



INSTITUTO SUPERIOR MINERO

METALURGICO DE MOA
DR. ANTONIO NUÑEZ JIMENEZ

Departamento de Eléctrica
Facultad de Metalurgia Electromecánica
Instituto Superior
Minero Metalúrgico de Moa

Trabajo de Diploma

En opción al Título de

Ingeniero Eléctrico

Título:

**Eficiencia Energética en el sistema de bombeo de la
planta de Lixiviación y Lavadero de la Empresa
Cmdte. “Pedro Sotto Alba” de Moa**

Autor: Oniel Yasmani Gongora Durán
Tutor: MSc. Gabriel Hernández Ramírez
Consultante: Ing. Arian Luis Columbié Silva

Moa, Holguín
Junio del 2015
“Año 57 de la Revolución”

Declaración de autoridad

Yo, Oniel Yasmani Gongora Durán, autor de este trabajo de diploma titulado: “Eficiencia Energética en el sistema de bombeo de la planta de Lixiviación y Lavadero de la Empresa Cmdte. “Pedro Sotto Alba” de Moa”, certifico su propiedad intelectual a favor del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa “Dr. Antonio Núñez Jiménez”, el cual podrá hacer uso del mismo para los fines que estime pertinente.

Para que así conste firmamos la presente a los___días del mes de_____del 2015.

Diplomante: Oniel Yasmani Gongora Durán

MS.C Gabriel Hernández Ramírez

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi Señor Jesús primeramente, a mis padres, abuelos y demás familiares ya que sin su ayuda hubiera sido imposible el desarrollo de este trabajo.

A mi tutor quien me acogió incondicionalmente nutriéndome de su experiencia y conocimiento para llevar a cabo este proyecto.

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, abuelos, esposa y demás familiares.

A mi tutor Gabriel Hernández por su apoyo incondicional para la total realización de este trabajo.

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

A mis compañeros y amigos del Instituto que realmente me han brindado su apoyo en todos estos cinco años de estudio.

A los compañeros de la empresa Pedro Sotto Alba por dedicarme parte de su tiempo de trabajo.

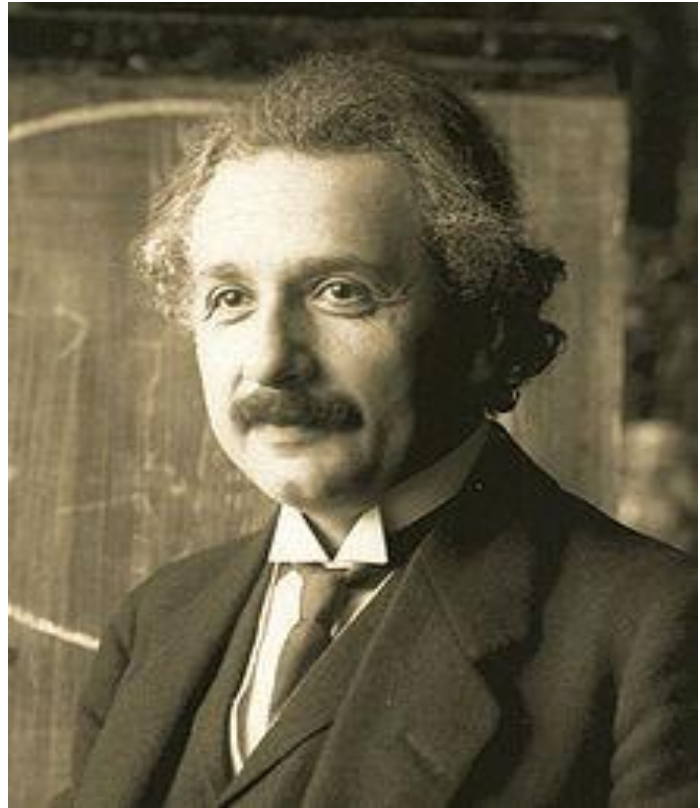
A todos aquellos que me brindaron su apoyo.

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*

Título: Eficiencia Energética en el sistema de bombeo de la planta de Lixiviación y Lavadero de la Empresa Cmdte.
“Pedro Sotto Alba” de Moa

Autor: Oniel Yasmani Gongora Durán

RESUMEN

En este trabajo se presentan propuestas para mejorar la eficiencia en los accionamientos de la bomba de transporte laterítico cuando operan con cargas variables, debido a la existencia de limitaciones que no garantizan la total eficiencia.

Para ello se realizó una búsqueda bibliográfica de los temas relacionados con la eficiencia energética en los motores de inducción, exponiéndose los fundamentos teóricos de las herramientas utilizadas en la investigación. Además se efectuaron un conjunto de mediciones en el motor de inducción de la Planta de Lixiviación ubicada en la Empresa Pedro Sotto Alba, para determinar el estado actual de la eficiencia del mismo.

Se detectaron los motivos que afectaban la eficiencia en el proceso productivo y se proponen como medidas para minimizarlos: la utilización del modelo reológico y la instalación de filtros de armónicos. El resultado de la presente investigación contribuyó a elevar la eficiencia del accionamiento, contribuyendo en el ahorro de energía.

Palabras claves

Bombas, consumo energético, pulpa laterítica.

ABSTRACT

The following work presents proposals for improving the efficiency on the drives of the pump of a lateritic conveyor when they operate with variables loads, due to the existence of limitations that don't guarantee the total efficiency. A bibliographical search about the topics related with the energy efficiency in the induction motors was carried out, stating the theoretical foundations of the tools used in the investigation. A group of measures in the induction motor at Leaching plant located at Pedro Sotto Alba Company were also made in order to determine the current state of the efficiency of the motor.

The reasons that affected the efficiency in the productive process were detected and steps for minimizing them were proposed: the use of the rheological pattern and the installation of harmonic filters. The result of the present investigation contributed to increase the efficiency of the operation, contributing with the energy saving.

Key words

Pumps, energetic consumption, Lateritic slurry.

ÍNDICE	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I MARCO TEÓRICO	7
1.1 Caracterización de las bombas de pulpa de la Planta de Lixiviación	7
1.1.1 Bombas centrifuga DENVER 5x4 SRL.....	8
1.1.2 Bombas de desplazamiento positivo WIRTH	10
1.1.3 Estado técnico del equipamiento	13
1.2 Antecedentes	14
1.3 Comportamiento reológico de suspensiones del mineral laterítico.....	18
1.4 Características químicas y mineralógicas de la pulpa limonítica	19
1.5 Base teórica de la investigación	22
1.6. Conclusiones parciales	27
CAPÍTULO II MATERIALES Y MÉTODOS	28
2.1 Materiales	28
2.2. Procedencia de los parámetros	29
2.2.1 Descripción del monitoreo a través de Multilin SR-469.	32
2.2.2 Componentes del accionamiento eléctrico.	35
2.3. Obtención de las bases de datos de la investigación.....	36
2.4 Conclusiones parciales	47
CAPÍTULO III ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	48
3.1 Evaluación de la eficiencia en un sistema de bombeo a través la curva característica.....	48
3.2. Análisis de la eficiencia teniendo en cuenta el comportamiento reológico de la pulpa precalentada.	51
3.3. Propuesta de Filtro de armónico para la disminución de THD.	52
3.4. Valoración económica.....	55
3.5. Conclusiones parciales	56
CONCLUSIONES	57

RECOMENDACIONES	58
BIBLIOGRAFÍA	1
ANEXOS	1

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

Título: Eficiencia Energética en el sistema de bombeo de la planta de Lixiviación y Lavadero de la Empresa Cmdte.
"Pedro Sotto Alba" de Moa

Autor: Oniel Yasmani Gongora Durán

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.

Título: Eficiencia Energética en el sistema de bombeo de la planta de Lixiviación y Lavadero de la Empresa Cmdte.
"Pedro Sotto Alba" de Moa

Autor: Oniel Yasmani Gongora Durán

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.

Título: Eficiencia Energética en el sistema de bombeo de la planta de Lixiviación y Lavadero de la Empresa Cmdte.
"Pedro Sotto Alba" de Moa

Autor: Oniel Yasmani Gongora Durán

Situación problemática

La baja eficiencia debido a problemas técnicos y operacionales que conducen a la baja productividad y el incremento en el consumo energético debido a que no se tiene en cuenta las propiedades de las pulpas (químico, mineralógico, reológico, granulométrico y de su estabilidad) y su influencia en el accionamiento eléctrico de las bombas encargadas del transporte para las condiciones de explotación en la Empresa Cmdte Pedro Sotto Alba de Moa, así como la variabilidad de la carga mecánica que representan estos accionamientos industriales.

Problema de la investigación

Inexistencia de un procedimiento para evaluar la eficiencia energética en los accionamientos eléctricos de bombas cuando operan pulpas a altas temperaturas.

Objeto de estudio

Accionamiento eléctrico con bombas en la planta de Lixiviación y Lavadero.

Campo de acción

Reducción del consumo energético en accionamientos eléctricos de bombas.

Objetivo General

Evaluar la eficiencia energética en los accionamientos eléctricos de bombas para el transporte de la pulpa en la planta.

Objetivos específicos

1. Caracterizar el sistema de bombeo y de la red de la planta.
2. Obtener base de datos de las principales variables.
3. Proponer alternativas para la disminución del consumo energético de la planta.

Hipótesis:

Si se logra determinar la caracterización reológica de la pulpa transportada y su influencia en el rendimiento de los accionamientos eléctricos de las bombas, se podrá proponer alternativas para la disminución del consumo energético en este tipo de accionamiento.

Tareas a Realizar.

1. Caracterización del flujo tecnológico de la planta.
 - Determinar semejanza técnico operacional.
 - Planes de producción/ Índices de consumo por plantas
2. Caracterización del sistema de suministro eléctrico de la planta.
 - Determinar índice de consumo.
 - Identificar variables de control que da el CITECT.
3. Caracterización del sistema de bombeo y de la red de la planta.
 - Característica de las bombas, datos de fabricante (pasaporte).
 - Caracterizar la red de distribución (diámetro tubería, número de accesorios, cotas, longitud).
 - Determinar el % que representan en el consumo de la planta.

- Estado técnico y causas de principales averías (bombas y tuberías).
4. Obtener base de datos mediciones.
- Característica de los instrumentos de medición (puntuales o diferencial, calibración y unidad de medición).
 - Esquema de medición
 - Identificar variables de control que da el **CITECT**.
 - Identificar modelo reológico del fluido que se transporta en función el porcentaje de sólido y otras variables.
 - Determinar característica de trabajo de las bombas.
 - Determinar Rendimiento de la bomba.

CAPÍTULO I MARCO TEÓRICO

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

Título: Eficiencia Energética en el sistema de bombeo de la planta de Lixiviación y Lavadero de la Empresa Cmdte. “Pedro Sotto Alba” de Moa

Autor: Oniel Yasmani Gongora Durán

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 centrifugas 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 centrifuga 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 g/m³ 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/pulg² 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.

Título: Eficiencia Energética en el sistema de bombeo de la planta de Lixiviación y Lavadero de la Empresa Cmdte.
"Pedro Sotto Alba" de Moa

Autor: Oniel Yasmani Gongora Durán

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.

Título: Eficiencia Energética en el sistema de bombeo de la planta de Lixiviación y Lavadero de la Empresa Cmdte.
"Pedro Sotto Alba" de Moa

Autor: Oniel Yasmani Gongora Durán

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 Sotto 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

Título: Eficiencia Energética en el sistema de bombeo de la planta de Lixiviación y Lavadero de la Empresa Cmdte. “Pedro Sotto Alba” de Moa

Autor: Oniel Yasmani Gongora Durán

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 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

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

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

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;

$h_{pérdidas}$: 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 1.7 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:

Título: Eficiencia Energética en el sistema de bombeo de la planta de Lixiviación y Lavadero de la Empresa Cmdte. "Pedro Sotto Alba" de Moa

Autor: Oniel Yasmani Gongora Durán

$$\% \eta = \frac{Pot_T}{Potent} \cdot 100 \quad (1.7)$$

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.

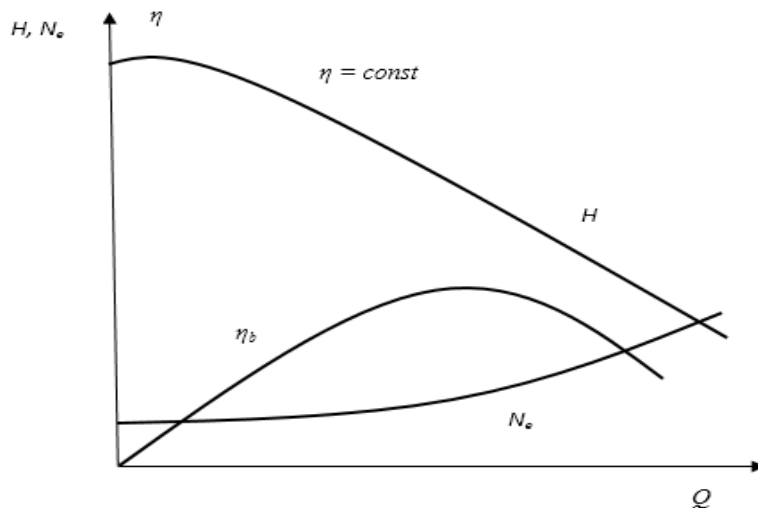


Figura 1.5. Características de la bomba centrífuga

Título: Eficiencia Energética en el sistema de bombeo de la planta de Lixiviación y Lavadero de la Empresa Cmdte. "Pedro Sotto Alba" de Moa

Autor: Oniel Yasmani Gongora Durán

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:

1.6. 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.

CAPÍTULO II MATERIALES Y MÉTODOS

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 Lixiviación: 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 2014.

Los parámetros a analizar son los siguientes:

- Porcentaje de sólido, %;
- Densidad de la pulpa, g/m³;
- Número de mineral, adimensional;
- Temperatura, °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.

2.2. 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 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:

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

Título: Eficiencia Energética en el sistema de bombeo de la planta de Lixiviación y Lavadero de la Empresa Cmdte. "Pedro Sotto Alba" de Moa

Autor: Oniel Yasmani Gongora Durán

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:

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

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 2014.

Para realizar las mediciones puntuales se utilizó el PQM (Por sus siglas en inglés Power Quality Meter), el cual está destinado al análisis y captura de variables eléctricas, en este caso se utilizó para las mediciones de las variables

en la entrada del motor. Perteneciente al laboratorio eléctrico, la misma es de uso portátil y puede ser movida con facilidad. Esta presenta ganchos de medición (transformadores de corrientes), de 1000/5 A, y puntas para la medición de tensión, hasta los 600 V.



Fig. 2.1: PQM portátil usada en el monitoreo

2.2.1 Descripción del monitoreo a través de Multilin SR-469.

El Multilin SR-469 censa los valores que pertenecen a la alimentación del cubículo del variador de velocidad, en este caso a una tensión de 480 V, tiene la opción de medir diversas variables eléctricas a través de la opción interna (Actual Valores).

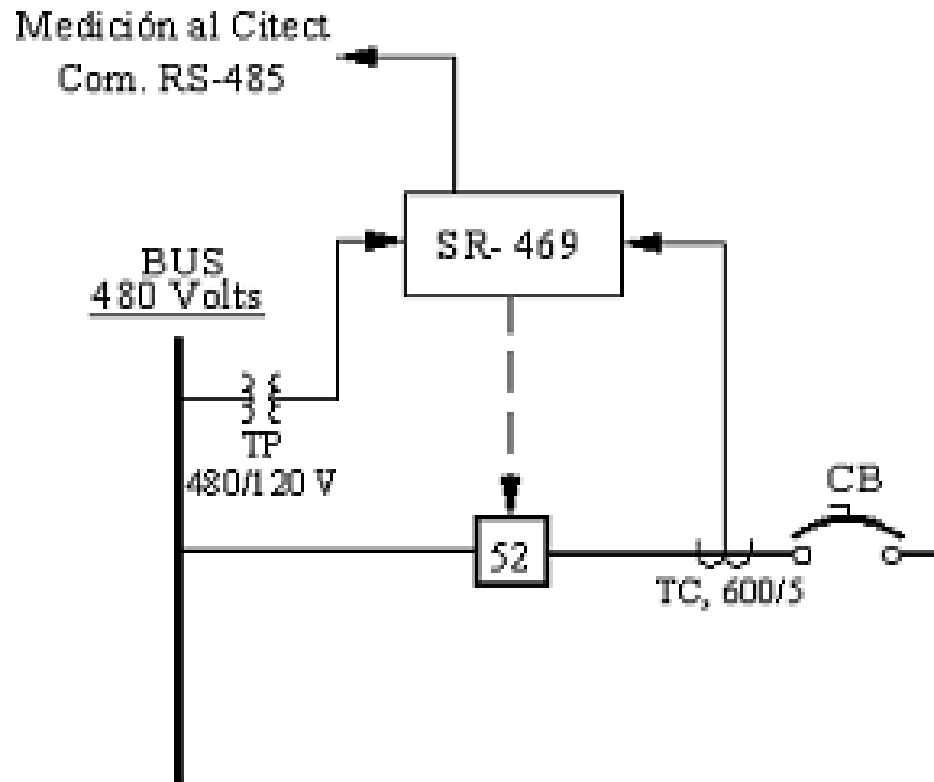


Figura 2.2 El Multilín SR-469 en el sistema de monitoreo.

El Multilín censa los valores a través de transformadores de corriente de 600/5 A, y transformadores de potencial de 480 a 120 VAC. La comunicación con el sistema SCADA (Citect), se realiza a través de los puertos auxiliares RS-485 del propio Multilín, que se comunica con cable profibus, con un convertidor de RS-485 a ethernet (Nport 4030).

Configuración de la Red Ethernet

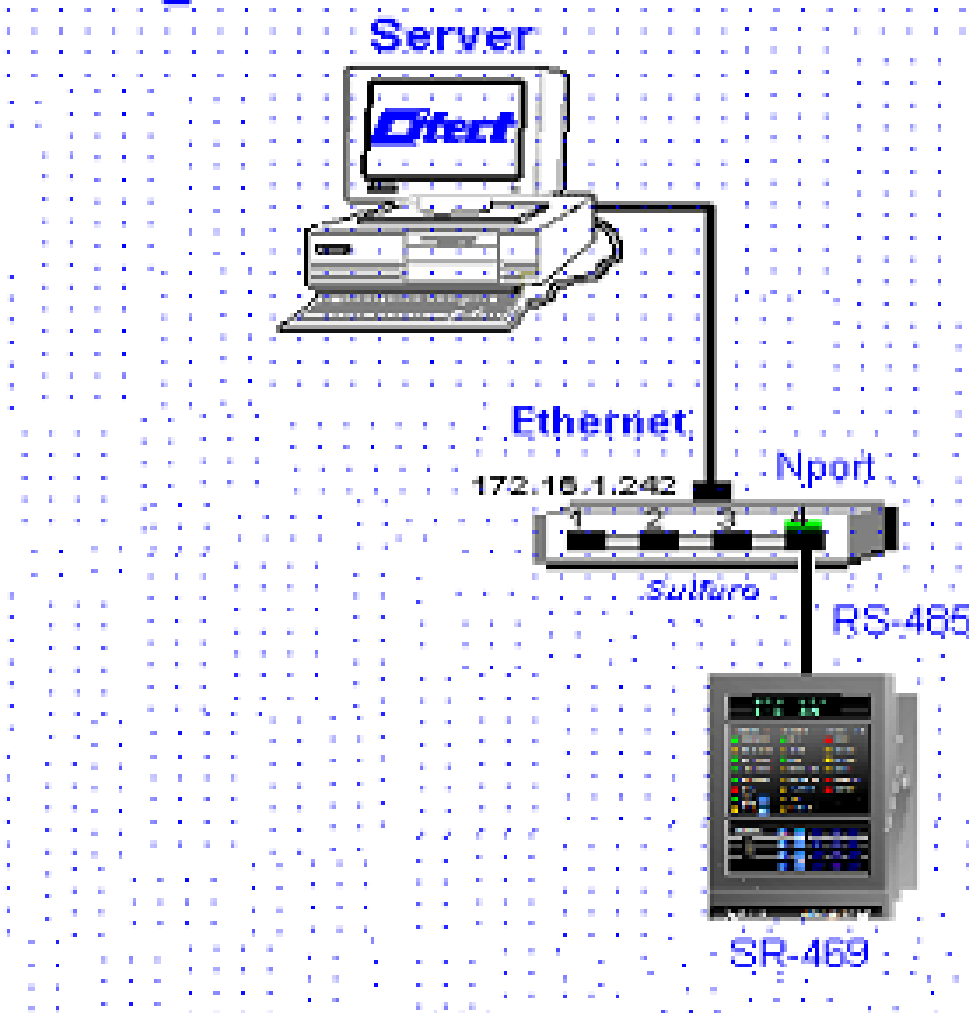


Figura 2.3 Comunicación del Multilín SR-469 mediante la Red Ethernet.

A través del sistema SCADA (Citect) se monitorean las diferentes variables del proceso y eléctricas que intervienen en la obtención del producto final de la planta de Lixiviación.

