



INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALURGICO DE MOA

“DR. ANTONIO NUÑEZ JIMENEZ”

FACULTAD DE METALURGIA-ELECTROMECHANICA

TRABAJO DE DIPLOMA

En opción al Título de Ingeniero Electricista

Tema: Propuesta de Estrategia de control para mejorar la eficiencia energética y tecnológica del proceso de secado.

Autor: Ernesto Sanamé Domínguez

Tutores: Ing. Rafael Cudeiro Pérez

Ing. Salvador Castillo Actuan

Dr. Ángel Oscar Columbie Navarro

Moa – 2010

“Año 52 de la Revolución”

Declaración de autoridad

Ernesto Sanamé Domínguez, autor de este trabajo de diploma titulado: “Propuesta de estrategia de control para mejorar la eficiencia energética y tecnológica del proceso de secado”, certificamos su propiedad intelectual a favor del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa “Dr. Antonio Núñez Jiménez”, el cual podrá hacer uso del mismo para fines docentes y educativos

Autor:

Ernesto Sanamé Domínguez.

Tutor:

Ing. Rafael Cudeiro Pérez

Tutor:

Dr. Ángel Columbie Navarro

Tutor:

Ing. Salvador Castillo Antuan

PENSAMIENTO

“La crisis no es sólo económica y social, hay también una crisis de ideas”

Oswaldo Sunkel

DEDICATORIA

- ❖ *A la revolución cubana forjadora de profesionales de ayer, hoy y siempre.*
- ❖ *A mis padres que se esforzaron porque fuera realidad este sueño.*
- ❖ *A mis profesores por su ejemplo a través de estos duros años.*
- ❖ *A mis amigos, que vieron en mi el talento que no supe ver.*

AGRADECIMIENTOS

- ❖ *Agradezco ante todo a mis padres, por permitirme llegar hasta aquí ...*
- ❖ *A mis tutores por darme su confianza y su apoyo...*
- ❖ *A mis compañeros de aula por los momentos vividos...*
- ❖ *A todos los compañeros del grupo de Instrumentación por su ayuda en la realización de este trabajo...*
- ❖ *Agradezco en especial a Rafael Cudeiro por su paciencia conmigo...*
- ❖ *A todos aquellos que me han ayudado...*
- ❖ *Agradecemos especialmente a la Revolución por habernos dado la posibilidad de estudiar y formarnos como futuros profesionales...*
- ❖ *A nuestros compañeros, amigos y familiares que han contribuido en la confección de este trabajo...*

Resumen

El estudio de propuesta de estrategia de control por etapas encaminado a lograr de forma progresiva el mejoramiento y la preparación de los diferentes equipos tecnológicos de la planta (secaderos), o sea potenciarlo con todos los elementos de entrada y salida desde el punto de vista de mediciones y control de procesos para poder aplicar la variante final que permitiera regular de manera automática la temperatura, presión de petróleo, la alimentación de mineral, la relación aire-combustible, la temperatura en los gases de salida y temperatura y presión en la cámara de combustión dinámicamente, o sea un método de regulación capaz de asumir las perturbaciones que se producen en el sistema y corregir automáticamente todos los parámetros de operación del secadero de forma que no se produzcan saltos bruscos que representen sobre consumo de combustible, y le permita al operador tener más tiempo para realizar una mejor evaluación del proceso. La automática concebida, es básicamente un sistema de control distribuido con arquitectura abierta que permite la inclusión futura de los sistemas de control y supervisión de cualquier otro dispositivo tecnológico o implementar una estrategia de control superior en el resto de planta con controladores adaptativos predictivos (SCAP). Según los datos obtenidos de la planta, cada secadero sobreconsume alrededor de 50kg/h de petróleo por la manipulación incorrecta de la relación aire-combustible, sin tener en cuenta las pérdidas por vacíos en los alimentadores y sobrecalentamientos y enfriamientos de la cámara de combustión. El trabajo tomara como referencia para la automatización para la cámara del secadero # 1 en los siguientes puntos.

- ◆ Temperatura de la cámara de combustión.
- ◆ Temperatura de los gases de salida.
- ◆ Presión en la cámara de combustión.
- ◆ Relación aire - combustible.

Finalmente el nivel de automatización y control concebidos le permitirán a la cámara trabajar en un régimen de operación más fiable, optimizando el consumo de combustible y disminuyendo la contaminación ambiental, por lo que consideramos que cumpliendo con los objetivos trazados se mejore la eficiencia energética y tecnológica del proceso de secado de mineral níquelífero de Hornos Rotatorios de la Emp. Cmdte. René Ramos Latour.

Summary

The study of proposal of control strategy for stages guided to achieve in a progressive way the improvement and the preparation of the different technological teams of the plant (dry), that is to say to increase the power of it with all of the entries and exit from the point of view of measurements and process controls to be able to apply final variant that he permit regular of automatic manner the temperature, pressure of petroleum, the mineral feeding, the relationship air-fuel, the temperature in the exit gases and temperature and pressure in the combustion chamber dynamically, that is to say a regulation method able to assume the interferences that take place in the system and to correct all the parameters of operation of the dry automatically so that abrupt jumps that represent on consumption of fuel, don't take place and it allows to the operator to have more time to carry out a better evaluation of the process. The automatic one conceived, it is basically a system of distributed control with open architecture that allows the future inclusion of the control systems and supervision of any other technological device or to implement a strategy of superior control in the plant rest with controllers adaptive predictive (SCAP). According to the obtained data of the plant, each dry on it consumes around 50 kg/h of petroleum for the incorrect manipulation of the relationship air-fuel, without keeping in mind the losses for holes in the feeders and envelope heating and cooling of the combustion camera. This work will understand the automation for the camera of the dry #1, in the following points.

- Temperature of the combustion camera.
- Temperature of the exit gases.
- Pressure in the combustion camera.
- Relationship air-fuel.

Finally the automation level and conceived control will allow to the camera to work in a regime of more reliable operation, optimizing the consumption of fuel and diminishing the environmental contamination, for what we consider that fulfilling the objectives layouts improves the energy and technological efficiency of the process of drying of mineral laterítico of Rotational Ovens of the Emp. Cmdte. René Ramos Latour.



ÍNDICE

PENSAMIENTO	II
Resumen.....	V
Summary.....	VI
I. INTRODUCCION GENERAL	1
CAPITULO I.....	1
1.1 Introducción	1
1.2 Trabajos Precedentes.....	1
1.3 Metodología de la Investigación.....	6
1.4 Generalidades del proceso de secado en la planta de preparación de mineral.....	6
1.4.1. Materia prima necesaria.....	6
1.4.2 Materiales auxiliares	7
1.4.3 Características del producto final	9
1.4.4 Características y propiedades del Níquel	9
1.4.5 Breve descripción del flujo tecnológico de la planta de preparación de mineral	10
1.4.6 Flujo tecnológico del Secadero # 1	10
1.4.7 Características que determinan la eficiencia del secado.....	13
1.5 Regimenes de operación de la planta de los secaderos	16
1.5.1 Arrancada y operación de equipos.....	16
1.5.2 Arrancada normal de la Planta de Secado de Mineral	17
1.5.3 Parada normal	18
1.5.4 Parada de emergencia	18
1.6 Control de la Energía Eléctrica y el Consumo de Petróleo	20
1.6.1 Análisis del consumo de electricidad en la Empresa.....	20
1.6.1 Análisis del consumo de Petróleo de la planta de secaderos	23
Conclusiones:	27
CAPITULO II	28
2.1 Introducción	28
<i>Propuesta de Estrategia de control para mejorar la eficiencia energética y tecnológica del proceso de secado</i>	
<i>Autor: Ernesto Sanamé Domínguez</i>	VII



2.2 Propuesta de Solución al Problema de Control Presentado.....	29
2.3 Mediciones que se obtienen del proceso de secado	30
2.3.1 Variables que se obtienen en el proceso.....	32
2.4 Descripción de la instrumentación, control y autómatas de la estrategia de control	33
2.4.1 Sensores y transmisores empleados para variable temperatura	33
2.4.2 Sensores y transmisores empleados para variable presión	36
2.4.3 Sensores y transmisores empleados para variable caudal	38
2.4.4 Sensores y transmisores empleados para variable flujo	39
2.4.5 Autómata utilizado	39
2.5 Lazos de regulación de petróleo	44
2.5.1 Lazo de Control de la temperatura a la salida del calentador de boca	45
2.5.2 Lazo de Control de la temperatura a la salida del calentador de línea	45
2.5.3 Lazo de Control de la presión de petróleo	46
2.6 Propuesta de estrategia de control.....	47
2.6.1 Condiciones de Operación del secadero	47
2.6.2 Tabla para la combustión del secadero.....	48
2.6.3 Estrategia de control para la automatización de la combustión y carga en los secadores de mineral	49
2.6.4 Lazo de Control de la alimentación al secadero.....	51
2.6.5 Lazo de Control de la relación aire-combustible	52
2.6.6 Lazo de Control de la Presión en la Cámara.....	53
CAPITULO III.....	56
Generalidades de la aplicación SCADA EROS y valoración técnica económica del sistema.....	56
3.1 Introducción	56
3.2 Procesamiento de datos en el Software Supervisor EROS 5.9.....	57
3.2.1 Protocolo de comunicación MODBUS	58
3.2.2 El Registrador de Variables.....	59
3.3 Resolución para la visualización de las variables medidas en el registrador.	62



3.4 Exportar datos del registrador a Excel	63
3.5 Configuración del SCADA	63
3.6 Verificación del funcionamiento del monitoreo.....	78
3.6.1 Verificación del funcionamiento del Sistema de Mineral de Secado en estado Manual.....	78
3.6.2 Verificación del funcionamiento del Sistema de Mineral de Secado en estado automático	79
3.7 Determinación de la Productividad de los Secaderos por los Alimentadores	80
3.8 Balance térmico y de masa del secadero	82
3.9 Emisión de gases al espacio	89
III. CONCLUSIONES GENERALES.....	90
IV. RECOMENDACIONES	91
V. BIBLIOGRAFÍA	92
VI. ANEXOS.....	93



I. INTRODUCCION GENERAL

En los últimos años se está prestando mucha atención al ahorro de energía en las distintas ramas de producción industrial, debido a la alta cotización del petróleo en el mercado mundial, en nuestro país se han tomado un conjunto de medidas para poder elevar la eficiencia en las grandes industrias que se convierte en un gran ahorro, para elevar la eficiencia en las industrias se usan las facilidades que brinda la automática.

La industria minera no está exenta de estos cambios, es por ello la realización de este trabajo, que trata de buscar eficiencia en el proceso de secado del mineral de níquel en la industria de obtención de níquel Emp. Cmdte. "Rene Ramos Latour" de Nicaro, con el planteamiento de una estrategia de control de un secadero rotatorio de la planta de secaderos y molinos de dicha industria.

En un análisis histórico realizado por Ray, W. H. en 1983 [112], se muestra que hasta la década de 1960, prácticamente todo el control de procesos químicos era hecho por controladores analógicos (mecánicos, eléctricos o neumáticos), proyectados para lazos de una entrada y una salida. Las estrategias de control más elaboradas tenían poca aceptación debido a las pocas exigencias de protección ambiental y al hecho de que las especificaciones del producto eran menos rigurosas. Mejoras en los sistemas de control, en aquella época, elevarían los costos de forma inaceptable.

La automatización de los procesos es el producto del desarrollo de la tecnología en el ámbito mundial, y nuestro país, a pesar de pertenecer al tercer mundo, no deja de estar a la vanguardia en este sentido por poseer un gran desarrollo en muchas esferas de su economía.

A pesar del desarrollo de la industria minera, el proceso de secado del mineral no cuenta con estos avances, ejemplo de ello es la planta de secaderos y molinos de la productora de níquel de Nicaro, donde se necesita la presencia de un operador en el lugar de ubicación del equipo para lograr el funcionamiento del mismo, y la calidad del secado no es la óptima, trayendo consigo un aumento en los costos de producción en la obtención del níquel, lo cual se erradicaría con la aplicación de un sistema de control automatizado.



El control de la temperatura y presión de la cámara, la relación aire-combustible, la alimentación al secadero y la temperatura a la salida del calentador de boca, así como a la salida del calentador de línea y la presión de petróleo evitan pérdidas de níquel, cobalto, reactivos y de energía eléctrica, una vez que se produzcan caídas de la presión de bombeo de petróleo, provocando un paro inmediato de los secaderos por falta de combustible.

Este trabajo propone establecer una estrategia al secadero #1 de la planta de níquel de Nicaro, con el objetivo de mejorar la calidad del secado del mineral y disminuir el consumo de energía de la planta y será realizado en dos etapas fundamentales.

El problema de la presente investigación: Necesidad de Estrategia de sistema de control de temperatura y presión de la cámara de combustión, relación aire - combustible, temperatura en los gases de salida en el proceso de secado de minerales lateríticos de la Emp. Cmdte. Rene Ramos Latour de Nicaro.

Lo anterior permitió determinar la necesidad de realizar el estudio y proponer estrategia de control que permitan mitigar las afectaciones anteriores a partir de minimizar los efectos de las perturbaciones y variaciones en las señales de referencia sobre las variables controladas; lo que avalara la actualidad e importancia del tema a investigar.

Campo de Acción: Estrategia de Control de procesos.

El objetivo del presente trabajo es: Proponer estrategia de control para mejorar la eficiencia energética y tecnológica del proceso de secado de mineral laterítico de Hornos Rotatorios de la Emp. Cmdte. Rene Ramos Latour.

Objetivos específicos.

- Realizar estudio del proceso de secado de mineral niquelífero de Hornos Rotatorio de la Emp. Cmdte. Rene Ramos Latour.
- Caracterización de las variables del proceso.
- Proponer estrategia de control para la relación aire combustible, temperatura en los gases de salida, temperatura y presión en la cámara de combustión dinámicamente.



Para lograr el objetivo fueron planteadas las siguientes tareas:

1. Búsqueda bibliográfica.
2. Caracterización del proceso a ser controlado.
3. Caracterización de las variables que intervienen en el proceso.
4. Selección de la Estrategia de Control PID Multilazo en el sistema de proceso de secado de mineral laterítico de Hornos Rotatorios de la Emp. Cmdte. Rene Ramos Latour.
5. Selección de estrategia de control Multivariantes en el sistema de proceso de secado de minerales laterítico de Hornos Rotatorios de la Emp. Cmdte. Rene Ramos Latour.

La Hipótesis Científica de trabajo parte del hecho de que: Si se establece una estrategia adecuada del proceso de secado de los minerales níquelífero de Hornos Rotatorios de la Emp. Cmdte. Rene Ramos Latour se puede mejorar la eficiencia energética y tecnológica del proceso de secado de mineral laterítico de Hornos Rotatorios de la Emp. Cmdte. Rene Ramos Latour.

Esta hipótesis se fundamenta en la necesidad de conocer las principales características del objeto investigado en este caso el proceso de secado de mineral laterítico de los Hornos Rotatorios de la Emp. Cmdte. Rene Ramos Latour, así como determinar cuáles son los principales parámetros que desde el punto de vista metalúrgico y operacional provocan en mayor grado su influencia en el proceso.

Los métodos de investigación a utilizar serán los siguientes:

- Método de investigación documental y bibliográfica, para la sistematización del conjunto de conocimientos y teorías en archivos de las empresas que utilizan la Tecnología Carbonato-Amónico.
- La Observación.
- Método de Investigación teórica para caracterizar el objeto de estudio así como sus principales variables.
- Análisis de las Valoraciones de Expertos.



Los resultados esperados de la investigación son los siguientes:

- ✓ La selección de los principales parámetros o variables que desde el punto de vista metalúrgico y operacional tienen mayor importancia en el sistema de secado del mineral laterítico.
- ✓ Proponer estrategia de control a ser utilizadas en el sistema de secado del mineral laterítico.

Es importante destacar que en lo referente a la modelación y el control multivariable de estos tipos de agregados, las investigaciones realizadas son aún muy escasas y no se reporta ningún trabajo precedente que haya enfocado el problema de manera integral teniendo en cuenta el sistema de secado de mineral laterítico con las especificidades que reporta la Tecnología Carbonato-Amónico con Mineral Reducido Laterítico Cubano; esto provoca la necesidad de profundizar en aspectos relacionados con el objeto de estudio, no sólo por la importancia que el mismo tiene en el proceso metalúrgico, sino también en los índices de eficiencia de extracción de níquel y cobalto, con el objetivo de disminuir los costos de producción, como política fundamental en estos momentos de la Unión de Empresas del Níquel, el MINBAS y el país.



CAPITULO I

Marco Teórico - Metodológico de la Investigación

1.1 Introducción

El marco teórico-metodológico como parte importante en la caracterización del objeto de estudio permite detectar de forma preliminar las diferentes características e interacciones que existen entre los múltiples elementos vinculados presentes en la investigación a realizar.

El objetivo del presente capítulo es establecer el Marco Teórico - Metodológico de la Investigación, a partir del análisis de los trabajos precedentes, la metodología seguida para su ejecución así como la base teórica que sustenta la investigación y una caracterización integral del estado actual del objeto de estudio secado del mineral laterítico en la Emp. Cmdte. Rene Ramos Latour.

