	0.200	7.560
30-05-2013	4	PU-6B	Diafragma ponchado	1.417	22.700
30-05-2013	5	PU-22B	avería PU	3.250	49.120
30-05-2013	5	PU-22A	Fugas	4.250	52.160
01-06-2013	1	PU-3B	Avería PU	0.250	8.050
02-06-2013	1	PU-3B	cheque calzado	1.583	12.600
02-06-2013	1	PU-3B	cheque calzado	0.583	30.980
02-06-2013	1	PU-3B	Avería PU	0.167	5.520
02-06-2013	3	PU-5B	Avería PU	0.250	2.840
02-06-2013	5	PU-22B	Fugas	0.417	8.950

05-06-2013	5	PU-22A	espárragos partidos	2.083	24.300
05-06-2013	3	PU-5A	Avería PU	0.667	43.470
06-06-2013	1	PU-3A	espárragos partidos	3.167	39.080
06-06-2013	4	PU-6A	espárragos partidos	3.667	38.170
08-06-2013	2	PU-4A	Diafragma ponchado	3.667	47.180
09-06-2013	3	PU-5B	Diafragma ponchado	14.083	134.510
10-06-2013	2	PU-4A	espárragos partidos	10.583	61.230
10-06-2013	2	PU-4B	Fugas	0.833	1.540
11-06-2013	1	PU-3B	Avería PU	4.917	117.710
11-06-2013	3	PU-5A	Avería PU	0.833	7.350
13-06-2013	1	PU-3B	Avería PU	2.667	88.650
14-06-2013	1	PU-3A	Avería TU	6.500	191.890
14-06-2013	5	PU-22B	Diafragma ponchado	5.583	38.910
15-06-2013	1	PU-3A	Avería TU	4.500	144.330
15-06-2013	1	PU-4B	Avería PU	2.000	69.640
15-06-2013	2	PU-3B	Avería PU	7.667	82.030
16-06-2013	1	PU-3B	Avería PU	24.000	194.600
16-06-2013	2	PU-3A	espárragos partidos	2.833	32.150
17-06-2013	1	PU-3B	Avería PU	13.583	132.570
17-06-2013	3	PU-5B	Diafragma ponchado	0.917	19.790
18-06-2013	2	PU-3B	Avería PU	9.083	94.940
18-06-2013	3	PU-5B	Diafragma ponchado	2.500	45.000
23-06-2013	1	PU-3A	espárragos partidos	7.283	91.650
23-06-2013	5	PU-22A	Disparo PU	0.050	
28-06-2013	3	PU-5A	cheque calzado	1.083	60.080
28-06-2013	3	PU-5B	Diafragma ponchado	5.667	68.800
29-06-2013	1	PU-3B	Diafragma ponchado	2.417	38.300
01-07-2013	2	PU-4A	Fugas	2.083	
01-07-2013	3	PU-5A	cheque calzado	3.167	
01-07-2013	3	PU-5A	Diafragma ponchado	3.833	
02-07-2013	5	PU-22B	Avería válvula	4.750	
03-07-2013	1	PU-3B	Fugas	1.083	
03-07-2013	1	PU-3A	Avería PU	1.750	
04-07-2013	1	PU-3B	cheque calzado	2.500	11.950
04-07-2013	4	PU-6A	instrumentación	7.833	86.150
06-07-2013	1	PU-3A	Fugas	0.333	5.800
07-07-2013	1	PU-3A	Fugas	0.833	13.440
07-07-2013	2	PU-1C	Avería PU	5.083	95.470
08-07-2013	1	PU-3B	cheque calzado	0.500	6.980
08-07-2013	2	PU-4A	Fugas	0.667	7.840
10-07-2013	1	PU-3A	Espárragos flojos	1.417	21.030
10-07-2013	1	PU-3B	cheque calzado	3.000	45.410
11-07-2013	1	PU-3B	cheque calzado	1.167	15.160
11-07-2013	1	PU-3B	Diafragma ponchado	2.083	24.060
11-07-2013	1	PU-3B	cheque calzado	0.500	16.680
11-07-2013	3	PU-5A	cheque calzado	1.083	15.240
11-07-2013	4	PU-6A	cheque calzado	1.550	16.100

11-07-2013	4	PU-6B	Disparo PU	0.033	5.000
11-07-2013	1	PU-3B	cheque calzado	3.083	41.430
12-07-2013	1	PU-3B	cheque calzado	0.917	10.010
12-07-2013	1	PU-3B	cheque calzado	0.333	5.710
12-07-2013	2	PU-4B	cheque calzado	1.150	43.670
12-07-2013	2	PU-4A	Avería PU	0.217	15.070
12-07-2013	3	PU-5A	cheque calzado	0.583	7.360
12-07-2013	4	PU-6A	cheque calzado	5.583	117.870
14-07-2013	2	PU-4B	cheque calzado	3.250	78.700
14-07-2013	2	PU-4B	cheque calzado	0.333	11.870
14-07-2013	3	PU-5A	cheque calzado	9.533	111.120
15-07-2013	2	PU-4A	cheque calzado	0.500	6.830
15-07-2013	4	PU-6A	cheque calzado	3.833	38.630
17-07-2013	1	PU-3B	cheque calzado	3.000	32.890
17-07-2013	2	PU-4B	cheque calzado	0.583	11.540
20-07-2013	2	PU-4B	cheque calzado	0.833	2.540
20-07-2013	2	PU-4B	cheque calzado	0.417	
21-07-2013	1	PU-3B	cambio cámara	1.333	54.960
22-07-2013	3	PU-9	Avería PU	1.233	91.120
22-07-2013	3	PU-5A	Fugas	1.917	9.330
23-07-2013	2	PU-4B	cheque calzado	2.250	20.320
23-07-2013	5	PU-22A	cheque calzado	0.417	18.360
24-07-2013	1	PU-3B	cheque calzado	0.750	9.940
24-07-2013	4	PU-6A	cheque calzado	0.167	3.850
24-07-2013	4	PU-6A	Disparo PU	0.733	38.230
25-07-2013	1	PU-3B	cheque calzado	1.583	44.820
29-07-2013	5	PU-1J	Avería PU	0.667	13.970
01-08-2013	4	PU-6B	cheque calzado	0.833	19.960
02-08-2013	4	PU-6B	Diafragma ponchado	2.000	42.890
02-08-2013	4	PU-1H	Avería eléctrica	5.333	76.110
04-08-2013	3	PU-1E	ponche entredós	0.333	7.590
04-08-2013	5	PU-22A	Diafragma ponchado	4.033	55.970
06-08-2013	1	PU-3B	cheque calzado	1.500	49.670
07-08-2013	1	PU-3B	cheque calzado	0.750	20.640
07-08-2013	1	PU-3B	cheque calzado	0.917	13.740
07-08-2013	1	PU-4B	Diafragma ponchado	0.750	24.710
07-08-2013	3	PU-1E	ponche entredós	2.000	32.540
07-08-2013	4	PU-6B	cheque calzado	1.333	36.560
07-08-2013	4	PU-5B	espárragos partidos	6.000	197.980
09-08-2013	1	PU-3B	cheque calzado	1.083	8.740
10-08-2013	1	PU-3B	cheque calzado	1.333	25.540
12-08-2013	3	PU-5A	Disparo PU	0.050	9.780
13-08-2013	2	PU-4B	cheque calzado	0.583	
13-08-2013	3	PU-5A	Fugas	0.833	22.080
13-08-2013	5	PU-22B	Avería PU	4.083	58.030
13-08-2013	5	PU-22A	Disparo PU	0.083	13.550
13-08-2013	5	PU-1J	Avería entredós	1.333	13.310