Título: Eficiencia Energética en el sistema de bombeo de la planta de Lixiviación y Lavadero de la Empresa Cmdte.
"Pedro Sotto Alba" de Moa

Autor: Oniel Yasmani Gongora Durán

2.2.2 Componentes del accionamiento eléctrico.

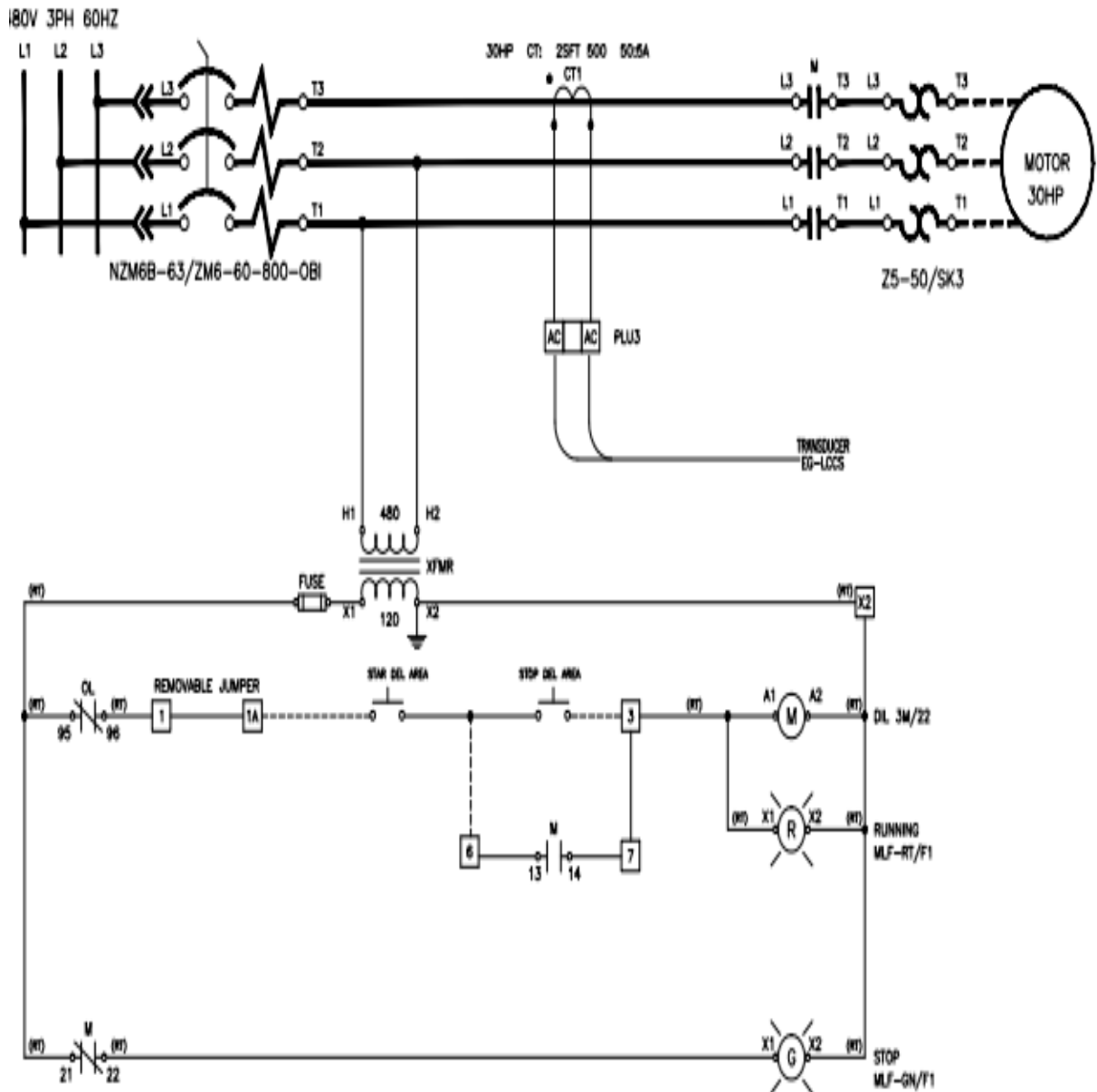


Figura 2.4 Accionamiento eléctrico de la bomba.

El accionamiento presenta un motor de inducción pequeño al cual está conectada la bomba directamente un mecanismo de on/off así como diversos tipos de sensores y medidores de flujo, temperatura, etc.

Título: Eficiencia Energética en el sistema de bombeo de la planta de Lixiviación y Lavadero de la Empresa Cmdte. “Pedro Sotto Alba” de Moa

Autor: Oniel Yasmani Gongora Durán

2.3. Obtención de las bases de datos de la investigación

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 2014, 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 2.1 se establecen los portadores de energía de la planta de Lixiviación y se demuestra que las bombas ocupan el 77,9 % del consumo total de energía.

Tabla 2.1 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 2.5 se muestra la distribución de la energía en la planta de Lixiviación, al observarse el porcentaje que representa.

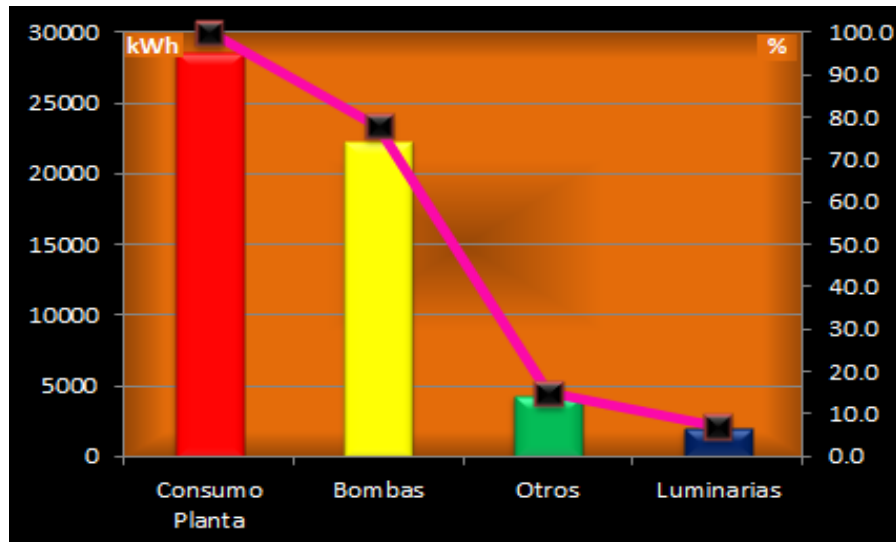


Figura. 2.5 Distribución de la energía en la planta de Lixiviación

En la figura 2.6 se muestra el consumo de energía de los principales medios de consumo de la planta de Lixiviación.

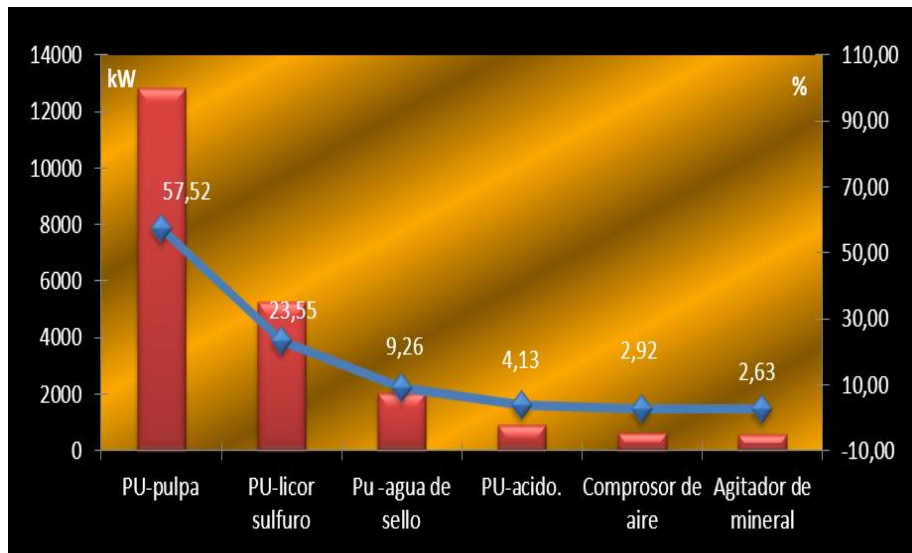


Figura 2.6. Principales medios de consumo

La figura 2.5 muestra que las bombas son el principal portador energético de mayor consumo, y la figura 2.6 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.

Título: Eficiencia Energética en el sistema de bombeo de la planta de Lixiviación y Lavadero de la Empresa Cmdte. "Pedro Sotto Alba" de Moa

Autor: Oniel Yasmani Gongora Durán

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.

En las siguientes tablas mostramos una selección de los resultados obtenidos luego de haber realizado las mediciones en la bomba Wirth 135-PU-1C.

Tabla 2.2: Mediciones realizadas a la entrada del VFD.

Medición en la entrada del VFD, realizado con PQM																
la	lb	lc	Vab	Vbc	Vca	P	Q	S	FP	F	THD: la	THD: lb	THD: lc	THD: Van	THD: Vbn	THD: Vcn
(A)	(A)	(A)	(V)	(V)	(V)	(kW)	(kVar)	(kVA)	(l)	(Hz)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
118	120	116	472	474	471	85,17	46,92	97,2	0,87	59,91	40,8	69,3	55,6	8,6	8,9	7,6
85	93	89	472	473	471	62,24	39,74	73,8	0,84	60,14	50,4	57,4	55,1	9,3	8,8	9,1
91	98	94	470	473	470	66,13	41,12	77,9	0,85	59,85	53,9	44	60,9	9,5	9,7	7,9
103	114	106	472	474	472	76,29	45,98	89,1	0,86	59,89	47,9	48,1	56	15	7,8	9,4
105	107	107	472	471	471	75,66	43,88	87,5	0,86	59,94	50,8	54,3	45,8	7,9	10,2	7,1
113	120	116	471	472	469	84,18	45,83	95,8	0,88	59,91	51,5	46,6	47,5	14,6	7,8	8,7
109	112	108	469	473	471	78,13	45,09	90,2	0,87	60,03	58	52,1	70,9	8,4	10,3	7,7
94	96	96	470	471	471	66,81	41,32	78,6	0,85	60,07	52,9	48,9	65,3	6,2	10,1	8,5
100	102	100	471	471	469	71,16	42,87	83,1	0,86	60,07	53,3	51,7	52,5	7,6	11,1	8,4
105	108	108	471	472	470	75,86	45,07	88,2	0,86	60,06	50,8	58,7	58,9	12,1	9,2	9,2
104	108	108	470	470	471	76,08	43,76	87,8	0,87	60,08	46,7	45,5	50,5	8,3	9	9,5
94	99	98	471	471	469	68,61	41,39	80,1	0,86	60,11	60,6	57,1	64	9,6	6,9	9
116	118	119	469	470	470	85,25	45,46	96,6	0,88	60,07	50,8	50,6	44,1	7,9	9,8	10,7
106	115	111	469	469	469	77,87	45,66	90,3	0,86	60,1	56,1	43,5	78,7	10,3	11,1	7,5
103	109	105	468	475	470	74,44	44,86	86,9	0,86	60,04	56	71,4	54,9	12,2	9	9,2
118	120	116	472	474	471	85,17	46,92	97,2	0,87	59,91	40,8	69,3	55,6	8,6	8,9	7,6
85	93	89	472	473	471	62,24	39,74	73,8	0,84	60,14	50,4	57,4	55,1	9,3	8,8	9,1

Título: Eficiencia Energética en el sistema de bombeo de la planta de Lixiviación y Lavadero de la Empresa Cmdte. "Pedro Sotto Alba" de Moa

Autor: Oniel Yasmani Gongora Durán

Tabla 2.3: Mediciones realizadas en la salida del VFD.

Medición en la salida del VFD, realizado con Multilin SR-469											
Ia	Ib	Ic	Vab	Vbc	Vca	P	Q	S	FP	F	Flujo mineral
(A)	(A)	(A)	(V)	(V)	(V)	(kW)	(KVAr)	(KVA)	(I)	(Hz)	(gpm)
299	259	284	220	183	202	88	42,6	97,8	0,9	26,3	337,6
289	336	347	184	201	220	96	37,9	103,2	0,93	26,3	335,0
209	241	211	181	212	216	59	41,2	72,0	0,82	26,5	335,5
153	147	168	183	212	216	41	41,8	58,6	0,7	26,6	336,5
336	284	337	220	186	205	98	47,5	108,9	0,9	26,6	336,3
256	232	281	209	181	215	78	35,5	85,7	0,91	26,3	342,5
216	217	241	192	196	223	67	48,5	82,7	0,81	26,6	337,4
268	328	281	207	216	180	94	30,9	98,9	0,95	26,2	351,3
299	332	272	199	222	187	93	57,6	109,4	0,85	26,4	350,4
288	259	240	222	187	199	82	37,4	90,1	0,91	26,4	351,1
270	230	273	190	199	223	80	49,6	94,1	0,85	26,6	350,5
190	166	204	198	188	221	50	29,7	58,1	0,86	26,4	348,9
171	206	192	188	222	197	57	35,3	67,1	0,85	26,4	352,6
302	315	268	201	222	188	93	39,6	101,1	0,92	26,6	350,5
264	251	224	215	212	182	72	50,3	87,8	0,82	26,5	353,0
299	259	284	220	183	202	88	42,6	97,8	0,9	26,3	337,6
289	336	347	184	201	220	96	37,9	103,2	0,93	26,3	335,0
256	232	281	209	181	215	78	35,5	85,7	0,91	26,3	342,5
216	217	241	192	196	223	67	48,5	82,7	0,81	26,6	337,4
158	172	174	183	209	217	82	27,0	86,3	0,95	26,5	345,1
268	328	281	207	216	180	94	30,9	98,9	0,95	26,2	351,3
288	259	240	222	187	199	82	37,4	90,1	0,91	26,4	351,1
227	193	187	224	197	193	53	42,5	67,9	0,78	26,7	350,8
284	313	344	186	194	219	94	40,0	102,2	0,92	26,0	349,6

Se muestra en las tablas 2.2 y 2.3 el resumen de las mediciones de las principales variables eléctricas a la entrada y salida del VFD permitiendo evaluar el comportamiento de las mismas en diferentes horarios, el resto de las mediciones se puede observar en **el anexo 5.**

Con las mediciones realizadas en la bomba DENBER 153-PU-1C se demuestra que el % de sólido, la viscosidad y densidad de la pulpa influye en el caudal o flujo, en la corriente y potencia de la bomba, demostrando la importancia que

tienen a la hora de seleccionar la bomba para que la eficiencia de la misma cumpla con los estándares establecidos.

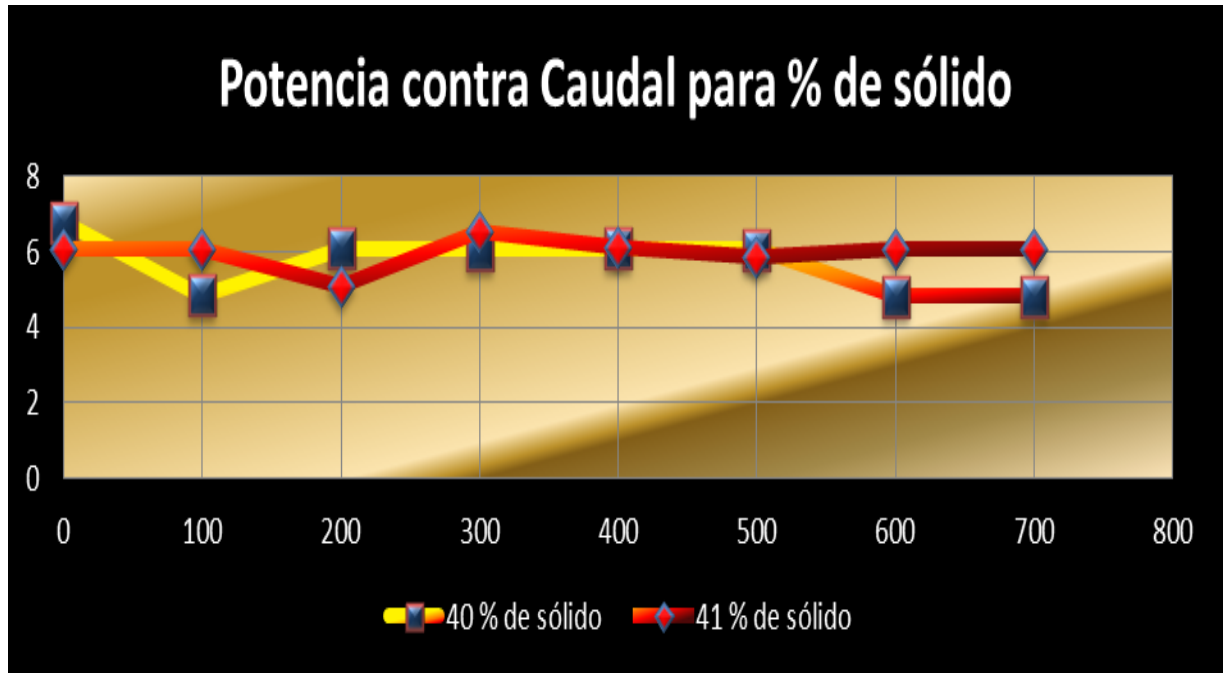


Gráfico 2.7 Muestra las variaciones existentes de potencia para determinados % de sólido

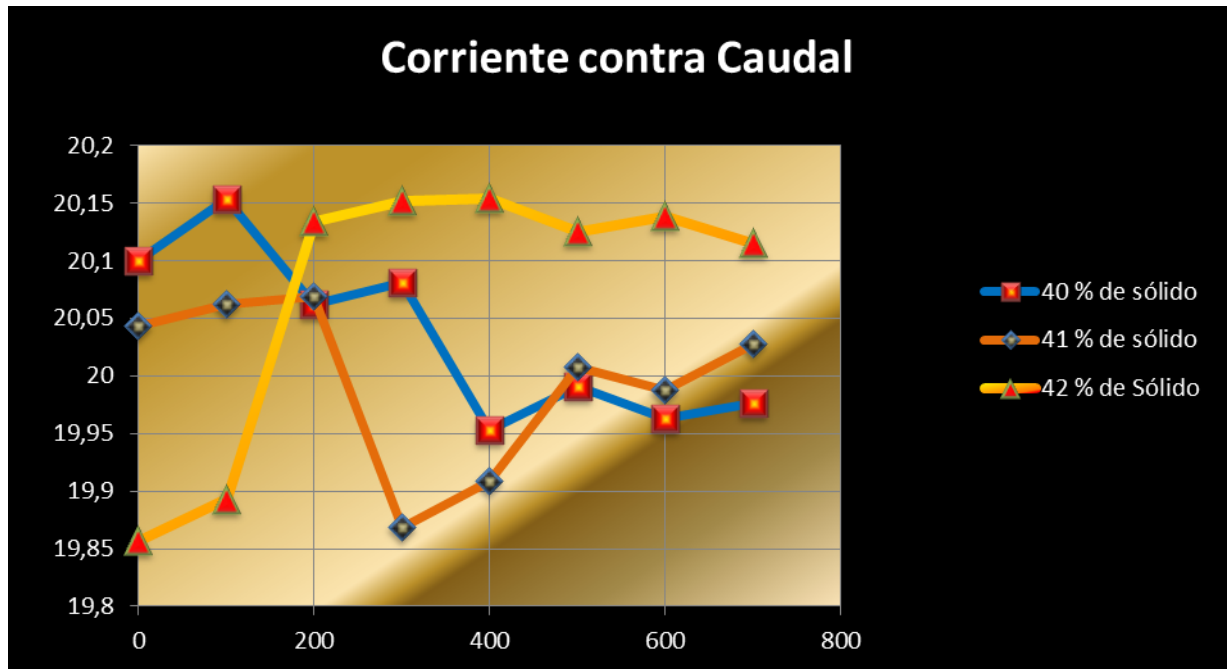


Gráfico 2.8 Muestra las variaciones existentes de potencia para determinados % de sólido

Se evidencia la variación de los parámetros evaluados cuando cambia el % de Sólido, la fluctuación, principalmente de la potencia está dada por la no existencia de un variador de velocidad que facilite el control de las revoluciones por minuto que debe tener el motor para mantener la misma potencia de succión y descarga.

Tomando como base las mediciones mostradas anteriormente se realizaron los siguientes gráficos los cuales sirvieron de referencia para conocer el comportamiento de la eficiencia energética en el accionamiento.

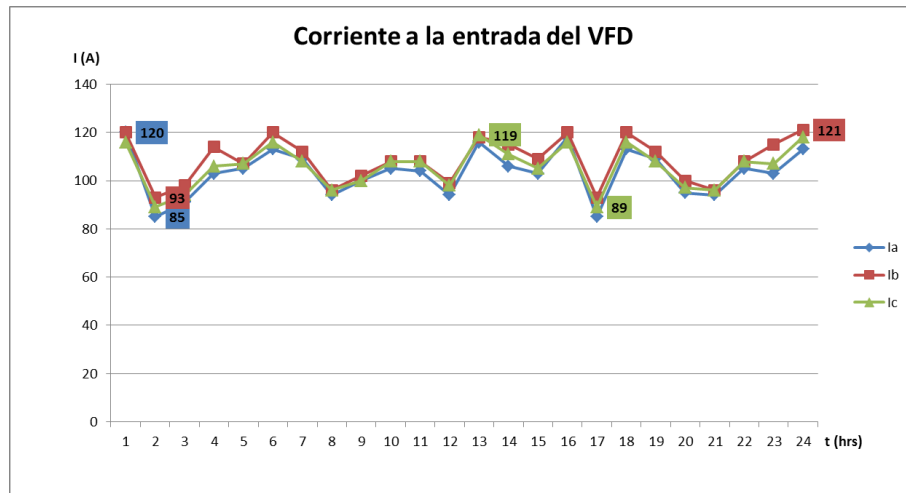


Fig. 2.9 Comportamiento de la corriente a la entrada del VFD.