1.2 Trabajos Precedentes

Una investigación científica de acuerdo a lo planteado por Aróstegui, J. M. y otros en 1975 [4], en cualquier área del conocimiento debe siempre estar sustentada por una investigación empírica y por una investigación teórica, de ahí que sea necesario utilizar los métodos que caracterizan a cada una de ellas para desarrollar científicamente las mismas a partir de una clara caracterización del objeto, del planteamiento del problema, los objetivos, la hipótesis y las tareas.

Para desarrollar la investigación fueron consultados diferentes trabajos y estudios, orientando la revisión bibliográfica en dos líneas fundamentales; por una parte, la información relacionada con el enfoque teórico y metodológico del estudio a realizar y por otra a la propuesta de estrategia de control desde el punto de vista científico, técnico y práctico, se ha tenido en cuenta los realizado por parte de profesionales fundamentalmente de la Universidad de Moa, Santiago de Cuba y de las empresas del Níquel de nuestro territorio para similares agregados metalúrgicos entre los que sobresalen el del proceso de Calcinación del Carbonato de Níquel Horno Tubular Rotatorio (Columbie1992) y en los tanques de contacto y los enfriadores de licor, presentes en la lixiviación Carbonato amoniacal de los minerales de níquel en *Propuesta de Estrategia de control para mejorar la eficiencia energética y tecnológica del proceso de secado*



empresa minero-metalúrgica de Moa, Holguín, Cuba (Guzmán 1999). Conversión y conservación energética, Balance Térmico y de Masa de un Secador de Minerales, Moa, Nicaro, Holguín, Cuba (Vinardell 2008).

Al proponerse un sistema de control se debe lograr mantener la variable controlada en el punto de control. Cuando ya ha logrado esto, debe ajustar el controlador de manera que se reduzca al mínimo la operación de ensayo y error que se requiere para mantener el control. La investigación de la instrumentación de un secador rotatorio Perry (1963 y su control es muy difícil debido a los retrasos de tiempo largos comprendidos. Las variaciones accidentales en el volumen de humedad de entrada, temperatura o flujo de los sólidos perturbarán el proceso para los períodos largos de tiempo, hasta que ellos se observen en las variables del rendimiento, sobre todo en el volumen de humedad de rendimiento. Por consiguiente, el verdadero mando de la regeneración es inadecuado para guardar la variable más importante a ser controlada, la humedad del rendimiento satisfecho de los sólidos, a su valor designado con las variaciones aceptables se ha mostrado el interés en los recientes años en sistemas del mando inteligentes basados en los sistemas especialistas, lógica borrosa o redes neuronales para las perturbaciones del proceso eliminadas en una fase temprana. Estos sistemas agregan otra dimensión al mando de un proceso secante, el elemento humano y en la mayoría de los controladores se utilizan hasta tres parámetros para su ajuste lo cual se lo aplicó por primera vez James Watt hace casi 200 años. Una vez definida la teoría de sistema, como base teórica de la investigación, fue necesaria la búsqueda de métodos que permitieran la identificación y el análisis de los diferentes aspectos (subsistemas) que tributan al proceso de secado como sistema integrado. La distribución de sólidos en un secador rotativo (Miskell y Marshall 1956, Hirose y Shinohara 1982, Hallstr M 1985) ha señalado que el movimiento de sólidos puede ser tratado como un flujo del tapón con un poco de dispersión axial.

Actualmente en la planta en cuestión no existe un sistema de control de lazo Cerrado para este proceso, por lo que la operación se realiza a partir de un sistema de supervisión instalado (EROS) que solamente registra y muestra en pantalla el valor de las variables de mayor importancia, dejando en mano del operador las acciones necesarias a tomar durante el proceso.



En el Manual de Operaciones de la Planta de preparación de minerales de la Emp. Cmdte. Rene Ramos Latour (ECRRL 2007) se hace clara mención a los secaderos rotatorios donde se ofrecen las principales características constructivas tales como altura, diámetro, masa, etc. En este se ofrecen todos los datos constructivos del mismo. Se reflejan así mismo variables importantes para el proceso tales como, flujo de petróleo, temperatura de la cámara de combustión, temperatura de los gases de salida, los datos o valores dados están en correspondencia con los reales encontrados actualmente en el proceso.

Dentro de las estrategias de control se encuentra el controlador PID, el cual constituye la propuesta de control en nuestro trabajo para asegurar la eficiencia energética y tecnológica del secado del mineral laterítico de los secaderos de la Emp. Cmdte. René Ramos Latour. Ender, D. B. en 1993 [34] afirma en un estudio realizado, que el 30% de los controladores PID utilizados en procesos industriales trabaja de forma manual y 20% de los lazos de control emplean la denominada sintonía de planta (factory tuning); esto da una medida de que los controladores PID son ampliamente utilizados pero muy mal sintonizados. También Biakowski, W. L. en 1993 [9] indica que en los procesos de preparación de papel en Canadá se tienen más de 2000 lazos de control, usando el 97% de ellos controladores PI y solamente el 20% de estos tienen un buen desempeño, debido a una incorrecta sintonía. Entre los controladores PID que son citados en la literatura se encuentran los controladores PID convencionales (o de parámetros fijos) y los controladores PID adaptativos (Zhao, Z y otros en 1993 [143]). Dentro de los controladores PID convencionales se encuentran los multilazos, cuyas técnicas de sintonía han encontrado un mayor desarrollo en la última década (Seborg, D. E. y otros en 1989 [121]; Hwang, D. Sh. en 1997 [68]; Weng, K. H. en 1997 [139]; Shing-Jia, S. y otros en 1998 [126]).

En los sistemas multivariables una de las formas de utilizar los controladores PID es utilizándolos como Controladores PID Multilazo. Esta variante ha tenido problemas con su sintonía o ajuste. Para el diseño y sintonía de un sistema que emplea el Control PID Multilazo, existen varios métodos como el utilizado por Niederlinski, A. en 1971 [104] y el método heurístico, basado en la generalización del método que para sistemas SISO fue desarrollado por Ziegler-Nichols. Este método no alcanza una amplia aceptación por su complejidad y por presentar en algunos casos un bajo

Propuesta de Estrategia de control para mejorar la eficiencia energética y tecnológica del proceso de secado



desempeño. Seborg, D. E. en 1989 [121], propone determinar el ajuste del controlador para cada lazo con los otros lazos de control operando en forma manual.

Otro de los métodos de sintonía del Controlador PID Multilazo es el llamado BLT (Biggest Log Modulus Tuning) desarrollado por Luyben, V. L. en 1986 [87]. El se basa en el uso del criterio de estabilidad de Nyquist. Aquí es preciso determinar el valor exacto de la ganancia, para cuando el ángulo de defasaje es exactamente -180 grados, para así poder comenzar los cálculos de los parámetros de los controladores SISO, a través de las fórmulas de sintonía de Ziegler-Nichols, (Desphande, P. B. en 1989 [28]). Esto provoca que su empleo sea limitado.

El método desarrollado por Basualdo, M. S. y Marchetti, J. L. en 1990 [7], es otra forma de sintonía del Controlador PID Multilazo. El representa una modificación del método BLT. La desventaja de estos dos últimos métodos, es que los mismos necesitan de un esfuerzo muy grande en la modelación, buscando una matriz de funciones de transferencia lo más completa posible.

En su implementación práctica es meritorio lo realizado por Hall, R. CH, en 1987 [59] al utilizar el Control PID Multilazo en el caso del control de PH en un tanque de neutralización, con dos entradas y dos salidas, la simulación la realiza en un modelo previamente linealizado. Aquí aparece uno de los problemas de este tipo de controladores, radicado en el gran esfuerzo realizado para su sintonía, producto de la interacción entre los lazos de control.

Como productos de avanzada en este campo aparecen el método de diseño y sintonía del Controlador PID Multilazo basado en las especificaciones de margen fase y de ganancia para sistemas multivariables, desarrollado por Weng, K. H., Tong, H. L. y Oon, P. G, en 1997 [139], el cual tiene su fundamento también en la idea de la formación de las bandas de Gershgorin, para a través de ellas medir la estabilidad y el desempeño de un sistema en lazo cerrado; solamente en el trabajo se muestran ejemplos de aplicación utilizando la simulación en sistemas previamente linealizados y el método basado en la sintonía secuencial propuestos por Shing-Jia, S. Y Shyh-Hong, H en 1998 [126], el cual propone que la sintonía del Controlador PID Multilazo se realice de forma secuencial iterativamente, utilizando una de las técnicas de sintonía SISO conocida. Este es una combinación de los métodos del Peso de la



Integral del Error Cuadrático (WISE) propuesto por Nishikawa, Y. en 1984 [105] y el IMC-PID, dadas para una relación de tiempo desde 0,01 hasta 10, en lo cual radica su ventaja, a pesar de estar limitada su presentación en el trabajo sólo para sistemas lineales. Al aplicar el Control PID Multilazo, existe el problema de la interacción entre los lazos de control, lo que dificulta grandemente poder obtener y mantener siempre una buena sintonía.

En los procesos de secado en la industria minera, con el uso de secaderos rotatorios, la asociación minera de Finlandia en octubre de 1979, destinó un presupuesto para el estudio de una estrategia de control para los secaderos rotatorios, del cual se obtuvo el desarrollo de una estrategia de control adecuada para cerrar los lazos de control que están presentes en dicho proceso, con el uso combinado del control anticipativo y el control realimentado, para ello desarrollaron el modelado matemático de un secadero rotatorio trabajando de forma concurrente. La modelación matemática, es punto de partida lo reflejado por Smith, C. A. y Corripio, A. B. en 1997 [129], donde se plantea que la modelación matemática de un proceso industrial usualmente parte con el balance de una cantidad conservada: masa y energía, por lo que el balance puede ser escrito como:

Total masa / energía que entra al volumen de control.	- Total masa / energía que sale del volumen de control.	= Total masa / energía acumulada en el volumen de control.
---	---	--

Los últimos avances en el campo de la simulación, en programas tales como el MATLAB, permiten obtener con gran exactitud estas soluciones a una gran velocidad, pudiendo seleccionar para ello varios métodos numéricos.

Sobre la modelación matemática de procesos metalúrgicos, Lucenko, B. en 1984 [85], afirma que a pesar de ser sistemas complejos se pueden representar a través de ecuaciones para el balance de masa y energía, donde es necesario tener en cuenta los flujos de masa o energía que entran, se originan o salen del volumen de control.

De igual forma Tijonov, O. N. en 1978 [132], refiere que para componer las ecuaciones de un objeto en la industria metalúrgica, los cuales representan complejos sistemas dinámicos es necesario despreciar una serie de factores secundarios y sí



tener en cuenta los principales de entrada, salida y perturbaciones que influyen en la dinámica del mismo; a la vez la sencillez del modelo conformado debe contener las principales peculiaridades del proceso investigado.

1.3 Metodología de la Investigación

La metodología utilizada durante el desarrollo de la investigación, será por etapas de trabajo la cual se presenta a continuación, no difiere en su esencia de la metodología de investigación clásica utilizada para estudios de sistemas a controlar en procesos industriales.

Primera etapa: Preliminar o inicial de la investigación empírica. El primer paso lo constituyó la selección de la planta y los agregados objetos de la investigación, debido a su importancia desde el punto de vista metalúrgico y económico, lo cual fue imposible desligar de otros objetos presentes en el área de influencia de esta, garantizando que quedaran reflejados todos los agregados que fueran afectados directa e indirectamente. De esta forma quedó definido como objeto de la investigación el sistema de secado del mineral laterítico.

Se determinaron los métodos a aplicar en la fase inicial tales como la Revisión Bibliográfica, Entrevistas, Revisión de la Documentación Técnica de la Planta, Manual de Operaciones, Trabajos Investigativos Específicos, Trabajos de Campo destinados a la Observación del trabajo de la planta, así como también se realizó la revisión de trabajos precedentes, establecer la base teórica que sustenta la investigación..

Segunda etapa: Proponer la estrategia de control caracterizando integralmente el objeto de estudio; es decir, los sistemas de secado del mineral laterítico, la selección de las variables y del lazo de control PID.

1.4 Generalidades del proceso de secado en la planta de preparación de mineral

1.4.1. *Materia prima necesaria*

La materia prima para la planta de Preparación de mineral es el mineral laterítico de serpentina y limonita de donde se extraen el Ni y el Co.

Propuesta de Estrategia de control para mejorar la eficiencia energética y tecnológica del proceso de secado

6

Autor: Ernesto Sanamé Domínguez



Características

El mineral que se suministra a la planta debe tener una composición de 65 % de limonita y 35% de serpentina. La humedad del mineral debe ser inferior al 33 % aunque en tiempo de lluvia llega a alcanzar valores de 38 %. La composición química en base a mineral seco es de 1.17 a 1.36 % de Ni, 35 a 39 % de Fe, 0.101 a 0.105 de Co, <12.5 % de SiO₂ y el resto combinaciones complejas de magnesio, aluminio, cromo, manganeso y muchos otros elementos acompañantes. El peso volumétrico después de secado es de 1.23 a 1.25 kg/m³. El material inicial alimentado a la planta es de granulometría variable en dependencia de la proporción de limonita y serpentina y la zona de minería. Siempre los fragmentos son < 400mm, y la clase > 6.35 mm es no mayor de un 35 %. La clase -200 mesh (< 0.074 mm) oscila entre 40 y 45 %.

1.4.2 Materiales auxiliares

Como materiales auxiliares tenemos el petróleo crudo, el vapor de agua y el aire.

Petróleo

El petróleo es utilizado como combustible en las cámaras de combustión de los secaderos para producir la energía calorífica necesaria para el secado del mineral.

Características del petróleo.

Poder calorífero: 9660 a 10000 kcal/kg

Viscosidad cinemática: 2.5 a 3 °E

Temperatura de trabajo: 95 a 120 °C

Contenido de carbono: Aproximado 85 %

Contenido de Hidrógeno: Aproximado: 10.5 %

Azufre: Variable alrededor de 2 a 2.5 %

Humedad: Variable 1 %

Otros: Nitrógeno, vanadio, arenas (trazas)



Vapor de agua

Se suministra desde la Planta Eléctrica.

El uso de el es fundamentalmente para el calentamiento del petróleo crudo, se usa además en la limpieza y prueba de quemadores y para extraer el agua de filtración en las cajas eléctricas subterráneas.

Presión del vapor de 5.4 a 5.8 kg/cm²

Temperatura del vapor de 120 a 135 °C

Aire

Usado en la combustión del petróleo como portador de oxígeno y en los secaderos para formar el volumen de gases necesario para el secado del mineral. Usado en el transporte neumático del producto final a una presión absoluta de 1.7 a 3.2 kg/cm² y un caudal de 26 a 31 m³/t de mineral. Usado en el servicio de equipos como bombas de mineral par el enfriamiento y protección de sellos a una presión de 3.8 a 4.5 kg/cm². Usado en el servicio de equipos como filtros de mangas para la limpieza de las mangas a una presión de 4.5 a 6.5 kg/cm².

Agua

Se usa para el enfriamiento de los rodillos horizontales de los secaderos, del cuerpo de los compresores Fuller, del enfriamiento de las chumaceras de los molinos de bolas, para el enfriamiento del aceite de reductores y del rodaje de los molinos de bolas de doble cámara. Tiene también un uso amplio en las actividades de limpieza de la planta.

Productos terminados

El producto terminado o producto final de la Planta de Preparación de Mineral es todo aquel que cumple la norma de humedad y fineza requerida para el proceso y que se recibe en la tolva de producto final de la planta de molienda para ser bombeado a los silos de la Planta de Hornos.

Este producto se forma como resultado de la molienda del mineral secado y es entregado por los ciclones de las unidades de molienda, mas el producto captado en el sistema de colección de la limpieza de gases de los molinos, mas el polvo captado

Propuesta de Estrategia de control para mejorar la eficiencia energética y tecnológica del proceso de secado

8

Autor: Ernesto Sanamé Domínguez



por los ciclones de los secaderos, mas el polvo captado por el sistema de limpieza de gases de secaderos.

1.4.3 Características del producto final

Humedad: De 4 a 6 %

Fineza: > 83 % de la clase < 0.074 mm

5 % de la clase > 0.149 mm

Clase < 0.149 > 0.074 mm el resto

La composición química es la misma que a la entrada del proceso de preparación.

Ver parámetros del régimen tecnológico del secadero en Anexo 3.

1.4.4 Características y propiedades del Níquel

El níquel es un metal con buenas propiedades mecánicas como alta plasticidad y fácil de elaborar en frío y en caliente. En estado puro tiene un color claro plateado y su superficie pulida tiene alta capacidad de reflexión. Tiene una temperatura de fusión de 1455 °C, su densidad es de 8.9 g/cm³.

Su propiedad química fundamental es su alta resistencia a la corrosión en la atmósfera del aire y en ambientes agresivos como el alcalino. Esta propiedad la transfiere a sus aleaciones con el hierro.

Con otros metales como el hierro, el cobalto, el cobre, el zinc, el cromo y el molibdeno, forma aleaciones muy usadas en la industria y la vida diaria. A sus aleaciones transfiere parte de sus propiedades como la plasticidad, viscosidad, resistencia a la oxidación, resistencia a las altas temperaturas (refractariedad), disminuye el coeficiente de expansión térmica, cambia las propiedades de imantación y sus aleaciones tienen un aspecto hermoso.

