

CINAREM 2017

Sistema de supervisión de eficiencia en sistemas de bombeo de pulpa laterítica de la industria del níquel.

Autores: MSc Gabriel Hernández Ramírez. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, ghdezr@ismm.edu.cu

Lic. Liliana Rojas Hidalgo. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, lrhidalgo@ismm.edu.cu

Ing. Eduardo Pelegrin Rodríguez, epelegrin@moanickel.com.cu. Empresa Pedro Soto Alba Moa Níquel S.A.

MSc. Oris Silva Dieguez. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, silva@ismm.edu.cu

Resumen

La presente investigación permitió determinar la influencia de los parámetros físico – mecánicos y reológicos de las pulpas lateríticas con el sistema de bombeo de este tipo de hidromezcla, se obtiene los modelos matemáticos que describen los parámetros racionales de operación a partir un sistema de adquisición de datos, supervisión y control de del sistema de bombeo, con programación en el Cicode del Citect que permite a partir de las mediciones recogidas por el Controlador Lógico Programable y el Analizador de Red determinar el rendimiento del accionamiento.

1. INTRODUCCIÓN

A raíz de la crisis energética de los años 70 del siglo XX y con el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero y del progresivo cambio climático, la eficiencia energética se convirtió en una meta que motiva a las sociedades a trazar políticas y regulaciones que propicien el mejoramiento de la calidad y la eficiencia del suministro energético (Londoño-Parra & Ramírez-Echavarría, 2013).

En las aplicaciones industriales se estima que solamente en el accionamiento de bombas, ventiladores, compresores y aplicaciones de tracción mecánica, los

motores de inducción consumen cerca del 70% de la energía eléctrica (Brunner *et al.*, 2011; Brunner, 2012). En las industrias como la química y de extracción y refinación de petróleo los accionamientos de bombas pueden superar el 50 % del consumo total de energía eléctrica (World Pumps).

En Cuba, según la Unión Nacional Eléctrica (UNE) el consumo de electricidad facturado en el año 2015 fue de 19,36 TWh, de ellos corresponden al sector estatal 8,39 TWh y a la industria 4,6 TWh. Hasta junio de 2016 ascendió a 7,23 TWh, el sector estatal es responsable de un 3,1 TWh para un 43,03 % del consumo, donde los motores de inducción constituyen los consumidores principales de la energía total (Ofina Nacional de Estadísticas e Información, 2015). En la industria con tecnologías hidrometalúrgicas los motores de baja tensión pueden alcanzar hasta el 45,9 % de la potencia instalada (Romero, 2014).

Las tecnologías hidrometalúrgicas de obtención de níquel y cobalto se aplican actualmente tanto en materias primas de tipos sulfuros y oxidadas, con la aplicación de tecnología de carbonato amoniacal (Proceso Caron), en la actualidad existen varias fábricas que laboran bajo esta tecnología Queensland Níquel, Australia; Tocantins, Brasil; Nonoc, Filipinas y Ernesto Che Guevara, Moa, Cuba. Este proceso tiene como desventaja relativa el alto consumo de energía y combustibles (P.T, 1979; D. Robert, 1991). La tecnología de lixiviación ácida, puesta en marcha por primera vez en Cuba, ha resultado ser la de mayor eficiencia metalúrgica, actualmente es la empresa cubano-canadiense “Comandante Pedro Sotto Alba - Moa Nickel S.A.” (ECPSA). Desde la década del 90 se ponen en marcha otros proyectos Murrin Murrin, Bulong, Cawse y Calliope en Australia y Ambatovy, Madagascar en el sur de África, los cuales en esencia son variantes de la tecnología ácida (Foris M. D, 1997; Venture, 1998; Cairns, 1998; Chalkley, 1998; Project, 2015).