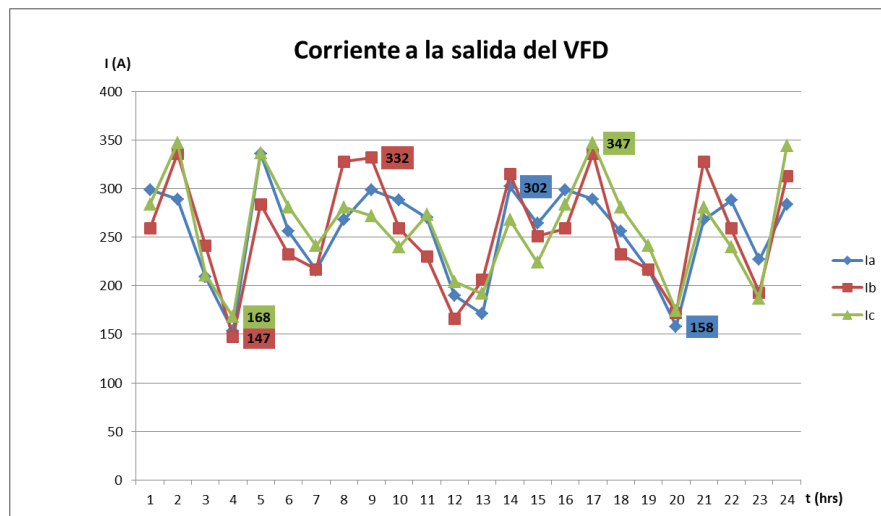


Fig. 2.10 Comportamiento de la corriente a la salida del VFD.

La fig 2.9 y 2.10 se muestra el comportamiento de la corriente en la tres fases, a la entrada y salida se puede observar que existe asimetría en la salida variando la corriente en las tres fases valores hasta 332 A.

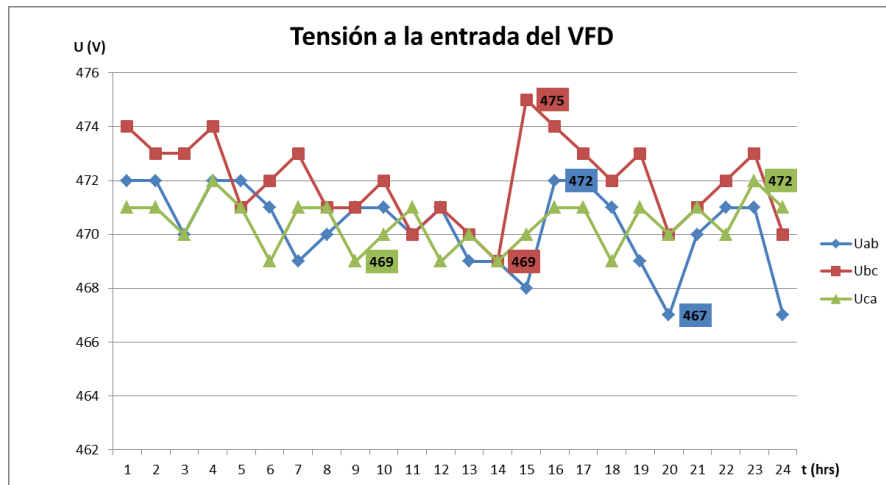


Fig. 2.11 Comportamiento de la tensión a la entrada del VFD.

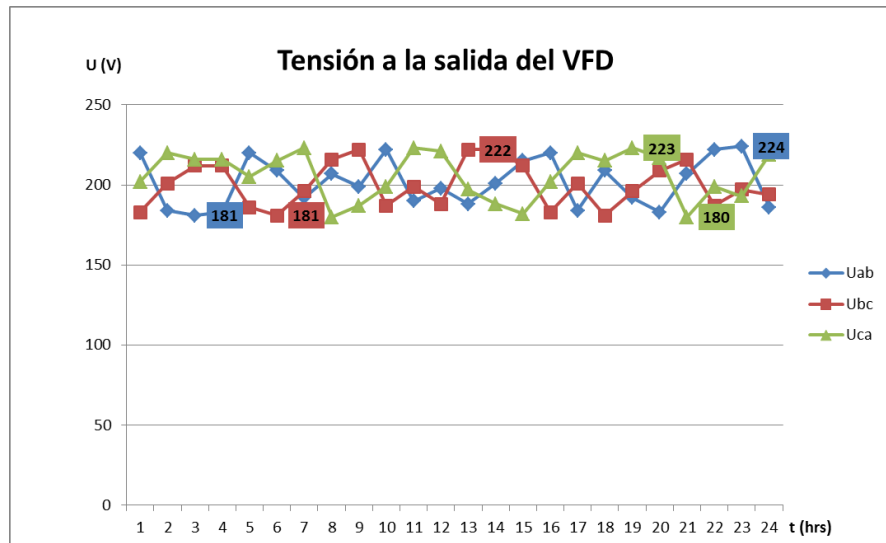


Fig. 2.12 Comportamiento de la tensión a la salida del VFD.

Se muestra en la figura 2.11 y 2.12 las variaciones de tensión en las tres fases a la entrada con valores de 475 V como máximo y mínimo de 467 V y en la salida entre 224 y 181 V.

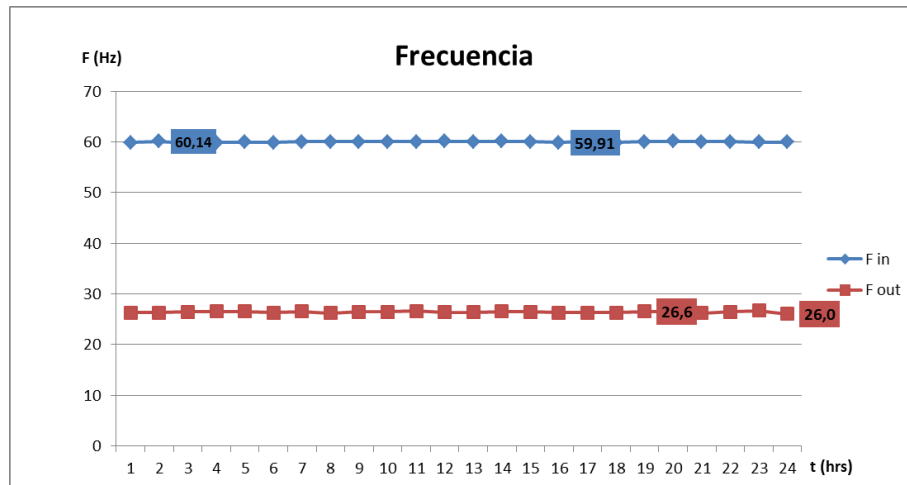


Fig. 2.13 Comportamiento de la frecuencia a la entrada y salida del VFD.

Se puede observar en la fig. 2.13, que el control de frecuencia se realiza a 26 Hz.

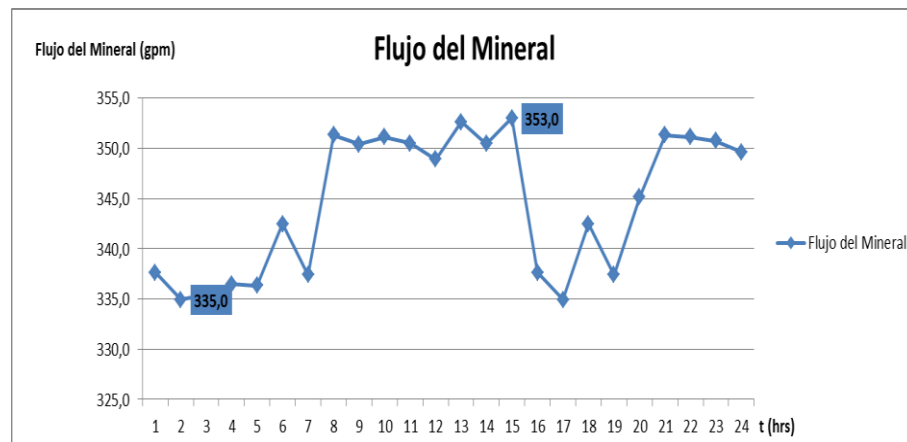


Fig. 2.14 Comportamiento del flujo del mineral.

En la fig. 2.14 se muestra el comportamiento del flujo del mineral, teniendo en cuenta las variables eléctricas existe correlación.

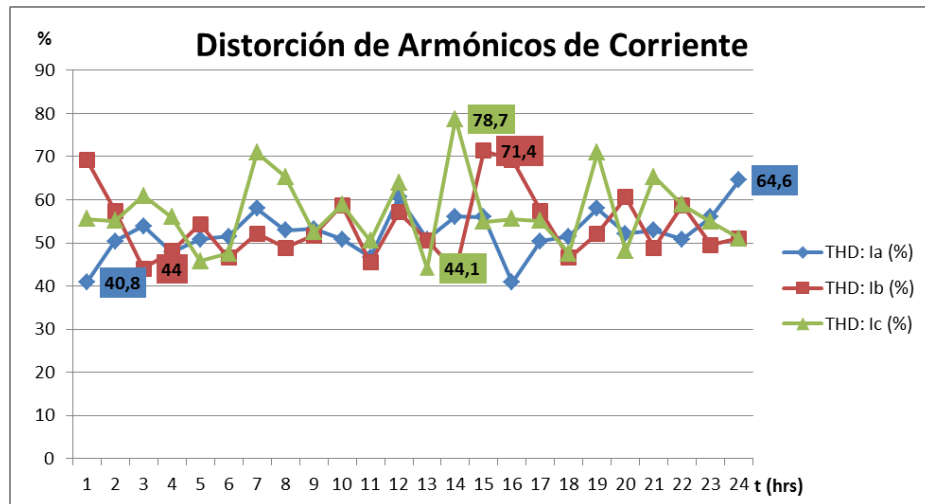


Fig. 2.15 Comportamiento de los armónicos de corriente.

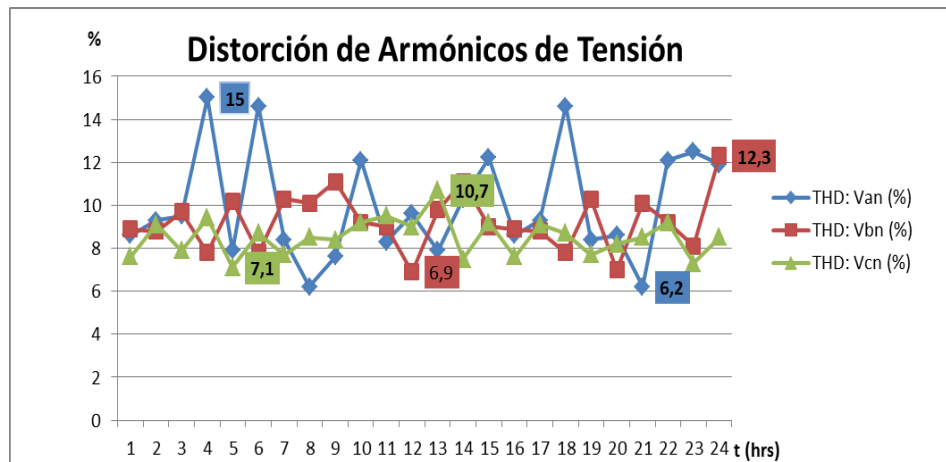


Fig. 2.16 Comportamiento de los armónicos de tensión.

En el análisis de los THD por sus siglas en inglés (Total Harmonic Distortion), fig. 2.15 y 2.16, se puede apreciar que existe un porcentaje elevado de los mismos, donde se pudo comprobar que el variador instalado no presenta filtro, ocasionando problemas de calidad de energía al sistema eléctrico.

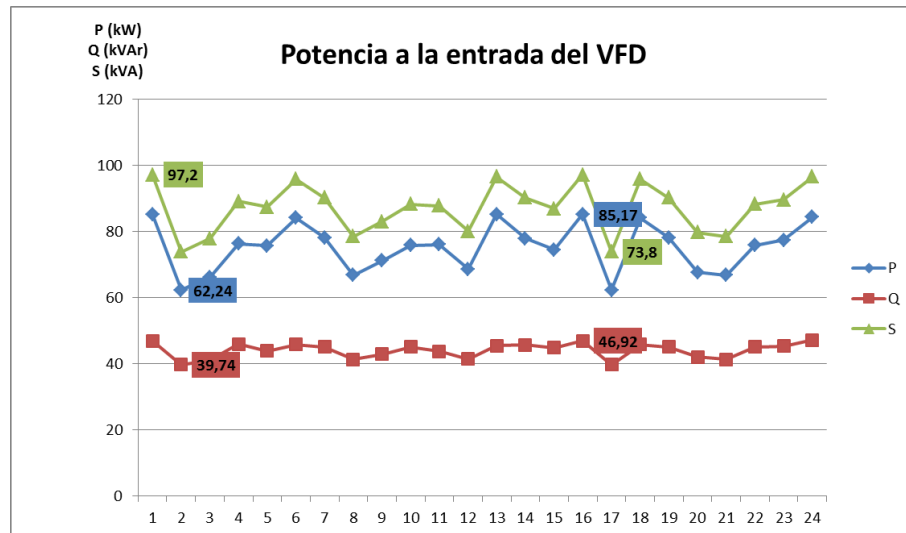


Fig. 2.15 Comportamiento de las potencias a la entrada del VFD.

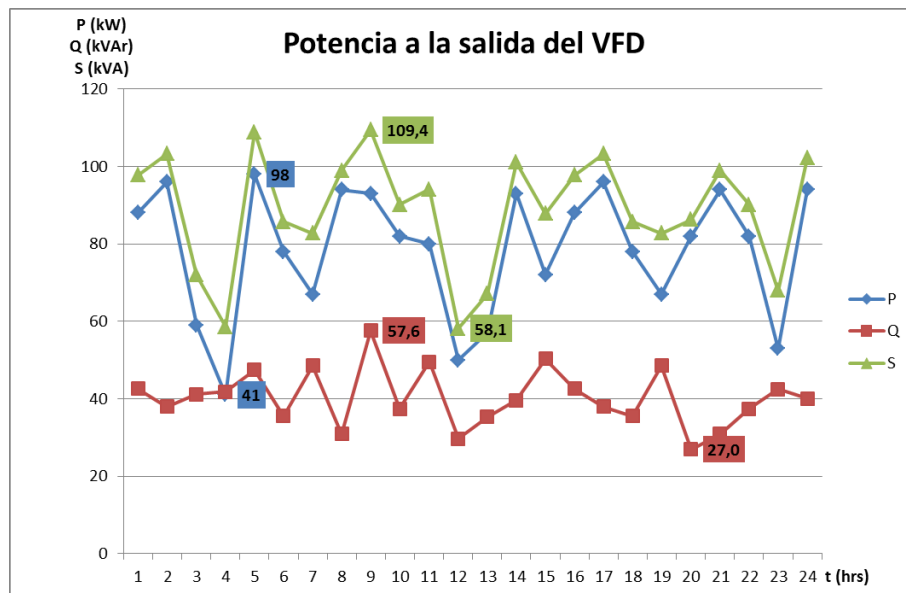


Fig. 2.16 Comportamiento de las potencias a la salida del VFD.

Es necesario resaltar de la representación de las potencias a la entrada y salida en la fig. 2.15 y 2.16 que el consumo oscila entre 110 y 98 kW y la

potencia nominal del mismo es de 257.4 kW, el cual trabaja con un coeficiente de carga de un 50 %.

2.4 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 fundamentó la base del cálculo del consumo de energía para las bombas de la planta de lixiviación.

CAPÍTULO III ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En el presente capítulo se propondrá soluciones a los problemas encontrados y se realizará un estudio de los resultados obtenidos a través de los métodos de evaluación de la eficiencia en un sistema de bombeo utilizando la curva característica propuesta por el fabricante y el punto de operación encontrado, se aplicarán los métodos pertinentes para encontrar soluciones que sean factibles para lo cual se efectuará la valoración económica.

3.1 Evaluación de la eficiencia en un sistema de bombeo a través la curva característica.

Con las mediciones realizadas y los datos recopilados así como la utilización de los datos dados por el fabricante, se obtuvo la curva de operación la cual arrojó la eficiencia a la que trabajó la bomba durante el estudio (40 %).

Tabl.3.1 Datos para obtener el punto de operación de la bomba 153-PU-1C.

Rendimiento	Q (m3/h)	Q (m3/s)	v s (m/s)	v d	Re s	Re d	λ_s
0	0	0,000	0	0	0	0	0,075
40	100	0,028	2,1564	2,15640129	1395,2439	1395,2439	0,07535
45	200	0,056	4,3128	4,31280258	2790,48779	2790,48779	0,06744
50	300	0,083	6,4692	6,469203871	4185,73169	4185,73169	0,0632
55	400	0,111	8,62561	8,625605161	5580,97559	5580,97559	0,06036
60	500	0,139	10,782	10,78200645	6976,21949	6976,21949	0,05824
62	600	0,167	12,9384	12,93840774	8371,46338	8371,46338	0,05657
64	700	0,194	15,0948	15,09480903	9766,70728	9766,70728	0,05519

					rpm					
					1580	866				
λ , d	R s	Rd	R total	H (m)	H B (m)	H B (m)	Q m ³ /h	Nh (W)	Nh (kW)	% solido
0,075	2402,17	9856,028	12258,20	24,47	149	44,7618346	0	0	0	0
0,07535	2411,06	9899,424	12310,49	33,968832	140	42,0580997	54,8101266	13310,85678	13,3109	41,87
0,06744	2208,58	8910,856	11119,44	58,789262	135	40,5560247	109,620253	46073,73226	46,0737	41,24
0,0632	2100,14	8381,414	10481,56	97,258602	130	39,0539497	164,43038	114333,8083	114,334	41,2
0,06036	2027,36	8026,063	10053,42	148,58636	122	36,6506297	219,240506	232897,2266	232,897	40,23
0,05824	1973,17	7761,478	9734,65	212,25255	117	35,1485547	274,050633	415861,1075	415,861	42,65
0,05657	1930,31	7552,199	9482,50	287,8729	112	33,6464797	328,860759	676826,61	676,827	42,7
0,05519	1895,03	7379,958	9274,98	375,14457	108	32,4448197	383,670886	1029015,939	1029,02	43,4

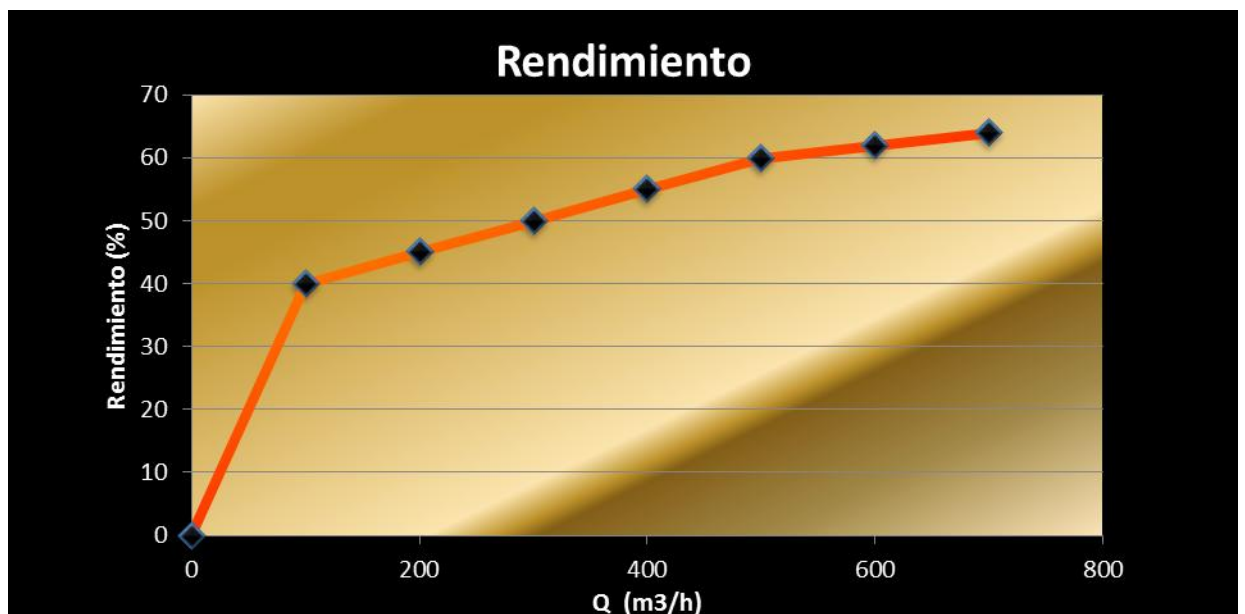


Figura 3.1. Curva de rendimiento contra caudal de la bomba.