El 80 % de la producción mundial de Níquel se usa en la obtención de aceros y aleaciones, de ellos el 60 % son aceros inoxidables y termo resistentes.



1.4.5 Breve descripción del flujo tecnológico de la planta de preparación de mineral

El mineral húmedo procedente de la mina se deposita en el patio exterior (165 000 t) desde donde se envía a trituración. Existen siete secaderos, seis en operación y uno en reparación o de reserva, son de tipo rotatorio, de acero sin refractarios, con divisiones interiores para conseguir el mejor contacto gas-mineral y obtener elevada eficiencia en el secado. Los gases para el secado se producen por combustión del petróleo en cámaras de combustión. Antes de pasar a la sección de molienda, el mineral seco se clasifica en una batería de ocho zarandas electromagnéticas.

Existen dos circuitos de molienda, uno para la serpentina, que consta con tres unidades las que reciben el mineral de una tolva elevada por medio de alimentadores de estrella. Cada unidad consta de un molino de martillos, un molino de cono y un separador de aire en circuito cerrado. El circuito de molienda de limonita consta de dos clasificadores neumáticos que operan en paralelo, el fino pasa por gravedad a la tolva de producto final y el grueso es la alimentación de tres unidades de molienda de molinos de bolas con barrido por aire y un clasificador operando en circuito cerrado.

En la planta existe un sistema de succión que sirve para mantener limpio el ambiente y está conectado a un precipitador electrostático. El mineral seco y molido pasa por medio de bombeo neumático a los silos de almacenaje que suministran establemente a la planta de hornos de reducción.

1.4.6 Flujo tecnológico del Secadero # 1

El secadero #1 posee una cámara de combustión independiente, en la que se generan los gases para el secado del mineral, la vista lateral de la cámara tiene forma de "I" acostada. La cámara esta formada por un esqueleto de acero que sostiene toda la mampostería refractaria. Las paredes exteriores están construidas de ladrillos rojos aislantes y forma lo que se llama cámara de enfriamiento esto permite la circulación y precalentamiento del aire, a la ves que evita que las vigas y colgantes que forman y sostienen la bóveda se deformen evitando desprendimientos, el aire de enfriamientos aporta calor a la combustión.

La bóveda es colgante, formada por ladrillos de alta refractariedad, esta estructura asimila cambios bruscos de temperatura sin grandes daños, siempre que la parte



metálica cuenta con el enfriamiento que le proporciona la circulación del aire. Como protección de la cámara de enfriamiento parten de ella dos chimeneas rectangulares para evacuar el aire caliente por convección libre.

Los quemadores van ubicados en la parte inferior del lado posterior de la cámara, en la parte exterior de los orificios para los quemadores se encuentra una caja metálica por donde penetra el aire para la combustión para generar los gases de la combustión se utiliza petróleo aire para la combustión y un exceso de un 15 % para que ocurra la combustión completa, los gases salen a una temperatura de 800-900 °C a los cuales se le suministra aire, conocido como aire de dilución, para formar una mezcla con una menor temperatura, para que no dañe la estructura del secadero, además para alcanzar el volumen necesario de gases que permita secar el mineral. Mediante el sistema de alimentación (AS) se le suministra el mineral al secadero, que entra con una humedad de 30-35 % el mineral cae al tambor, este tiene un ángulo de inclinación de 2-3 °, rota de 2-3 r.p.m y en su entrada está provisto de paletas espirales, esto posibilita que el mineral húmedo se vaya moviendo hasta llegar a la zona de las estrellas, en el cual el secadero se secciona en 4, asegurando la distribución uniforme del mineral y de los gases calientes. Cada una de las secciones posee levantadores igualmente espaciados los que hacen posible que el mineral caiga en forma de cascadas, produciéndose un íntimo contacto entre este y los gases calientes los gases y el mineral se mueven en un mismo sentido, lo que permite que no ocurra recalentamiento del mineral y que los gases salgan a una temperatura de 85-100 °C. El 30% del mineral que entra sale junto con los gases mediante un ventilador de tiro hacia dos ciclones en el que se elimina el 75 % del polvo el resto se elimina en el filtro de manga, todo el polvo eliminado pasa a las tolvas de almacenamiento del producto final. El mineral es descargado a la correa caliente con una humedad de un 4-5 % y una temperatura de 40-90 °C.

En la figura 1.1 se observa el esquema del secadero de tambor rotatorio.

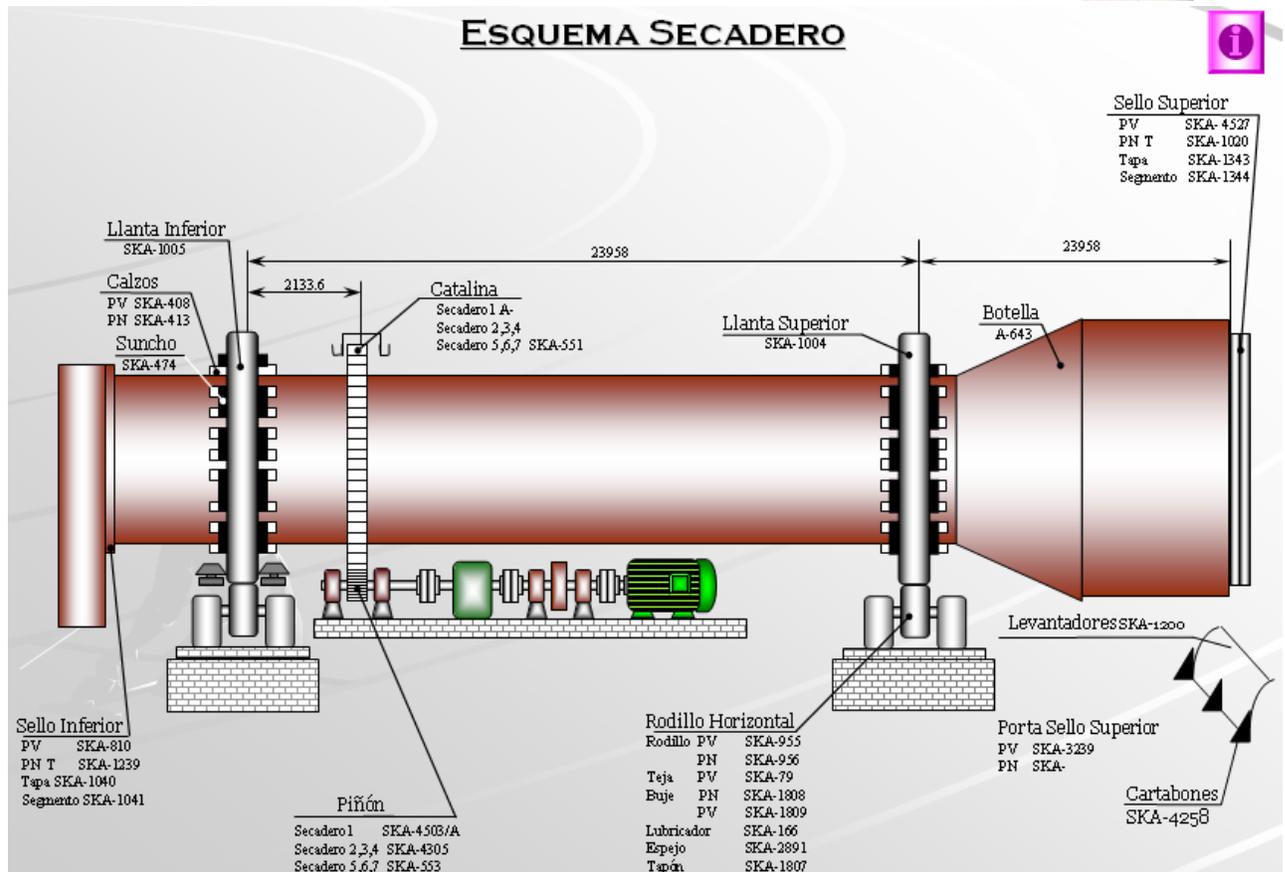


Figura. 1.1 Esquema del secador de tambor rotatorio.

Medidas fundamentales:

- Ancho entre las paredes exteriores: 4.67 m
- Ancho entre las paredes interiores: 3.76 m
- Espesor de las paredes interiores: 0.23 m
- Espesor de las paredes exteriores: 0.10 m
- Cámara de enfriamiento: 0.127 m
- Longitud: 39.624 m
- Longitud de la zona de botella hasta llanta superior: 7.842 m
- Distancia entre llantas: 23.959 m
- Longitud desde llanta inferior hasta la descarga: 7.823 m

Propuesta de Estrategia de control para mejorar la eficiencia energética y tecnológica del proceso de secado



Diámetro interior de la zona de la botella: 4.267 m

Diámetro interior de zona de estrellas: 3.505 m

Espesor de la plancha: 19 mm

Espirales levantadoras en la zona de la botella: 16 igualmente espaciadas

Levantadoras en la zona central: 12 con estrellas centrales

Levantadoras en la descarga: (sin estrellas en los últimos 2.42 m)

Tonelaje: 50-60 t

Tiempo de Retención:(45-50) min.

En el anexo # 1 y 2 se puede apreciar en detalle todos los elementos y componentes del flujo tecnológico.

1.4.7 Características que determinan la eficiencia del secado

La eficiencia del proceso de secado depende de los siguientes factores: características del mineral alimentado, tiempo de retención del mineral, velocidad del gas, temperatura del aire o gas, longitud del secador, pendiente del secadero, capacidad de los levantadores del secadero, velocidad de rotación del secado, número de levantadores, y otros factores.

a) Características del mineral alimentado.

Aquí se consideran fundamentalmente la granulometría y la humedad, las cuales están íntimamente relacionados.

Cuando se suministra un mineral muy fino, es mayor el contenido de humedad en la masa mineral por la amplia superficie de contacto superficial en la misma. Al ser una humedad elevada esto favorece la formación de “pelets”, por lo que solamente se elimina la humedad superficial, por este motivo aumenta el consumo específico de petróleo y obliga a disminuir la cantidad de mineral alimentado al secadero para obtener la humedad final deseada.

Un aumento de la granulometría en el mineral favorece el proceso de secado por ser generalmente menor la humedad interna de las rocas (11 a 12.5 %), además de existir un proceso de auto molienda que evita la formación de “pelets”.

Propuesta de Estrategia de control para mejorar la eficiencia energética y tecnológica del proceso de secado

13

Autor: Ernesto Sanamé Domínguez

b) Tiempo de retención del mineral.

Este factor determina el tiempo medio necesario de permanencia del mineral dentro del secadero para que sea tratado de forma adecuada. Este tiempo se determina de forma experimental.

$$t = \frac{0.00783 \cdot L}{Sd \cdot D \cdot N}$$

Donde:

t = tiempo [h]

L = longitud [m]

Sd = inclinación [m/m]

D = diámetro [m]

N = velocidad de rotación [r.p.m.]

En nuestro caso el mineral permanece de 54 a 63 min. En el interior del tambor.

c) Velocidad de los gases.

Este parámetro es de gran importancia y se calcula en base a la capacidad del secadero.

Una velocidad muy alta provoca un alto consumo de petróleo para calentar suficientemente los mismos, un tiempo de residencia muy bajo dentro del secadero, un insuficiente contacto entre gases y mineral y arrastre de partículas de mineral insuficientemente secadas.

Una velocidad muy baja de los gases produce recalentamiento de la cámara de combustión y del tambor secador y un secado insuficiente por sobresaturación de los gases con humedad. La velocidad debe ser adecuada según cálculos y depende de la capacidad de evacuación de los gases (ventilación y abertura de los “dampers”).

d) Temperatura de los gases.

Este parámetro se relaciona con la velocidad de ellos.

Gases muy calientes afectan los ventiladores y el sistema de colección de polvo.



Gases con baja temperatura producen un secado insuficiente, puede provocar condensación y deposición de humedad y mineral en conductos y colectores de polvo (filtros).

e) Diámetro del secadero.

El diámetro debe ser suficiente para que se forme una cortina de mineral que garantice un adecuado contacto entre los gases y el mineral y no tan grande para evitar exceso de consumo de energía para girar el secadero.

f) Longitud del secadero.

El secadero debe ser suficientemente largo para dar el tiempo de residencia necesario para obtener el grado de secado requerido.

En la primera mitad del secadero la temperatura de los gases baja bruscamente al ponerse en contacto con el mineral frío y húmedo y se produce la evaporación de la mayor parte de la humedad.

El resto del secadero debe tener suficiente longitud para eliminar la humedad restante.

g) Pendiente del secadero.

Este factor se relaciona con la longitud. Es el que permite que el mineral avance en el interior del secadero sin otros aditamentos.

En nuestros secaderos la inclinación es de 1/24 m/m (4.17 % ó 2°23')

h) Cantidad de levantadores del secadero.

Los levantadores garantizan un amplio contacto entre el mineral y los gases al permitir la formación de cortinas de mineral en toda la sección del secadero. Estos se proyectan en dependencia del tipo de mineral tratado.

i) Velocidad de rotación del secadero.

La velocidad debe ser suficiente para garantizar una velocidad de avance adecuada, la formación de las cortinas y que el mineral no tome una trayectoria circular.



j) Otras condiciones.

Los secaderos deben ser cargados de forma apropiada. Una carga excesiva sobrepasa la capacidad de diseño de secado según longitud, diámetro, número de levantadores, tipo de mineral y volumen y temperatura de los gases suministrados, por lo que el mineral saldrá insuficientemente secado.

Una carga insuficiente encarece los costos de explotación del secadero y equipos periféricos y puede afectar la estructura del tambor del secadero y partes interiores por sobrecalentamiento de las mismas.

1.5 Regímenes de operación de la planta de los secaderos

1.5.1 Arrancada y operación de equipos

Antes del arranque del secadero se verificará:

- Caudal de agua de enfriamiento de los rodillos.
- Estado de la transmisión (motor, acoplamientos rígidos e hidráulico, reductor y catalina).
- Se chequeará posición del secadero (arriba y abajo).
- Estado de los resguardos, lubricación de los rodillos y sellos.

Los secaderos se arrancan desde el panel de operación de secaderos y poseen estaciones de control en el campo para paradas de emergencia u otra necesidad.

Al arrancar un secadero se procederá a ir aumentando la temperatura de la cámara de combustión gradualmente según el régimen de calentamiento establecido. En esta operación se combina la dosificación de petróleo, con la abertura de los dampers del VTS y los VC y VE, logrando el balance adecuado para la combustión completa y mantener la presión requerida en la cámara.

La operación posterior de los secaderos radica en mantener una proporción óptima entre diferentes factores como:

- La cantidad de mineral alimentado (35 a 48 t/h), según el tipo de mineral y su humedad de entrada (27 a 33 %).
- La temperatura de los gases de salida ($>76\text{ }^{\circ}\text{C}$ $< 110\text{ }^{\circ}\text{C}$) para obtener una humedad de salida de 4 a 5 %.



- La temperatura máxima de la cámara de combustión (<1340 °C Sec. Viejos y < 900 °C Sec. Nuevos, aunque mientras más cercana al valor límite mejor es la combustión del petróleo y mejor se aprovecha la capacidad del secadero).
- El flujo de petróleo a las cámaras (Aprox. 22 a 30 kg/t según la humedad del mineral).
- La presión en la cámara de combustión (3 a 15 kg/m²) que depende del tiro del secadero (abertura del dampers del VTS de 50 a 100 %) el aire de combustión y exceso (abertura de los dampers respectivos 50 a 100 %).
- El amperaje del motor del secadero (Sec. Viejos < 35 A, Sec. Nuevos < 45 A)

1.5.2 Arrancada normal de la Planta de Secado de Mineral

Una vez preparada la arrancada y efectuadas las coordinaciones y revisiones necesarias se procede al arranque de los equipos en la dirección contraria al flujo tecnológico de la planta. Se dará prioridad a algunas tareas que se considere necesarias antes de poner en marcha los equipos para garantizar el funcionamiento correcto al ser puestos en marcha y a algunas operaciones que por sus características requieren de una etapa preparatoria por ejemplo:

- Debe existir suficiente mineral en las pilas para garantizar el suministro interrumpido de mineral.
- Las cámaras de los secaderos que se pondrán en operación estarán previamente calentadas, de lo contrario hay que realizar los debidos regímenes de calentamiento antes de la arrancada de la planta completa.
- El petróleo de los tanques estará previamente calentado de 35 a 40 °C para garantizar su transporte fluido por las tuberías.
- En los secaderos que serán puestos en operación se recirculará petróleo a la temperatura de operación (90 a 110 °C) para calentar las tuberías y evitar que las boquillas de los quemadores se tupan de forma prematura, esto se efectúa poniendo en marcha las bombas de petróleo requeridas efectuando las operaciones previstas para esto.
- Se abrirá el agua de enfriamiento a los equipos tecnológicos que lo requieran como: Compresores, secaderos, refrigeradores de aceite, molinos de bolas.
- Se suministrará el aire de servicio a los equipos que lo requieran.



- Se colocarán todas las válvulas, “dampers” y compuertas en la posición de operación requerida.