En particular, la industria cubana del níquel inmersa en un creciente y constante ascenso en sus producciones, demanda cada vez más un apreciable consumo de energía y es la eficiencia uno de los principales factores que decide la rentabilidad de sus empresas. Las nuevas tendencias relacionadas con el incremento de los niveles productivos y el vertiginoso desarrollo de la

Unión del Níquel y el Ministerio de Energía y Minas (MINEM), requieren de que cada día se perfeccionen los procesos tecnológicos y se eleven la eficiencia metalúrgica y energética de los mismos, debido a las fluctuaciones de los precios de los combustibles y a la exigencia de ahorro de energía como vía hacia el desarrollo sustentable, el valor de la eficiencia energética juega un papel fundamental y es principio tecnológico esencial para lograr el desarrollo socioeconómico tal como se refleja en los Lineamientos y Ejes Estratégicos de la política económica y social del VII Congreso del Partido Comunista de Cuba

En las industrias que procesan el mineral laterítico cubano, los sistemas de transporte de fluidos son consumidores de una parte importante de la energía utilizada con fines productivos. Según (Leonhard, 1996; Cleland, 1996), más del 60 % de la energía total que se consume en la transportación de fluidos es mediante los accionamientos eléctricos con motores de inducción, y de este consumo, más del 55% se utiliza en los accionamientos de bombas. Se estima, además, que más del 20 % de la energía que se puede ahorrar está asociada con el mejoramiento del rendimiento en los motores y los subsistemas mecánicos (Ruchanski, 2010). Es evidente, entonces, la especial importancia que tiene proponer medidas de eficiencia energética que contribuyan a mejorar los índices de rendimientos de estos sistemas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El transporte hidráulico que se realiza en la Empresa Comandante Pedro Sotto Alba consiste en trasladar pulpas lateríticas por gravedad y a presión. El transporte por gravedad se realiza desde la planta de preparación de pulpa hasta los espesadores de pulpa, con una suspensión de 25 – 30 % de peso en sólido, por una tubería de hormigón de 610 mm de diámetro y 5129 m de longitud. El transporte a presión se realiza desde los espesadores de pulpa hasta la planta de lixiviación con ayuda de bombas centrífugas, como se representa en la figura 1.

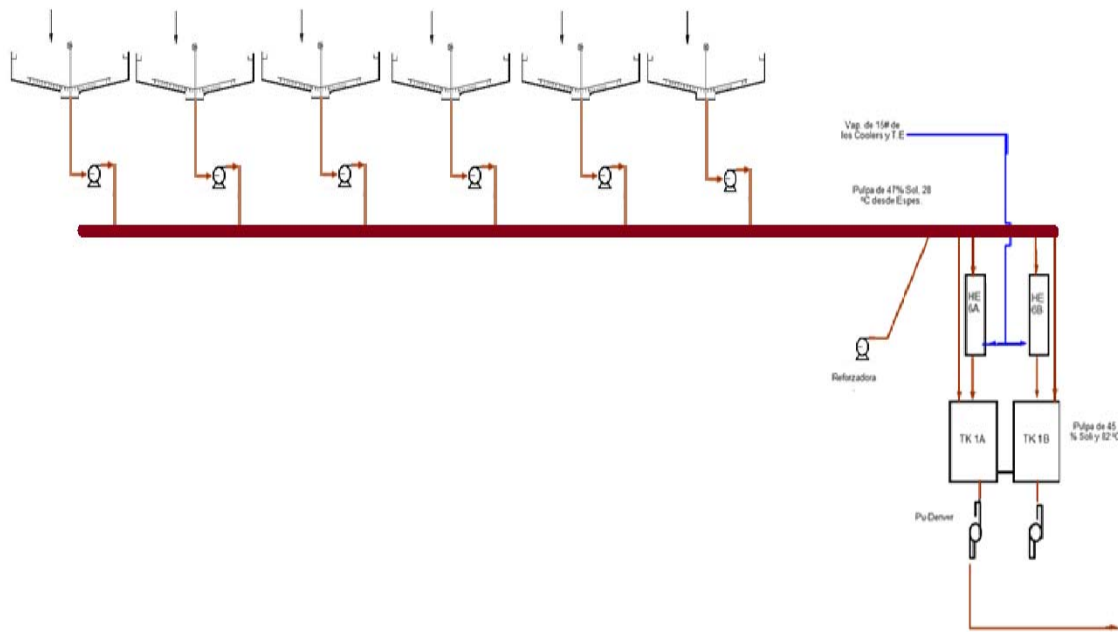


Figura 1. Sistema de bombeo de pulpa cruda y precalentada

Existen condiciones que afectan negativamente la eficiencia del equipo de bombeo, entre las principales se encuentran: pérdidas volumétricas, hidráulicas y mecánicas; cavitación; características del líquido; y condiciones de instalación.