15-08-2013	3	PU-5B	cheque calzado	0.667	1.790
15-08-2013	4	PU-6A	espárragos partidos	3.500	73.770
16-08-2013	2	PU-4B	cheque calzado	0.250	6.490
16-08-2013	2	PU-4B	cheque calzado	0.750	15.480
16-08-2013	3	PU-5B	Fugas	0.750	9.440
16-08-2013	4	PU-6B	Diafragma ponchado	1.000	33.630
17-08-2013	3	PU-1F	Avería entredós	4.200	49.800
18-08-2013	3	PU-5A	Fugas	1.250	27.060
18-08-2013	3	PU-5A	Fugas	0.833	9.800
24-08-2013	2	PU-4A	cheque calzado	0.500	18.510
26-08-2013	3	PU-5B	Fugas	1.000	17.160
28-08-2013	1	PU-3A	cheque calzado	2.333	6.080
28-08-2013	1	PU-3A	cheque calzado	1.833	7.340
28-08-2013	1	PU-3B	cheque calzado	0.333	3.910
01-09-2013	1	PU-3B	cheque calzado	4.000	90.960
03-09-2013	2	PU-4A	Fugas	0.833	17.800
03-09-2013	5	PU-22A	Espárragos flojos	0.550	8.670
04-09-2013	1	PU-3B	cheque calzado	0.917	18.120
05-09-2013	2	PU-8	Avería PU	0.750	38.940
06-09-2013	5	PU-22A	Fugas	0.917	23.190
07-09-2013	1	PU-3B	cheque calzado	1.000	11.200
07-09-2013	1	PU-3B	cheque calzado	1.033	16.570
07-09-2013	1	PU-3A	Diafragma ponchado	1.000	12.580
07-09-2013	2	PU-4B	Fugas	0.500	3.420
08-09-2013	1	PU-3B	Diafragma ponchado	3.583	103.030
08-09-2013	1	PU-3B	cheque calzado	1.583	44.120
08-09-2013	1	PU-3B	cheque calzado	3.333	59.600
08-09-2013	2	PU-4B	cheque calzado	1.083	27.660
09-09-2013	2	PU-4B	cheque calzado	7.500	206.350
09-09-2013	2	PU-8	Avería tenedor descarga	5.667	453.320
12-09-2013	1	PU-3B	cheque calzado	0.750	12.220
13-09-2013	1	PU-1B	Ponche línea calibración	0.283	10.960
14-09-2013	2	PU-4A	cheque calzado	2.083	43.410
14-09-2013	4	PU-1H	Avería revestimiento	4.250	34.450
16-09-2013	1	PU-3B	Fugas	2.000	57.110
16-09-2013	1	PU-3B	cheque calzado	5.333	155.940
17-09-2013	1	PU-3B	cheque calzado	0.833	23.390
17-09-2013	1	PU-3B	cheque calzado	1.750	32.190
17-09-2013	1	PU-3B	Fugas	0.833	26.600
17-09-2013	2	PU-4B	cheque calzado	0.583	4.850
17-09-2013	5	PU-22B	Diafragma ponchado	3.833	79.030
18-09-2013	1	PU-1B	cambio correas	1.000	29.170
18-09-2013	1	PU-1B	Avería PU	6.967	176.820
18-09-2013	2	PU-4B	Fugas	0.583	12.230
19-09-2013	1	PU-3B	cheque calzado	5.250	118.090
19-09-2013	1	PU-3B	Avería PU	9.700	209.140