1.5.3 Parada normal

1. La parada se efectuará siguiendo la dirección del flujo tecnológico, esperando el tiempo de retardo suficiente para que cada equipo quede completamente limpio de mineral circulante.
2. Una vez parado el equipo de ser prolongado el tiempo de parada se procede a emitir una orden de quitar corriente al mismo para prevenir arrancadas en falso y posibles accidentes por esta causa. Sólo se dejará puesta la energía para el alumbrado de las áreas.
3. Se contará con un plan elaborado para la revisión y el mantenimiento. El personal de mantenimiento chequeará integralmente cada equipo y corregirá todos los defectos reportados y encontrados. Se revisará cada equipo en cuanto a desgaste de las partes sometidas a la acción del mineral; desgaste de los sistemas de sellaje, hermetización y control de fugas y derrames de agua, aire, aceite y mineral. Al terminar la revisión o mantenimiento, todos los registros, tapas, puertas, quedarán debidamente cerrados, todos los resguardos colocados y el área completamente libre de los restos de la reparación.
4. Se elaborará un plan de acuerdo al cual el personal de operaciones procederá a la limpieza minuciosa de derrames, del mineral depositado en las diferentes partes de los equipos y estructura del edificio. Se efectuará una limpieza interior de los mismos, sus descargas y conductos, todos los cuales quedarán libres de deposición e incrustaciones.

1.5.4 Parada de emergencia

Las paradas de emergencia o no programadas se pueden dar por diversas causas.

- Falta de energía eléctrica.
- Falta de aire de servicio de instrumentación.
- Falta de petróleo tecnológico a secaderos.
- Avería de equipos fundamentales.
- Desastres naturales.



1. Al faltar la energía eléctrica todos los equipos pararán simultáneamente por lo que quedarán con todo el mineral en su interior. Al momento de la arrancada se tendrá esto en cuenta para evitar sorpresas indeseables como tranques, disparos, sobrecargas y averías.
 - A los secaderos se les abrirá la ducha para propiciar un enfriamiento acelerado del tambor y evitar deformaciones al no haber forma de darles vueltas.
 - Al arrancar los sistemas de transporte neumático se dará un tiempo de soplado suficiente (5 a 10 min. según longitud de la línea) para favorecer la limpieza del mineral depositado en las tuberías.
 - Si el paro se prolonga por más de 30 minutos se sacarán y limpiarán los quemadores sometiéndolos a un chorro de vapor en el banco de pruebas de los mismos.
 - Se tomarán otras medidas que imponga la práctica productiva.
2. Al faltar el aire de servicio de instrumentación se verá afectado el sistema de control del suministro de petróleo a las cámaras y petróleo aditivo, de regulación de los “dampers” de los ventiladores de tiro, por lo que se procederá a una parada de emergencia del sistema de alimentación del mineral a secaderos para pasar los mandos a manual si la dinámica productiva lo exige.
3. Al faltar el petróleo tecnológico para secaderos, como esto generalmente se conoce con algunas horas de antelación se puede preparar un plan de medidas para el paro, además de una serie de medidas de carácter obligatorio que se deben tomar.
 - Al caerse la presión en las bombas por falta de petróleo se le cortará la alimentación a los secaderos y se continuarán rotando para desalojarlos y para evitar que se deformen.
 - Se cerrarán los dampers a los ventiladores (combustión, exceso y tiro) para evitar que se enfríe aceleradamente la cámara de combustión y se sacarán los quemadores para proceder a su limpieza.
 - El ventilador de tiro continuará trabajando para que queden limpios todos los conductos.
4. Al averiarse un equipo fundamental se procederá a la parada de emergencia del



mismo y de todos los que le anteceden según el enclave eléctrico del sistema. Los equipos posteriores se pararán según el orden normal para el paro. Cuando es un equipo de transporte de mineral se procederá a poner en marcha el sistema de reserva.

5. Cuando se avecinda un desastre natural se tomarán las medidas de acuerdo al mismo.

 - En caso de huracán de gran intensidad se efectuará la parada de las grúas, se pondrán unidas, se fijarán a un extremo de la línea del puente contra los topes por medio de tranques soldados a la línea. La dirección de la empresa decidirá la suspensión general de la energía eléctrica en dependencia de la fuerza del meteoro. Las canalizaciones y drenajes de la planta deben estar completamente limpios para evitar inundaciones.
 - En caso de sorprendernos un terremoto en el puesto de trabajo se procederá a la parada de emergencia del equipo que atendemos para evitar un mayor daño y posibles accidentes adicionales al desastre.

1.6 Control de la Energía Eléctrica y el Consumo de Petróleo

El control del consumo de energía es factible realizarlo en el área de molienda porque se cuenta con metros contadores, pero en el área de secado no se contabiliza adecuadamente por no contarse con metros contadores; se cuenta en la Subestación de La Pasa con 2 alimentadores que registran la demanda instantánea de la planta de secaderos y molinos, pero se le ha incorporado una parte del consumo de lixiviación lo cual distorsiona la exactitud del consumo de secadero.

1.6.1 Análisis del consumo de electricidad en la Empresa

La capacidad de generación de la termoeléctrica de la empresa es de 14.0 MWh instalado, actualmente la misma se encuentra limitada ya que se debe proceder de inmediato a la reparación capital del turbogenerador No. 12 que actualmente solo genera 4.0 MWh y el turbogenerador No.11 que genera los 4.0 MWh, el turbogenerador No. 12 se le realizó una reparación capital recientemente pero se encuentra fuera de servicio por presentar dificultades por lo que nos encontramos generado solo 7.8 MWh la potencia demandada por la empresa es de 18.0 MWh. Al



no contar la termoeléctrica con la potencia suficiente para alimentar las diferentes cargas es necesario que el SEN entregue la otra energía necesaria que necesita la empresa. Esto se hace desde la subestación de la “La Pasa”, la cual es la encargada de alimentar las cargas secundarias y enlazar los interruptores RN1 y RN2 con la barra de 34.5 kV que entrega el SEN. Esta subestación general de entrada tiene 2 transformadores de 16 MVA, 33/13.8 kV de fabricación Rusa. A través de ella se alimenta directamente de el SEN la planta de secaderos y molinos y la subestación 14 de la planta de hornos de reducción. En el anexo 8 se muestra los equipos eléctricos del secadero con sus parámetros de operación.

En la Tabla 1.1 se muestra el consumo eléctrico del SEN de la Empresa en los 6 últimos años.

Portador Electricidad	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Consumos (MWh)	80238.3	74618.3	81881.4	77300.5	103354.7	91186.8
Producción (t)	10730.1	11401.8	11136.8	9263.9	8509.4	6833.5
Especifico (MWh/t)	7.478	6.544	7.352	9.228	12.146	13.344

Como se puede observar en la Tabla 1.1 el consumo de electricidad específico ha aumentado en estos años notablemente y la producción de níquel ha disminuido respectivamente.

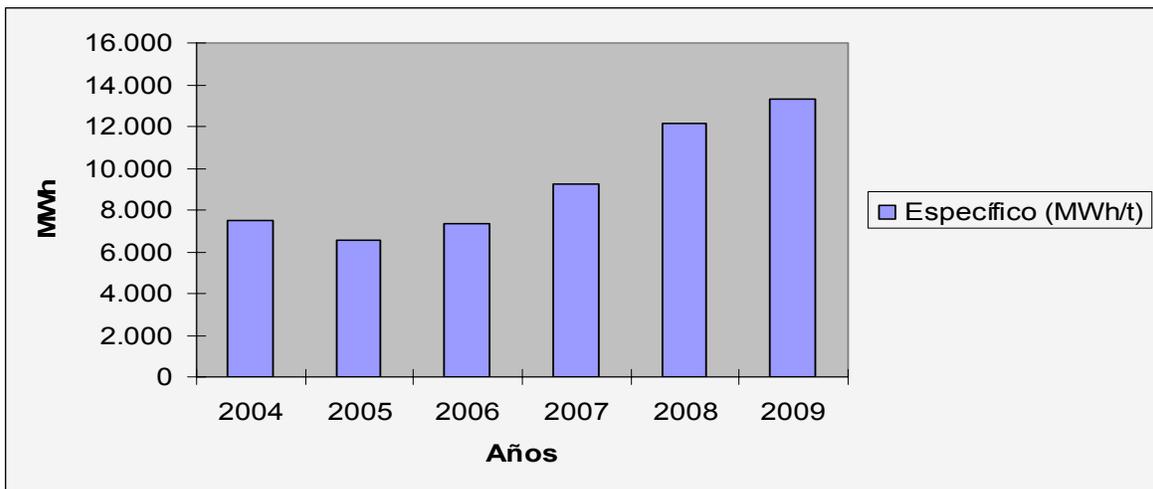


Figura 1.2 Consumo específico de electricidad del SEN.



Tabla 1.2 Consumo de electricidad del 2009.

	Total	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Secaderos	31474	2867	2268	2577	2593	2749	2580	2831	2296	2617	2659	2629	2809
Hornos	23843	2491	1848	2099	1965	2024	1817	2002	1700	1938	1960	1949	2050
Lixiviación y lavado	34409	3113	2769	2946	2965	2976	2751	2824	2499	2848	2881	2845	2993
Recuperacion de amon.	6032	530	456	519	522	537	497	419	451	514	520	520	547
Sinter	2463	208	182	207	208	214	198	231	180	205	207	207	218
Planta Electrica	10177	941	795	862	867	893	826	647	824	867	877	867	911

Consumo Eléctrico de las Plantas

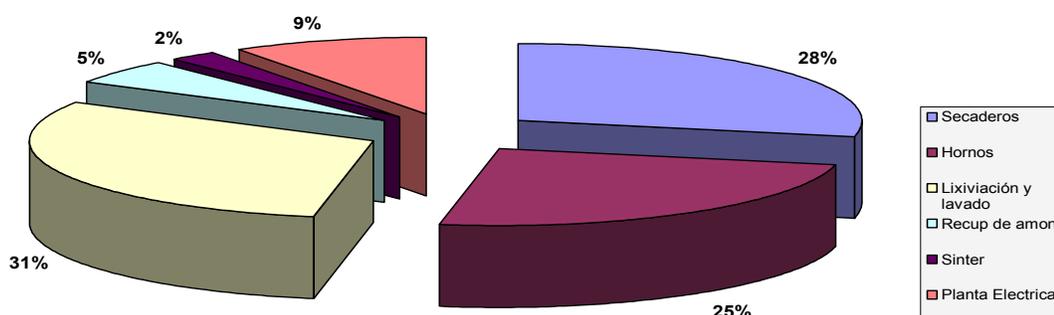


Figura 1.3 Comportamiento eléctrico general en MWh de la Empresa del año 2009

Como se puede observar en el grafico de la figura 1.3 la planta de Lixiviación y Lavado es la que más energía eléctrica consume en toda la empresa y de segundo que es de nuestro interés la planta de Secadero y Molino este consumo esta determinado fundamentalmente por la presencia de un mayor número de máquinas eléctricas con respecto a las otras plantas de la entidad, donde el 40 % aproximadamente son de gran potencia. En la tabla 1.2 se muestran los valores que representa la figura 1.3. Se toma como muestra el año 2009, aquí están representada



cada área de la empresa. Estos por cientos varían, pero las variaciones son de poco rango, está en $\pm 2\%$ del valor de cada uno.

Tabla. 1.3 Consumo de electricidad del 2010.

Electricidad Total	Enero	Febrero	Marzo	Abril
Secaderos	2949.7	2558.1	2187	2650.1
Hornos	2148.8	1867.5	1596.6	1910.8
Lixiviación y lavado	3153.8	2725.7	2330.2	2788.8
Recuperación de amoniaco	570.7	498.3	426	509.8
Sinter	227.2	198.4	169.6	203
Planta Eléctrica	950.7	830.1	709.7	849.4

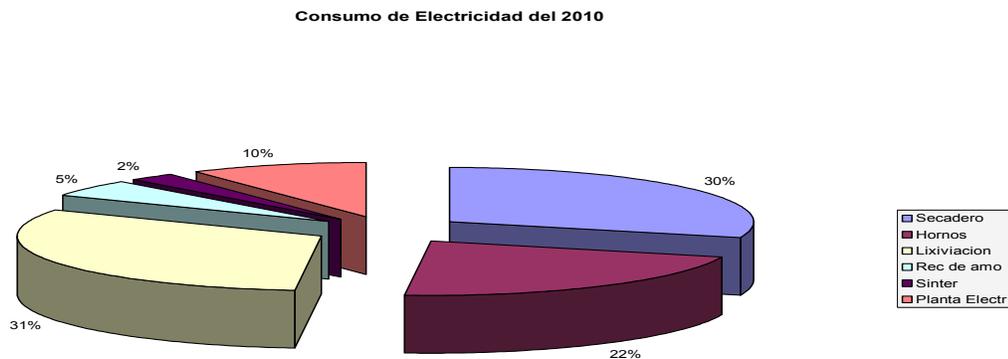


Figura. 1.4 Comportamiento eléctrico general en MWh de la Empresa del año 2010.

Aquí se puede observar en la figura 1.4 que en lo que va del año 2010, el consumo de electricidad de la planta de Secadero ha aumentado 2 % con respecto al año anterior.

1.6.1 Análisis del consumo de Petróleo de la planta de secaderos

El consumo de petróleo es difícil llevarlo con exactitud en la planta, se lleva por diferencia de nivel en el TK-11 que es de donde se recepciona y de donde se envía el petróleo hacia las cámaras de los secaderos, implicando que no sea exacta su medida porque en ocasiones se alimenta a este tanque sin avisar a la planta lo que implica que el consumo no coincida con el control, además hay que drenar en todos los turnos.

Propuesta de Estrategia de control para mejorar la eficiencia energética y tecnológica del proceso de secado



Tabla. 1.4 Consumo y Sobreconsumo de Petróleo de la planta de Secadero durante el año 2009.

Mes	Hum. del Mineral	Baja Product.	Calent. de la Cámara	Otras	Real	Plan
Enero	800.0	370.0	354.0	10.0	4518	4293
Acumulado	800.0	370.0	354.0	10.0		
Febrero	456.0	350.0	217.0	8.0	2934	1400
Acumulado	1256.0	370.0	517.0	10.0		
Marzo	82.5	47.8	290.0	71.0	3137	2524
Acumulado	1256.0	370.0	861.0	81.0		
Abril	74.3	38.5	81.9	3.3	3157	2796
Acumulado	1256.0	370.0	861.0	81.0		
Mayo	66.6	57.6	96.3	4.5	3797	3572
Acumulado	1322.6	427.6	957.3	85.5		
Junio	245.1	212.4	351.3	8.2	3460	2643
Acumulado	1567.2	640.0	1308.6	93.7		
Julio	162.0	100.0	305	8.1	3281	2826
Acumulado	1729.7	640.0	1613.6	101.8		
Agosto	80.0	28.0	75.0	5.0	2787	2599
Acumulado	1809.7	668.0	1688.6	106.8		
Septiembre	318.5	44.6	41.6	41.0	3527	3119
Acumulado	2128.2	712.6	1730.2	192.1		
Octubre	764.3	200.0	305.7	41.0	3968	2657
Acumulado	3804.5	1214.0	2134.9	192.1		
Noviembre	807.3	200.0	305.7	41.0	3839	2485
Acumulado	3804.5	1214.6	2134.9	192.1		
Diciembre	1592.0	138.0	106.0	94.0	4664	2734
Acumulado	5396.5	1352.6	2240.9	286.1		
Total de Sobreconsumo	5448,6	1786,9	2529,5	297,4	43069	33648

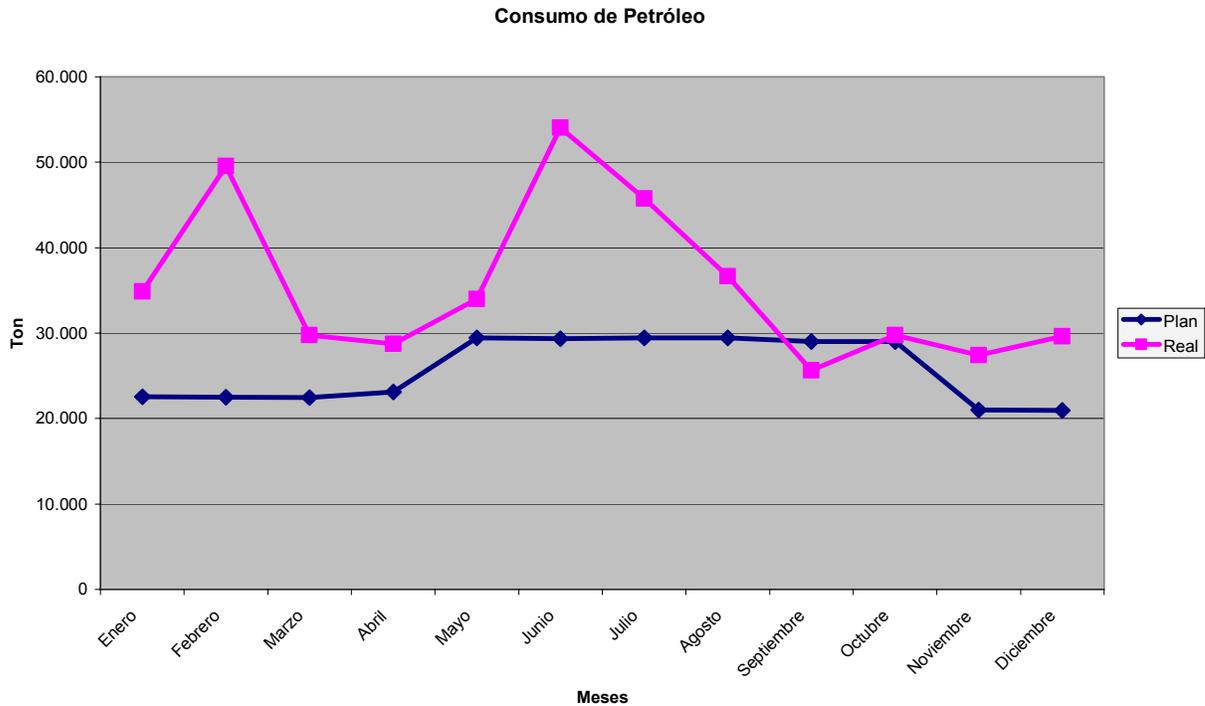


Figura. 1.5 Consumo de petróleo de la planta de Secadero del 2009.