Entre las condiciones de instalación que influyen negativamente en la eficiencia del equipo de bombeo; podemos citar: pérdidas en motor, acoplamiento y bomba; alineación; impulsores y recorte de impulsores. El rendimiento es máximo en el caudal que determina al llamado de Punto de Diseño de la Bomba (PDB), y disminuye tanto para caudales superiores como inferiores. Usualmente, tanto la potencia como el rendimiento se refieren únicamente a la bomba, sin tener en cuenta el motor que se utiliza para accionarla. Los valores máximos de rendimiento se encuentran entre el 85 y el 90%. La eficiencia garantizada debe concordar con el punto de operación definido por el punto de intersección entre la curva flujo-carga y la línea recta que va desde el origen y pasa a través del punto de operación, (Blanco, 1994) .

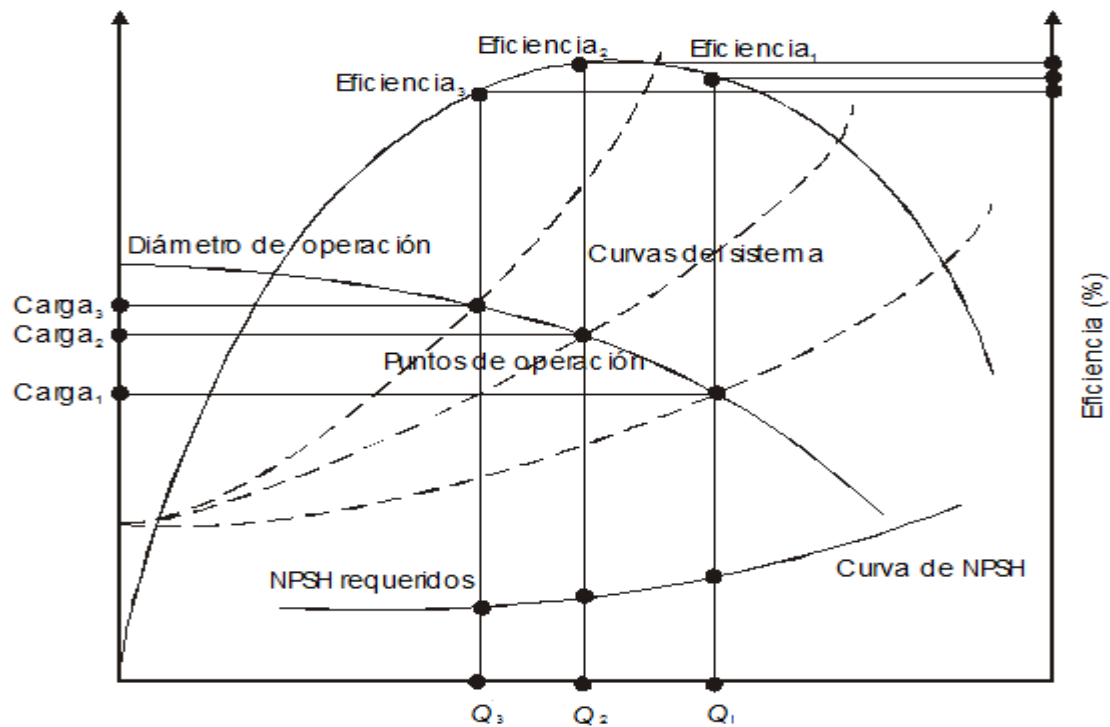


Figura 2. Punto de Operación para caudal variable.

El estándar (Intitute, 1994) ha editado gráficas que son de gran ayuda para predecir la eficiencia de equipos de bombeo pero en dicha predicción muchas veces no se incluyen otros efectos perjudiciales como el manejo de mezclas viscosas, las cuales se tratan en esta investigación.

Para un sistema de transporte de pulpas lateríticas cruda y precalentada, es importante considerar la temperatura y presión de operación, la configuración del sistema de impulsión, la longitud y diámetro de la tubería con el costo del material, relacionados estos factores con la velocidad del fluido y sus propiedades físicas y reológicas (Ramírez, 2015). El análisis de los costos de operación del sistema de transporte bajo los factores antes mencionados, conduce a la determinación de los parámetros racionales de operación.