19-09-2013	2	PU-1D	Avería PU	1.450	31.600
19-09-2013	2	PU-4B	cheque calzado	0.583	6.350
19-09-2013	2	PU-4A	Diafragma ponchado	1.917	22.840
20-09-2013	1	PU-3B	cheque calzado	1.833	40.450
20-09-2013	1	PU-3B	cheque calzado	1.033	21.600
20-09-2013	1	PU-3B	cheque calzado	0.633	18.630
20-09-2013	1	PU-3B	cheque calzado	2.917	61.900
20-09-2013	4	PU-6A	Fugas	1.450	25.920
20-09-2013	5	PU-22B	Fugas	1.333	13.430
21-09-2013	1	PU-3B	cheque calzado	2.167	67.680
21-09-2013	1	PU-3B	cheque calzado	1.333	38.710
21-09-2013	1	PU-3B	cheque calzado	0.750	6.670
21-09-2013	1	PU-3B	cheque calzado	0.417	18.490
21-09-2013	1	PU-3B	cheque calzado	1.167	4.850
22-09-2013	1	PU-3B	cheque calzado	3.750	130.070
22-09-2013	1	PU-3B	cheque calzado	1.167	29.720
22-09-2013	1	PU-3B	cheque calzado	0.833	15.350
22-09-2013	1	PU-3B	cheque calzado	0.417	6.750
22-09-2013	2	LCV-B/B	Tupición LCV	9.583	99.140
22-09-2013	2	PU-4B	cheque calzado	0.750	10.890
23-09-2013	1	PU-3A	Fugas	0.500	13.820
23-09-2013	1	PU-3A	Avería PU	0.917	27.780
23-09-2013	2	PU-4B	Avería motor	15.917	481.000
24-09-2013	1	PU-3B	cheque calzado	1.583	42.940
24-09-2013	1	PU-3B	cheque calzado	2.250	63.350
24-09-2013	2	PU-4B	Avería motor	9.117	344.750
24-09-2013	2	PU-4A	Fugas	1.333	24.660
25-09-2013	1	PU-3B	cheque calzado	3.500	96.960
25-09-2013	2	PU-4B	Diafragma ponchado	6.000	138.530
25-09-2013	5	PU-1J	Avería PU	2.083	29.210
26-09-2013	1	PU-3B	cheque calzado	0.833	27.500
26-09-2013	1	PU-3A	espárragos partidos	6.050	136.060
26-09-2013	2	PU-4A	instrumentación	0.250	2.750
26-09-2013	2	PU-4A	Fugas	0.883	16.720
27-09-2013	1	PU-3B	cheque calzado	2.917	86.030
27-09-2013	1	PU-3B	cheque calzado	4.250	110.010
27-09-2013	1	PU-3B	cheque calzado	0.833	10.890
27-09-2013	1	PU-3B	cheque calzado	12.000	211.860
27-09-2013	2	PU-4B	cheque calzado	2.417	41.820
28-09-2013	1	PU-3B	cheque calzado	2.167	59.370
28-09-2013	1	PU-3A	Fugas	1.167	30.080
28-09-2013	1	PU-3B	cheque calzado	6.167	143.900
28-09-2013	1	PU-3B	cheque calzado	3.250	80.740
28-09-2013	2	PU-4B	cheque calzado	2.333	57.120
28-09-2013	2	PU-4B	cheque calzado	1.333	55.020
28-09-2013	4	PU-6A	cheque calzado	1.583	19.300

28-09-2013	4	PU-6B	cheque calzado	1.333	26.870
28-09-2013	4	PU-6B	cheque calzado	0.583	10.410
29-09-2013	1	PU-3B	cheque calzado	7.417	224.100
30-09-2013	1	PU-3A	Avería PU	2.133	65.450
30-09-2013	1	PU-3B	cheque calzado	0.583	13.690
30-09-2013	2	PU-4A	Fugas	1.333	32.900
02-10-2013	2	PU-4A	Diafragma ponchado	3.750	45.340
04-10-2013	4	PU-6A	cheque calzado	3.733	74.210
04-10-2013	4	PU-6B	Fugas	0.667	14.170
04-10-2013	5	PU-22B	Fugas	1.250	13.100
04-10-2013	5	PU-22A	Fugas	0.733	10.600
06-10-2013	4	PU-6A	Fugas	0.917	15.150
07-10-2013	1	PU-3A	cheque calzado	7.417	133.040
07-10-2013	2	PU-4A	Fugas	3.783	52.360
07-10-2013	2	PU-4A	Avería PU	0.717	5.320
07-10-2013	5	PU-22B	Avería PU	14.333	254.300
09-10-2013	1	PU-3A	Avería PU	1.250	34.490
10-10-2013	2	PU-4B	Fugas	0.833	7.350
11-10-2013	2	PU-4A	cheque calzado	1.667	2.100
11-10-2013	5	PU-22B	Fugas	1.250	15.890
12-10-2013	1	PU-3B	cheque calzado	0.500	13.420
12-10-2013	1	PU-3A	Avería PU	7.917	248.810
12-10-2013	2	PU-1D	Avería correas	0.583	8.090
13-10-2013	1	PU-3A	Avería PU	1.833	54.770
13-10-2013	2	PU-4B	Avería PU	4.250	68.710
13-10-2013	2	PU-4A	Avería eléctrica	0.100	17.910
14-10-2013	1	PU-3A	Fugas	0.833	19.900
15-10-2013	1	PU-3A	Fugas	0.500	3.400
15-10-2013	2	PU-4A	Avería PU	11.167	84.010
16-10-2013	3	PU-5A	Avería PU	1.583	22.870
16-10-2013	3	PU-5B	Avería PU	1.667	23.870
17-10-2013	1	PU-3A	Fugas	0.667	8.770
20-10-2013	1	PU-3B	cheque calzado	0.917	13.390
20-10-2013	3	PU-5A	Diafragma ponchado	1.417	26.000
20-10-2013	3	PU-5A	cheque calzado	0.500	4.700
21-10-2013	2	PU-4A	espárragos partidos	1.833	55.960
22-10-2013	3	PU-5B	Diafragma ponchado	2.667	29.470
23-10-2013	1	PU-3B	cheque calzado	3.083	82.270
23-10-2013	2	PU-4B	Fugas	0.417	5.900
23-10-2013	5	PU-22A	espárragos partidos	10.083	167.810
24-10-2013	1	PU-3A	cheque calzado	1.000	24.840
24-10-2013	3	PU-1F	Avería PU	4.750	57.500
25-10-2013	2	PU-4B	Fugas	0.417	13.660
25-10-2013	2	PU-1C	Avería PU	2.000	38.050
26-10-2013	1	PU-3A	Fugas	0.583	18.150
26-10-2013	5	PU-1J	Ponche reducido succión	0.333	6.520
27-10-2013	3	PU-5B	Diafragma ponchado	2.250	52.180