Título: Eficiencia Energética en el sistema de bombeo de la planta de Lixiviación y Lavadero de la Empresa Cmdte.
"Pedro Sotto Alba" de Moa

Autor: Oniel Yasmani Gongora Durán

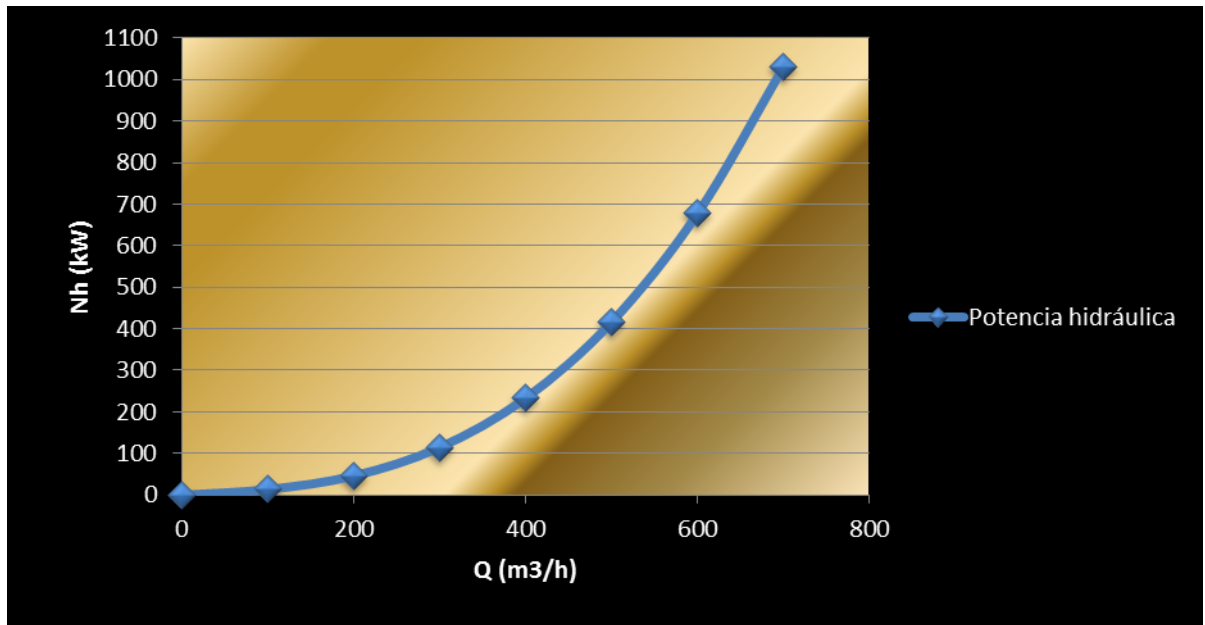


Figura 3.2 Curva de Potencia Hidráulica contra caudal de la bomba.

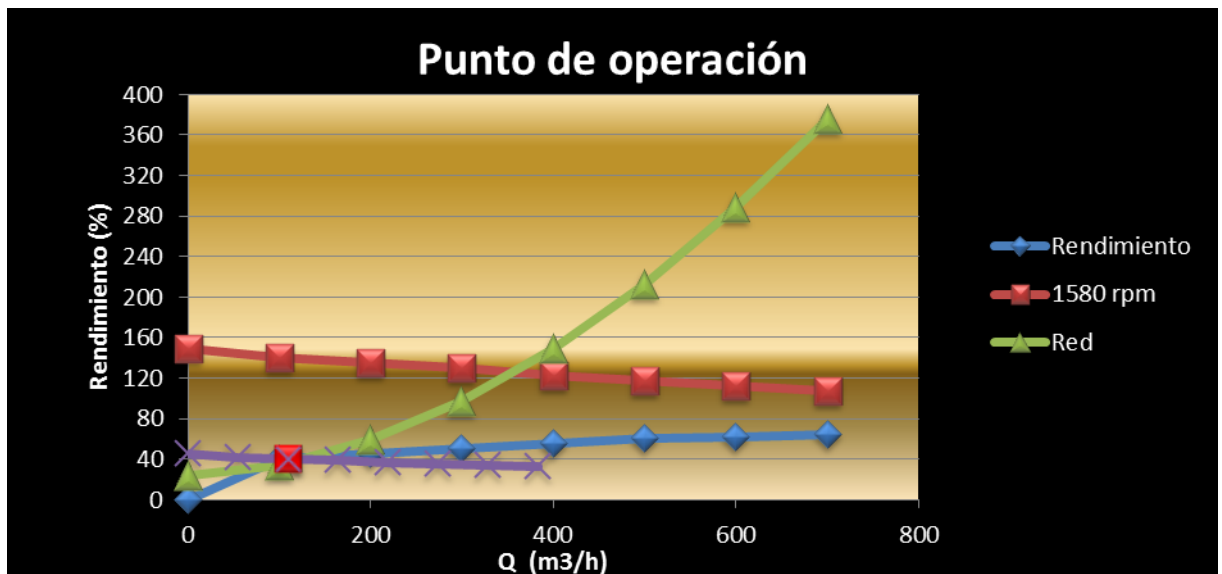


Fig. 3.3. Curva del sistema y punto de operación de la bomba.

Título: Eficiencia Energética en el sistema de bombeo de la planta de Lixiviación y Lavadero de la Empresa Cmdte. "Pedro Sotto Alba" de Moa

Autor: Oniel Yasmani Gongora Durán

La realización de esta curva denota que la bomba para un caudal de 76-89 m³/h trabajó a un 40% aproximadamente.

Para estas condiciones de trabajo ($Q=100 \text{ m}^3/\text{h}$, $H = 24.47 \text{ m}$, $g=9.81\text{m/s}^2$, $\rho=1428 \text{ kg/m}^3$, $\eta=40\%$) de la bomba se obtuvo que la potencia hidráulica de la misma es de $Ph= 13.31 \text{ kW}$.

La potencia de salida del motor es de 13.31 kW, la de entrada es de 16 kW y una eficiencia de un 83.18 %. De esto obtenemos que la eficiencia del sistema es de un 33.2 % del motor con la de la bomba.

3.2. Análisis de la eficiencia teniendo en cuenta el comportamiento reológico de la pulpa precalentada.

El desconocimiento que se tiene sobre el comportamiento reológico de las pulpas que se manipulan en el proceso puede provocar selecciones inadecuadas de bombas. Las correcciones en los cálculos, realizadas en la Subdirección de Desarrollo, se basan en la escasa información de las propiedades reológica de la pulpa.

Para tener una idea del error que se comete al ignorar el comportamiento reológico de la pulpa precalentada se tiene en los resultados obtenido por Ramírez, 2015.

Tabla 3.1. Características reológicas de la pulpa precalentada.

43 % solidos	Modelo reológico		
	n	K	densidad(kg/m3)
70 °C	0,3399	2,2864	1421
80 °C	0,3546	1,8384	1413
90 °C	0,3795	1,3539	1405

Tabla 3.2. Balance de energía Mecánica

	W(J/kg)	Pot kW
70 °C	132,419	8,196
80 °C	130,278	7,744
90 °C	127,944	7,560

Con los resultados expuestos en la tabla 3.1 y 3.2 se evidencia que el gasto de energía eléctrica que se produce al estar instaladas bombas de 22 kW, cuando lo que necesitan es una potencia inferior, esto sucede en las 10 bombas DENVER instaladas en la planta.

Teniendo en cuenta estos resultados la eficiencia se eleva al 75 % que es la máxima alcanzar por la carta técnica de la bomba.

3.3. Propuesta de Filtro de armónico para la disminución de THD.

En las normas internacionales IEEE-519 las que aseguran la calidad de la energía, el porcentaje de THD para la tensión es permisible hasta un 5 % para sistemas con $V \leq 69kV$, lo cual no se cumple en las mediciones realizadas, el % de THD para la tensión oscila desde un 7 % hasta un 12 % en los casos de THD: Van, THD: Vbn, THD: Vcn. Esto demuestra que aquí tenemos otro punto en el que podemos mejorar la eficiencia de este accionamiento.

Título: Eficiencia Energética en el sistema de bombeo de la planta de Lixiviación y Lavadero de la Empresa Cmdte.
"Pedro Sotto Alba" de Moa

Autor: Oniel Yasmani Gongora Durán

Fórmula del Factor de distorsión Armónica total para Tensión:

$$THD_V = \frac{1}{V_1} \sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2} \quad (0.1)$$

Fórmula del Factor de distorsión Armónica total para Corriente:

$$THD_I = \frac{1}{I_1} \sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2} \quad (0.2)$$

Debido a que se encontraron valores muy altos en las mediciones que se tomaron de los armónicos, lo que indica las pérdidas considerables en eficiencias energéticas queremos proponer la instalación de filtros que permitan el filtrado adecuado de los armónicos de orden 5, 7 y 9, en los circuitos de potencia de los accionamientos con variadores de velocidad. A continuación se presentan algunos ejemplos de los filtros de armónicos a utilizar para dar solución al problema ocasionado por los armónicos.

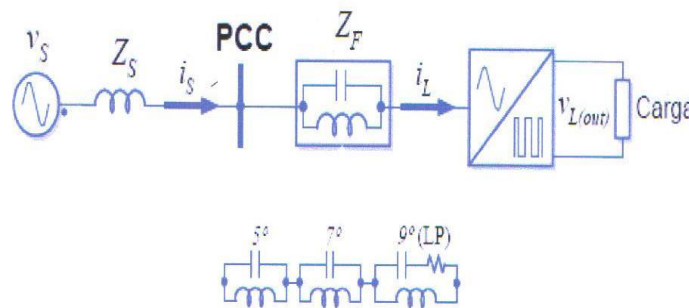


Fig. 3.5. Filtro pasivo serie.

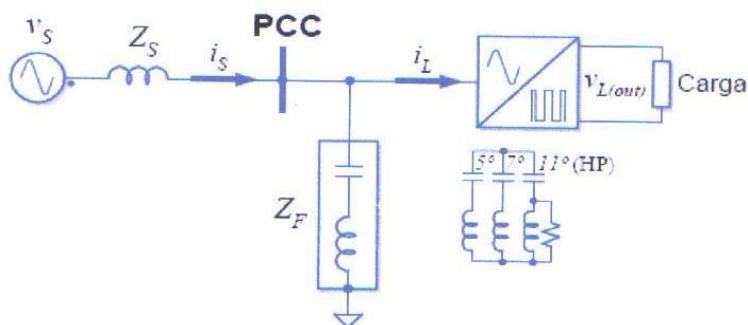


Fig. 3.6. Filtro pasivo paralelo.

Filtro Propuesto: Filtro amortiguador de armónicos.

Este filtro está constituido por un shunt resonante sobre el que se conecta (en bornes de la inductancia) una resistencia de amortiguación R (fig. b). Puede ser comprado por un precio de 18 USD. Anexo 6

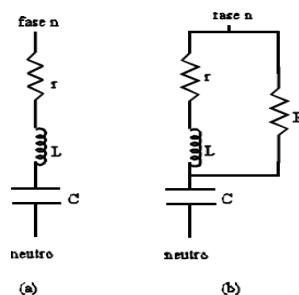


Fig. 3.7. Filtro amortiguador de armónicos.

Propiedades del Filtro amortiguador de armónicos:

- Amortiguar las anti resonancias.
- Reducir las tensiones armónicas.
- Amortiguar rápidamente el transitorio de puesta en funcionamiento del filtro.

Fórmulas para calcular el filtro:

$$\Rightarrow f_r = \frac{1 + Q * q}{2 * q \sqrt{(Q^2 - 1) L * C}} \quad (0.3)$$

$$\Rightarrow X_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} \text{ Impedancia característica.} \quad (0.4)$$

$$\Rightarrow q = \frac{X_0}{r} \text{ Factor de calidad de la inductancia.} \quad (0.5)$$

$$\Rightarrow Q = \frac{X_0}{R} \text{ Factor de calidad del filtro.} \quad (0.6)$$



Fig. 3.8 Filtro propuesto por el fabricante del VFD Yaskawa F7 modelo 4300.

3.4. 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

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

Título: Eficiencia Energética en el sistema de bombeo de la planta de Lixiviación y Lavadero de la Empresa Cmdte. "Pedro Sotto Alba" de Moa

Autor: Oniel Yasmani Gongora Durán

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 3.7 asciende a 25 954,5 CUC/año. Al no mantener los parámetros requeridos de operación modelo reológico 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.

3.5. 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 2014, 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.

CONCLUSIONES

La realización de propuestas para mejorar la eficiencia del sistema de bombeo de la planta deviene en favorables resultados que pueden concluirse de la siguiente forma:

1. Se logró presentar el marco teórico del sistema de accionamientos de bombas de transporte laterítico, esto permitió tener conocimiento del principio de funcionamiento de los variadores de velocidad y de la teoría general del funcionamiento de estos para accionamientos eléctricos.
2. Se determinaron 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.
3. Se propuso el uso de filtros de armónicos, además se 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.
4. Con la aplicación de modelo reológico se obtiene un ahorro promedio de energía de 25 954,5 CUC/año CUC anuales, por concepto de reducción de pérdidas en el sistema de accionamiento eléctrico.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda la implementación de variador de velocidad para el control de flujo en las bombas DENVER como consecuencia de las variaciones del porcentaje de sólido a transportar.
2. La utilización del software simulador del accionamiento eléctrico para bombas, como herramienta supervisora del proceso de transporte de pulpa laterítica.

BIBLIOGRAFÍA

1. 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.
2. Almeida, A. Standards for Super-Premium Efficiency Class for Electric Motors. Motor Summit , 2010.
3. Bertoldi, P., & Atanasiu, B. Proceedings of the 6th International Conference EEMOODS 2009: Energy Efficiency in Motor Driven Systems. Nantes, France: European Communities, 2010.
4. Boglietti, A., Cavagnino, A., Lazzari, M., & Pastorelli, M.. International Standards for the Induction Motor Efficiency Evaluation: a Critical Analysis of the Stray-Load Loss Determination. Industry Applications Conference, 38th IAS Annual Meeting, 2, págs. vol.2, pp. 841- 848. Politecnico di Torino, Italy, 2003
5. Bose, B. K.: “Modern Power Electronics and AC Drives”, Prentice Hall PTR, 2002.
6. Brown, G., “Operaciones Básicas de la Ingeniería Química”, Edición Revolucionaria, La Habana, 1969.
7. Brunner, C. U. Efficient Electric Motor Systems. Stockholm, Swedish: EMSA, 2012.
8. Burns, R. S.: “Advanced Control Engineering”, Butterworth – Heinemann, ISBN 0 7506 5110 8, 2001.
9. Carpio, C., Coviello, M. F., Poveda, M., Horta, L., Peña, J., Gamarra, A., & Santana, B. Energy Efficiency in Latin America and the Caribbean: Situation and Outlook. Santiago, Chile: CEPAL/GTZ, 2010.
10. 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.
11. 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.
 12. 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.
 13. Clement Johnson, Propuesta de Sistema de Suministro Para La Instalación de Bombeo de Pulpa Laterita a escala Semi-industria en el ISMM. Tesis en Opción al Título de Ingeniero Eléctrico. Junio 2007
 14. De Keulenaer, H., Belmans, R., Blaustein, E., Chapman, D., De Almeida, A., De Wachter, B., & Radgen, P. Energy Efficient Motor Driv- en Systems. Brussels, Belgium: European Copper Institute, 2004.
 15. ECI. Refined copper usage reached an all time record in 2007. Cooper annual report 2007. Brussels, Belgium: European Copper Institute, 2007.
 16. Ellis, M. Experience with energy efficiency regulations for electrical equipment. Paris, France: International Energy Agency, OECD/IEA. Energética. II Dialogo Político sobre Eficiencia Energética. Santo Domingo, 2007.
 17. 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.
 18. Falcón H. J., "Sedimentación de minerales limoníticos". Revista Minería y Geología. Vol. 2, 1985.
 19. Falkner, H. & Holt, S. Walking the Torque: Proposed Work Plan for Energy-Efficiency Policy Opportunities for Electric Motor-Driven Systems. París, France: OECD/IEA, 2011.

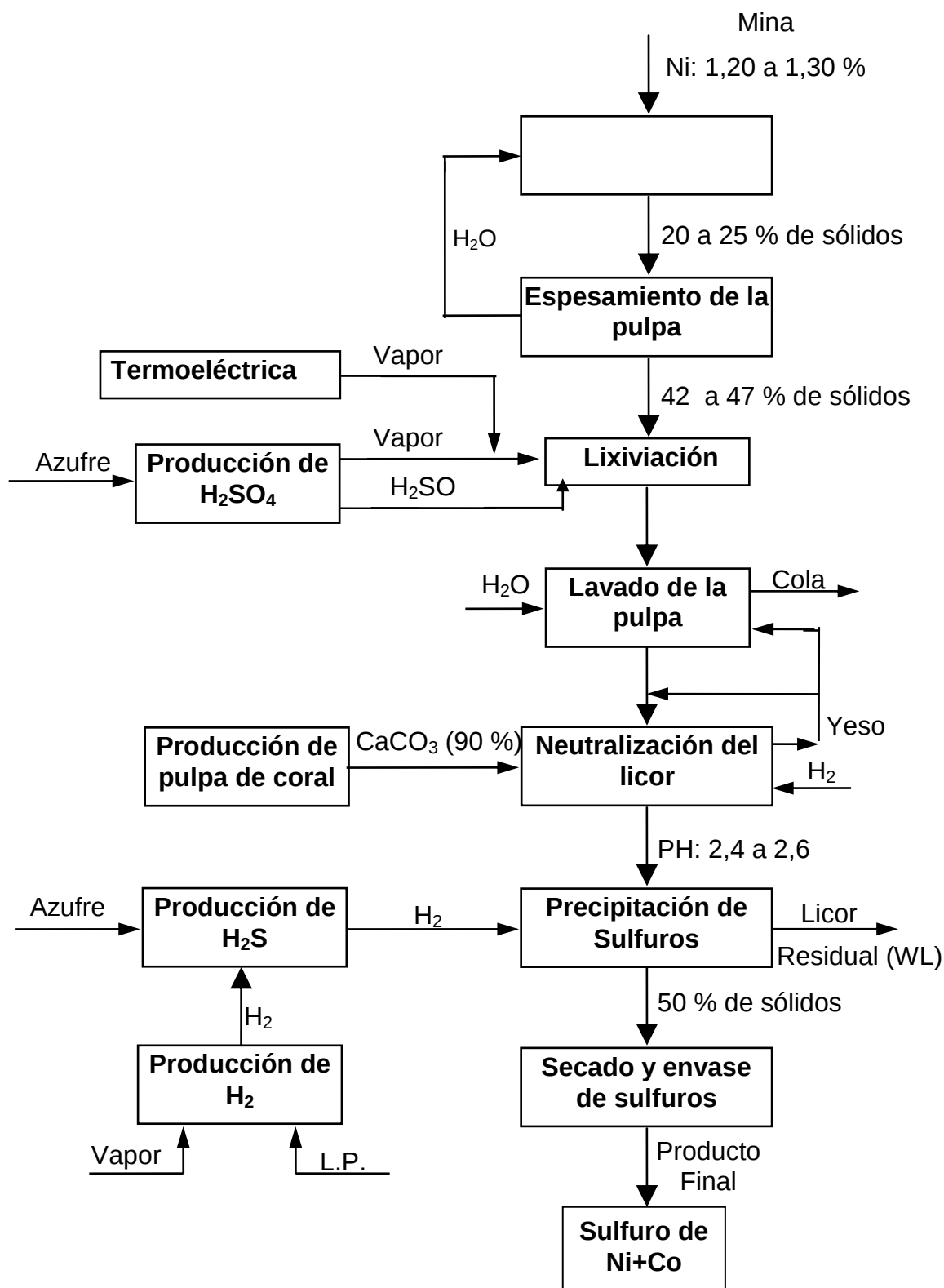
20. Gómez Y. L. Análisis de la eficiencia energética del sistema de bombeo de pulpa de la planta lixiviación de la empresa Comandante Pedro Sotto Alba Moa Nickel S.A. Bomba DENVER (135 - PU – 01C). Tesis de grado. ISMM, 2014.
21. Guardiola de Cabo, L. (s.f.). Análisis de la norma IEC 60034-2-1. Aplicación en la determinación de las pérdidas y el rendimiento de motores de inducción trifásicos, 2011.
22. Guzmán, O. Eficiencia energética. Un panorama regional. Buenos Aires, Argentina: Nueva Sociedad, 2009
23. Horta, L. Elementos-Clave de una política eficaz en eficiencia, 2011
24. Informe del control de electricidad de la planta de Lixiviación, 2013.
25. Kasatkin A. G. “Operaciones básicas y aparatos en la tecnología química”, Editorial Pueblo y Educación, La Habana, 1985.
26. Kostenko M, Piotrovski L. Máquinas Eléctricas. Tomo II. Editorial Mir. Moscú, 1976.
27. Kostenko, M.P.; Piotrovsky, L.: “Máquinas Eléctricas”, Editorial Mir, Moscú
28. Luis D. Rojas, Mario Morera, Ángel Columbié, Identificación de accionamiento de motor de inducción con bomba centrífuga usando lógica difusa. Trabajos Teórico Experimentales. *Energética* Vol. XXV, No. 3/2004.
29. Lutz, W. F. Programas de Normas y Etiquetado de Eficiencia Energética de Artefactos y Equipos en Latinoamérica y el Caribe. III Seminario Latinoamericano y del caribe de Eficiencia Energética, (pág. 24). Ciudad de Panamá, 2011.
30. Mahla A., I. Proyecto piloto de reemplazo de motores eléctricos en la minería de cobre - Chile. Santiago de Chile: Hernán Sierralta Wortsman - International Copper Association, Ltd, 2009.
31. Manual de Operaciones de la Planta de Lixiviación de la empresa Comandante Pedro Sotto Alba.
32. Mariño A. et al, “Equipos de la Metalurgia no Ferrosa”, La Habana, 1994.