2.1. Medición de parámetros energéticos

Criterios básicos para el cálculo de los puntos de operación de la bomba:

- Temperatura de la pulpa: 27°C
- Densidad $\rho_{\text{sólido seco}} = 3550 \text{ kg/m}^3$
- Densidad $\rho_{\text{Agua}} = 996,55 \text{ kg/m}^3$

- Porcentajes de sólido
- Caudal máximo
- Diámetro y longitud de las tuberías
- Diferencial de altura entre la descarga y la succión
- Número de accesorios
- Cotas de ubicación de la descarga y la succión con respecto al eje de la bomba.

Tabla 1. Condiciones de diseño de la red

Tramo	Dn (mm)	Q (m ³ /h)	V (m/s)	Re	f	H _f (m)	H _{Acc}	H _d (m)	Pd (KPa)
0-1	203,2	456	3,93	79 881,8	0,0377	0,064	8,06	30	430

A partir de los puntos de operación de la bomba podemos calcular la potencia desarrollada por esta para diferentes porcentajes de sólido, así como su rendimiento y con la potencia de entrada del motor, medida con un analizador de red Multilin PQM II, calcular el rendimiento del conjunto motor-bomba. Para esto utilizaremos:

- GE Multilin PQM II
- Variador de velocidad Yaskawa F7
- Flujómetros ENDRESS-HAUSER electromagnéticos
- Manómetros ASHCROFT diferenciales
- Valores provistos por el Citect SCADA v7.10 sp3
- Software de cálculo Microsoft Excel 2010

Potencia consumida por la bomba:

$$N_b = \rho \cdot Q \cdot g \cdot H ; W \quad (1)$$

Donde:

ρ - densidad del fluido a transportar, (kg/m³)

g - aceleración de la gravedad, (m/s²)

H- pérdida o carga a que está impuesta a vencer la bomba, (m)

Q- caudal que transporta la bomba, (m³/s)

Potencia útil que se le entrega al eje de la bomba:

$$N_{eje} = \frac{\rho \cdot Q \cdot g \cdot H}{1000 \cdot \eta} ; \text{ kW} \quad (2)$$

Donde:

ρ - densidad del fluido a transportar, (kg/m³)

g - aceleración de la gravedad, (m/s²)

H- pérdida o carga que está impuesta vencer a la bomba, (m)

Q- caudal que transporta la bomba, (m³/s)

η - eficiencia de la bomba, (de 0 \geq 1)

Potencia real que consume el motor:

$$N_m = (1,05 \div 1,1) \cdot N_{eje} ; \text{ kW} \quad (3)$$

El valor del coeficiente (1,05...1,1) es la reserva de energía del motor según los estándares de fabricación del mismo.

El rendimiento del motor:

$$\eta_m = \frac{N_b}{N_{eje}} * 100 \quad (4)$$

Donde:

N_{eje} : Potencia de entrada a la bomba

N_b : Potencia hidráulica

El costo de bombeo se expresa mediante la siguiente ecuación (Laurencio 2012):

$$C_{bom} = \frac{t_{el} \cdot P_H}{\eta_m \times \eta_{bom}} \times P_H \times 10^{-3} \quad (5)$$

Donde:

C_{bom} : Costo de bombeo de la instalación, (CUC/año*m)

P_H : Potencia hidráulica, (W)

t_{el} : Tarifa eléctrica, (CUC/ kWh)

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

η_b : Rendimiento de la bomba, (adim)

η_m : Rendimiento del motor eléctrico, (adim)

L: Longitud total de la tubería, (m)

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Rendimiento del accionamiento.

Conociendo los datos de caudal, altura y el peso específico del fluido se puede determinar la potencia hidráulica agregada por la bomba al fluido si además se tiene la curva de isoeficiencia, se determina el rendimiento de la bomba. Y también conociendo la potencia eléctrica que demanda el motor, por medio de la ecuación (4) se calculara el rendimiento del accionamiento.

Los datos necesarios para determinar el rendimiento en el sistema de bombeo se recogerán a través del sistema SCADA, como se observa en la figura 3.