28-10-2013	5	PU-22A	Avería PU	6.500	73.930
29-10-2013	2	PU-4A	Disparo PU	0.167	7.810
29-10-2013	3	PU-5A	espárragos partidos	0.750	14.130
30-10-2013	2	PU-4B	Avería Cameron	0.950	66.660
31-10-2013	1	PU-3B	cheque calzado	3.583	71.860
31-10-2013	3	PU-5A	Avería PU	2.000	39.100
02-11-2013	3	PU-5A	cheque calzado	0.917	19.150
02-11-2013	4	PU-6A	cheque calzado	0.833	10.710
03-11-2013	4	PU-6A	cheque calzado	1.333	27.010
06-11-2013	2	PU-1D	Avería correas	0.667	14.320
06-11-2013	4	PU-6A	Diafragma ponchado	2.583	34.450
07-11-2013	3	PU-5B	Fugas	1.167	38.370
08-11-2013	3	PU-1F	Avería PU	1.500	22.740
09-11-2013	1	PU-3B	cheque calzado	8.500	181.080
09-11-2013	1	PU-3B	cheque calzado	0.500	8.470
10-11-2013	1	PU-3A	espárragos partidos	0.833	72.280
10-11-2013	3	PU-5B	Fugas	1.417	23.390
11-11-2013	2	PU-3B	cheque calzado	2.917	86.710
11-11-2013	3	PU-9	Avería PU	1.033	103.800
11-11-2013	4	PU-6A	Avería PU	8.333	110.760
13-11-2013	2	PU-3B	Avería PU	1.583	38.390
13-11-2013	4	PU-6A	Diafragma ponchado	1.083	17.170
15-11-2013	2	PU-1B	Avería PU	4.917	103.360
17-11-2013	1	PU-3B	cheque calzado	0.917	7.600
17-11-2013	1	PU-3A	Diafragma ponchado	2.667	27.250
17-11-2013	1	PU-3B	cheque calzado	0.117	6.230
17-11-2013	2	PU-3B	cheque calzado	5.833	105.740
20-11-2013	3	PU-5B	cheque calzado	0.583	22.610
20-11-2013	3	PU-5B	Sin succión	0.250	39.190
20-11-2013	4	PU-6B	Sin succión	1.483	50.060
20-11-2013	4	PU-6B	Diafragma ponchado	1.500	63.920
21-11-2013	1	PU-3B	cheque calzado	1.167	24.620
22-11-2013	1	PU-3B	cheque calzado	1.333	24.920
22-11-2013	1	PU-3B	cheque calzado	1.667	27.270
22-11-2013	2	PU-4B	Fugas	1.700	37.680
24-11-2013	2	PU-4A	cheque calzado	4.917	111.450
25-11-2013	4	PU-6A	cheque calzado		
26-11-2013	2	PU-4B	cheque calzado	0.583	17.350
26-11-2013	2	PU-4B	cheque calzado	1.167	22.960
26-11-2013	2	PU-4B	cheque calzado	1.133	14.610
26-11-2013	2	PU-4B	cheque calzado	0.417	9.960
26-11-2013	2	PU-4B	cheque calzado	0.167	7.590
26-11-2013	3	PU-9	Avería drenaje succión	0.533	66.240
27-11-2013	4	PU-6B	Avería PU	1.750	19.230
28-11-2013	2	PU-4B	cheque calzado	1.083	12.720
29-11-2013	3	PU-1E	Avería correas	0.633	13.700
30-11-2013	3	PU-5B	Fugas	0.417	8.540
02-12-2013	2	PU-4B	cheque calzado	0.333	4.380

02-12-2013	4	PU-6B	avería PU	0.583	24.270
02-12-2013	5	PU-22B	avería PU	1.250	29.440
02-12-2013	5	PU-22A	Disparo PU	0.033	
03-12-2013	3	PU-5B	cheque calzado	0.117	5.210
03-12-2013	4	PU-5B	avería PU	0.800	31.640
03-12-2013	5	PU-22B	Avería correas	2.167	50.560
04-12-2013	1	PU-3B	cheque calzado	1.000	19.550
04-12-2013	1	PU-3B	cheque calzado	0.583	12.220
04-12-2013	3	PU-9	Avería tenedor descarga	1.750	120.480
05-12-2013	2	PU-4B	cheque calzado	1.250	26.820
05-12-2013	5	PU-22A	Avería correas	1.800	9.590
06-12-2013	1	PU-1B	Avería turbina	14.417	351.500
06-12-2013	4	PU-1H	Disparo PU	1.083	7.130
07-12-2013	2	PU-3A	Avería PU	0.667	1.040
08-12-2013	5	PU-11	Avería línea de aire	0.917	67.190
10-12-2013	4	PU-6B	Diafragma ponchado	0.917	24.770
11-12-2013	3	PU-5B	Fugas	0.583	15.430
14-12-2013	4	PU-1H	Avería PU	0.750	14.390
14-12-2013	4	PU-6B	Diafragma ponchado	2.917	81.690
14-12-2013	4	PU-1H	Avería PU	2.250	36.520
14-12-2013	5	PU-22A	Diafragma ponchado	2.250	25.070
16-12-2013	5	PU-22A	espárragos partidos	10.033	143.220
17-12-2013	1	PU-3B	cheque calzado	1.167	23.830
18-12-2013	1	PU-3B	cheque calzado	2.833	27.220
18-12-2013	3	PU-5B	cheque calzado	0.917	21.050
18-12-2013	5	PU-22B	cheque calzado	1.167	12.430
21-12-2013	4	PU-6B	cheque calzado	2.250	39.900
22-12-2013	1	PU-3B	cheque calzado	3.500	39.280
22-12-2013	1	PU-3B	cheque calzado	0.417	4.420
22-12-2013	3	PU-5B	cheque calzado	0.250	
22-12-2013	4	PU-6A	cheque calzado	0.417	5.150
22-12-2013	5	PU-22A	Fugas	1.333	15.940
24-12-2013	3	PU-5B	Fugas	0.583	9.730
24-12-2013	4	PU-6B	Disparo PU	0.083	4.220
24-12-2013	4	PU-6A	cheque calzado	0.833	18.540
25-12-2013	1	PU-3B	cheque calzado	0.167	
26-12-2013	5	PU-22B	Disparo PU	0.167	8.220
28-12-2013	3	PU-5A	cheque calzado	0.433	10.340
28-12-2013	4	PU-5B	cheque calzado	0.250	4.010
28-12-2013	4	PU-6B	Fugas	0.583	8.790