33. 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.
34. Maruszczuk, J., Lhenry, M., Helinko, M., & Korendo, Z.. En armonía. Definición de normas mundiales de eficiencia energética. (A. A. Ltd., Ed.) Revista ABB, 50-55, 2009
35. McNeil, M., Cava, M., Blanco, J., Quiros, K., & Lutz, W. Reference Document for MEPs en Central America. CLASP/BUN-CA, 2007.
36. 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.
37. NEMA.. NEMA Standards Publication ANSI/NEMA. Motors and Generators. Rosslyn, USA: National Electrical Manufacturers Association, 2010.
38. Pacheco P. B. Bombas, ventiladores y compresores. Santiago de Cuba. Ediciones ISPJAM, 1987.
39. 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.
40. 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.
41. Pérez L., Y. Cardero, Y. Lamothe, L. Garcell, “Estudio del comportamiento reológico de una suspensión industrial de laterita”, Revista Tecnología Química Vol. XXVIII, No. 1, 2008.
42. Pullum L., L. Graham, M. Rudman, R. Hamilton, “High concentration suspension pumping”. Minerals Engineering. Vol. 19, 471–477, 2006.
43. Ramirez, Infante, Y. Influencia de los parámetros reológicos de la pulpa cruda y precalentada en la eficiencia del sistema de bombeo de la empresa Comandante Pedro Sotto Alba. Tesis de diploma. ISMM.2015.

44. Rashid, M. H.: "Power Electronics Handbook", Academic Press, ISBN 0 12 581650 2, 2001.
45. Reporte de averías de la planta de Lixiviación, 2013.
46. 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.
47. Ruchansky, B., de Buen, O., Januzzi, G., & Romero, A. Eficacia institucional de los programas nacionales de eficiencia energética: los casos del Brasil, Chile, México y el Uruguay. Santiago de Chile: Naciones Unidas, 2011.
48. SENER. Reporte del Foro sobre Eficiencia Energética y Acceso en América Latina y el Caribe. Organizadores: Secretaría de Energía de México (SENER), Banco Mundial, Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Ciudad de México: Secretaría de Energía de México, BID, Banco Mundial, 2010.
49. Turiño 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.
50. 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.
51. Walde, P., & Brunner, C. Energy efficiency policy opportunities for electric motor-driven systems. France: International energy agency- OECD/IEA, 2011.
52. Walde, P., & Harrington, L. Success and CO2 Savings from Appliance Energy Efficiency Harmonisation. Part 2: An Assessment of Test Procedures and Efficiency Metrics. London, UK: Collaborative Labeling and Appliance, (CLAPS), 2011.

ANEXOS

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



Anexo 2. Flujo tecnológico de la Planta de Lixiviación.

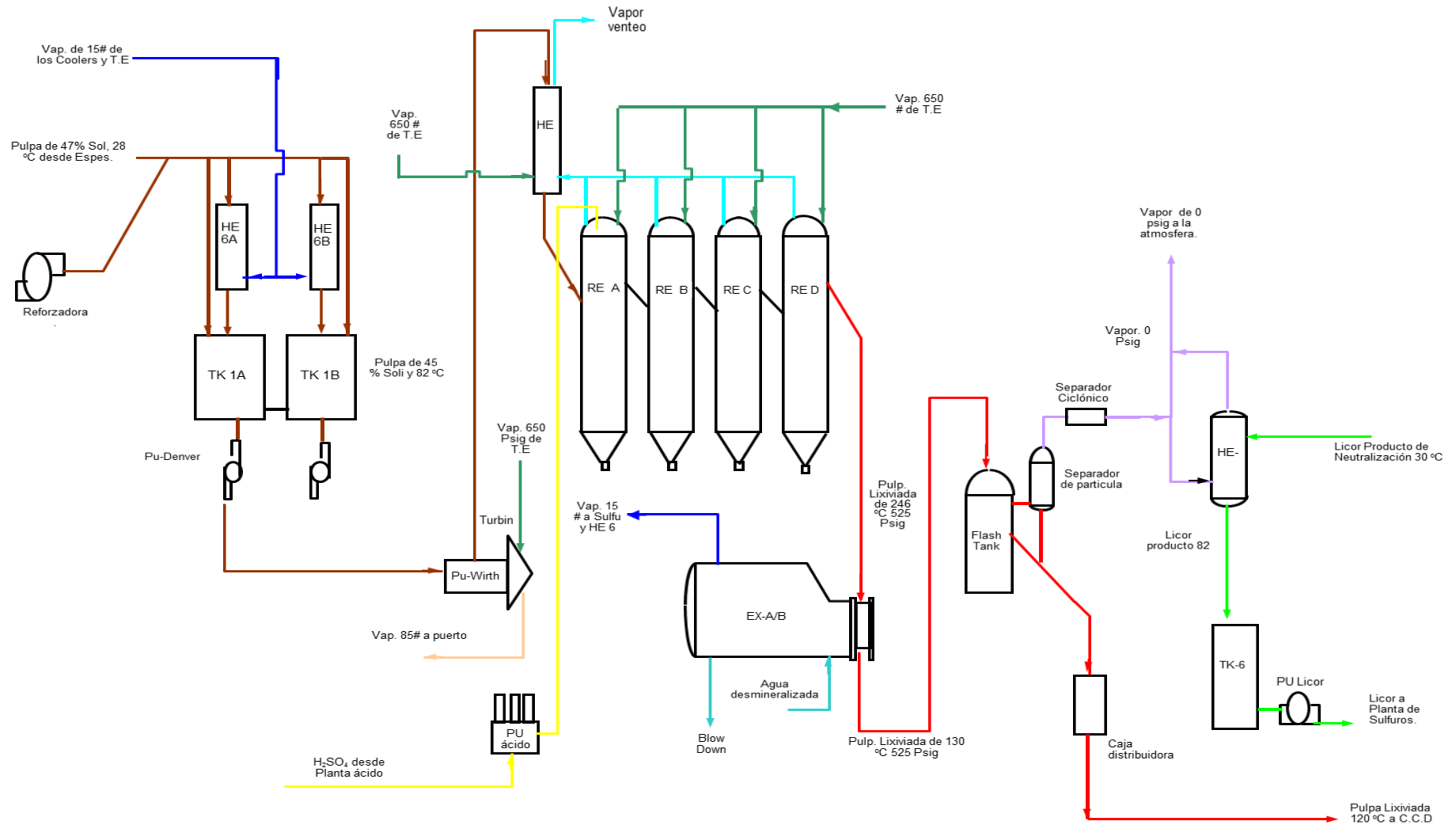
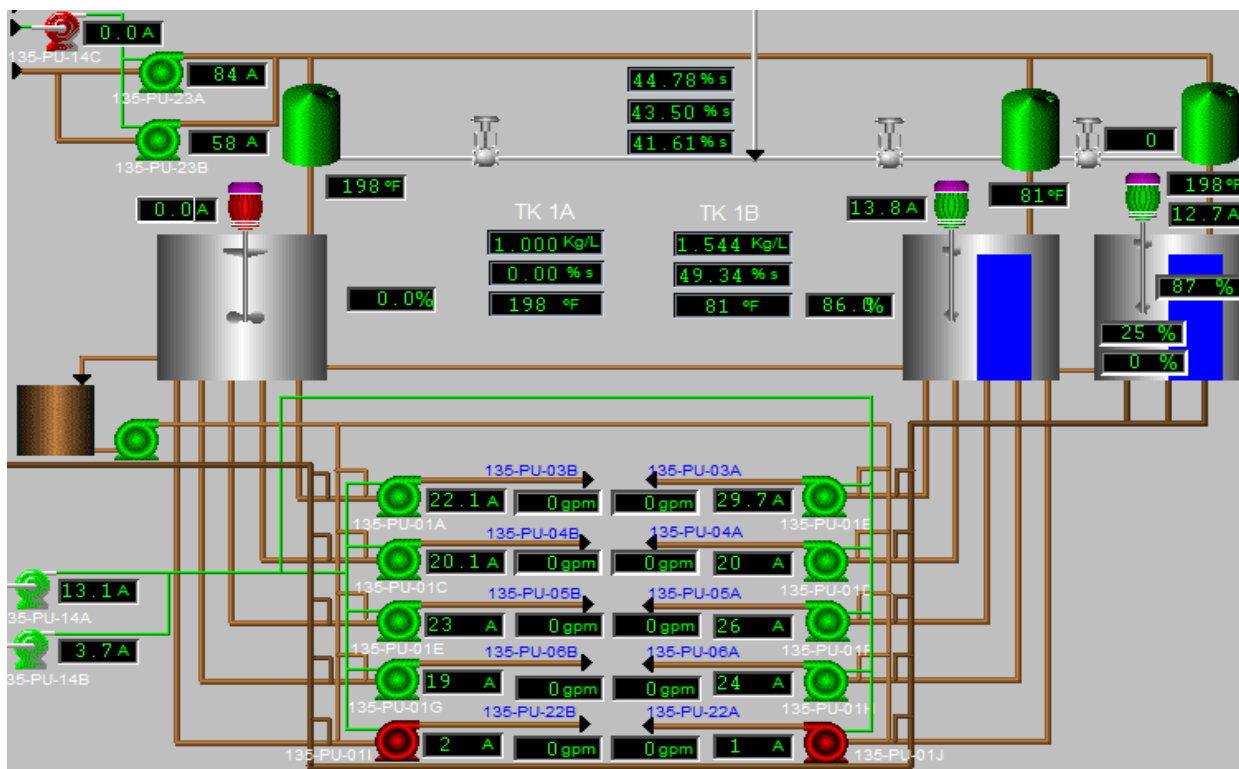
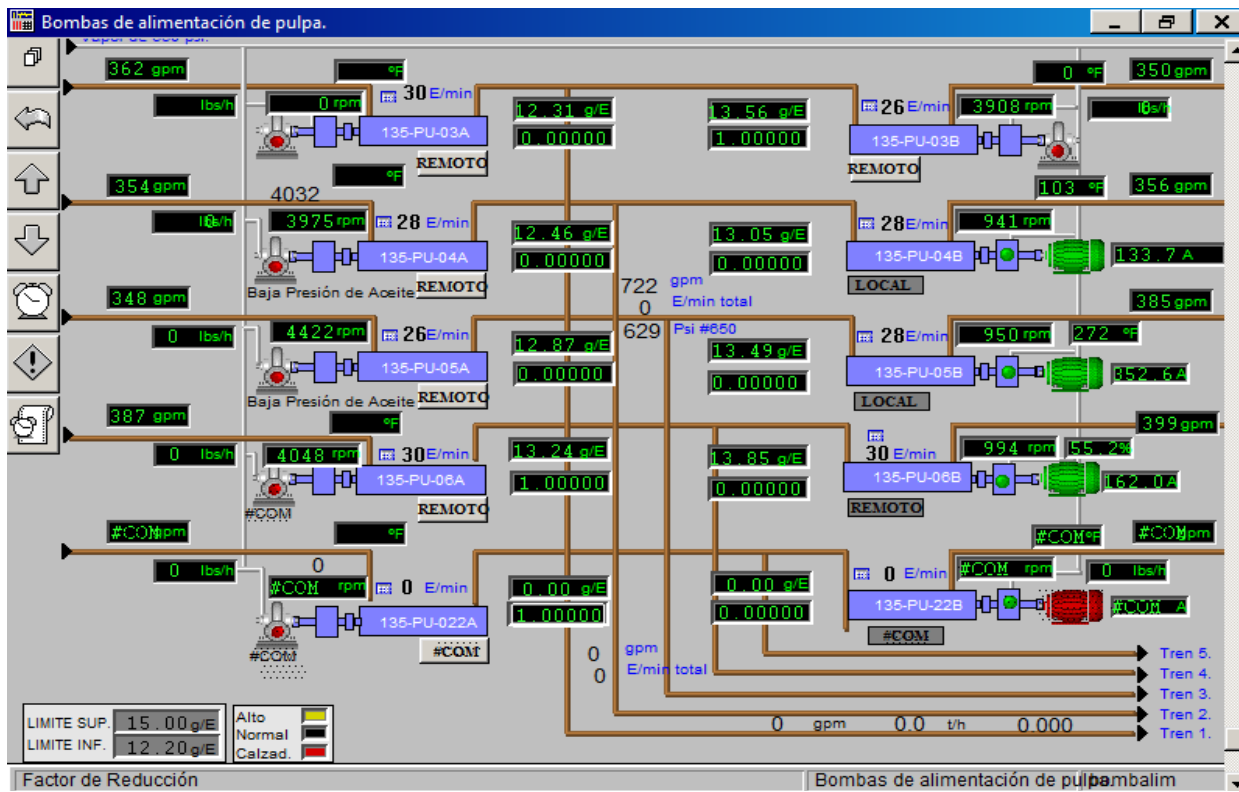


DIAGRAMA DE FLUJO TECNOLÓGICO DE PLANTA DE LIXIVIACIÓN



Anexo 3. Bombas DENVER de la planta de Lixiviación



Anexo 4. Bombas WIRTH de la planta de Lixiviación

Anexo 5.

Mediciones realizadas en la entrada y salida del VFD.

Medición en la entrada del VFD, realizado con PQM															Medición en la salida del VFD, realizado con Multilín SR-469												
la	lb	lc	Vab	Vbc	Vca	P	Q	PF	F	THD: la	THD: lb	THD: lc	THD: Van	THD: Vbn	THD: Vcn	la	lb	lc	Vab	Vbc	Vca	P	Q	S	FP	F	Flujo mineral
(A)	(A)	(A)	(V)	(V)	(V)	(kW)	(kvar)	()	(Hz)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(A)	(A)	(A)	(V)	(V)	(V)	(kW)	(KVar)	(KVA)	()	(Hz)	(gpm)
118	120	116	472	474	471	85,17	46,92	0,87	59,91	40,8	69,3	55,6	8,6	8,9	7,6	299	259	284	220	183	202	88	42,6203	97,8	0,9	26,3	337,6
109	113	110	472	473	471	79,04	45,48	0,87	59,91	62,1	46,9	53,2	9	11,4	8,4	312	283	348	186	200	218	100	56,6726	114,9	0,87	26,3	337,6
107	109	104	476	476	472	76,36	44,6	0,86	59,96	61,3	49,5	49,4	7,8	8,9	8,7	240	240	283	182	213	214	78	52,4163	94,0	0,83	26,5	337,9
115	123	120	472	473	471	86,63	46,84	0,88	60,02	44,2	49,6	45,2	8,4	7,7	8,2	270	222	228	224	191	195	68	42,1426	80,0	0,85	26,5	337,8
105	113	108	473	472	471	77,82	44,07	0,87	60,02	57,9	42,3	75,2	9,5	9,1	7	177	142	153	219	184	210	52	33,5887	61,9	0,84	26,7	337,0
102	109	104	472	473	472	74,78	44,51	0,86	60,09	49,6	56,8	62,8	11	9,3	7,7	289	312	347	182	210	219	104	44,3038	113,0	0,92	26,6	337,4
85	93	89	472	473	471	62,24	39,74	0,84	60,14	50,4	57,4	55,1	9,3	8,8	9,1	289	336	347	184	201	220	96	37,9416	103,2	0,93	26,3	335,0
106	114	112	470	471	470	78,87	45,26	0,87	60,02	49,9	54,7	43,1	12,1	7,7	7,2	243	281	260	201	218	185	81	43,7192	92,0	0,88	26,3	335,3
91	98	94	470	473	470	66,13	41,12	0,85	59,85	53,9	44	60,9	9,5	9,7	7,9	209	241	211	181	212	216	59	41,1823	72,0	0,82	26,5	335,5
103	114	106	472	474	472	76,29	45,98	0,86	59,89	47,9	48,1	56	15	7,8	9,4	153	147	168	183	212	216	41	41,8284	58,6	0,7	26,6	336,5
98	105	104	471	470	472	72,55	43,4	0,86	59,92	57,4	51,6	50	11,7	11,9	8,4	276	328	324	183	224	207	99	47,9479	110,0	0,9	26,7	335,7
105	107	107	472	471	471	75,66	43,88	0,86	59,94	50,8	54,3	45,8	7,9	10,2	7,1	336	284	337	220	186	205	98	47,4636	108,9	0,9	26,6	336,3
113	120	116	471	472	469	84,18	45,83	0,88	59,91	51,5	46,6	47,5	14,6	7,8	8,7	256	232	281	209	181	215	78	35,5378	85,7	0,91	26,3	342,5
109	112	108	469	473	471	78,13	45,09	0,87	60,03	58	52,1	70,9	8,4	10,3	7,7	216	217	241	192	196	223	67	48,5072	82,7	0,81	26,6	337,4
95	100	97	467	470	470	67,68	42,07	0,85	60,1	52,2	60,6	48,1	8,6	7	8,2	158	172	174	183	209	217	82	26,9521	86,3	0,95	26,5	345,1
94	96	96	470	471	471	66,81	41,32	0,85	60,07	52,9	48,9	65,3	6,2	10,1	8,5	268	328	281	207	216	180	94	30,8963	98,9	0,95	26,2	351,3
100	102	100	471	471	469	71,16	42,87	0,86	60,07	53,3	51,7	52,5	7,6	11,1	8,4	299	332	272	199	222	187	93	57,6362	109,4	0,85	26,4	350,4
105	108	108	471	472	470	75,86	45,07	0,86	60,06	50,8	58,7	58,9	12,1	9,2	9,2	288	259	240	222	187	199	82	37,3603	90,1	0,91	26,4	351,1
103	115	107	471	473	472	77,36	45,26	0,86	60,01	56	49,5	54,9	12,5	8,1	7,3	227	193	187	224	197	193	53	42,5209	67,9	0,78	26,7	350,8
111	119	114	471	474	473	82,74	45,74	0,88	59,95	50,2	43,8	58,9	9,4	9,1	6,3	163	142	145	196	191	222	37	36,6978	52,1	0,71	26,5	349,1
105	110	106	470	470	470	76,01	44,59	0,86	59,93	60	46,8	61	10,5	10,4	7,1	291	280	316	204	184	220	99	32,5397	104,2	0,95	26,4	348,4
113	121	118	467	470	471	84,34	47,16	0,87	59,94	64,6	51,1	51	11,9	12,3	8,5	284	313	344	186	194	219	94	40,0438	102,2	0,92	26,0	349,6
99	104	102	473	473	473	72,42	42,77	0,86	59,95	65,8	48,2	64,7	7	9,6	8,6	230	270	267	182	213	212	79	38,2614	87,8	0,9	26,4	349,0
100	105	103	471	472	468	72,77	43,34	0,86	59,94	58,8	42,6	54,3	9,5	8,7	6,4	204	238	196	215	215	183	63	34,0038	71,6	0,88	26,7	349,1
100	104	101	469	471	468	71,85	43,05	0,86	60,02	58,4	53,9	63,6	7,6	7,9	7,3	273	264	225	186	221	197	78	44,2046	89,7	0,87	26,3	349,4
110	115	113	470	472	471	80,52	45,57	0,87	60,07	56,9	55	51,4	12,9	7,9	7,4	320	280	281	218	181	206	93	39,6178	101,1	0,92	26,3	349,3
91	98	93	472	470	473	65,61	42,16	0,84	60,06	58	52,1	47,3	8,9	7,2	9,4	326	283	302	217	211	181	92	52,1388	105,7	0,87	26,5	348,1
104	108	108	470	470	471	76,08	43,76	0,87	60,08	46,7	45,5	50,5	8,3	9	9,5	270	230	273	190	199	223	80	49,5795	94,1	0,85	26,6	350,5
94	99	98	471	471	469	68,61	41,39	0,86	60,11	60,6	57,1	64	9,6	6,9	9	190	166	204	198	188	221	50	29,6683	58,1	0,86	26,4	348,9
116	118	119	469	470	470	85,25	45,46	0,88	60,07	50,8	50,6	44,1	7,9	9,8	10,7	171	206	192	188	222	197	57	35,3254	67,1	0,85	26,4	352,6
108	114	110	468	469	465	78,62	44,97	0,87	60,09	52	48,8	56	11,4	9,1	6,8	289	355	313	182	220	205	94	45,5263	104,4	0,9	26,4	348,5
106	115	111	469	469	469	77,87	45,66	0,86	60,1	56,1	43,5	78,7	10,3	11,1	7,5	302	315	268	201	222	188	93	39,6178	101,1	0,92	26,6	350,5
103	109	105	468	475	470	74,44	44,86	0,86	60,04	56	71,4	54,9	12,2	9	9,2	264	251	224	215	212	182	72	50,2563	87,8	0,82	26,5	353,0
109	117	112	471	470	469	80,64	46,09	0,87	59,95	58,8	48,7	53,9	8,3	7,3	8,4	214	193	179	223	195	192	57	32,3034	65,5	0,87	26,5	348,4
91	93	92	470	468	469	63,75	40,45	0,84	59,91	49,6	45,3	56	11,2	9,3	9,9	262	216	238	219	183	204	68	34,8374	76,4	0,89	26,3	348,0
118	120	116	472	474	471	85,17	46,92	0,87	59,91	40,8	69,3	55,6	8,6	8,9	7,6	299	259	284	220	183	202	88	42,6203	97,8	0,9	26,3	337,6
109	113	110	472	473	471	79,04	45,48	0,87	59,91	62,1	46,9	53,2	9	11,4	8,4	312	283	348	186	200	218	100	56,6726	114,9	0,87	26,3	337,6
107	109	104	476	476	472	76,36	44,6	0,86	59,96	61,3	49,5	49,4	7,8	8,9	8,7	240	240	283	182	213	214	78	52,4163	94,0	0,83	26,5	337,9
115	123	120	472	473	471	86,63	46,84	0,88	60,02	44,2	49,6	45,2	8,4	7,7	8,2	270	222	228	224	191	195	68	42,1426	80,0	0,85	26,5	337,8