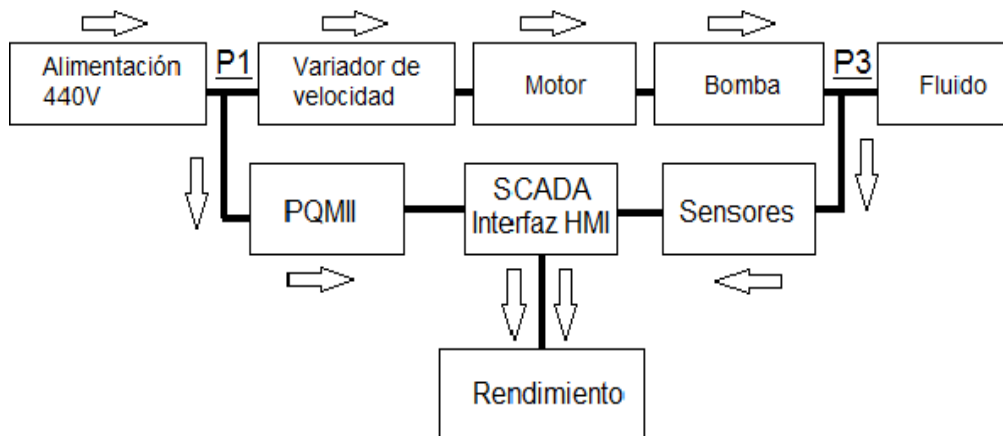


Figura 3. Flujo de Potencia en el accionamiento hasta el sistema SCADA.

Existen otras formas de determinar el rendimiento de la instalación a partir de determinar el rendimiento del motor eléctrico y la potencia a la entrada del motor.

Existe un sistema de supervisión denominada CitectSCADA. Versión 7.10 en la empresa que se dedica a medir, almacenar y procesar estadística y

gráficamente muchas variables del proceso pero para el análisis del sistema de bombeo solo considera: las corriente de trabajo de los motores perteneciente a las bombas así como velocidad del variador en por ciento, caudal de salida, porcentaje de sólido y densidad del fluido. Es necesario destacar que la eficiencia del objeto de estudio del presente trabajo no se determina a partir, ni mediante, el uso del CitectSCADA, lo cual es un claro argumento que justifica la investigación por lo que se crearon otras pantallas una de estas visualiza los datos recogidos por el PQMII que serán de gran utilidad para el cálculo del rendimiento del accionamiento. En la misma se muestra potencia real, factor de potencia, las corrientes y tenciones de línea, en estas dos últimas su comportamiento puede observar en los gráficos de tendencia de dicha pantalla, ver figura 4.

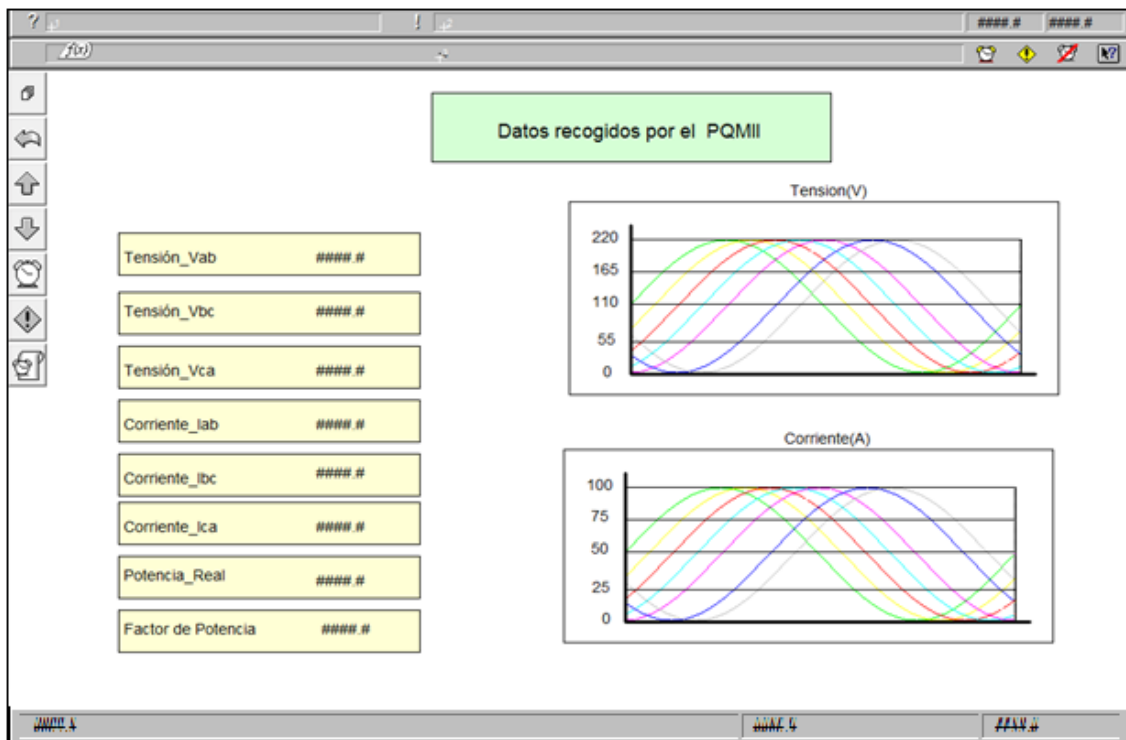


Figura 4. Pantalla que muestra los datos recogidos por el PQMII.