Anexo 10. Base de datos donde se contemplan las averías

Base de datos donde se contemplan las averías						
Fecha	% de sólido	No. Mineral	Densidad, g/cm3	Productividad, t/h	Temperatura, °C	Consumo energético de las bombas, MWh
03-01-2013	36.87	10.540	1.415	8406	64	17.879
05-01-2013	37.59	12.320	1.411	7687	63	15.169
06-01-2013	37.76	9.537	1.413	7484	63	14.938
08-01-2013	39.76	9.491	1.415	5504	65	13.637
09-01-2013	38.02	8.279	1.540	5634	64	13.358
11-01-2013	38.15	9.997	1.427	7934	64	15.746
12-01-2013	38.46	10.718	1.409	8707	65	15.525
14-01-2013	39.32	12.477	1.425	7555	64	14.014
15-01-2013	38.72	10.938	1.450	7860	64	14.504
16-01-2013	39.31	10.444	1.420	7908	64	15.037
17-01-2013	39.05	8.392	1.417	7534	64	14.245
18-01-2013	46.58	8.395	1.460	7981	65	14.322
19-01-2013	39.34	8.026	1.430	7953	65	16.016
20-01-2013	39.63	8.305	1.450	8062	64	21.105
21-01-2013	40.49	8.305	1.430	8236	63	19.547
22-01-2013	40.52	8.278	1.420	7950	62	20.363
24-01-2013	46.16	10.812	1.457	8311	64	17.340
25-01-2013	40.47	8.632	1.430	8625	63	18.053
26-01-2013	40.49	9.243	1.500	8575	63	20.828
27-01-2013	46.32	8.807	1.444	9366	63	19.232
28-01-2013	39.53	10.801	1.447	9317	63	20.588
29-01-2013	39.19	12.670	1.440	9475	63	21.150
30-01-2013	37.53	11.841	1.448	9335	64	19.724
01-02-2013	37.41	11.800	1.430	9310	64	19.088
03-02-2013	37.2	11.820	1.402	8913	63	20.224
04-02-2013	39.06	11.510	1.390	8842	64	17.247

06-02-2013	38.12	11.510	1.390	7075	64	11.966
08-02-2013	39.64	12.121	1.380	6456	64	11.281
12-02-2013	39.66	12.140	1.400	7934	63	15.677
13-02-2013	40.29	14.510	1.400	7766	63	12.705
16-02-2013	40.16	12.710	1.410	7540	63	11.663
17-02-2013	39.14	13.280	1.430	8290	62	17.635
18-02-2013	39.55	13.310	1.430	8581	64	16.932
19-02-2013	39.77	13.310	1.430	8385	63	19.812
20-02-2013	40.21	12.550	1.420	8302	62	15.803
21-02-2013	40.02	11.630	1.420	7909	63	23.813
22-02-2013	39.79	10.420	1.420	8327	63	19.225
23-02-2013	39.79	11.790	1.440	8390	63	18.850
25-02-2013	39.92	11.990	1.440	8593	64	19.042
26-02-2013	40.26	13.120	1.440	8368	63	19.118
27-02-2013	40.17	11.350	1.440	8271	64	19.023
01-03-2013	39.86	11.809	1.440	8630	62	17.110
03-03-2013	40.65	11.821	1.410	8770	63	39.396
04-03-2013	39.2	11.511	1.400	7995	65	19.546
05-03-2013	40.97	12.516	1.440	8560	65	14.378
07-03-2013	41.27	14.150	1.430	8422	64	19.245
08-03-2013	40.79	12.121	1.430	7813	65	19.272
09-03-2013	40.51	14.818	1.440	7242	65	15.449
10-03-2013	38.94	11.807	1.420	8004	64	18.515
11-03-2013	39.23	12.087	1.460	8149	64	14.068
12-03-2013	39.18	14.181	1.430	8476	64	40.263
13-03-2013	39.24	12.440	1.420	8559	64	15.912
14-03-2013	39.41	13.421	1.440	8420	64	19.075
19-03-2013	39.45	13.421	1.440	8771	63	18.688
26-03-2013	40.42	13.129	1.410	8678	63	16.599

27-03-2013	41.04	11.358	1.430	8631	65	17.500
01-04-2013	40.36	10.530	1.460	7925	63	16.146
02-04-2013	41.04	9.670	1.450	8177	82	17.474
05-04-2013	40.23	12.030	1.440	8670	82	17.976
06-04-2013	46.35	10.890	1.430	8521	81	18.290
07-04-2013	39.08	10.740	1.440	7909	80	17.651
08-04-2013	39.6	10.880	1.420	8438	81	16.146
10-04-2013	39.6	12.590	1.430	8760	82	14.176
12-04-2013	41.24	14.390	1.430	9497	83	20.121
13-04-2013	39.99	10.718	1.409	9524	82	20.502
14-04-2013	46.72	8.807	1.444	9403	82	21.257
17-04-2013	39.72	10.801	1.447	9001	82	19.380
19-04-2013	39.08	12.670	1.440	9226	82	21.705
23-04-2013	40.14	11.841	1.448	9275	65	20.664
25-04-2013	40.05	11.511	1.400	9017	80	19.115
26-04-2013	41.29	12.516	1.440	9734	82	22.513
30-04-2013	41.27	14.150	1.430	9541	82	20.845
01-05-2013	40.74	12.121	1.430	9541	64	19.281
02-05-2013	40.52	12.710	1.410	9530	64	18.156
03-05-2013	40.8	13.280	1.430	9609	64	18.557
04-05-2013	40.61	13.310	1.430	9339	63	30.384
05-05-2013	40.77	13.310	1.430	9028	62	15.554
07-05-2013	46.46	12.550	1.420	8064	65	16.754
08-05-2013	40.19	8.278	1.420	8165	63	17.722
09-05-2013	40.11	10.812	1.457	8829	64	20.117
10-05-2013	42.3	8.632	1.430	8693	63	20.148
13-05-2013	41.95	9.243	1.500	8673	64	20.164
14-05-2013	42.72	12.710	1.410	8865	65	18.926
15-05-2013	46.24	13.280	1.430	8934	64	20.698
16-05-2013	43.44	13.310	1.430	8882	64	20.996