Medición en la entrada del VFD, realizado con PQM															Medición en la salida del VFD, realizado con Multilín SR-469												
Ia	Ib	Ic	Vab	Vbc	Vca	P	Q	PF	F	THD: Ia	THD: Ib	THD: Ic	THD: Van	THD: Vbn	THD: Vcn	Ia	Ib	Ic	Vab	Vbc	Vca	P	Q	S	FP	F	Flujo mineral
(A)	(A)	(A)	(V)	(V)	(V)	(kW)	(kvar)	()	(Hz)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(A)	(A)	(A)	(V)	(V)	(V)	(kW)	(KVAr)	(KVA)	()	(Hz)	(gpm)
105	113	108	473	472	471	77,82	44,07	0,87	60,02	57,9	42,3	75,2	9,5	9,1	7	177	142	153	219	184	210	52	33,5887	61,9	0,84	26,7	337,0
102	109	104	472	473	472	74,78	44,51	0,86	60,09	49,6	56,8	62,8	11	9,3	7,7	289	312	347	182	210	219	104	44,3038	113,0	0,92	26,6	337,4
85	93	89	472	473	471	62,24	39,74	0,84	60,14	50,4	57,4	55,1	9,3	8,8	9,1	289	336	347	184	201	220	96	37,9416	103,2	0,93	26,3	335,0
106	114	112	470	471	470	78,87	45,26	0,87	60,02	49,9	54,7	43,1	12,1	7,7	7,2	243	281	260	201	218	185	81	43,7192	92,0	0,88	26,3	335,3
91	98	94	470	473	470	66,13	41,12	0,85	59,85	53,9	44	60,9	9,5	9,7	7,9	209	241	211	181	212	216	59	41,1823	72,0	0,82	26,5	335,5
103	114	106	472	474	472	76,29	45,98	0,86	59,89	47,9	48,1	56	15	7,8	9,4	153	147	168	183	212	216	41	41,8284	58,6	0,7	26,6	336,5
98	105	104	471	470	472	72,55	43,4	0,86	59,92	57,4	51,6	50	11,7	11,9	8,4	276	328	324	183	224	207	99	47,9479	110,0	0,9	26,7	335,7
105	107	107	472	471	471	75,66	43,88	0,86	59,94	50,8	54,3	45,8	7,9	10,2	7,1	336	284	337	220	186	205	98	47,4636	108,9	0,9	26,6	336,3
113	120	116	471	472	469	84,18	45,83	0,88	59,91	51,5	46,6	47,5	14,6	7,8	8,7	256	232	281	209	181	215	78	35,5378	85,7	0,91	26,3	342,5
109	112	108	469	473	471	78,13	45,09	0,87	60,03	58	52,1	70,9	8,4	10,3	7,7	216	217	241	192	196	223	67	48,5072	82,7	0,81	26,6	337,4
95	100	97	467	470	470	67,68	42,07	0,85	60,1	52,2	60,6	48,1	8,6	7	8,2	158	172	174	183	209	217	82	26,9521	86,3	0,95	26,5	345,1
94	96	96	470	471	471	66,81	41,32	0,85	60,07	52,9	48,9	65,3	6,2	10,1	8,5	268	328	281	207	216	180	94	30,8963	98,9	0,95	26,2	351,3
100	102	100	471	471	469	71,16	42,87	0,86	60,07	53,3	51,7	52,5	7,6	11,1	8,4	299	332	272	199	222	187	93	57,6362	109,4	0,85	26,4	350,4
105	108	108	471	472	470	75,86	45,07	0,86	60,06	50,8	58,7	58,9	12,1	9,2	9,2	288	259	240	222	187	199	82	37,3603	90,1	0,91	26,4	351,1
103	115	107	471	473	472	77,36	45,26	0,86	60,01	56	49,5	54,9	12,5	8,1	7,3	227	193	187	224	197	193	53	42,5209	67,9	0,78	26,7	350,8
111	119	114	471	474	473	82,74	45,74	0,88	59,95	50,2	43,8	58,9	9,4	9,1	6,3	163	142	145	196	191	222	37	36,6978	52,1	0,71	26,5	349,1
105	110	106	470	470	470	76,01	44,59	0,86	59,93	60	46,8	61	10,5	10,4	7,1	291	280	316	204	184	220	99	32,5397	104,2	0,95	26,4	348,4
113	121	118	467	470	471	84,34	47,16	0,87	59,94	64,6	51,1	51	11,9	12,3	8,5	284	313	344	186	194	219	94	40,0438	102,2	0,92	26,0	349,6
99	104	102	473	473	473	72,42	42,77	0,86	59,95	65,8	48,2	64,7	7	9,6	8,6	230	270	267	182	213	212	79	38,2614	87,8	0,9	26,4	349,0
100	105	103	471	472	468	72,77	43,34	0,86	59,94	58,8	42,6	54,3	9,5	8,7	6,4	204	238	196	215	215	183	63	34,0038	71,6	0,88	26,7	349,1
100	104	101	469	471	468	71,85	43,05	0,86	60,02	58,4	53,9	63,6	7,6	7,9	7,3	273	264	225	186	221	197	78	44,2046	89,7	0,87	26,3	349,4
110	115	113	470	472	471	80,52	45,57	0,87	60,07	56,9	55	51,4	12,9	7,9	7,4	320	280	281	218	181	206	93	39,6178	101,1	0,92	26,3	349,3
91	98	93	472	470	473	65,61	42,16	0,84	60,06	58	52,1	47,3	8,9	7,2	9,4	326	283	302	217	211	181	92	52,1388	105,7	0,87	26,5	348,1
104	108	108	470	470	471	76,08	43,76	0,87	60,08	46,7	45,5	50,5	8,3	9	9,5	270	230	273	190	199	223	80	49,5795	94,1	0,85	26,6	350,5
94	99	98	471	471	469	68,61	41,39	0,86	60,11	60,6	57,1	64	9,6	6,9	9	190	166	204	198	188	221	50	29,6683	58,1	0,86	26,4	348,9
116	118	119	469	470	470	85,25	45,46	0,88	60,07	50,8	50,6	44,1	7,9	9,8	10,7	171	206	192	188	222	197	57	35,3254	67,1	0,85	26,4	352,6
108	114	110	468	469	465	78,62	44,97	0,87	60,09	52	48,8	56	11,4	9,1	6,8	289	355	313	182	220	205	94	45,5263	104,4	0,9	26,4	348,5
106	115	111	469	469	469	77,87	45,66	0,86	60,1	56,1	43,5	78,7	10,3	11,1	7,5	302	315	268	201	222	188	93	39,6178	101,1	0,92	26,6	350,5
103	109	105	468	475	470	74,44	44,86	0,86	60,04	56	71,4	54,9	12,2	9	9,2	264	251	224	215	212	182	72	50,2563	87,8	0,82	26,5	353,0
109	117	112	471	470	469	80,64	46,09	0,87	59,95	58,8	48,7	53,9	8,3	7,3	8,4	214	193	179	223	195	192	57	32,3034	65,5	0,87	26,5	348,4
91	93	92	470	468	469	63,75	40,45	0,84	59,91	49,6	45,3	56	11,2	9,3	9,9	262	216	238	219	183	204	68	34,8374	76,4	0,89	26,3	348,0
105	110	106	470	470	470	76,01	44,59	0,86	59,93	60	46,8	61	10,5	10,4	7,1	291	280	316	204	184	220	99	32,5397	104,2	0,95	26,4	348,4
113	121	118	467	470	471	84,34	47,16	0,87	59,94	64,6	51,1	51	11,9	12,3	8,5	284	313	344	186	194	219	94	40,0438	102,2	0,92	26,0	349,6
99	104	102	473	473	473	72,42	42,77	0,86	59,95	65,8	48,2	64,7	7	9,6	8,6	230	270	267	182	213	212	79	38,2614	87,8	0,9	26,4	349,0
100	105	103	471	472	468	72,77	43,34	0,86	59,94	58,8	42,6	54,3	9,5	8,7	6,4	204	238	196	215	215	183	63	34,0038	71,6	0,88	26,7	349,1
100	104	101	469	471	468	71,85	43,05	0,86	60,02	58,4	53,9	63,6	7,6	7,9	7,3	273	264	225	186	221	197	78	44,2046	89,7	0,87	26,3	349,4
110	115	113	470	472	471	80,52	45,57	0,87	60,07	56,9	55	51,4	12,9	7,9	7,4	320	280	281	218	181	206	93	39,6178	101,1	0,92	26,3	349,3
91	98	93	472	470	473	65,61	42,16	0,84	60,06	58	52,1	47,3	8,9	7,2	9,4	326	283	302	217	211	181	92	52,1388	105,7	0,87	26,5	348,1
104	108	108	470	470	471	76,08	43,76	0,87	60,08	46,7	45,5	50,5	8,3	9	9,5	270	230	273	190	199	223	80	49,5795	94,1	0,85	26,6	350,5
94	99	98	471	471	469	68,61	41,39	0,86	60,11	60,6	57,1	64	9,6	6,9	9	190	166	204	198	188	221	50	29,6683	58,1	0,86	26,4	348,9
116	118	119	469	470	470	85,25	45,46	0,88	60,07	50,8	50,6	44,1	7,9	9,8	10,7	171	206	192	188	222	197	57	35,3254	67,1	0,85	26,4	352,6
108	114	110	468	469	465	78,62	44,97	0,87	60,09	52	48,8	56	11,4	9,1	6,8	289	355	313	182	220	205	94	45,5263	104,4	0,9	26,4	348,5
106	115	111	469	469	469	77,87	45,66	0,86	60,1	56,1	43,5	78,7	10,3	11,1	7,5	302	315	268	201	222	188	93	39,6178	101,1	0,92	26,6	350,5
103	109	105	468	475	470	74,44	44,86	0,86	60,04	56	71,4	54,9	12,2	9	9,2	264	251	224	215	212	182	72	50,2563	87,8	0,82	26,5	353,0
109	117	112	471	470	469	80,64	46,09	0,87	59,95	58,8	48,7	53,9	8,3	7,3	8,4	214	193	179	223	195	192	57	32,3034	65,5	0,87	26,5	348,4
91	93	92	470	468	469	63,75	40,45	0,84	59,91	49,6	45,3	56	11,2	9,3	9,9	262	216	238	219	183	204	68	34,8374	76,4	0,89	26,3	348,0
118	120	116	472	474	471	85,17	46,92	0,87	59,91	40,8	69,3	55,6	8,6	8,9	7,6	299	259	284	220	183	202	88	42,6203	97,8	0,9	26,3	337,6
109	113	110	472	473	471	79,04	45,48	0,87	59,91	62,1	46,9	53,2	9	11,4	8,4	312	283	348	186	200	218	100	56,6726	114,9			

Medición en la entrada del VFD, realizado con PQM															Medición en la salida del VFD, realizado con Multilín SR-469												
Ia	Ib	Ic	Vab	Vbc	Vca	P	Q	PF	F	THD: Ia	THD: Ib	THD: Ic	THD: Van	THD: Vbn	THD: Vcn	Ia	Ib	Ic	Vab	Vbc	Vca	P	Q	S	FP	F	Flujo minera
(A)	(A)	(A)	(V)	(V)	(V)	(kW)	(kvar)	()	(Hz)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(A)	(A)	(A)	(V)	(V)	(V)	(kW)	(KVAr)	(KVA)	()	(Hz)	(gpm)
105	113	108	473	472	471	77,82	44,07	0,87	60,02	57,9	42,3	75,2	9,5	9,1	7	177	142	153	219	184	210	52	33,5887	61,9	0,84	26,7	337,0
102	109	104	472	473	472	74,78	44,51	0,86	60,09	49,6	56,8	62,8	11	9,3	7,7	289	312	347	182	210	219	104	44,3038	113,0	0,92	26,6	337,4
85	93	89	472	473	471	62,24	39,74	0,84	60,14	50,4	57,4	55,1	9,3	8,8	9,1	289	336	347	184	201	220	96	37,9416	103,2	0,93	26,3	335,0
106	114	112	470	471	470	78,87	45,26	0,87	60,02	49,9	54,7	43,1	12,1	7,7	7,2	243	281	260	201	218	185	81	43,7192	92,0	0,88	26,3	335,3
91	98	94	470	473	470	66,13	41,12	0,85	59,85	53,9	44	60,9	9,5	9,7	7,9	209	241	211	181	212	216	59	41,1823	72,0	0,82	26,5	335,5
103	114	106	472	474	472	76,29	45,98	0,86	59,89	47,9	48,1	56	15	7,8	9,4	153	147	168	183	212	216	41	41,8284	58,6	0,7	26,6	336,5
98	105	104	471	470	472	72,55	43,4	0,86	59,92	57,4	51,6	50	11,7	11,9	8,4	276	328	324	183	224	207	99	47,9479	110,0	0,9	26,7	335,7
105	107	107	472	471	471	75,66	43,88	0,86	59,94	50,8	54,3	45,8	7,9	10,2	7,1	336	284	337	220	186	205	98	47,4636	108,9	0,9	26,6	336,3
113	120	116	471	472	469	84,18	45,83	0,88	59,91	51,5	46,6	47,5	14,6	7,8	8,7	256	232	281	209	181	215	78	35,5378	85,7	0,91	26,3	342,5
109	112	108	469	473	471	78,13	45,09	0,87	60,03	58	52,1	70,9	8,4	10,3	7,7	216	217	241	192	196	223	67	48,5072	82,7	0,81	26,6	337,4
95	100	97	467	470	470	67,68	42,07	0,85	60,1	52,2	60,6	48,1	8,6	7	8,2	158	172	174	183	209	217	82	26,9521	86,3	0,95	26,5	345,1
94	96	96	470	471	471	66,81	41,32	0,85	60,07	52,9	48,9	65,3	6,2	10,1	8,5	268	328	281	207	216	180	94	30,8963	98,9	0,95	26,2	351,3
100	102	100	471	469	471	71,16	42,87	0,86	60,07	53,3	51,7	52,5	7,6	11,1	8,4	299	332	272	199	222	187	93	57,6362	109,4	0,85	26,4	350,4
105	108	108	471	472	470	75,86	45,07	0,86	60,06	50,8	58,7	58,9	12,1	9,2	9,2	288	259	240	222	187	199	82	37,3603	90,1	0,91	26,4	351,1
103	115	107	471	473	472	77,36	45,26	0,86	60,01	56	49,5	54,9	12,5	8,1	7,3	227	193	187	224	197	193	53	42,5209	67,9	0,78	26,7	350,8
105	113	108	473	472	471	77,82	44,07	0,87	60,02	57,9	42,3	75,2	9,5	9,1	7	177	142	153	219	184	210	52	33,5887	61,9	0,84	26,7	337,0
102	109	104	472	473	472	74,78	44,51	0,86	60,09	49,6	56,8	62,8	11	9,3	7,7	289	312	347	182	210	219	104	44,3038	113,0	0,92	26,6	337,4
85	93	89	472	473	471	62,24	39,74	0,84	60,14	50,4	57,4	55,1	9,3	8,8	9,1	289	336	347	184	201	220	96	37,9416	103,2	0,93	26,3	335,0
106	114	112	470	471	470	78,87	45,26	0,87	60,02	49,9	54,7	43,1	12,1	7,7	7,2	243	281	260	201	218	185	81	43,7192	92,0	0,88	26,3	335,3
91	98	94	470	473	470	66,13	41,12	0,85	59,85	53,9	44	60,9	9,5	9,7	7,9	209	241	211	181	212	216	59	41,1823	72,0	0,82	26,5	335,5
103	114	106	472	474	472	76,29	45,98	0,86	59,89	47,9	48,1	56	15	7,8	9,4	153	147	168	183	212	216	41	41,8284	58,6	0,7	26,6	336,5
98	105	104	471	470	472	72,55	43,4	0,86	59,92	57,4	51,6	50	11,7	11,9	8,4	276	328	324	183	224	207	99	47,9479	110,0	0,9	26,7	335,7
105	107	107	472	471	471	75,66	43,88	0,86	59,94	50,8	54,3	45,8	7,9	10,2	7,1	336	284	337	220	186	205	98	47,4636	108,9	0,9	26,6	336,3
113	120	116	471	472	469	84,18	45,83	0,88	59,91	51,5	46,6	47,5	14,6	7,8	8,7	256	232	281	209	181	215	78	35,5378	85,7	0,91	26,3	342,5
109	112	108	469	473	471	78,13	45,09	0,87	60,03	58	52,1	70,9	8,4	10,3	7,7	216	217	241	192	196	223	67	48,5072	82,7	0,81	26,6	337,4
95	100	97	467	470	470	67,68	42,07	0,85	60,1	52,2	60,6	48,1	8,6	7	8,2	158	172	174	183	209	217	82	26,9521	86,3	0,95	26,5	345,1
94	96	96	470	471	471	66,81	41,32	0,85	60,07	52,9	48,9	65,3	6,2	10,1	8,5	268	328	281	207	216	180	94	30,8963	98,9	0,95	26,2	351,3
100	102	100	471	471	469	71,16	42,87	0,86	60,07	53,3	51,7	52,5	7,6	11,1	8,4	299	332	272	199	222	187	93	57,6362	109,4	0,85	26,4	350,4
105	108	108	471	472	470	75,86	45,07	0,86	60,06	50,8	58,7	58,9	12,1	9,2	9,2	288	259	240	222	187	199	82	37,3603	90,1	0,91	26,4	351,1
103	115	107	471	473	472	77,36	45,26	0,86	60,01	56	49,5	54,9	12,5	8,1	7,3	227	193	187	224	197	193	53	42,5209	67,9	0,78	26,7	350,8
111	119	114	471	474	473	82,74	45,74	0,88	59,95	50,2	43,8	58,9	9,4	9,1	6,3	163	142	145	196	191	222	37	36,6978	52,1	0,71	26,5	349,1
105	110	106	470	470	470	76,01	44,59	0,86	59,93	60	46,8	61	10,5	10,4	7,1	291	280	316	204	184	220	99	32,5397	104,2	0,95	26,4	348,4
113	121	118	467	470	471	84,34	47,16	0,87	59,94	64,6	51,1	51	11,9	12,3	8,5	284	313	344	186	194	219	94	40,0438	102,2	0,92	26,0	349,6
99	104	102	473	473	473	72,42	42,77	0,86	59,95	65,8	48,2	64,7	7	9,6	8,6	230	270	267	182	213	212	79	38,2614	87,8	0,9	26,4	349,0
100	105	103	471	472	468	72,77	43,34	0,86	59,94	58,8	42,6	54,3	9,5	8,7	6,4	204	238	196	215	215	183	63	34,0038	71,6	0,88	26,7	349,1
100	104	101	469	471	468	71,85	43,05	0,86	60,02	58,4	53,9	63,6	7,6	7,9	7,3	273	264	225	186	221	197	78	44,2046	89,7	0,87	26,3	349,4
110	115	113	470	472	471	80,52	45,57	0,87	60,07	56,9	55	51,4	12,9	7,9	7,4	320	280	281	218	181	206	93	39,6178	101,1	0,92	26,3	349,3
91	98	93	472	470	473	65,61	42,16	0,84	60,06	58	52,1	47,3	8,9	7,2	9,4	326	283	302	217	211	181	92	52,1388	105,7	0,87	26,5	348,1
104	108	108	470	470	471	76,08	43,76	0,87	60,08	46,7	45,5	50,5	8,3	9	9,5	270	230	273	190	199	223	80	49,5795	94,1	0,85	26,6	350,5
94	99	98	471	471	469	68,61	41,39	0,86	60,11	60,6	57,1	64	9,6	6,9	9	190	166	204	198	188	221	50	29,6683	58,1	0,86	26,4	348,9
116	118	119	469	470	470	85,25	45,46	0,88	60,07	50,8	50,6	44,1	7,9	9,8	10,7	171	206	192	188	222	197	57	35,3254	67,1	0,85	26,4	352,6
108	114	110	468	469	465	78,62	44,97	0,87	60,09	52	48,8	56	11,4	9,1	6,8	289	355	313	182	220	205	94	45,5263	104,4	0,9	26,4	348,5
106	115	111	469	469	469	77,87	45,66	0,86	60,1	56,1	43,5	78,7	10,3	11,1	7,5	302	315	268	201	222	188	93	39,6178	101,1	0,92	26,6	350,5
103	109	105	468	475	470	74,44	44,86	0,86	60,04	56	71,4	54,9	12,2	9	9,2	264	251	224	215	212	182	72	50,2563	87,8	0,82	26,5	353,0
109	117	112	471	470	469	80,64	46,09	0,87	59,95	58,8	48,7	53,9	8,3	7,3	8,4	214	193	179	223	195	192	57	32,3034	65,5	0,87	26,5	348,4
91	93	92	470	468	469	63,75	40,45	0,84	59,91	49,6	45,3	56	11,2	9,3	9,9	262	216	238	219	183	204	68	34,8374	76,4	0,89	26,3	348,0
118	120	116	472	474	471	85,17	46,92	0,87	59,91	40,8	69,3	55,6	8,6	8,9	7,6	299	259	284	220	183	202	88	42,6203	97,8	0,9	26,3	337,6
109	113	110	472	473	471	79,04	45,48	0,87	59,91	62,1	46,9	53,2	9	11,4	8,4	312	283	348	186	200	218	100	56,6726	11			