Para el cálculo del rendimiento se creara otra pantalla en la que se visualizara la potencia demandada por el motor, la potencia hidráulica agregada por la bomba al fluido la cual será calculada a través de los datos recogidos por los sensores y utilizando el Cicode del Citect, ver figura 5.

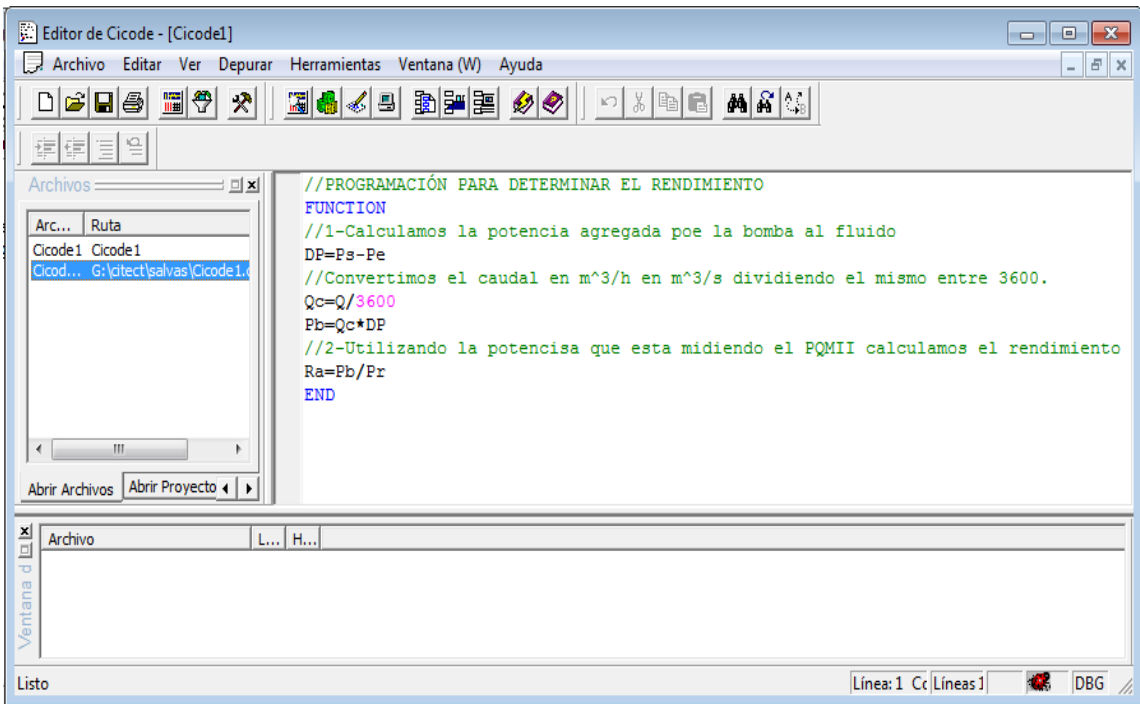


Figura 5. Editor del Cicode del Citect.

El rendimiento podrá ser observado a través de los gráficos de tendencia. Lo que permitirá mantener la bomba trabajando en el mejor punto de operación. Ver figura 6.