Como se puede observar en el gráfico de la figura 1.5 la planta de secadero y molinos tiene un consumo de petróleo por encima de lo planificado, esto trae consigo un aumento del consumo específico de petróleo.

Las fluctuaciones que se ven en la figura 1.5 es producto a la inestabilidad que existe en la planta debido a:

- Paros de equipos no planificados.
- Manifestaciones de vacíos en los secaderos provocados por falta de grúas y falta de mineral en el depósito.
- No preparación de la masa del mineral a los alimentadores (no mezclado de mineral u homogenización).
- Características de petróleo muy cambiantes ya que lo mismo operan con petróleo nacional que con petróleo regular, producto a que se mezclan en los tanques, y estas mezclas es porque en muchas ocasiones no se drenan dichos depósitos lo que trae consigo una mala combustión en las cámaras de los secaderos.

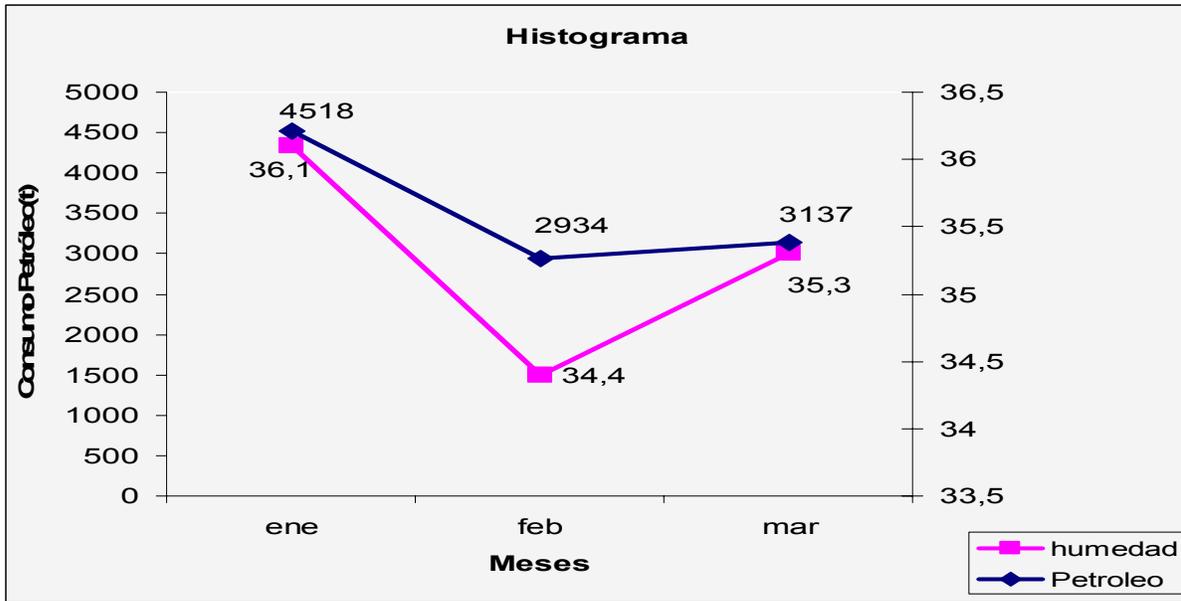


Figura 1.6 Consumo de petróleo de el primer trimestre del 2010.

En la figura 1.6 se muestra el comportamiento de la humedad de entrada y el petróleo en el primer trimestre de este año. Aquí se ve como a medida que disminuye la humedad de entrada disminuye el consumo de petróleo proporcionalmente.

Gráfico de Dispersión

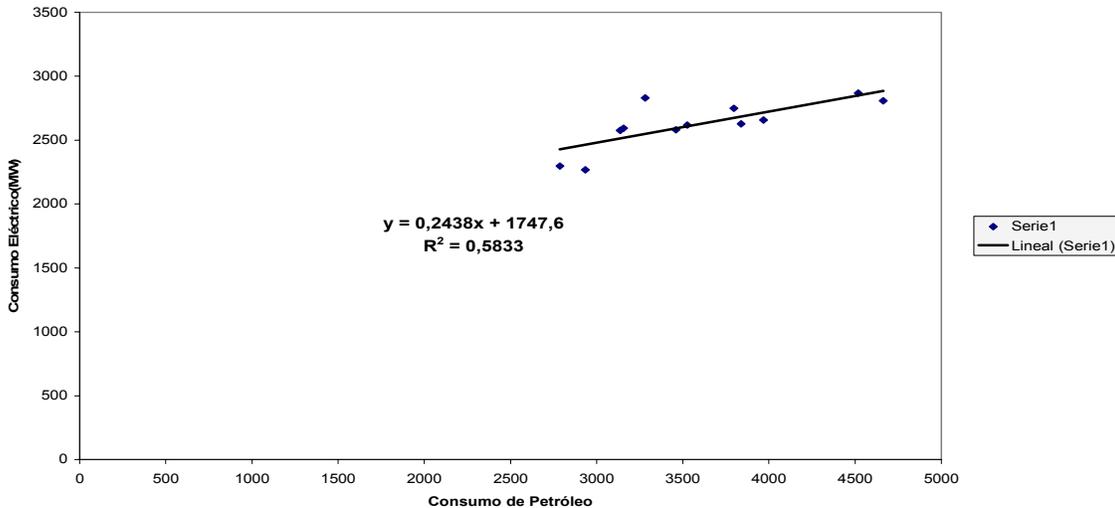


Figura 1.7 Comportamiento del consumo de electricidad en función del consumo de petróleo.

Como se puede observar entre estas variables la correlación es muy mala esto significa que existe una no correspondencia entre los consumos de petróleo y electricidad contra producción. Para que exista una buena correlación la R^2 debe de

Propuesta de Estrategia de control para mejorar la eficiencia energética y tecnológica del proceso de secado



estar por encima de 0.75 para la electricidad y para el petróleo por encima de 0.80 y en esta gráfica no muestra lo correcto.

La humedad de entrada en el proceso de preparación de mineral es uno de los principales factores que atenta a la ineficiencia de la planta así como al consumo de esta. Si la humedad de entrada disminuye, entonces disminuye el consumo de petróleo que se planifica para el secado del mineral. Si el consumo de petróleo disminuye para una humedad baja entonces el consumo de energía eléctrica también disminuye porque así estará el mineral laterítico menos tiempo en los secaderos y llega con una mejor norma a las unidades de molienda produciendo una molienda con mayor calidad; así se evita que exista una recirculación del mineral laterítico (el separador entrega las partículas gruesas nuevamente a la molienda) y dada la molienda se convierte en producto final que se envía a los silos. Todo esto se puede reflejar en la producción obtenida la cual será mayor.

Conclusiones:

- ❖ El consumo de electricidad de la planta de Secadero ha aumentado 2 % en cuatro meses con respecto al año anterior.
- ❖ El Sobreconsumo de petróleo de la planta de secadero esta determinada por las siguientes razones:
- ❖ Humedad del mineral
- ❖ Baja Productividad
- ❖ Calentamiento de la Cámara
- ❖ Otras



CAPITULO II

Propuesta de estrategia de control

2.1 Introducción

En la operación de plantas industriales existen ventajas significativas cuando se utilizan técnicas de control de procesos que permiten un aumento de la eficiencia y la productividad de las mismas.

El objetivo del presente capítulo con la caracterización de las variables del proceso Proponer estrategia de control para la relación aire combustible, temperatura en los gases de salida, temperatura y presión en la cámara de combustión dinámicamente de Secadores para que se avale su posterior implementación.

A continuación se presenta una clasificación, propuesta por Seborg, D. E. en 1994 [119] y en el 2000 [120], acerca de las técnicas de control que son actualmente usadas en los procesos industriales.

1.- Estrategias de control convencional:

- control PID
- control de razón o relación
- control en cascada
- control anticipatorio (feedforward)

2.- Métodos de control avanzado. Técnicas clásicas:

- ganancia programada (gain scheduling)
- compensación de tiempo-muerto
- control por desacoplamiento
- control selectivo

3.- Métodos de control avanzado. Técnicas bastante usadas:

- control adaptivo



- control predictivo basado en modelo (MPC)
- control estadístico de calidad
- control por modelo interno (IMC)

4.- Métodos de control avanzado. Técnicas con algunas aplicaciones industriales recientes:

- control óptimo (LQR)
- sistema especialista
- control no lineal
- neurocontroladores
- control fuzzy

5.- Métodos de control avanzado: técnicas con pequeña aplicación industrial:

- control robusto (H_∞ , síntesis- μ)

2.2 Propuesta de Solución al Problema de Control Presentado

En los problemas prácticos de control es típico encontrar más de una variable que puede ser controlada y de la misma forma, más de una para ser manipulada. Este problema es denominado control multivariable. Un sistema donde existan múltiples entradas y múltiples salidas como se muestra en la figura 2.1, es usualmente designado por la sigla, en inglés, MIMO (Multi-Input, Multi-Output).

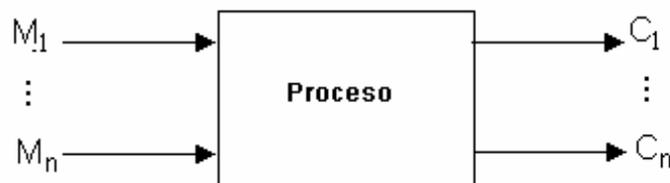


Figura 2.1 Esquema de un control multivariable con n entradas y n salidas, en un proceso $(n \times n)$.



Los problemas de control con múltiples entradas y múltiples salidas son más complejos que los sistemas con una entrada y una salida (SISO), debido a la interacción que ocurre entre las diversas variables.

Entre las técnicas de control mencionadas por Seborg, D. E. en 1994 [119], se encuentran los algoritmos PID (Proporcional-Integral-Derivativo), como una estrategia de control convencional y los de Control Multivariable con Desacoplamiento, como una estrategia de control avanzado.

Los controladores PID han sido desde la época de 1940 ampliamente empleados en la industria de procesos, entre ellas la metalúrgica y es ciertamente el algoritmo de control más empleado en la actualidad. Cerca del 90 % de los controladores industriales, según Deshpande, P.B. en 1989 [28]; Hwang, D. Sh. en 1997 [68]; Weng, K. H. en 1997 [140], son del tipo PI.

En el presente trabajo se desarrolla la propuesta para el control del sistema de secado de la planta de Mineral, donde existe actualmente la ausencia de sistemas de control de temperatura en los gases de salida, temperatura y presión en la cámara de combustión y de la relación aire-combustible, lo que provoca elevado nivel de gases contaminantes a la atmósfera, deterioro de la cámara de combustión por constantes sobrepresiones y sobrecalentamiento, pérdidas en la extracción de níquel y cobalto, insumos y energía.

2.3 Mediciones que se obtienen del proceso de secado

a) Medición de temperatura

La medida de temperatura constituye una de las mediciones más comunes y más importantes que se efectúan en los procesos industriales. Las limitaciones del sistema de medida quedan definidas en cada tipo de aplicación por la precisión, la velocidad de captación de la temperatura, la distancia entre el elemento de medida y el aparato receptor y por el tipo de instrumento indicador, registrador o controlador necesarios.

Los instrumentos de temperatura utilizan diversos fenómenos que son influidos por la temperatura y entre los cuales figuran:

- ❖ Variaciones en volumen o en estado de los cuerpos (sólidos, líquidos o gases).



- ❖ Variación de resistencia de un conductor (sondas de resistencia).
- ❖ Variación de resistencia de un semiconductor (termistores).
- ❖ f.e.m. creada en la unión de dos metales distintos (termopares).
- ❖ Intensidad de la radiación total emitida por el cuerpo (pirómetros de radiación).
- ❖ Otros fenómenos utilizados en laboratorios (velocidad del sonido en un gas, frecuencia de resonancia de un cristal.)

b) Medición de presión

La presión es una fuerza por unidad de superficie y puede expresarse en unidades tales como kg/cm^2 , psi (libras por pulgadas cuadradas), bar y atmósfera, si bien se normalizó a Pascal (newton por metro cuadrado = N/m^2), de símbolo (Pa).

La presión puede medirse en valores absolutos o diferenciales.

- ❖ La presión absoluta se mide con relación al cero absoluto de presión.
- ❖ La presión atmosférica es la presión ejercida por la atmósfera terrestre medida mediante un barómetro. A nivel del mar, esta presión es próxima a 760 mm (29.9 pulgadas) de mercurio absolutos o 14.7 psia (libras por pulgadas cuadradas absolutas) y estos valores definen la presión ejercida por la atmósfera estándar.
- ❖ La presión relativa es la determinada por un elemento que mide la diferencia entre la presión absoluta y la atmosférica del lugar donde se efectúa la medición. Hay que señalar que al aumentar o disminuir la presión atmosférica, disminuye o aumenta respectivamente la presión leída, si bien ello es despreciable al medir presiones elevadas.
- ❖ La presión diferencial es la diferencia entre dos presiones.

El vacío es la diferencia de presiones entre la presión atmosférica existente y la presión absoluta, es decir, es la presión medida por debajo de la atmosférica. Las variaciones de la presión atmosférica influyen considerablemente en las lecturas del vacío.

Los medidores de presión absoluta consisten en un conjunto de fuelle y muelle opuesto a un fuelle sellado al vacío absoluto. El movimiento resultante de la unión de los dos fuelles equivale a la presión absoluta del fluido.



c) Medición de caudal

En la mayor parte de las operaciones realizadas en los procesos industriales y en las efectuadas en el laboratorio y en plantas pilotos es muy importante la medición de los caudales de líquidos o de gases.

Medidores volumétricos:

Los medidores volumétricos determinan el caudal en volumen del fluido, bien sea directamente (desplazamiento), bien indirectamente por deducción (presión diferencial, área variable, velocidad, fuerza, tensión inducida, torbellino).

La medida de caudal volumétrico en la industria se efectúa principalmente con elementos que dan lugar a una presión diferencial al paso fluido. Entre estos elementos se encuentran las placas - orificios o diafragma, la tobera y el tubo de Venturi.

2.3.1 Variables que se obtienen en el proceso

Los sistemas de medición instalados para medir señales analógicas de interés en el proceso, brindan información, por ejemplo, de la temperatura en la cámara, temperatura de los gases de salida, presión de aire de pulverización, presión de la cámara, flujo de aire de dilución, flujo de aire de combustión. Los elementos de acción final no actúan de forma automática puesto que el secadero trabaja manualmente. Estos se pueden ver a continuación en la figura 2.2

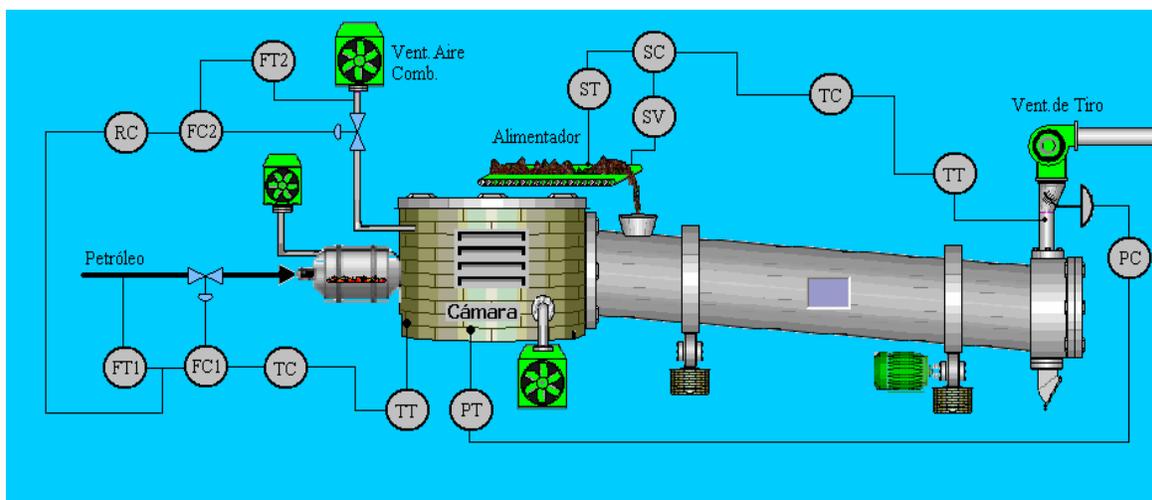


Figura. 2.2 Sensores instalados en los secaderos.