17-05-2013	43.54	13.310	1.430	8437	65	16.880
18-05-2013	43.8	10.718	1.409	7918	65	15.679
23-05-2013	44.99	8.807	1.444	7614	66	19.600
24-05-2013	41.77	10.801	1.447	8412	65	19.469
26-05-2013	40.35	12.670	1.440	7794	65	18.206
27-05-2013	41.88	11.841	1.448	8722	65	20.860
28-05-2013	40.88	11.511	1.400	8780	65	21.044
29-05-2013	41	12.516	1.440	7960	64	17.004
30-05-2013	42.08	14.150	1.430	6835	64	14.597
02-06-2013	42.88	13.129	1.410	9638	64	18.433
05-06-2013	43.11	10.718	1.440	8907	62	16.275
09-06-2013	44.33	12.670	1.450	9942	64	21.993
10-06-2013	44.97	11.841	1.440	9013	64	16.652
11-06-2013	44.17	11.511	1.440	8814	64	18.211
13-06-2013	44.56	12.516	1.440	8720	61	15.552
14-06-2013	44.7	14.150	1.450	9204	63	15.502
15-06-2013	44.52	10.444	1.420	8759	63	14.721
16-06-2013	44.29	8.392	1.417	9118	64	15.428
17-06-2013	43.9	8.395	1.460	9289	64	17.896
18-06-2013	43.49	8.026	1.430	9527	64	16.694
28-06-2013	42.66	8.305	1.430	9671	64	16.703
01-07-2013	43.76	10.812	1.457	9604	64	18.308
02-07-2013	44.01	8.807	1.450	9477	64	20.015
03-07-2013	46.83	10.801	1.460	9348	64	21.929
04-07-2013	42.44	12.670	1.440	9223	63	16.075
06-07-2013	42.19	11.841	1.490	9381	63	19.982
07-07-2013	42.55	11.511	1.500	9359	62	19.520
08-07-2013	43.3	12.516	1.500	9067	62	19.861
10-07-2013	43.4	10.801	1.490	9296	62	20.707
11-07-2013	43.11	10.812	1.450	9605	64	20.539

12-07-2013	42.98	10.230	1.460	9282	65	20.940
14-07-2013	43.02	10.801	1.440	9319	62	19.727
15-07-2013	42.99	12.670	1.490	9298	62	17.881
17-07-2013	42.28	11.841	1.500	9536	64	19.897
20-07-2013	42.88	11.511	1.500	9475	64	21.280
21-07-2013	42.34	12.516	1.490	9635	62	20.581
22-07-2013	43.37	10.801	1.460	9409	64	20.947
23-07-2013	43.05	10.260	1.450	9698	63	20.805
24-07-2013	42.69	11.110	1.480	9470	64	20.386
25-07-2013	46.32	11.230	1.470	9405	66	20.960
29-07-2013	46.44	11.320	1.470	9001	81	18.873
01-08-2013	43.99	10.370	1.470	9326	73	18.883
02-08-2013	43.17	8.360	1.480	9108	65	18.083
04-08-2013	43.27	10.020	1.480	9243	64	18.892
06-08-2013	42.76	11.230	1.460	9451	64	16.224
07-08-2013	41.6	10.620	1.470	8983	64	16.144
09-08-2013	42.28	10.270	1.470	9905	64	21.801
10-08-2013	42.85	10.920	1.460	9937	65	22.018
12-08-2013	43.2	10.230	1.510	9251	64	17.973
13-08-2013	42.17	11.090	1.470	9181	64	18.140
15-08-2013	42.56	10.810	1.470	9378	64	21.046
16-08-2013	42.52	9.260	1.480	9343	63	20.710
18-08-2013	42.77	9.570	1.470	9145	63	20.814
24-08-2013	42.15	10.000	1.480	9534	63	20.166
26-08-2013	42.2	10.670	1.480	9930	63	20.855
28-08-2013	41.64	11.870	1.480	9783	63	22.792
01-09-2013	42.29	10.230	1.460	8756	64	19.984
03-09-2013	43.18	12.630	1.470	8014	64	19.240
04-09-2013	43.86	12.570	1.470	8109	63	16.334
05-09-2013	43.66	8.940	1.470	7495	50	12.656

06-09-2013	43.48	10.230	1.470	6643	63	14.769
07-09-2013	43.12	11.550	1.470	8724	62	18.243
08-09-2013	42.76	11.320	1.470	9094	64	18.835
09-09-2013	42.58	11.740	1.460	8717	64	19.765
12-09-2013	41.87	10.910	1.470	9553	64	24.346
13-09-2013	42.14	12.240	1.480	9753	64	20.321
14-09-2013	42.07	12.180	1.500	9741	64	20.837
16-09-2013	42.11	10.730	1.490	9632	65	20.553
17-09-2013	42.89	11.550	1.480	9118	65	21.558
18-09-2013	42.27	11.740	1.480	8945	65	19.804
19-09-2013	41.7	10.910	1.470	8304	63	19.793
20-09-2013	42.21	13.200	1.470	8851	64	18.794
21-09-2013	42.57	12.310	1.470	8755	64	20.301
22-09-2013	42.34	12.160	1.460	7963	63	22.107
23-09-2013	38.93	11.870	1.470	6607	65	17.092
24-09-2013	37.85	12.340	1.480	6730	65	15.362
25-09-2013	37.9	12.440	1.480	6864	65	15.509
26-09-2013	38.35	12.990	1.460	8628	64	19.998
27-09-2013	38.17	11.000	1.470	8682	63	20.427
28-09-2013	37.85	10.930	1.470	8977	64	20.304
29-09-2013	38.56	10.380	1.450	9154	65	20.259
30-09-2013	37.51	11.790	1.470	9202	64	21.789
02-10-2013	37.47	13.020	1.460	7920	62	16.761
04-10-2013	38.06	10.260	1.470	7508	65	17.116
06-10-2013	46.96	10.360	1.480	7810	64	21.357
07-10-2013	46.97	12.300	1.470	7530	65	20.745
09-10-2013	37.77	10.910	1.370	8079	64	13.323
10-10-2013	38.71	10.790	1.380	7807	63	19.948
11-10-2013	39.19	10.250	1.410	8272	62	20.023