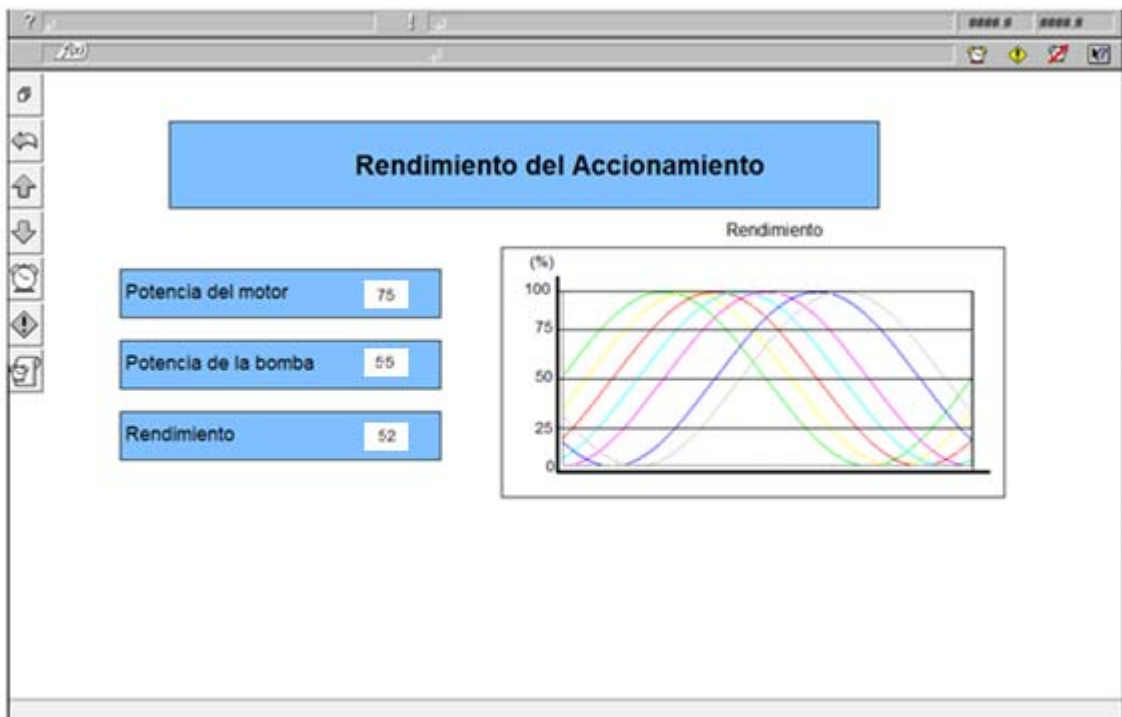


Figura 6. Pantalla que muestra el rendimiento de la instalación.

Se propone un control PID, que a través de un lazo de retroalimentación permite regular la velocidad, temperatura, presión y flujo entre otras variables de un proceso en general. El controlador PID calcula la diferencia entre nuestra variable real contra la variable deseada. En sistemas de bombeo, regularmente nos interesa mantener la presión o flujo constante, por lo tanto, el control PID mide la diferencia entre la presión en la tubería y la presión requerida y actúa variando la velocidad del motor para que podamos tener nuestra presión o flujo constante.