- 1) Medición de flujo de aire de combustión (transmisor de presión diferencial).
- 2) Medición de flujo de aire de dilución (transmisor de presión diferencial).
- 3) Medición de flujo de petróleo (flujometro másico).
- 4) Medición de presión en la cámara de combustión (transmisor de presión diferencial).
- 5) Medición de presión de aire de pulverización (transmisor de presión diferencial).
- 6) Medición de temperatura en la cámara de combustión. (termopar tipo s con convertidor inteligente en el cabezote).
- 7) Control de temperatura del combustible. (termostato).
- 8) Servomecanismo para la regulación del aire de combustión con realimentación de la posición.
- 9) Servomecanismo para la regulación del aire de dilución con realimentación de la posición.
- 10) Servomecanismo para la regulación del aire de Pulverización con realimentación de la posición.
- 11) Servomecanismo para la regulación de la presión en la cámara combustión con realimentación de la posición.
- 12) Servomecanismo para la regulación del aire de petróleo con realimentación de la posición.
- 13) Variador de velocidad para la regulación de la carga.
- 14) Preóstato para el control de la presión de aire de Combustión
- 15) Preóstato para el control de la presión de aire de dilución
- 16) Preóstato para el control de la presión de aire de pulverización
- 17) Preóstato para el control de la presión de gas propano
- 18) Válvula de recirculación de combustible (válvula de corte).
- 19) Sensor de proximidad para la medición de vacío en el alimentador.
- 20) Autómata para la medición y el control de los diferentes parámetros.

2.4 Descripción de la instrumentación, control y autómatas de la estrategia de control

2.4.1 Sensores y transmisores empleados para variable temperatura

Principio de funcionamiento de la termoresistencia Pt-100

La corriente que circula por el termómetro los calienta con respecto al fluido a medir. El error de calentamiento provocado decrece con el cuadrado de la corriente y de forma lineal con el valor óhmico de la correspondiente resistencia de medida. Además de la dimensión de la corriente, el error depende también de la construcción de la termoresistencia y de la transferencia de calor entre la vaina de protección y el medio a medir. Los instrumentos indicadores que operan por galvanómetro y aguja requieren una gran potencia. En este caso, la corriente por el termómetro no deberá superar



10mA para mantener el error por calentamiento dentro de los límites admisibles. Al medir la temperatura de gases con una velocidad de flujo muy baja, el error por calentamiento resultará considerablemente mayor que si se mide la temperatura en gases o fluidos que circulan a gran velocidad. El error por calentamiento puede desatenderse en caso de velocidades de flujo muy grandes. En la figura 2.3 se muestra una imagen física de una termoresistencia.

Componentes principales

- Unidad de medida con resistencia de medida.
- Tubo con placa soporte.
- Zócalo de conexión con resortes y 2 ó 3 cables internos de alambre revestido de Cu-Ni por cada resistencia de medida.



Figura. 2.3 Termoresistencia.

Construcción mecánica

Su peso es de 50 g (0.11 lb) y están contruidos de material plástico, encapsulado. En la figura a continuación se muestra una imagen física del convertidor (a) y sus respectivas conexiones (b y c).

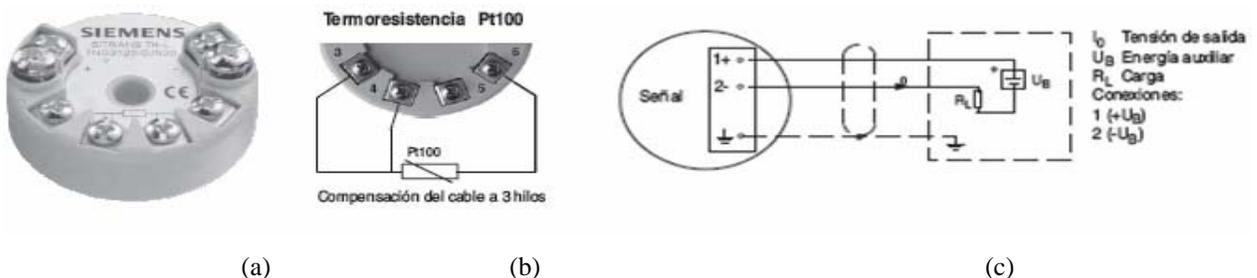


Figura. 2.4 (a) Convertidor de temperatura, (b) Conexión del sensor al convertidor, (c) Conexión del convertidor.



Principio y funcionamiento del termopar

Un termopar es un dispositivo formado por la unión de dos metales distintos que produce un voltaje (efecto Seebeck), que es función de la diferencia de temperatura entre uno de los extremos denominado "punto caliente" o unión caliente o de medida y el otro denominado "punto frío" o unión fría o de referencia. El efecto Seebeck se conoce como efecto termoeléctrico a la conversión de una diferencia de temperatura en electricidad. Se crea un voltaje en presencia de una diferencia de temperatura entre dos metales o semiconductores diferentes. Una diferencia de temperaturas T_1 y T_2 en las juntas entre los metales A y B induce una diferencia de potencial V .

En Instrumentación industrial, los termopares son ampliamente usados como sensores de temperatura. Son económicos, intercambiables, tienen conectores estándar y son capaces de medir un amplio rango de temperaturas. Su principal limitación es la exactitud ya que los errores del sistema inferiores a $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ son difíciles de obtener.

Ventajas:

- Diseño y operación simple
- Son pequeños, flexibles y de fácil instalación en ubicaciones remotas.
- Bajo costo.
- Los componentes del sistema de medición se pueden reemplazar individualmente.
- Amplio rango de medición
- Buena exactitud

Desventajas:

- Baja potencia de la señal de salida.
- Se deben conocer las técnicas de compensación de la junta fría.
- Requiere de calibración periódica.



Figura. 2.5 Termopar para variable de temperatura.



2.4.2 Sensores y transmisores empleados para variable presión

Los transmisores de presión SITRANS P de la serie MK II son adecuados para medir la presión relativa de gases, vapores y líquidos corrosivos y no corrosivos. Son transmisores de presión precisos y robustos que se caracterizan por un diseño compacto. Los transmisores de presión están disponibles en muchas variantes y con una amplia gama de accesorios.

Beneficios

- Diseño robusto y compacto
- Alta precisión de medida
- Error de característica $\leq 0.25 \%$
- Piezas con contacto con el fluido en acero inoxidable 1.4404/316L
- Rango de medida 0.23 a 160 bar g (3.34 a 2320 psi g)
- Protección contra explosiones según ATEX y FM/CSA

Principio de funcionamiento de este transmisor de presión

A través de la membrana separadora (2, figura "Diagrama de función") y el líquido de relleno (3), la presión se transmite al sensor de presión de silicio (4). La presión actuante provoca la deflexión de la membrana de medida. En consecuencia, las cuatro piezorresistencias implantadas en la membrana, conectadas en puente, modifican su valor de resistencia. Esta variación de resistencia origina una tensión de salida del puente proporcional a la presión de entrada, aumentada en un amplificador y convertida directamente en la corriente de salida de 4 a 20 mA. Los transmisores con alcances de medida de ≤ 63 bar g (≤ 914 psi g) miden la presión de entrada contra la atmósfera. El transmisor con el alcance de medida de 160 bar g (2320psi g) efectúa la medición contra el vacío. Ver figura 2.6

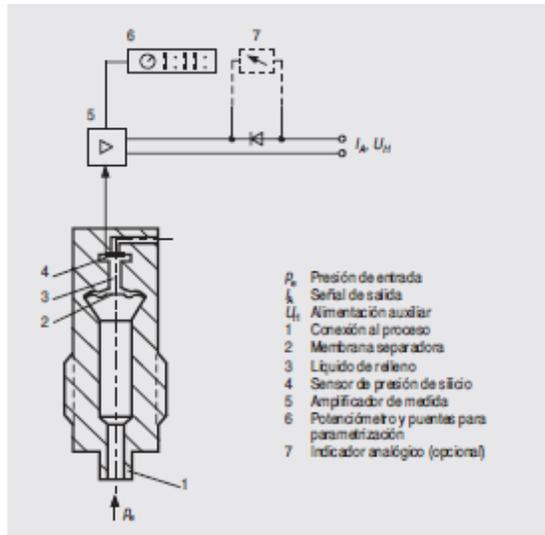


Figura.2.6 Esquema del sensor de presión relativa.

Construcción

Este instrumento esta compuesto por componentes principales como:

Tabla. 2.1 Componentes principales de este instrumento.

Pesos (sin opciones)	≈ 1,5 kg (≈ 3.3 lb)
Material de la caja	Fundición de aluminio baja en cobre, GD-AISi12
Material de las partes en contacto con el fluido ❖ Conexión roscada ❖ Membrana separadora	Acero inox. N° de mat.1.4404/316L Acero inox. N° de mat.1.4404/316L
Relleno de la célula de medida	Aceite de silicona
Conexión al proceso	Boquilla G $\frac{1}{2}$ B según DIN EN 837-1, rosca interior $\frac{1}{2}$ -14 NPT
Conexión eléctrica	Bornes de tornillo, entrada de cable por pasacables Pg 13.5 (adaptador), M20x1.5 ó $\frac{1}{2}$ - 14 NPT, o conector Han 7D/ Han 8U



Figura.2.7 Transmisor de presión relativa.

2.4.3 Sensores y transmisores empleados para variable caudal

Para la medición de caudal se utilizó transmisores de presión diferencial SITRANS P, Modelo DS III, Tipo: 7MF-4432-1DA00-1AA1-Z, Alcance de medida: 0-200mbar; salida 4-20 mA.

Funcionamiento de este transmisor

A través de la membrana separadora y el líquido de relleno, la presión se transmite al sensor de presión de silicio. La presión actuante provoca la deflexión de la membrana de medida. En consecuencia, las cuatro piezas resistencias implantadas en la membrana, conectadas en puente, modifican su valor de resistencia. Esta variación de resistencia origina una tensión de salida del puente proporcional a la presión de entrada, aumentada en un amplificador y convertida directamente en la corriente de salida de 4 a 20 mA. Los transmisores con alcances de medida de ≤ 63 bar g (≤ 914 psi g) miden la presión de entrada contra la atmósfera. El transmisor con el alcance de medida de 160 bar g (2320 psi g) efectúa la medición contra el vacío. La figura 2.8 muestra el transmisor de presión diferencial utilizado.



Figura.2.8 Transmisor de presión diferencial.



2.4.4 Sensores y transmisores empleados para variable flujo

Especificaciones del modelo

Excitación dual estándar de frecuencia: Tamaño 2.5 a 400 mm (0.1 a 16 in.)

Señales de comunicación: Superpuesto a los 4-20 mA

Protector de rayo:

Un protector del relámpago se construye en el rendimiento actual y pulso / los términos de entrada y salida de alarma/estado. Si el código de la opción UN es seleccionado, el protector del relámpago se construye en los términos de poder.

Convertidor del material: aleación de aluminio



Figura. 2.9 Flujo metro digital.

2.4.5 Autómata utilizado

El autómata utilizado en esta aplicación es el Momentum de la firma Schneider Electric. Los productos Momentum son modulares. Para que una base de entradas/salidas sea funcional es preciso que esté equipada con un módulo de comunicación o un módulo procesador. Los módulos de comunicación y los módulos procesadores Momentum están diseñados para funcionar como módulos funcionales cuando están montados sobre una base de entradas/salidas Momentum. Estas bases gestionan los datos procedentes de los sensores de campo y controlan los accionadores analógicos.



Este autómata incluye 4 componentes básicos fáciles de encajar en distintas posibilidades para formar o no automatismos descentralizados.

Los 4 componentes son los siguientes:

- Bases de entradas/salidas.
- Módulos de comunicación.
- Módulos de procesador.
- Módulos opcionales.

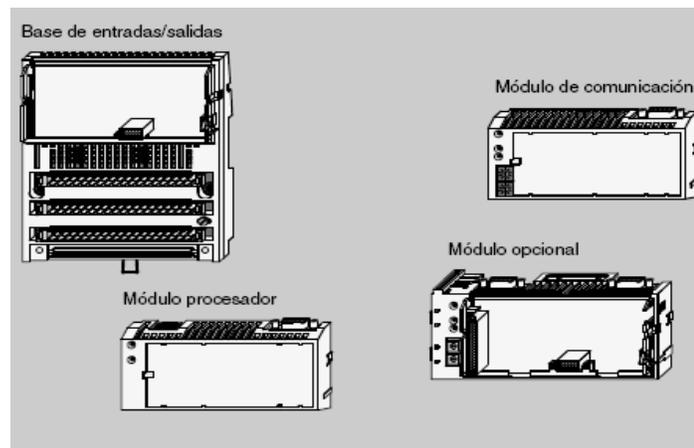


Figura. 2.10 Arquitectura modular Momentum.

Base de entrada analógica 170 AAI 140 00

La base de entrada analógica (ver figura 2.10) 170 AAI 140 00 cuenta con 16 canales de entrada analógicos asimétricos no aislados, y puede utilizarse en aplicaciones de vigilancia, medición y control de procesos continuos. La base también cuenta con detección de cables cortados.

La parte frontal de las bases de entradas/salidas 170 AAI 140 000 incluye:

1. Un conector de interfase interno para el módulo de comunicación o el módulo procesador.
2. Un contacto de enclavamiento y de tierra para el módulo de comunicación o el módulo procesador.
3. Pilotos de señalización del estado (la cantidad depende del número de vías).
4. Tres conectores para los borneros desenchufables.



5. Un tornillo de conexión a tierra.
6. Un emplazamiento para la barra de potencial.
7. Dos taladros de fijación para montaje sobre panel.

Características del módulo.

- Tipo de módulo: 16 Entradas Analógicas.
- Rango de tensión de entrada +/- 10 V, +/- 5 V.
- Corriente de entrada 4-20 mA.

Módulo de comunicación 170 INT 110 00

El módulo de comunicación (ver figura 2.10 Interbus-S 170 INT 110 00, montado sobre la base de entradas/salidas Momentum constituye un conjunto funcional de entradas/salidas que se conectan directamente al bus InterBus-S. Esta conexión permite integrar las entradas/salidas Momentum en cualquier arquitectura InterBus-S compuesta por autómatas programables, puestos de control o de supervisión, terminales compatibles PC, variadores y otros equipos.

Cada módulo de entradas/salidas representa un nodo en el bus InterBus cuya dirección se define por la posición física en la red o mediante software. InterBus permite distribuir los módulos de entradas/salidas en distancias largas que pueden llegar a alcanzar hasta 12.6 km con un máximo de 256 equipos o módulos de entradas/salidas conectados mediante un par de cables trenzados:

1. Conector InterBus-S.
2. Emplazamiento para una etiqueta de identificación (suministrada con cada base de entradas/salidas).
3. Pilotos de señalización de estado:
 - Piloto BA (verde), actividad del bus.
 - Piloto RC (verde), estado del bus entre estaciones.
 - Piloto RD (rojo), bus entre estaciones inactivo.



Módulo de procesadores M1 171 CCS 760 00

El módulo procesador trata de una forma rápida e independiente las operaciones lógicas, controla sus propias entradas/salidas locales y se comunica con otras entidades a través de uno de los módulos opcionales de comunicación Momentum (ver figura 2.10). El módulo procesador transforma una base estándar de entradas/salidas en un autómata PID o en un resolver lógico de gran velocidad. Los módulos procesadores M1 están concebidos para ser montados de forma autónoma sobre una base de entradas/ salidas única, según el tipo, aceptan entradas/salidas a distancia a través del Puerto Bus.

1. Conector RJ45 para conexión Modbus o Ethernet.
2. Conector SUB-D hembra 9 puntos para conexión Modbus o bus de entradas/salidas (según modelo).
3. Pilotos de señalización (LED).
4. Etiqueta de identificación.

Módulos opcionales

Cada módulo opcional Momentum, montado entre bases de entradas/salidas y el procesador M1, puede utilizarse para mejorar las capacidades de comunicación de los módulos procesadores. Los módulos opcionales permiten introducir en red los controladores lógicos para constituir un subsistema inteligente en el cuadro de una aplicación más importante; asimismo, es posible hacer una red autónoma compuesta por autómatas locales con entradas/salidas remotas.

Los módulos opcionales disponen de un reloj calendario integrado para la aplicación residente en el módulo procesador (ver figura 2.10). El reloj calendario sirve para programar los sucesos y poner fecha a las operaciones y las exigencias de interfase operador. Además, cada módulo opcional contiene una pila de seguridad que contiene la aplicación y sus variables en caso de pérdida de alimentación en el módulo procesador. El fácil acceso al módulo opcional mediante una puerta lateral permite reemplazar rápidamente las dos pilas de tipo AAA:

1. Conector(es) tipo SUB-D 9 contactos para comunicar con Modbus Plus.



2. Alojamiento para pilas de seguridad (programa y datos de procesador M1).
3. Pilotos de señalización (LED).
4. Interruptores para direcciones Modbus Plus.

Software de programación Concept 2.5

Esta información mencionada anteriormente fue consultada en la ayuda del sistema de programación Concept versión 2.5 y los catálogos para este autómatas Modicon TSX Momentum Plataforma de Automatización Schneider Electric España, S.A. y TSX Momentum I/O Base User Guide Schneider Electric España, S.A.