12-10-2013	40.25	8.490	1.410	7790	62	19.430
13-10-2013	40.14	7.310	1.390	7926	64	20.151
14-10-2013	39.51	9.560	1.390	7300	63	20.745
15-10-2013	38.21	10.060	1.420	8143	63	21.535
16-10-2013	38.57	10.920	1.390	8464	64	21.272
17-10-2013	38.34	11.190	1.390	8365	61	19.328
20-10-2013	39.74	10.530	1.390	8798	63	25.894
21-10-2013	41.53	10.920	1.410	8314	63	17.303
22-10-2013	40.87	11.190	1.390	8718	64	19.541
23-10-2013	41.78	10.530	1.410	8240	64	19.514
24-10-2013	42.07	12.280	1.390	8426	64	16.466
25-10-2013	42.47	11.820	1.402	8089	64	14.810
26-10-2013	42.33	11.510	1.390	7315	64	26.549
27-10-2013	42.65	11.510	1.390	7510	63	16.455
28-10-2013	42.19	12.121	1.380	7567	63	18.971
29-10-2013	41.06	12.140	1.400	7000	64	18.540
30-10-2013	40.31	14.510	1.400	5559	63	17.112
31-10-2013	40.09	12.710	1.410	4402	64	11.996
02-11-2013	39.83	13.280	1.430	6474	65	11.834
03-11-2013	40.27	11.511	1.440	6670	66	15.559
06-11-2013	41.15	12.516	1.440	8878	73	17.318
07-11-2013	41.77	14.150	1.450	8819	78	20.956
08-11-2013	42.9	10.444	1.420	9137	85	20.829
09-11-2013	42.97	8.392	1.417	8960	84	20.276
10-11-2013	42.54	8.395	1.460	9113	85	20.782
11-11-2013	41.56	8.026	1.430	8960	85	19.769
13-11-2013	41.88	8.305	1.450	8568	79	15.532
15-11-2013	40.61	8.305	1.430	8447	79	17.989
17-11-2013	41.33	12.180	1.500	8397	82	20.378

20-11-2013	41.96	10.730	1.490	8237	82	19.253
21-11-2013	43	11.550	1.480	8546	82	19.937
22-11-2013	40.51	11.740	1.480	8862	83	20.261
24-11-2013	40.81	10.910	1.470	8419	83	21.440
25-11-2013	40.63	13.200	1.470	6953	81	19.297
26-11-2013	40.84	12.310	1.470	7023	78	18.461
27-11-2013	41.02	12.160	1.460	7043	77	19.392
28-11-2013	46.74	11.870	1.470	8251	76	18.855
29-11-2013	42.84	12.340	1.480	9104	79	20.795
30-11-2013	43.6	12.440	1.480	9020	63	19.855
02-12-2013	42.93	11.000	1.470	8872	82	19.389
03-12-2013	42.3	8.632	1.430	8899	81	17.732
04-12-2013	40.44	9.243	1.500	9561	78	19.397
05-12-2013	40.57	12.710	1.410	9372	82	18.673
06-12-2013	40.65	13.280	1.430	9416	81	19.824
07-12-2013	41.04	13.310	1.430	9596	80	20.796
08-12-2013	40.83	13.310	1.430	8321	81	17.845
10-12-2013	46.73	10.718	1.409	8451	82	17.035
11-12-2013	36.87	8.807	1.444	8971	82	20.877
14-12-2013	37.59	10.801	1.447	8971	81	20.368
16-12-2013	37.76	12.670	1.440	9107	84	18.638
17-12-2013	39.76	11.841	1.448	8800	82	18.569
18-12-2013	38.02	11.511	1.400	8727	83	19.339
21-12-2013	38.15	12.516	1.440	8818	82	17.211
22-12-2013	38.46	14.150	1.430	8386	82	18.549
23-12-2013	39.32	10.650	1.430	7820	83	20.313
24-12-2013	38.72	10.801	1.447	7483	84	19.478
25-12-2013	39.31	12.670	1.440	7961	84	19.038
26-12-2013	39.05	11.841	1.448	8385	84	21.158

Anexo 11. Base de datos libre de averías

Base de datos donde se contemplan las averías						
Fecha	% de sólido	No. Mineral	Densidad, g/cm3	Productividad , t/h	Temperatura, ° C	Consumo energético de las bombas, MWh
01-01-2013	38.670	10.540	1.428	8921	64	19.499
02-01-2013	37.490	11.499	1.412	8551	64	18.930
04-01-2013	35.730	12.051	1.394	7538	64	16.898
07-01-2013	36.730	11.111	1.411	6496	65	13.544
10-01-2013	39.440	8.609	1.423	7526	65	15.074
13-01-2013	37.730	12.360	1.410	8251	63	16.446
23-01-2013	39.590	10.106	1.430	8249	63	19.008
31-01-2013	39.310	12.911	1.420	9323	63	17.459
02-02-2013	38.210	11.210	1.420	9039	64	17.964
05-02-2013	36.810	12.516	1.406	8688	64	14.628
07-02-2013	37.160	12.112	1.380	6415	63	13.874
09-02-2013	36.660	12.121	1.400	6132	64	18.894
10-02-2013	39.370	11.990	1.412	6983	64	15.874
11-02-2013	38.650	12.360	1.412	7575	63	14.878
14-02-2013	38.230	13.420	1.410	7619	63	19.610
24-02-2013	37.090	14.074	1.390	7500	63	18.830
28-02-2013	39.260	11.480	1.414	8424	64	18.819
02-03-2013	39.960	15.363	1.440	8740	63	17.697
05-03-2013	40.410	10.070	1.430	8518	63	14.378
15-03-2013	40.460	13.024	1.430	8706	64	19.144
16-03-2013	41.030	11.879	1.430	8866	64	18.293
17-03-2013	40.360	10.991	1.430	8775	64	19.118
18-03-2013	40.900	10.427	1.440	8886	64	19.042
20-03-2013	40.290	9.480	1.430	8684	64	15.658
21-03-2013	40.160	9.701	1.430	8518	65	19.161
22-03-2013	40.650	10.103	1.430	8752	64	17.318
23-03-2013	40.290	10.420	1.440	8715	64	18.272
24-03-2013	39.280	10.503	1.430	8597	64	18.063
25-03-2013	39.610	10.171	1.420	8786	64	17.407
28-03-2013	39.700	11.539	1.410	8411	65	19.058
29-03-2013	39.670	11.481	1.400	8234	64	19.836
30-03-2013	39.650	10.536	1.420	8301	65	20.006
31-03-2013	39.590	11.430	1.420	8264	81	20.978
03-04-2013	40.340	12.530	1.420	8535	78	17.768