Medición en la entrada del VFD, realizado con PQM															Medición en la salida del VFD, realizado con Multilin SR-469												
Ia	Ib	Ic	Vab	Vbc	Vca	P	Q	PF	F	THD: Ia	THD: Ib	THD: Ic	THD: Van	THD: Vbn	THD: Vcn	Ia	Ib	Ic	Vab	Vbc	Vca	P	Q	S	FP	F	Flujo mineral
(A)	(A)	(A)	(V)	(V)	(V)	(kW)	(kvar)	(I)	(Hz)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(A)	(A)	(A)	(V)	(V)	(V)	(kW)	(KVAr)	(KVA)	(I)	(Hz)	(gpm)
105	113	108	473	472	471	77,82	44,07	0,87	60,02	57,9	42,3	75,2	9,5	9,1	7	177	142	153	219	184	210	52	33,5887	61,9	0,84	26,7	337,0
102	109	104	472	473	472	74,78	44,51	0,86	60,09	49,6	56,8	62,8	11	9,3	7,7	289	312	347	182	210	219	104	44,3038	113,0	0,92	26,6	337,4
85	93	89	472	473	471	62,24	39,74	0,84	60,14	50,4	57,4	55,1	9,3	8,8	9,1	289	336	347	184	201	220	96	37,9416	103,2	0,93	26,3	335,0
106	114	112	470	471	470	78,87	45,26	0,87	60,02	49,9	54,7	43,1	12,1	7,7	7,2	243	281	260	201	218	185	81	43,7192	92,0	0,88	26,3	335,3
91	98	94	470	473	470	66,13	41,12	0,85	59,85	53,9	44	60,9	9,5	9,7	7,9	209	241	211	181	212	216	59	41,1823	72,0	0,82	26,5	335,5
103	114	106	472	474	472	76,29	45,98	0,86	59,89	47,9	48,1	56	15	7,8	9,4	153	147	168	183	212	216	41	41,8284	58,6	0,7	26,6	336,5
98	105	104	471	470	472	72,55	43,4	0,86	59,92	57,4	51,6	50	11,7	11,9	8,4	276	328	324	183	224	207	99	47,9479	110,0	0,9	26,7	335,7
105	107	107	472	471	471	75,66	43,88	0,86	59,94	50,8	54,3	45,8	7,9	10,2	7,1	336	284	337	220	186	205	98	47,4636	108,9	0,9	26,6	336,3
113	120	116	471	472	469	84,18	45,83	0,88	59,91	51,5	46,6	47,5	14,6	7,8	8,7	256	232	281	209	181	215	78	35,5378	85,7	0,91	26,3	342,5
109	112	108	469	473	471	78,13	45,09	0,87	60,03	58	52,1	70,9	8,4	10,3	7,7	216	217	241	192	196	223	67	48,5072	82,7	0,81	26,6	337,4
95	100	97	467	470	470	67,68	42,07	0,85	60,1	52,2	60,6	48,1	8,6	7	8,2	158	172	174	183	209	217	82	26,9521	86,3	0,95	26,5	345,1
94	96	96	470	471	471	66,81	41,32	0,85	60,07	52,9	48,9	65,3	6,2	10,1	8,5	268	328	281	207	216	180	94	30,8963	98,9	0,95	26,2	351,3
100	102	100	471	471	469	71,16	42,87	0,86	60,07	53,3	51,7	52,5	7,6	11,1	8,4	299	332	272	199	222	187	93	57,6362	109,4	0,85	26,4	350,4
105	108	108	471	472	470	75,86	45,07	0,86	60,06	50,8	58,7	58,9	12,1	9,2	9,2	288	259	240	222	187	199	82	37,3603	90,1	0,91	26,4	351,1
103	115	107	471	473	472	77,36	45,26	0,86	60,01	56	49,5	54,9	12,5	8,1	7,3	227	193	187	224	197	193	53	42,5209	67,9	0,78	26,7	350,8
111	119	114	471	474	473	82,74	45,74	0,88	59,95	50,2	43,8	58,9	9,4	9,1	6,3	163	142	145	196	191	222	37	36,6978	52,1	0,71	26,5	349,1
105	110	106	470	470	470	76,01	44,59	0,86	59,93	60	46,8	61	10,5	10,4	7,1	291	280	316	204	184	220	99	32,5397	104,2	0,95	26,4	348,4
113	121	118	467	470	471	84,34	47,16	0,87	59,94	64,6	51,1	51	11,9	12,3	8,5	284	313	344	186	194	219	94	40,0438	102,2	0,92	26,0	349,6
99	104	102	473	473	473	72,42	42,77	0,86	59,95	65,8	48,2	64,7	7	9,6	8,6	230	270	267	182	213	212	79	38,2614	87,8	0,9	26,4	349,0
100	105	103	471	472	468	72,77	43,34	0,86	59,94	58,8	42,6	54,3	9,5	8,7	6,4	204	238	196	215	215	183	63	34,0038	71,6	0,88	26,7	349,1
100	104	101	469	471	468	71,85	43,05	0,86	60,02	58,4	53,9	63,6	7,6	7,9	7,3	273	264	225	186	221	197	78	44,2046	89,7	0,87	26,3	349,4
110	115	113	470	472	471	80,52	45,57	0,87	60,07	56,9	55	51,4	12,9	7,9	7,4	320	280	281	218	181	206	93	39,6178	101,1	0,92	26,3	349,3
91	98	93	472	470	473	65,61	42,16	0,84	60,06	58	52,1	47,3	8,9	7,2	9,4	326	283	302	217	211	181	92	52,1388	105,7	0,87	26,5	348,1
104	108	108	470	470	471	76,08	43,76	0,87	60,08	46,7	45,5	50,5	8,3	9	9,5	270	230	273	190	199	223	80	49,5795	94,1	0,85	26,6	350,5
94	99	98	471	471	469	68,61	41,39	0,86	60,11	60,6	57,1	64	9,6	6,9	9	190	166	204	198	188	221	50	29,6683	58,1	0,86	26,4	348,9
116	118	119	469	470	470	85,25	45,46	0,88	60,07	50,8	50,6	44,1	7,9	9,8	10,7	171	206	192	188	222	197	57	35,3254	67,1	0,85	26,4	352,6
108	114	110	468	469	465	78,62	44,97	0,87	60,09	52	48,8	56	11,4	9,1	6,8	289	355	313	182	220	205	94	45,5263	104,4	0,9	26,4	348,5
106	115	111	469	469	469	77,87	45,66	0,86	60,1	56,1	43,5	78,7	10,3	11,1	7,5	302	315	268	201	222	188	93	39,6178	101,1	0,92	26,6	350,5
103	109	105	468	475	470	74,44	44,86	0,86	60,04	56	71,4	54,9	12,2	9	9,2	264	251	224	215	212	182	72	50,2563	87,8	0,82	26,5	353,0
109	117	112	471	470	469	80,64	46,09	0,87	59,95	58,8	48,7	53,9	8,3	7,3	8,4	214	193	179	223	195	192	57	32,3034	65,5	0,87	26,5	348,4
91	93	92	470	468	469	63,75	40,45	0,84	59,91	49,6	45,3	56	11,2	9,3	9,9	262	216	238	219	183	204	68	34,8374	76,4	0,89	26,3	348,0
105	110	106	470	470	470	76,01	44,59	0,86	59,93	60	46,8	61	10,5	10,4	7,1	291	280	316	204	184	220	99	32,5397	104,2	0,95	26,4	348,4
113	121	118	467	470	471	84,34	47,16	0,87	59,94	64,6	51,1	51	11,9	12,3	8,5	284	313	344	186	194	219	94	40,0438	102,2	0,92	26,0	349,6
99	104	102	473	473	473	72,42	42,77	0,86	59,95	65,8	48,2	64,7	7	9,6	8,6	230	270	267	182	213	212	79	38,2614	87,8	0,9	26,4	349,0
100	105	103	471	472	468	72,77	43,34	0,86	59,94	58,8	42,6	54,3	9,5	8,7	6,4	204	238	196	215	215	183	63	34,0038	71,6	0,88	26,7	349,1
100	104	101	469	471	468	71,85	43,05	0,86	60,02	58,4	53,9	63,6	7,6	7,9	7,3	273	264	225	186	221	197	78	44,2046	89,7	0,87	26,3	349,4
110	115	113	470	472	471	80,52	45,57	0,87	60,07	56,9	55	51,4	12,9	7,9	7,4	320	280	281	218	181	206	93	39,6178	101,1	0,92	26,3	349,3
91	98	93	472	470	473	65,61	42,16	0,84	60,06	58	52,1	47,3	8,9	7,2	9,4	326	283	302	217	211	181	92	52,1388	105,7	0,87	26,5	348,1
104	108	108	470	470	471	76,08	43,76	0,87	60,08	46,7	45,5	50,5	8,3	9	9,5	270	230	273	190	199	223	80	49,5795	94,1	0,85	26,6	350,5
94	99	98	471	471	469	68,61	41,39	0,86	60,11	60,6	57,1	64	9,6	6,9	9	190	166	204	198	188	221	50	29,6683	58,1	0,86	26,4	348,9
116	118	119	469	470	470	85,25	45,46	0,88	60,07	50,8	50,6	44,1	7,9	9,8	10,7	171	206	192	188	222	197	57	35,3254	67,1	0,85	26,4	352,6
108	114	110	468	469	465	78,62	44,97	0,87	60,09	52	48,8	56	11,4	9,1	6,8	289	355	313	182	220	205	94	45,5263	104,4	0,9	26,4	348,5
106	115	111	469	469	469	77,87	45,66	0,86	60,1	56,1	43,5	78,7	10,3	11,1	7,5	302	315	268	201	222	188	93	39,6178	101,1	0,92	26,6	350,5
103	109	105	468	475	470	74,44	44,86	0,86	60,04	56	71,4	54,9	12,2	9	9,2	264	251	224	215	212	182	72	50,2563	87,8	0,82	26,5	353,0
109	117	112	471	470	469	80,64	46,09	0,87	59,95	58,8	48,7	53,9	8,3	7,3	8,4	214	193	179	223	195	192	57	32,3034	65,5	0,87	26,5	348,4
91	93	92	470	468	469	63,75	40,45	0,84	59,91	49,6	45,3	56	11,2	9,3	9,9	262	216	238	219	183	204	68	34,8374	76,4	0,89	26,3	348,0
118	120	116	472	474	471	85,17	46,92	0,87	59,91	40,8	69,3	55,6	8,6	8,9	7,6	299	259	284	220	183	202	88	42,6203	97,8	0,9	26,3	337,6
109	113	110	472	473	471	79,04	45,48	0,87	59,91	62,1	46,9	53,2	9	11,4	8,4	312	283	348	186								

105	113	108	473	472	471	77,82	44,07	0,87	60,02	57,9	42,3	75,2	9,5	9,1	7	177	142	153	219	184	210	52	33,5887	61,9	0,84	26,7	337,0
102	109	104	472	473	472	74,78	44,51	0,86	60,09	49,6	56,8	62,8	11	9,3	7,7	289	312	347	182	210	219	104	44,3038	113,0	0,92	26,6	337,4
85	93	89	472	473	471	62,24	39,74	0,84	60,14	50,4	57,4	55,1	9,3	8,8	9,1	289	336	347	184	201	220	96	37,9416	103,2	0,93	26,3	335,0
106	114	112	470	471	470	78,87	45,26	0,87	60,02	49,9	54,7	43,1	12,1	7,7	7,2	243	281	260	201	218	185	81	43,7192	92,0	0,88	26,3	335,3
91	98	94	470	473	470	66,13	41,12	0,85	59,85	53,9	44	60,9	9,5	9,7	7,9	209	241	211	181	212	216	59	41,1823	72,0	0,82	26,5	335,5
103	114	106	472	474	472	76,29	45,98	0,86	59,89	47,9	48,1	56	15	7,8	9,4	153	147	168	183	212	216	41	41,8284	58,6	0,7	26,6	336,5
98	105	104	471	470	472	72,55	43,4	0,86	59,92	57,4	51,6	50	11,7	11,9	8,4	276	328	324	183	224	207	99	47,9479	110,0	0,9	26,7	335,7
105	107	107	472	471	471	75,66	43,88	0,86	59,94	50,8	54,3	45,8	7,9	10,2	7,1	336	284	337	220	186	205	98	47,4636	108,9	0,9	26,6	336,3
113	120	116	471	472	469	84,18	45,83	0,88	59,91	51,5	46,6	47,5	14,6	7,8	8,7	256	232	281	209	181	215	78	35,5378	85,7	0,91	26,3	342,5
109	112	108	469	473	471	78,13	45,09	0,87	60,03	58	52,1	70,9	8,4	10,3	7,7	216	217	241	192	196	223	67	48,5072	82,7	0,81	26,6	337,4
95	100	97	467	470	470	67,68	42,07	0,85	60,1	52,2	60,6	48,1	8,6	7	8,2	158	172	174	183	209	217	82	26,9521	86,3	0,95	26,5	345,1
94	96	96	470	471	471	66,81	41,32	0,85	60,07	52,9	48,9	65,3	6,2	10,1	8,5	268	328	281	207	216	180	94	30,8963	98,9	0,95	26,2	351,3
100	102	100	471	471	469	71,16	42,87	0,86	60,07	53,3	51,7	52,5	7,6	11,1	8,4	299	332	272	199	222	187	93	57,6362	109,4	0,85	26,4	350,4
105	108	108	471	472	470	75,86	45,07	0,86	60,06	50,8	58,7	58,9	12,1	9,2	9,2	288	259	240	222	187	199	82	37,3603	90,1	0,91	26,4	351,1
103	115	107	471	473	472	77,36	45,26	0,86	60,01	56	49,5	54,9	12,5	8,1	7,3	227	193	187	224	197	193	53	42,5209	67,9	0,78	26,7	350,8
111	119	114	471	474	473	82,74	45,74	0,88	59,95	50,2	43,8	58,9	9,4	9,1	6,3	163	142	145	196	191	222	37	36,6978	52,1	0,71	26,5	349,1
105	110	106	470	470	470	76,01	44,59	0,86	59,93	60	46,8	61	10,5	10,4	7,1	291	280	316	204	184	220	99	32,5397	104,2	0,95	26,4	348,4
113	121	118	467	470	471	84,34	47,16	0,87	59,94	64,6	51,1	51	11,9	12,3	8,5	284	313	344	186	194	219	94	40,0438	102,2	0,92	26,0	349,6
99	104	102	473	473	473	72,42	42,77	0,86	59,95	65,8	48,2	64,7	7	9,6	8,6	230	270	267	182	213	212	79	38,2614	87,8	0,9	26,4	349,0
100	105	103	471	472	468	72,77	43,34	0,86	59,94	58,8	42,6	54,3	9,5	8,7	6,4	204	238	196	215	215	183	63	34,0038	71,6	0,88	26,7	349,1
100	104	101	469	471	468	71,85	43,05	0,86	60,02	58,4	53,9	63,6	7,6	7,9	7,3	273	264	225	186	221	197	78	44,2046	89,7	0,87	26,3	349,4
110	115	113	470	472	471	80,52	45,57	0,87	60,07	56,9	55	51,4	12,9	7,9	7,4	320	280	281	218	181	206	93	39,6178	101,1	0,92	26,3	349,3
91	98	93	472	470	473	65,61	42,16	0,84	60,06	58	52,1	47,3	8,9	7,2	9,4	326	283	302	217	211	181	92	52,1388	105,7	0,87	26,5	348,1
104	108	108	470	470	471	76,08	43,76	0,87	60,08	46,7	45,5	50,5	8,3	9	9,5	270	230	273	190	199	223	80	49,5795	94,1	0,85	26,6	350,5
94	99	98	471	471	469	68,61	41,39	0,86	60,11	60,6	57,1	64	9,6	6,9	9	190	166	204	198	188	221	50	29,6683	58,1	0,86	26,4	348,9
116	118	119	469	470	470	85,25	45,46	0,88	60,07	50,8	50,6	44,1	7,9	9,8	10,7	171	206	192	188	222	197	57	35,3254	67,1	0,85	26,4	352,6
108	114	110	468	469	465	78,62	44,97	0,87	60,09	52	48,8	56	11,4	9,1	6,8	289	355	313	182	220	205	94	45,5263	104,4	0,9	26,4	348,5
106	115	111	469	469	469	77,87	45,66	0,86	60,1	56,1	43,5	78,7	10,3	11,1	7,5	302	315	268	201	222	188	93	39,6178	101,1	0,92	26,6	350,5
103	109	105	468	475	470	74,44	44,86	0,86	60,04	56	71,4	54,9	12,2	9	9,2	264	251	224	215	212	182	72	50,2563	87,8	0,82	26,5	353,0
109	117	112	471	470	469	80,64	46,09	0,87	59,95	58,8	48,7	53,9	8,3	7,3	8,4	214	193	179	223	195	192	57	32,3034	65,5	0,87	26,5	348,4
91	93	92	470	468	469	63,75	40,45	0,84	59,91	49,6	45,3	56	11,2	9,3	9,9	262	216	238	219	183	204	68	34,8374	76,4	0,89	26,3	348,0
105	110	106	470	470	470	76,01	44,59	0,86	59,93	60	46,8	61	10,5	10,4	7,1	291	280	316	204	184	220	99	32,5397	104,2	0,95	26,4	348,4
113	121	118	467	470	471	84,34	47,16	0,87	59,94	64,6	51,1	51	11,9	12,3	8,5	284	313	344	186	194	219	94	40,0438	102,2	0,92	26,0	349,6
99	104	102	473	473	473	72,42	42,77	0,86	59,95	65,8	48,2	64,7	7	9,6	8,6	230	270	267	182	213	212	79	38,2614	87,8	0,9	26,4	349,0
100	105	103	471	472	468	72,77	43,34	0,86	59,94	58,8	42,6	54,3	9,5	8,7	6,4	204	238	196	215	215	183	63	34,0038	71,6	0,88	26,7	349,1
100	104	101	469	471	468	71,85	43,05	0,86	60,02	58,4	53,9	63,6	7,6	7,9	7,3	273	264	225	186	221	197	78	44,2046	89,7	0,87	26,3	349,4
110	115	113	470	472	471	80,52	45,57	0,87	60,07	56,9	55	51,4	12,9	7,9	7,4	320	280	281	218	181	206	93	39,6178	101,1	0,92	26,3	349,3
91	98	93	472	470	473	65,61	42,16	0,84	60,06	58	52,1	47,3	8,9	7,2	9,4	326	283	302	217	211	181	92	52,1388	105,7	0,87	26,5	348,1
104	108	108	470	470	471	76,08	43,76	0,87	60,08	46,7	45,5	50,5	8,3	9	9,5	270	230	273	190	199	223	80	49,5795	94,1	0,85	26,6	350,5
94	99	98	471	471	469	68,61	41,39	0,86	60,11	60,6	57,1	64	9,6	6,9	9	190	166	204	198	188	221	50	29,6683	58,1	0,86	26,4	348,9
116	118	119	469	470	470	85,25	45,46	0,88	60,07	50,8	50,6	44,1	7,9	9,8	10,7	171	206	192	188	222	197	57	35,3254	67,1	0,85	26,4	352,6
108	114	110	468	469	465	78,62	44,97	0,87	60,09	52	48,8	56	11,4	9,1	6,8	289	355	313	182	220	205	94	45,5263	104,4	0,9	26,4	348,5
106	115	111	469	469	469	77,87	45,66	0,86	60,1	56,1	43,5	78,7	10,3	11,1	7,5	302	315	268	201	222	188	93	39,6178	101,1	0,92	26,6	350,5
103	109	105	468	475	470	74,44	44,86	0,86	60,04	56	71,4	54,9	12,2	9	9,2	264	251	224	215	212	182	72	50,2563	87,8	0,82	26,5	353,0
109	117	112	471	470	469	80,64	46,09	0,87	59,95	58,8	48,7	53,9	8,3	7,3	8,4	214	193	179	223	195	192	57	32,3034	65,5	0,87	26,5	348,4
91	93	92	470	468	469	63,75	40,45	0,84	59,91	49,6	45,3	56	11,2	9,3	9,9	262	216	238	219	183	204	68	34,8374	76,4	0,89	26,3	348,0
118	120	116	472	474	471	85,17	46,92	0,87	59,91	40,8	69,3	55,6	8,6	8,9	7,6	299	259	284	220	183	202	88	42,6203	97,8	0,9	26,3	337,6
109	113	110	472	473	471	79,04	45,48	0,87	59,91	62,1	46,9	53,2	9	11,4	8,4	312	283	348	186	200	218	100	56,6726	114,9	0,87	26,3	337,6
109	113	110	472	473	471	79,04	45,48	0,87	59,91	62,1	46,9	53,2	9	11,4	8,4	312	283	348	186	200	218	100	56,6726	114,9	0,87	26,3	337,6
107	109	104	476	476	472	76,36	44,6	0,86	59,96	61,3	49,5	49,4	7,8	8,9	8,7	240	240	283	182	213	214	78	52,4163	94,0	0,83	26,5	337,9
115	123	120	472	473	471	86,63	46,84																				