Concept es una herramienta de software de configuración y de programación de aplicaciones para las plataformas de automatismo Quantum y Momentum. Se trata de un software basado en Windows que puede ejecutarse en un terminal compatible con PC. La tarea de configuración se puede efectuar en línea (PC conectado al procesador Quantum) o fuera de línea (PC únicamente). Concept acepta el modo configuración y sólo permite combinaciones legales. Cuando el funcionamiento está en línea, la validez del material configurado se verifica inmediatamente y las instrucciones ilegales se rechazan. Cuando se establece la conexión entre el terminal de programación (PC) y el procesador Quantum, los parámetros configurados se comprueban y comparan con los recursos materiales efectivos. Si se detecta una diferencia, se emite un mensaje de error.

- Los editores Concept admiten cinco lenguajes de programación IEC:
- Lenguaje de bloques funcionales (FBD).
- Lenguaje de contactos (LD).
- Lenguaje Grafcet, diagrama funcional en secuencia (SFC).
- Lenguaje lista de instrucciones (IL).
- Lenguaje literal estructurado (ST).

Así como un lenguaje Ladder Modicon compatible con ProWORX/Modsoft (LL984). Asimismo, están disponibles los tipos de datos compatibles IEC 1131-3. Con el editor de tipo de datos, el usuario define sus tipos de datos personalizados, convertidos desde/hacia los tipos de datos IEC existentes.

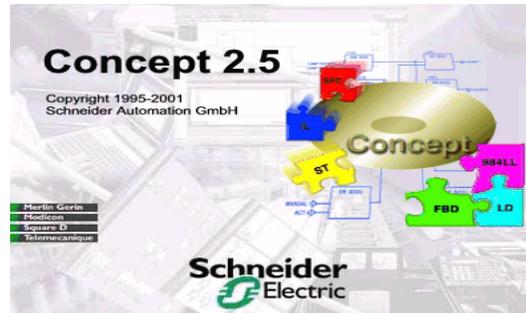


Figura. 2.11 Software de programación Concept.

2.5 Lazos de regulación de petróleo

En el desarrollo del capítulo # 1 se caracterizaron el objeto de estudio (secaderos) y su interrelación con los demás agregados, una de las condiciones o premisas significativa para la calidad o eficiencia del proceso de secado lo constituye sin lugar a duda la calidad de los parámetros del combustible es decir la temperatura y la presión del petróleo.

La calidad de la combustión para el proceso de secado del mineral juega una estrecha relación con la temperatura y la presión del combustible, las cuales actualmente se logran en la empresa con la aplicación de lazos de control basados en el principio de la utilización de reguladores PID.

El sistema de bombeo y calentamiento del petróleo cuenta con termómetros, manómetros y amperímetros en cada estación. El calentamiento se logra con el vapor, de 5 a 6 kg/cm² y 115 a 135 °C. El petróleo se almacena en los tanques TP-10 y TP-11, el volumen de los tanques es de 875 m³ cada uno que dan a la planta reserva para alrededor de 9 días de operación. En cada estación de bombeo puede trabajar una bomba en combinación con cualquier filtro de alta o baja y cualquier calentador. Cada bomba está dotada de su sistema de seguridad que le permite retornar petróleo a la entrada cuando existe un exceso de presión en la línea de impulsión. El petróleo que se toma de la línea principal pasa a través de uno de los filtros de baja a una bomba, la cual lo impulsa con una presión de 12 a 25 kg/cm² a través de los calentadores de petróleo donde se eleva la temperatura del mismo de 95 a 125 °C, según el gráfico viscosidad - temperatura para una viscosidad de 2.5 a 3 °E. El petróleo bombeado pasa



a través de los filtros de alta y luego llega a los quemadores, donde es pulverizado dentro de la cámara de combustión.

2.5.1 Lazo de Control de la temperatura a la salida del calentador de boca

Este tiene como función principal la de controlar y mantener la temperatura lo más estable posible (dentro de un rango preestablecido) a la salida del calentador de boca a partir de la medición directa de la temperatura del combustible (variable controlada), y regulando la presión de vapor de entrada al calentador (variable manipulada), evitando que las bombas encargadas del suministro pudieran cavitarse y producir pérdida de la presión de bombeo. Esta temperatura está determinada por las características químicas del combustible, fundamentalmente la densidad. Cada tanque tiene asociado un lazo de control propio.

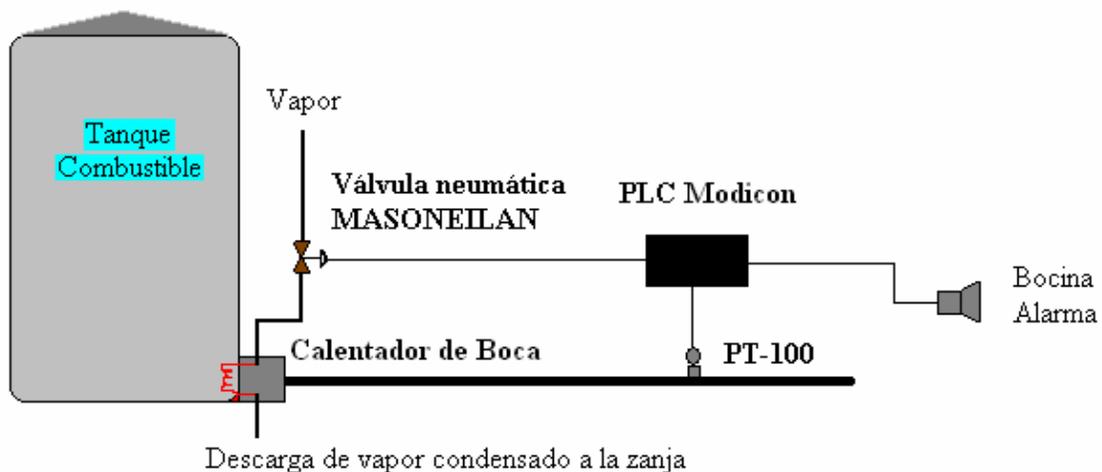


Figura.2.12 Lazo de Control de la temperatura a la salida del calentador de boca.

2.5.2 Lazo de Control de la temperatura a la salida del calentador de línea

Este tiene como función principal la de controlar y mantener la temperatura lo más estable posible (dentro de un rango preestablecido) a la salida del calentador de línea a partir de la medición directa de la temperatura del combustible (variable controlada), y regulando la presión de vapor de entrada al calentador (variable manipulada). Esta temperatura es seleccionada en dependencia a la composición química del combustible en este caso la densidad, mejorando así una mejor pulverización en los quemadores de los secaderos. Cada calentador tiene asociado un lazo de control propio.

Propuesta de Estrategia de control para mejorar la eficiencia energética y tecnológica del proceso de secado 45

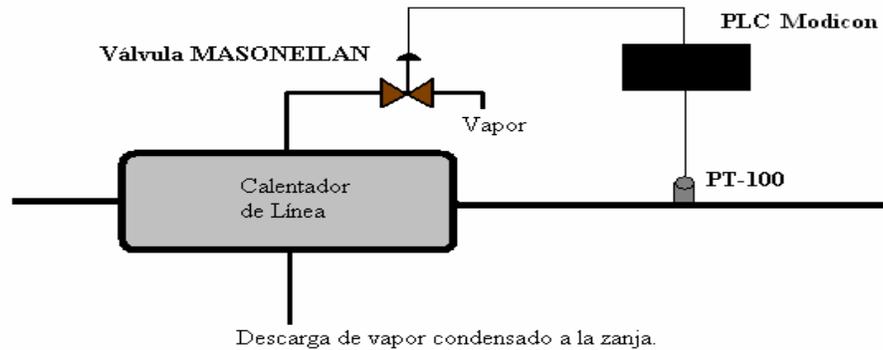


Figura.2.13 Lazo de Control de la temperatura a la salida del calentador de línea.

2.5.3 Lazo de Control de la presión de petróleo

Este tiene como función principal la de controlar y mantener la presión dentro de los valores establecidos para una operación estable en las cámaras de los secaderos tomando como señal la presión de la línea principal en la salida de los calentadores de línea, esta presión debe permanecer constante bajo cualquier condición de carga.

El sistema de bombeo está compuesto por 3 bombas encargada del suministro del combustible a los secaderos, de estas bombas operan normalmente una, si por alguna razón, la bomba que está operando saliera de forma imprevista, provocaría automáticamente una caída de presión y un paro inmediato de los secaderos por falta de combustible. Para este caso se implementó un sistema de arranque automático a través de un preóstato insertado en la línea principal de suministro, la caída de presión se conmuta a través de un selector incorporado en las gavetas del CCM permitiendo el arranque de las bombas restantes, en este caso esta selección debe ser indicada en la pantalla del sistema para tener constancia del estado de la bomba.

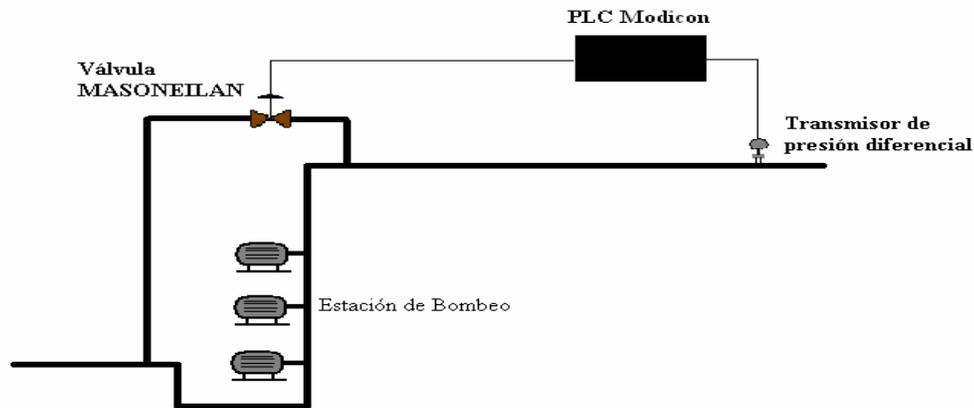


Figura.2.14 Lazo de Control de la presión de petróleo.

Este lazo consiste en controlar la presión del crudo a la salida de los calentadores de línea (variable controlada), se coloca un transmisor de presión en la línea del crudo, este toma el valor de presión de la línea, lo manda al PLC a través de una señal de 4-20 mA, el PLC se encarga de comparar este valor con el Set Point prefijado, la diferencia se corrige con la posición de la válvula(variable manipulada) que se encuentra colocada en una línea que forma un Bay Pass entre la línea de absorción de la estación de bombeo y la salida de esta, en caso de que halla un aumento en la presión general de la línea de salida, la válvula se abre lo que provoca un paso considerable del crudo que va por la línea de salida de la estación de bombeo y lo reincorpora a la línea de absorción provocando que disminuya la presión general en la línea de salida. Y en caso de que disminuya esta presión ocurre todo lo contrario, o sea la válvula se cierra y aumenta dicha presión general.

2.6 Propuesta de estrategia de control

2.6.1 Condiciones de Operación del secadero

- Ventilador de pulverización debe trabajar con una presión de 1.2 kPa, como máxima presión.
- El flujo de aire es de 5000 m³/h y no debe ser cambiado su valor.
- La temperatura en la cámara debe encontrarse en el rango de 850-900 °C, y se debe regular con aire de dilución.
- Si disminuye la temperatura de los gases de salida, disminuye la carga del secadero, debe aumentar entonces el flujo de fuel oil y aire.



- Si aumenta la temperatura de los gases de salida, aumenta la carga y disminuye el flujo de fuel oil y aire.
- Si se queda vacío, o tupido se le debe quitar flujo de aire de dilución y petróleo.
- Los elevadores deben trabajar con un amperaje de 30-40 A si se pasa debe detenerse la planta.
- Si disminuye la temperatura de la cámara y bajan los gases, se disminuye la carga con variadores de velocidad.
- Los gases deben trabajar de 75-88 °C estos gases trabajan con el vacío, y es el que indica si hay que aumentar o disminuir.
- La presión de la bomba de petróleo debe mantenerse entre 8.5 a 9 kg/cm².
- El vacío de la cámara debe ser negativo, mientras menor sea su valor mejora los gases de filtro, y se regula mediante los dampers.
- Si la temperatura de la cámara se mantiene y la temperatura de los gases aumenta, hay que variar la alimentación mediante los variadores de velocidad.

2.6.2 Tabla para la combustión del secadero

Con esta tabla el operador del secadero se guía para regular los aires de combustión, pulverización y dilución para una determinada cantidad de combustible para hacer una buena combustión en la cámara de combustión y halla menos consumo de petróleo.

Tabla. 2.2 Tabla de combustión.

Fuel Oil	Pulverización	Combustión	Pulv.+Comb.	Dilución	Total
kg/h					
1000	5000	8000	13000	13000	26000
1050	5000	8650	13650	13650	27300
1100	5000	9300	14300	14300	28600
1150	5000	9950	14950	14950	29900
1200	5000	10600	15600	15600	31200
1250	5000	11250	16250	16250	32500
1300	5000	11900	16900	16900	33800
1350	5000	12550	17550	17550	35100
1400	5000	13200	18200	18200	36400



1450	5000	13850	18850	18850	37700
1500	5000	14500	19500	19500	39000
1550	5000	15150	20150	20150	40300
1600	5000	15800	20800	20800	41600
1650	5000	16450	21450	21450	42900
1700	5000	17100	22100	22100	44200
1750	5000	17750	22750	22750	45500
1800	5000	18400	23400	23400	46800
1850	5000	19050	24050	24050	48100
1900	5000	19700	24700	24700	49400
1950	5000	20350	25350	25350	50700
2000	5000	21000	26000	26000	52000

2.6.3 Estrategia de control para la automatización de la combustión y carga en los secadores de mineral

La estrategia de control diseñada de responderá a las principales perturbaciones que se producen en el proceso identificada en este trabajo y que afectan la combustión y la carga, de manera que para cualquier valor de carga que se este alimentando, la relación aire combustible siempre este en el valor optimo de los ventiladores de combustión y pulverización más el aire de exceso que aporta el ventilador de dilución. Cuando se produzcan variaciones en la alimentación por bajo nivel de alimentación o vacíos temporales, el sistema de control deberá ser capaz disminuir la relación aire combustible para no tener excesos de gases calientes en los cojinetes de los ventiladores de tiro

El algoritmo de regulación en el secadero lo componen 4 lazos de control PID avanzados, con una interrelación estrecha en cada uno ellos, ligados a la dependencia tecnológica que presentan las variables en el proceso. Los mismos están formados por la agrupación de variables siguientes:

- **Lazo 1 de control de temperatura en la cámara de combustión (control de la combustión), variables que lo componen. Ver figura. 2.15**
 - Temperatura en la cámara de combustión.
 - Flujo de petróleo.
 - Flujo de aire de combustión.
 - Servomecanismo para el control del caudal combustible.
 - Servomecanismo para el control del caudal de aire de combustión.



- Servomecanismo para el control del caudal de aire de dilución.
- Servomecanismo para el control de la presión de aire de pulverización.

La válvula de combustible debe ser (SAC) para asegurar que en caso de falla no se produzca una fuga de combustible con el consiguiente riesgo de explosión o liberación excesiva de energía. El controlador primario es conveniente que sea PID, ya que la dinámica con que se restablece la temperatura de la cámara ante una perturbación es un poco lenta y se necesita que se la controle en un valor exacto. Debe ser inverso, ya que si la temperatura aumenta, su salida (set point del controlador secundario) debe disminuir para que baje el caudal de combustible.

El controlador secundario es conveniente que sea PI, ya que como el caudal es una variable ruidosa se deben poner valores bajos en K_c , con lo que de no haber acción integral, el error de estado estacionario sería grande. La otra razón es que la acción integral asegura que el flujo pedido sea el efectivamente liberado (ganancia entre SP_2 y F_c constante). La acción debe ser inversa ya que si el caudal de combustible que se mide baja, la válvula debe abrir para lo cual la señal que sale del controlador secundario debe aumentar.

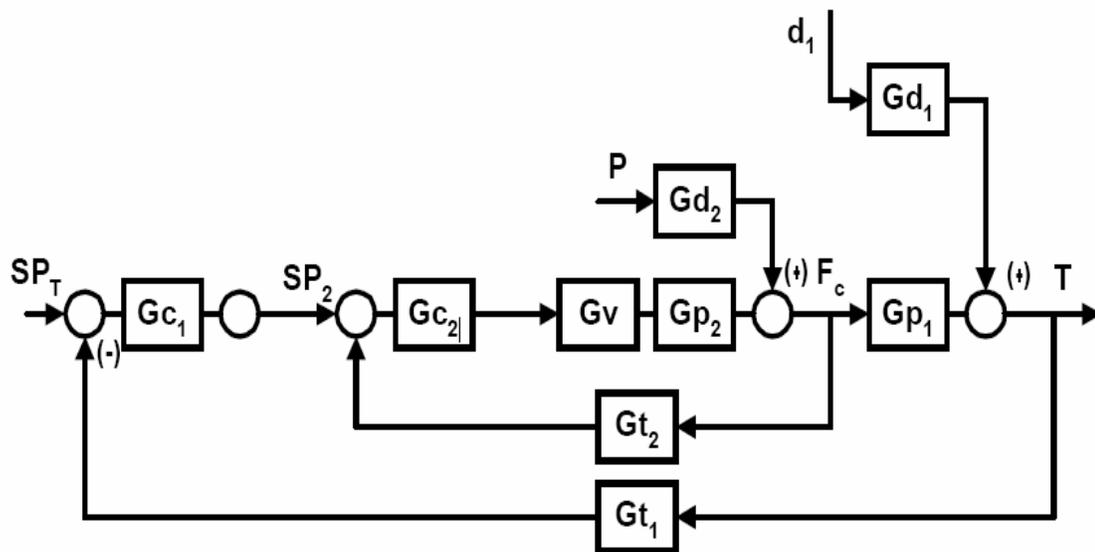


Figura. 2.15 Diagrama en bloques de lazo de temperatura de la cámara.