04-04-2013	39.450	10.650	1.450	8527	81	17.024
09-04-2013	40.760	13.800	1.460	8409	65	14.484
15-04-2013	39.950	12.420	1.440	9414	64	20.912
16-04-2013	40.330	12.600	1.420	9512	64	20.315
18-04-2013	38.900	11.350	1.430	9053	64	20.668
20-04-2013	39.940	13.129	1.440	9343	64	15.400
21-04-2013	39.710	10.420	1.420	9335	65	26.095
22-04-2013	39.970	12.911	1.420	9435	65	19.677
24-04-2013	39.880	14.074	1.390	8959	65	20.147
27-04-2013	39.550	12.112	1.380	9573	65	21.304
28-04-2013	40.020	11.480	1.414	9670	65	16.197
29-04-2013	39.550	12.516	1.406	9489	51	23.499
06-05-2013	40.830	11.670	1.430	7766	64	17.072
11-05-2013	40.160	11.360	1.420	8648	64	19.727
12-05-2013	40.460	10.600	1.430	9749	65	20.357
19-05-2013	41.470	10.580	1.430	6838	62	14.242
20-05-2013	42.310	11.970	1.450	7712	63	17.165
21-05-2013	42.460	7.640	1.460	7889	64	18.280
22-05-2013	42.430	7.770	1.450	7839	65	19.958
25-05-2013	42.120	11.040	1.490	8564	64	19.989
31-05-2013	43.630	7.000	1.460	7030	65	16.156
01-06-2013	44.590	7.700	1.460	9580	64	18.991
03-06-2013	43.970	10.400	1.470	9230	63	18.135
04-06-2013	43.330	11.410	1.450	9277	65	15.871
07-06-2013	40.700	8.750	1.430	10044	65	20.689
12-06-2013	41.160	10.260	1.490	6551	64	14.725
19-06-2013	45.030	11.560	1.510	9315	65	16.694
20-06-2013	45.200	11.840	1.480	9548	61	17.763
21-06-2013	45.230	12.320	1.490	8973	60	17.004
22-06-2013	45.330	10.570	1.860	9940	61	17.531
24-06-2013	44.350	11.210	1.510	9300	64	14.892
25-06-2013	44.210	12.020	1.480	10146	63	17.255
26-06-2013	44.430	13.040	1.490	10171	62	16.510
27-06-2013	44.100	11.820	1.490	10122	60	17.073
30-06-2013	43.550	11.530	1.490	9944	63	17.173
05-07-2013	44.360	11.260	1.420	8668	63	14.346
09-07-2013	43.050	10.670	1.450	8660	62	18.475
13-07-2013	42.400	10.470	1.500	9319	63	20.502
16-07-2013	44.030	11.140	1.500	9692	63	18.863

18-07-2013	44.220	9.720	1.480	9382	63	16.219
19-07-2013	44.100	7.800	1.480	9606	64	21.056
26-07-2013	43.560	8.460	1.480	9482	77	15.112
27-07-2013	43.530	8.920	1.480	9450	80	19.642
28-07-2013	43.470	8.750	1.470	9755	80	18.964
30-07-2013	42.160	8.530	1.470	8998	80	20.715
31-07-2013	42.400	8.450	1.470	9252	64	19.338
03-08-2013	42.610	10.510	1.470	9442	64	18.292
05-08-2013	43.380	11.020	1.470	9478	63	17.188
08-08-2013	42.370	10.550	1.490	9683	64	19.193
11-08-2013	43.030	9.320	1.460	9390	65	21.979
14-08-2013	42.690	10.290	1.460	9334	63	20.457
19-08-2013	41.060	9.860	1.480	9110	63	20.942
20-08-2013	40.990	12.240	1.460	9104	62	18.987
21-08-2013	41.700	9.910	1.480	9247	63	18.117
22-08-2013	42.270	8.640	1.470	9276	62	19.005
23-08-2013	42.900	9.520	1.480	9453	62	20.226
25-08-2013	42.620	9.960	1.470	9822	64	19.319
27-08-2013	43.080	14.200	1.470	9938	63	22.847
29-08-2013	43.010	11.760	1.460	9796	63	21.213
30-08-2013	42.930	11.590	1.470	9837	63	19.730
31-08-2013	42.700	10.370	1.460	9621	63	18.195
02-09-2013	41.820	11.860	1.460	8734	64	19.984
10-09-2013	42.240	11.050	1.460	8416	64	19.245
11-09-2013	43.120	9.920	1.480	8542	64	11.702
15-09-2013	43.670	11.980	1.480	9918	65	21.574
01-10-2013	40.960	10.320	1.460	9130	62	19.007
03-10-2013	38.040	10.910	1.370	7450	63	16.971
05-10-2013	37.670	10.790	1.410	7742	64	40.420
08-10-2013	38.220	10.520	1.410	7781	65	6.958
18-10-2013	39.080	8.490	1.390	8599	63	15.476
19-10-2013	39.710	7.310	1.390	9002	62	21.488
01-11-2013	41.720	11.840	1.480	6497	64	11.996
04-11-2013	41.030	12.320	1.490	7711	65	16.685
05-11-2013	41.430	10.570	1.860	8850	66	18.780
12-11-2013	42.040	11.210	1.510	8924	80	17.625
14-11-2013	40.730	12.530	1.420	8271	78	16.255
16-11-2013	40.620	10.650	1.450	8578	82	18.587
18-11-2013	39.220	13.800	1.460	8265	83	20.690

19-11-2013	39.200	12.420	1.440	8204	83	19.429
23-11-2013	41.830	10.910	1.470	9060	83	21.210
01-12-2013	41.180	10.260	1.490	9159	78	21.290
09-12-2013	41.180	11.560	1.510	7823	81	15.770
12-12-2013	42.280	11.840	1.480	9103	82	19.006
13-12-2013	42.560	12.320	1.490	9187	83	19.807
15-12-2013	43.350	10.570	1.860	9059	83	19.247
19-12-2013	41.820	7.640	1.460	8972	82	19.724
20-12-2013	41.400	7,770	1.450	8893	83	18.135
27-12-2013	40.700	11.040	1.490	8502	81	19.346
28-12-2013	40.780	11.840	1.480	8548	85	16.964
29-12-2013	40.590	12.320	1.490	8615	84	18.611
30-12-2013	40.600	10.650	1.450	8536	81	18.224
31-12-2013	40.590	13.800	1.460	8601	83	18.992