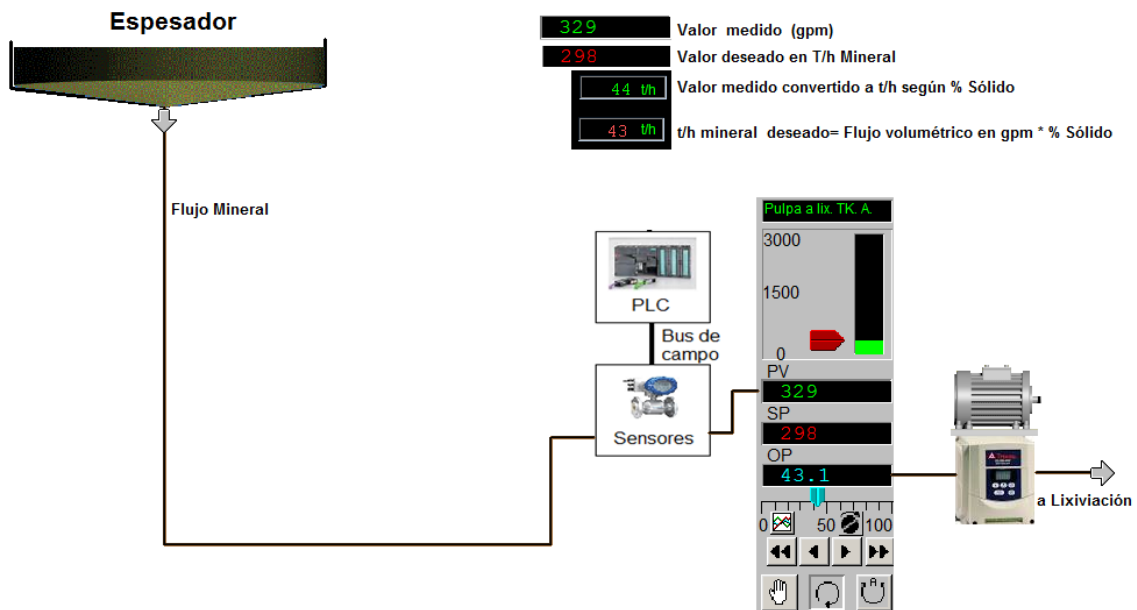


Figura 7. Controlador PID

4. CONCLUSIONES

1. Con los recursos informáticos que ofrece el CITECT fue posible construir un sistema supervisor que permite la adquisición de datos, la supervisión y el control del proceso de hidrot transporte de hidromezcla laterítica
2. Se logró crear una programación en el Cicode del Citect que permite determinar el rendimiento del accionamiento para cada punto de operación de la bomba.

5. REFERENCIAS

- BLANCO, M. E., VELARDE. S .S., FERNÁNDEZ, J.F. 1994:** *Sistemas de bombeo*. Depósito Legal AS-880-94. Gijón. ISBN 84-604-9677-5.
- BRUNNER, C. U. 2012:** *Efficient Electric Motor Systems*. Stockholm, Swedish.
- BRUNNER, C. U.; P. WAIDE & M. JAKOB. 2011.** Harmonized Standards for Motors and Systems. Global progress report and outlook. *Evento 7th International Conference on Energy Efficiency in Motor Driven Systems 2011-EEMODS'11*, Alexandria VA: 4E Electric Motor Systems Annex EMSA, Operating Agent.
- CAIRNS, D. T. 1998.** Bulong Nickel laterite proyect. *Cobalt Development*.
- CLELAND, J., TURNER W. 1996.** Fuzzy logic control of electric motors and drives: feasibility study. *EPA*, 4, 6.
- CHALKLEY, M. 1998:** El proceso de lixiviación ácida a presión para las lateritas del níquel y cobalto, parte 1. Revisión de operaciones Moa. In.
- D. ROBERT, A. J. 1991.** Economics factors in processing od de laterites deposits. *Evento International Conference on acid leaching Moa, Cuba*.
- FORIS M. D, C. M. J. 1997.** The Calliope project: Presssure aci leaching nicckel laterites ore fron New Caledonia. *Hydrometallurgy and Refining of nickel and cobalt*, I, 409-424.
- INTITUTE, H. 1994:** ANSI/HI. In A.N.S. INTITUTE.
- LEONHARD, W. 1996.** Control of Electrical Drives. *Evento 2nd edition Springer-Verlag Berlin Heidelberg*.
- LONDOÑO-PARRA, C. M. & J. L. RAMÍREZ-ECHAVARRÍA. 2013.** Normas de Eficiencia Energética de Motores de Inducción, ¿Está Preparada Latinoamérica? *TecnoLógicas*, No. 30, enero-junio de 2013, 117-147.
- OFINA NACIONAL DE ESTADÍSTICAS E INFORMACIÓN. 2015.** Anuario Estadístico de Cuba. La Habana, Cuba.
- P.T, O. K. 1979.** Energy Consumption and economic trends in the production of nickel fron laterites. *Evento International Laterites Symposium*, New Orleans
- PROJECT, A. N. 2015:** Ambatovy Nickel Project - Madagascar. In., vol. 2016.
- RAMÍREZ, I. Y. 2015.** Influencia de los parámetros reológicos de la pulpa cruda y precalentada en la eficiencia del sistema de bombeo de la empresa

comandante Comandante Pedro Sotto Alba Tesis Ingeniería. Instituto Superior Minero Metalurgico.

ROMERO, I. 2014. Procedimiento a partir de un modelo de motor agregado para la caracterización energética de motores de inducción Doctorado. Instituto Superior Minero Metalurgico.114.

RUCHANSKI, B. A. 2010. Eficiencia energética y desarrollo sustentable: Una propuesta metodológica para la evaluación de las políticas públicas en eficiencia energética. *Evento III Seminario Latinoamericano y del Caribe de Eficiencia Energética*, Panamá.

VENTURE, M. D. J. 1998. Cawse nickel/ cobalt proyevt Feasibility Study. *Centaur Mining and exploration limited*, I.