Medición en la entrada del VFD, realizado con PQM																Medición en la salida del VFD, realizado con Multilin SR-469											
Ia	Ib	Ic	Vab	Vbc	Vca	P	Q	PF	F	THD: Ia	THD: Ib	THD: Ic	THD: Van	THD: Vbn	THD: Vcn	Ia	Ib	Ic	Vab	Vbc	Vca	P	Q	S	FP	F	Flujo mineral
(A)	(A)	(A)	(V)	(V)	(V)	(kW)	(kvar)	()	(Hz)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(A)	(A)	(A)	(V)	(V)	(V)	(kW)	(KVAr)	(KVA)	()	(Hz)	(gpm)
45,26	0,86	60,01	56	49,5	54,9	12,5	8,1	7,3		227	193	187	224	197	193	224	197	193	53	42,5209	67,9	0,78	26,7		350,8		
45,74	0,88	59,95	50,2	43,8	58,9	9,4	9,1	6,3		163	142	145	196	191	222	196	191	222	37	36,6978	52,1	0,71	26,5		349,1		
44,59	0,86	59,93	60	46,8	61	10,5	10,4	7,1		291	280	316	204	184	220	204	184	220	99	32,5397	104,2	0,95	26,4		348,4		
47,16	0,87	59,94	64,6	51,1	51	11,9	12,3	8,5		284	313	344	186	194	219	186	194	219	94	40,0438	102,2	0,92	26,0		349,6		
42,77	0,86	59,95	65,8	48,2	64,7	7	9,6	8,6		230	270	267	182	213	212	230	213	212	79	38,2614	87,8	0,9	26,4		349,0		
43,34	0,86	59,94	58,8	42,6	54,3	9,5	8,7	6,4		204	238	196	215	215	183	204	215	183	63	34,0038	71,6	0,88	26,7		349,1		
43,05	0,86	60,02	58,4	53,9	63,6	7,6	7,9	7,3		273	264	225	186	221	197	273	221	197	78	44,2046	89,7	0,87	26,3		349,4		
45,57	0,87	60,07	56,9	55	51,4	12,9	7,9	7,4		320	280	281	218	181	206	320	181	206	93	39,6178	101,1	0,92	26,3		349,3		
42,16	0,84	60,06	58	52,1	47,3	8,9	7,2	9,4		326	283	302	217	211	181	326	211	181	92	52,1388	105,7	0,87	26,5		348,1		
43,76	0,87	60,08	46,7	45,5	50,5	8,3	9	9,5		270	230	273	190	199	223	270	199	223	80	49,5795	94,1	0,85	26,6		350,5		
41,39	0,86	60,11	60,6	57,1	64	9,6	6,9	9		190	166	204	198	188	221	190	188	221	50	29,6683	58,1	0,86	26,4		348,9		
45,46	0,88	60,07	50,8	50,6	44,1	7,9	9,8	10,7		171	206	192	188	222	197	171	222	197	57	35,3254	67,1	0,85	26,4		352,6		
44,97	0,87	60,09	52	48,8	56	11,4	9,1	6,8		289	355	313	182	220	205	289	220	205	94	45,5263	104,4	0,9	26,4		348,5		
45,66	0,86	60,1	56,1	43,5	78,7	10,3	11,1	7,5		302	315	268	201	222	188	302	222	188	93	39,6178	101,1	0,92	26,6		350,5		
44,86	0,86	60,04	56	71,4	54,9	12,2	9	9,2		264	251	224	215	212	182	264	212	182	72	50,2563	87,8	0,82	26,5		353,0		
46,09	0,87	59,95	58,8	48,7	53,9	8,3	7,3	8,4		214	193	179	223	195	192	214	195	192	57	32,3034	65,5	0,87	26,5		348,4		
40,45	0,84	59,91	49,6	45,3	56	11,2	9,3	9,9		262	216	238	219	183	204	262	183	204	68	34,8374	76,4	0,89	26,3		348,0		
44,59	0,86	59,93	60	46,8	61	10,5	10,4	7,1		291	280	316	204	184	220	291	184	220	99	32,5397	104,2	0,95	26,4		348,4		
47,16	0,87	59,94	64,6	51,1	51	11,9	12,3	8,5		284	313	344	186	194	219	284	194	219	94	40,0438	102,2	0,92	26,0		349,6		
42,77	0,86	59,95	65,8	48,2	64,7	7	9,6	8,6		230	270	267	182	213	212	230	213	212	79	38,2614	87,8	0,9	26,4		349,0		
43,34	0,86	59,94	58,8	42,6	54,3	9,5	8,7	6,4		204	238	196	215	215	183	63	215	183	63	34,0038	71,6	0,88	26,7		349,1		
43,05	0,86	60,02	58,4	53,9	63,6	7,6	7,9	7,3		273	264	225	186	221	197	78	221	197	78	44,2046	89,7	0,87	26,3		349,4		
45,57	0,87	60,07	56,9	55	51,4	12,9	7,9	7,4		320	280	281	218	181	206	93	181	206	93	39,6178	101,1	0,92	26,3		349,3		
42,16	0,84	60,06	58	52,1	47,3	8,9	7,2	9,4		326	283	302	217	211	181	92	211	181	92	52,1388	105,7	0,87	26,5		348,1		
43,76	0,87	60,08	46,7	45,5	50,5	8,3	9	9,5		270	230	273	190	199	223	80	199	223	80	49,5795	94,1	0,85	26,6		350,5		
41,39	0,86	60,11	60,6	57,1	64	9,6	6,9	9		190	166	204	198	188	221	50	188	221	50	29,6683	58,1	0,86	26,4		348,9		
45,46	0,88	60,07	50,8	50,6	44,1	7,9	9,8	10,7		171	206	192	188	222	197	57	222	197	57	35,3254	67,1	0,85	26,4		352,6		
44,97	0,87	60,09	52	48,8	56	11,4	9,1	6,8		289	355	313	182	220	205	94	220	205	94	45,5263	104,4	0,9	26,4		348,5		
45,66	0,86	60,1	56,1	43,5	78,7	10,3	11,1	7,5		302	315	268	201	222	188	93	222	188	93	39,6178	101,1	0,92	26,6		350,5		
44,86	0,86	60,04	56	71,4	54,9	12,2	9	9,2		264	251	224	215	212	182	72	212	182	72	50,2563	87,8	0,82	26,5		353,0		
46,09	0,87	59,95	58,8	48,7	53,9	8,3	7,3	8,4		214	193	179	223	195	192	57	195	192	57	32,3034	65,5	0,87	26,5		348,4		
40,45	0,84	59,91	49,6	45,3	56	11,2	9,3	9,9		262	216	238	219	183	204	68	183	204	68	34,8374	76,4	0,89	26,3		348,0		
46,92	0,87	59,91	40,8	69,3	55,6	8,6	8,9	7,6		299	259	284	220	183	202	88	202	183	88	42,6203	97,8	0,9	26,3		337,6		
45,48	0,87	59,91	62,1	46,9	53,2	9	11,4	8,4		312	283	348	186	200	218	100	218	200	100	56,6726	114,9	0,87	26,3		337,6		
44,6	0,86	59,96	61,3	49,5	49,4	7,8	8,9	8,7		240	240	283	182	213	214	78	214	213	78	52,4163	94,0	0,83	26,5		337,9		
46,84	0,88	60,02	44,2	49,6	45,2	8,4	7,7	8,2		270	222	228	224	191	195	68	195	191	68	42,1426	80,0	0,85	26,5		337,8		
44,07	0,87	60,02	57,9	42,3	75,2	9,5	9,1	7		177	142	153	219	184	210	52	210	184	52	33,5887	61,9	0,84	26,7		337,0		
44,51	0,86	60,09	49,6	56,8	62,8	11	9,3	7,7		289	312	347	182	210	219	104	219	210	104	44,3038	113,0	0,92	26,6		337,4		
39,74	0,84	60,14	50,4	57,4	55,1	9,3	8,8	9,1		289	336	347	184	201	220	96	220	201	96	37,9416	103,2	0,93	26,3		335,0		
45,26	0,87	60,02	49,9	54,7	43,1	12,1	7,7	7,2		243	281	260	201	218	185	81	185	218	81	43,7192	92,0	0,88	26,3		335,3		
41,12	0,85	59,85	53,9	44	60,9	9,5	9,7	7,9		209	241	211	181	212	216	59	216	212	59	41,1823	72,0	0,82	26,5		335,5		
45,98	0,86	59,89	47,9	48,1	56	15	7,8	9,4		153	147	168	183	212	216	41	216	212	41	41,8284	58,6	0,7	26,6		336,5		
43,4	0,86	59,92	57,4	51,6	50	11,7	11,9	8,4		276	328	324	183	224	207	99	207	224	99	47,9479	110,0	0,9	26,7		335,7		
43,88	0,86	59,94	50,8	54,3	45,8	7,9	10,2	7,1		336	284	337	220	186	205	98	205	186	98	47,4636	108,9	0,9	26,6		336,3		
45,83	0,88	59,91	51,5	46,6	47,5	14,6	7,8	8,7		256	232	281	209	181	215	78	215	181	78	35,5378	85,7	0,91	26,3		342,5		
45,09	0,87	60,03	58	52,1	70,9	8,4	10,3	7,7		216	217	241	192	196	223	67	223	196	67	48,5072	82,7	0,81	26,6		337,4		
42,07	0,85	60,1	52,2	60,6	48,1	8,6	7	8,2		158	172	174	183	209	217	82	217	209	82	26,9521	86,3	0,95	26,5		345,1		
41,32	0,85	60,07	52,9	48,9	65,3	6,2	10,1	8,5		268	328	281	207	216	180	94	180	216	94	30,8963	98,9	0,95	26,2		351,3		
42,87	0,86	60,07	53,3	51,7	52,5	7,6	11,1	8,4		299	332	272	199	222	187	93	222	187	93	57,6362	109,4	0,85	26,4		350,4		
45,07	0,86	60,06	50,8	58,7	58,9	12,1	9,2	9,2		288	259	240	222	187	199	82	199	187	82	37,3603	90,1	0,91	26,4		351,1		

Medición en la entrada del VFD, realizado con PQM															Medición en la salida del VFD, realizado con Multilín SR-469												
Ia	Ib	Ic	Vab	Vbc	Vca	P	Q	PF	F	THD: Ia	THD: Ib	THD: Ic	THD: Van	THD: Vbn	THD: Vcn	Ia	Ib	Ic	Vab	Vbc	Vca	P	Q	S	FP	F	Flujo mineral
(A)	(A)	(A)	(V)	(V)	(V)	(kW)	(kvar)	(I)	(Hz)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(A)	(A)	(A)	(V)	(V)	(V)	(kW)	(KVAr)	(KVA)	(I)	(Hz)	(gpm)
103	115	107	471	473	472	77,36	45,26	0,86	60,01	56	49,5	54,9	12,5	8,1	7,3	227	193	187	224	197	193	53	42,5209	67,9	0,78	26,7	350,8
105	113	108	473	472	471	77,82	44,07	0,87	60,02	57,9	42,3	75,2	9,5	9,1	7	177	142	153	219	184	210	52	33,5887	61,9	0,84	26,7	337,0
102	109	104	472	473	472	74,78	44,51	0,86	60,09	49,6	56,8	62,8	11	9,3	7,7	289	312	347	182	210	219	104	44,3038	113,0	0,92	26,6	337,4
85	93	89	472	473	471	62,24	39,74	0,84	60,14	50,4	57,4	55,1	9,3	8,8	9,1	289	336	347	184	201	220	96	37,9416	103,2	0,93	26,3	335,0
106	114	112	470	471	470	78,87	45,26	0,87	60,02	49,9	54,7	43,1	12,1	7,7	7,2	243	281	260	201	218	185	81	43,7192	92,0	0,88	26,3	335,3
91	98	94	470	473	470	66,13	41,12	0,85	59,85	53,9	44	60,9	9,5	9,7	7,9	209	241	211	181	212	216	59	41,1823	72,0	0,82	26,5	335,5
103	114	106	472	474	472	76,29	45,98	0,86	59,89	47,9	48,1	56	15	7,8	9,4	153	147	168	183	212	216	41	41,8284	58,6	0,7	26,6	336,5
98	105	104	471	470	472	72,55	43,4	0,86	59,92	57,4	51,6	50	11,7	11,9	8,4	276	328	324	183	224	207	99	47,9479	110,0	0,9	26,7	335,7
105	107	107	472	471	471	75,66	43,88	0,86	59,94	50,8	54,3	45,8	7,9	10,2	7,1	336	284	337	220	186	205	98	47,4636	108,9	0,9	26,6	336,3
113	120	116	471	472	469	84,18	45,83	0,88	59,91	51,5	46,6	47,5	14,6	7,8	8,7	256	232	281	209	181	215	78	35,5378	85,7	0,91	26,3	342,5
109	112	108	469	473	471	78,13	45,09	0,87	60,03	58	52,1	70,9	8,4	10,3	7,7	216	217	241	192	196	223	67	48,5072	82,7	0,81	26,6	337,4
95	100	97	467	470	470	67,68	42,07	0,85	60,1	52,2	60,6	48,1	8,6	7	8,2	158	172	174	183	209	217	82	26,9521	86,3	0,95	26,5	345,1
94	96	96	470	471	471	66,81	41,32	0,85	60,07	52,9	48,9	65,3	6,2	10,1	8,5	268	328	281	207	216	180	94	30,8963	98,9	0,95	26,2	351,3
100	102	100	471	469	471	71,16	42,87	0,86	60,07	53,3	51,7	52,5	7,6	11,1	8,4	299	332	272	199	222	187	93	57,6362	109,4	0,85	26,4	350,4
105	108	108	471	472	470	75,86	45,07	0,86	60,06	50,8	58,7	58,9	12,1	9,2	9,2	288	259	240	222	187	199	82	37,3603	90,1	0,91	26,4	351,1
103	115	107	471	473	472	77,36	45,26	0,86	60,01	56	49,5	54,9	12,5	8,1	7,3	227	193	187	224	197	193	53	42,5209	67,9	0,78	26,7	350,8
111	119	114	471	474	473	82,74	45,74	0,88	59,95	50,2	43,8	58,9	9,4	9,1	6,3	163	142	145	196	191	222	37	36,6978	52,1	0,71	26,5	349,1
105	110	106	470	470	470	76,01	44,59	0,86	59,93	60	46,8	61	10,5	10,4	7,1	291	280	316	204	184	220	99	32,5397	104,2	0,95	26,4	348,4
113	121	118	467	470	471	84,34	47,16	0,87	59,94	64,6	51,1	51	11,9	12,3	8,5	284	313	344	186	194	219	94	40,0438	102,2	0,92	26,0	349,6
99	104	102	473	473	473	72,42	42,77	0,86	59,95	65,8	48,2	64,7	7	9,6	8,6	230	270	267	182	213	212	79	38,2614	87,8	0,9	26,4	349,0
100	105	103	471	472	468	72,77	43,34	0,86	59,94	58,8	42,6	54,3	9,5	8,7	6,4	204	238	196	215	215	183	63	34,0038	71,6	0,88	26,7	349,1
100	104	101	469	471	468	71,85	43,05	0,86	60,02	58,4	53,9	63,6	7,6	7,9	7,3	273	264	225	186	221	197	78	44,2046	89,7	0,87	26,3	349,4
110	115	113	470	472	471	80,52	45,57	0,87	60,07	56,9	55	51,4	12,9	7,9	7,4	320	280	281	218	181	206	93	39,6178	101,1	0,92	26,3	349,3
91	98	93	472	470	473	65,61	42,16	0,84	60,06	58	52,1	47,3	8,9	7,2	9,4	326	283	302	217	211	181	92	52,1388	105,7	0,87	26,5	348,1
104	108	108	470	470	471	76,08	43,76	0,87	60,08	46,7	45,5	50,5	8,3	9	9,5	270	230	273	190	199	223	80	49,5795	94,1	0,85	26,6	350,5
94	99	98	471	471	469	68,61	41,39	0,86	60,11	60,6	57,1	64	9,6	6,9	9	190	166	204	198	188	221	50	29,6683	58,1	0,86	26,4	348,9
116	118	119	469	470	470	85,25	45,46	0,88	60,07	50,8	50,6	44,1	7,9	9,8	10,7	171	206	192	188	222	197	57	35,3254	67,1	0,85	26,4	352,6
108	114	110	468	469	465	78,62	44,97	0,87	60,09	52	48,8	56	11,4	9,1	6,8	289	355	313	182	220	205	94	45,5263	104,4	0,9	26,4	348,5
106	115	111	469	469	469	77,87	45,66	0,86	60,1	56,1	43,5	78,7	10,3	11,1	7,5	302	315	268	201	222	188	93	39,6178	101,1	0,92	26,6	350,5
103	109	105	468	475	470	74,44	44,86	0,86	60,04	56	71,4	54,9	12,2	9	9,2	264	251	224	215	212	182	72	50,2563	87,8	0,82	26,5	353,0
109	117	112	471	470	469	80,64	46,09	0,87	59,95	58,8	48,7	53,9	8,3	7,3	8,4	214	193	179	223	195	192	57	32,3034	65,5	0,87	26,5	348,4
91	93	92	470	468	469	63,75	40,45	0,84	59,91	49,6	45,3	56	11,2	9,3	9,9	262	216	238	219	183	204	68	34,8374	76,4	0,89	26,3	348,0
118	120	116	472	474	471	85,17	46,92	0,87	59,91	40,8	69,3	55,6	8,6	8,9	7,6	299	259	284	220	183	202	88	42,6203	97,8	0,9	26,3	337,6
109	113	110	472	473	471	79,04	45,48	0,87	59,91	62,1	46,9	53,2	9	11,4	8,4	312	283	348	186	200	218	100	56,6726	114,9	0,87	26,3	337,6
107	109	104	476	476	472	76,36	44,6	0,86	59,96	61,3	49,5	49,4	7,8	8,9	8,7	240	240	283	182	213	214	78	52,4163	94,0	0,83	26,5	337,9
115	123	120	472	473	471	86,63	46,84	0,88	60,02	44,2	49,6	45,2	8,4	7,7	8,2	270	222	228	224	191	195	68	42,1426	80,0	0,85	26,5	337,8
105	113	108	473	472	471	77,82	44,07	0,87	60,02	57,9	42,3	75,2	9,5	9,1	7	177	142	153	219	184	210	52	33,5887	61,9	0,84	26,7	337,0
102	109	104	472	473	472	74,78	44,51	0,86	60,09	49,6	56,8	62,8	11	9,3	7,7	289	312	347	182	210	219	104	44,3038	113,0	0,92	26,6	337,4
85	93	89	472	473	471	62,24	39,74	0,84	60,14	50,4	57,4	55,1	9,3	8,8	9,1	289	336	347	184	201	220	96	37,9416	103,2	0,93	26,3	335,0
106	114	112	470	471	470	78,87	45,26	0,87	60,02	49,9	54,7	43,1	12,1	7,7	7,2	243	281	260	201	218	185	81	43,7192	92,0	0,88	26,3	335,3
91	98	94	470	473	470	66,13	41,12	0,85	59,85	53,9	44	60,9	9,5	9,7	7,9	209	241	211	181	212	216	59	41,1823	72,0	0,82	26,5	335,5
103	114	106	472	474	472	76,29	45,98	0,86	59,89	47,9	48,1	56	15	7,8	9,4	153	147	168	183	212	216	41	41,8284	58,6	0,7	26,6	336,5
98	105	104	471	470	472	72,55	43,4	0,86	59,92	57,4	51,6	50	11,7	11,9	8,4	276	328	324	183	224	207	99	47,9479	110,0	0,9	26,7	335,7
105	107	107	472	471	471	75,66	43,88	0,86	59,94	50,8	54,3	45,8	7,9	10,2	7,1	336	284	337	220	186	205	98	47,4636	108,9	0,9	26,6	336,3
113	120	116	471	472	469	84,18	45,83	0,88	59,91	51,5	46,6	47,5	14,6	7,8	8,7	256	232	281	209	181	215	78	35,5378	85,7	0,91	26,3	342,5
109	112	108	469	473	471	78,13	45,09	0,87	60,03	58	52,1	70,9	8,4	10,3	7,7	216	217	241	192	196	223	67	48,5072	82,7	0,81	26,6	337,4
95	100	97	467	470	470	67,68	42,07	0,85	60,1	52,2	60,6	48,1	8,6	7	8,2	158	172	174	183	209	217	82	26,9521	86,3	0,95	26,5	345,1
94	96	96	470	471	471	66,81	41,32	0,85	60,07	52,9	48,9	65,3	6,2	10,1	8,5	268	328	2									

Anexo 6: Precio del filtro de armónico propuesto.



GE Tranquell Surge Arrester 9L15ECC001 650V 3P 9L15ECC-001 3 Pole

Item **Used**
condition:

[Add to W](#)

Quantity: 7 available

Price: **US \$18.00**

[Buy It Now](#)

[Add to cart](#)

[Add to Watch list](#)

Seller information

[southbendindustrial](#) (38363)  

99,8% Positive feedback

[Save this seller](#)

[See other items](#)

Visit store: [southbendindustrial](#)

Anexo 7 Fotografías realizadas al accionamiento