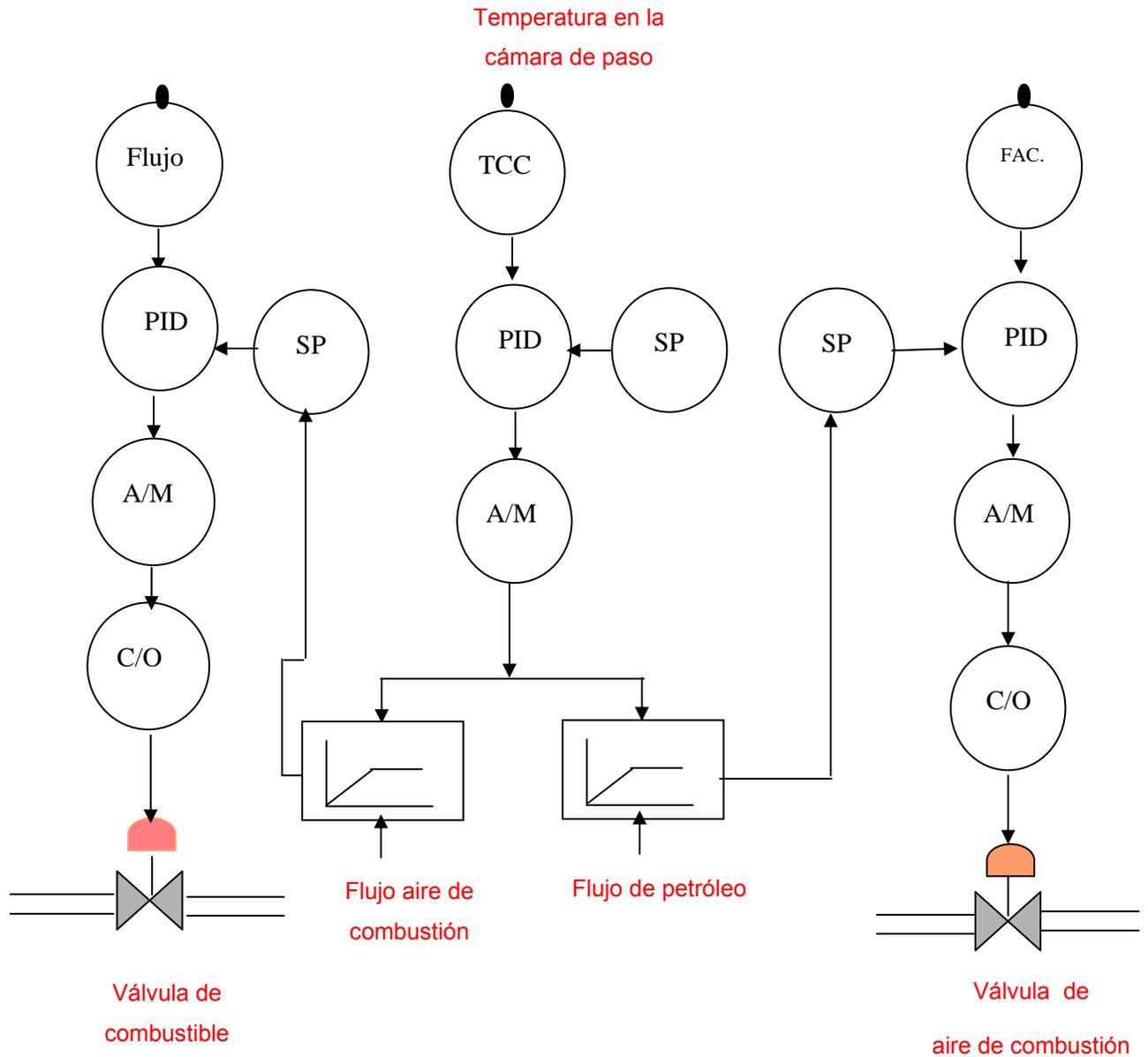


Figura. 2.16 Lazo de control de la temperatura de la cámara.

2.6.4 Lazo de Control de la alimentación al secadero

El lazo de carga es el mas complejo en el sistema, debido a que la optimización del secadero se realiza a través de la temperatura en los gases de salida que tiene un tiempo de residencia en el mineral de 35 a 45 minutos y de 3 a 7 minutos en los gases, por lo que introduce un retraso de transporte considerable al lazo.



Al no disponer de un sistema de pesaje continuo en la alimentación del mineral, que sería lo óptimo, evaluamos la posibilidad de la Implementación de una medición inferida de la altura de la cama del mineral en el alimentador con el objetivo de garantizar una alimentación estable y por ende una eficiencia mucho mayor en el secadero.

La variable controlada es la temperatura de los gases de salida del secadero, y la variable manipulada es la velocidad de la banda alimentadora. Además se usa un control en cascada.

El controlador primario es conveniente que sea PID, ya que la dinámica con que se restablece la temperatura de los gases es lenta y se necesita que se la controle en un valor exacto. Debe ser de acción directa, ya que si la temperatura aumenta, su salida (set point del controlador secundario) debe aumentar para que suba la velocidad del variador y así la de alimentación.

El controlador secundario es conveniente que sea PI, y con acción inversa.

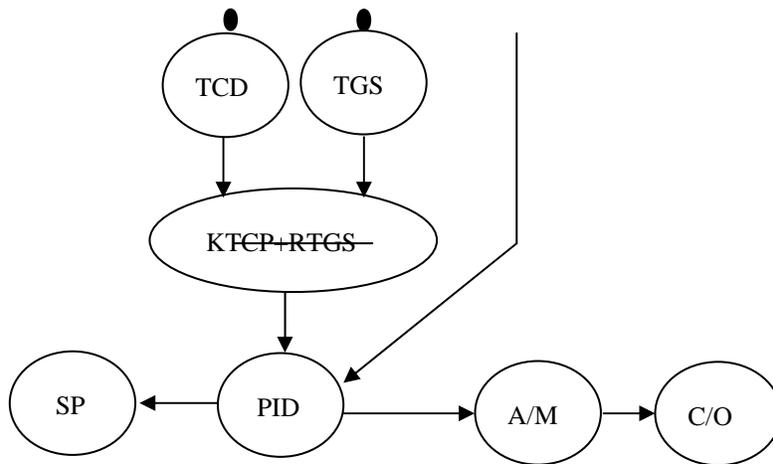


Figura. 2.17 Lazo de Control de Carga.

2.6.5 Lazo de Control de la relación aire-combustible

Para quemar en forma eficiente un combustible debe de haber un exceso de aire respecto de la cantidad estequiométrica. En el diagrama P&I del sistema de control se muestra que cada vez que se manipula el caudal de combustible para restablecer la



temperatura de la cámara, se debe cambiar el caudal de aire en forma proporcional. Esto se logra con un sistema de control de relación.

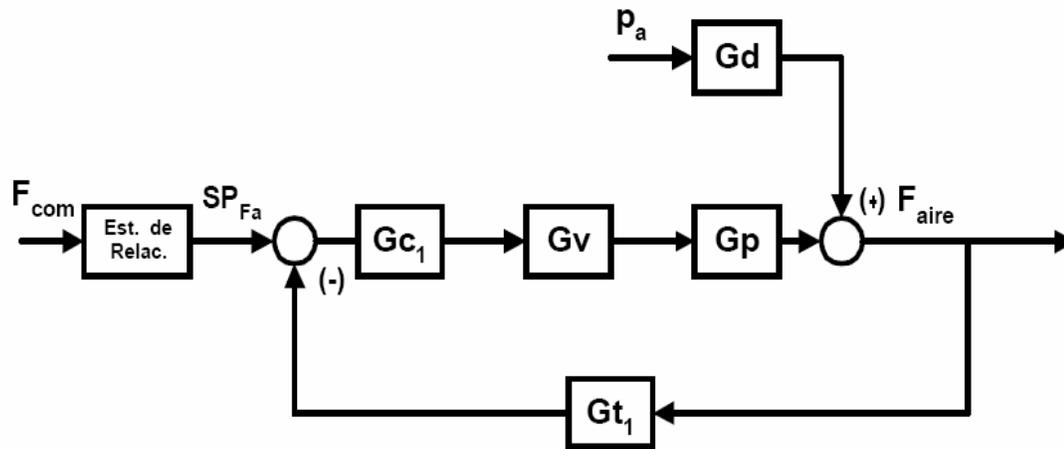


Figura. 2.18 Diagrama en bloques del lazo.

La variable controlada y manipulada es la misma: caudal de aire. La principal perturbación que existe es el caudal de combustible que actúa a través de la estación de relación fijando el set point del controlador. La válvula es SAA (para asegurar que en caso de falla, se libere aire en exceso y se evite la posibilidad de tener combustible sin quemar y en condiciones explosivas).

El controlador debe ser PI por las razones expuestas en el controlador secundario del lazo de control de temperatura, y debe ser de acción directa.

La función de transferencia de la estación de relación es simplemente una ganancia que tiene en cuenta cual es la relación aire-combustible y los alcances de los transmisores de caudal de aire y combustible.

2.6.6 Lazo de Control de la Presión en la Cámara

La variable controlada, por retroalimentación, es la presión en la cámara donde se produce la combustión. La presión debe mantenerse en forma estricta de manera que no haya fuga de fuegos hacia el exterior de la cámara y simultáneamente minimizar el ingreso de aire frío por las aberturas del hogar. Este lazo de control está relacionado con el balance de materia en la cámara, equilibrando la cantidad de humos que se generan (por reacción química del petróleo y el aire) con los que salen. La variable



manipulada es el caudal de humos evacuados por la chimenea. Las perturbaciones más importantes son: caudal de aire y caudal de combustible. Para simplificar en el siguiente esquema consideremos (d) como todas las perturbaciones.

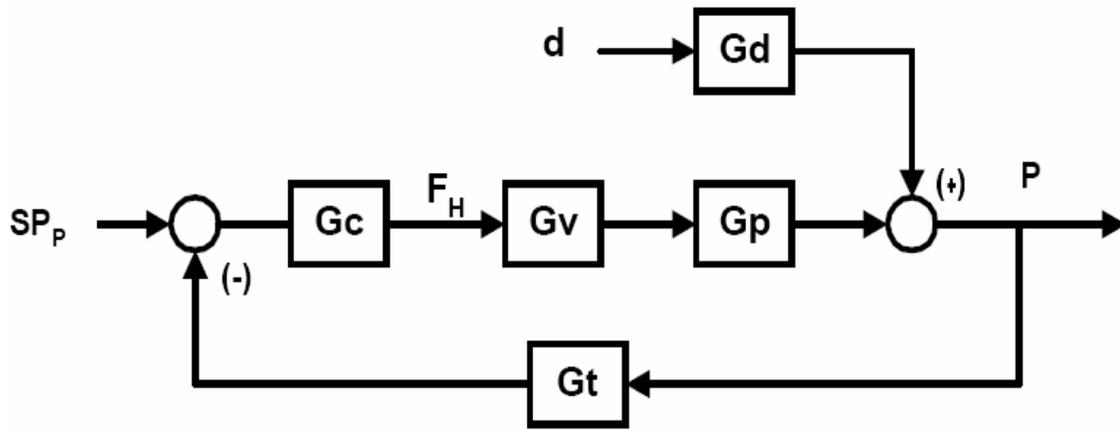


Figura.2.19 Diagrama en bloques del lazo.

El elemento final de control (registro actuado neumáticamente, damper) debe ser, por seguridad, SAA ($K_v < 0$) para evitar que en corte de suministro de aire, la presión en el interior de la cámara aumente en relación con la exterior, y cuando el sistema arranque nuevamente, pueda transferencia de fuegos hacia el exterior. El controlador debe de ser de acción directa ($K_c < 0$) de tipo PI, ya que se requiere un error a estado estacionario igual a cero. La acción derivativa sería innecesaria, ya que este lazo se caracteriza por una capacidad importante que permite ajustar el lazo con grandes ganancias, por lo que puede esperarse velocidades de respuestas altas.

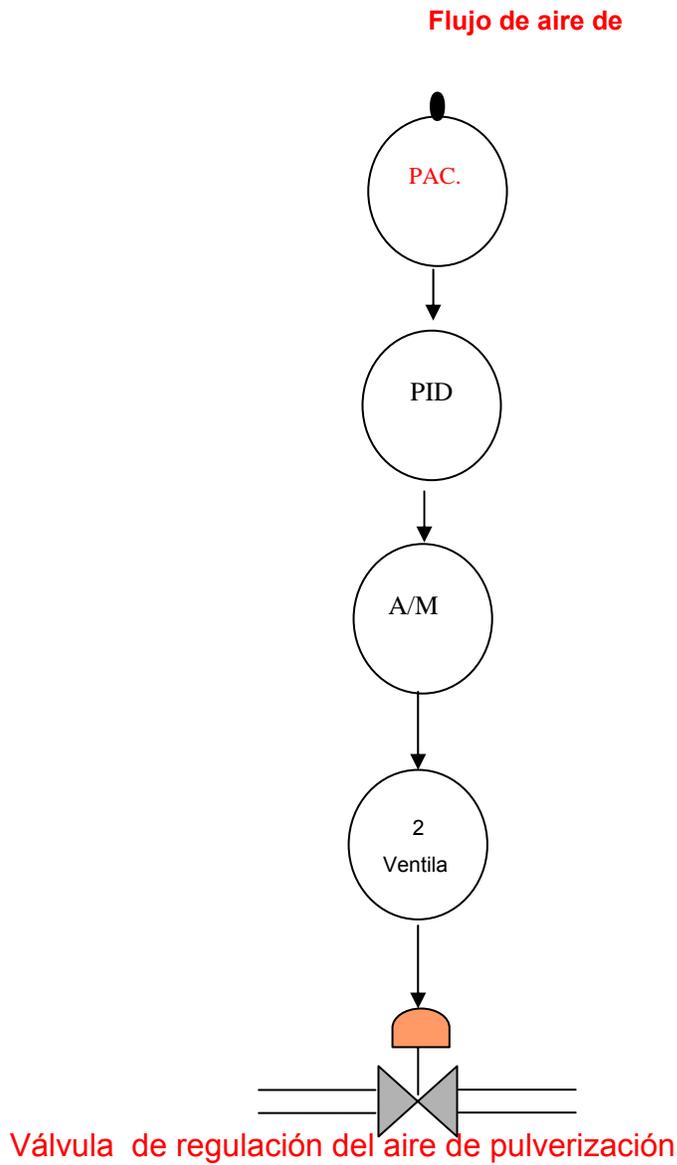


Figura.2.20 Lazo de control de presión de la cámara.



CAPITULO III

Generalidades de la aplicación SCADA EROS y valoración técnica económica del sistema

3.1 Introducción

En esta planta niquelífera uno de los SCADA utilizado es el EROS, el cual realiza variadas funciones dentro del entorno de la dirección de los procesos.

EROS facilita a los operadores, ingenieros, supervisores y directivos operar y dirigir cualquier proceso con más eficiencia y productividad que nunca antes.

EROS puede trabajar acoplado con diversos sistemas de colección de datos, como elemento único o formando parte de una red industrial. Tiene en cuenta todas las características de las variables medidas y realiza un potente tratamiento estadístico y determinístico de las mismas con sólo configurarlo. Su ambiente de trabajo es amistoso y la presentación agradable. EROS se configura de forma muy fácil (en línea) lo que permite que un usuario no especializado con orientaciones sencillas pueda configurarlo sin tener que depender de especialistas para ello, como sucede con la mayoría de los SCADA.

En este capítulo se toma en consideración los análisis de las muestras para la determinación de la productividad de los secaderos por los alimentadores, el balance térmico y de masa tomado del manual de operación de la planta, finalmente se expone los resultados del Monitoreo real de las Variables y breve valoración técnico económica.



3.2 Procesamiento de datos en el Software Supervisor EROS 5.9

Cada variable pertenece a un dispositivo que en el caso de las variables externas puede asociarse al autómatas o tarjeta de medición que, acoplado a la red industrial, es el encargado de informar a la PC su valor. Los dispositivos se comunican con la PC a través de un protocolo que depende del fabricante y por ello necesitan un manejador o driver que implemente ese protocolo en la PC. De esta manera el SCADA EROS asume el sistema como una estructura jerárquica en el que el nodo superior es la estación local de operación (la PC) y los nodos inferiores son los dispositivos que manejan directamente las variables externas tal como lo muestra el esquema a continuación.

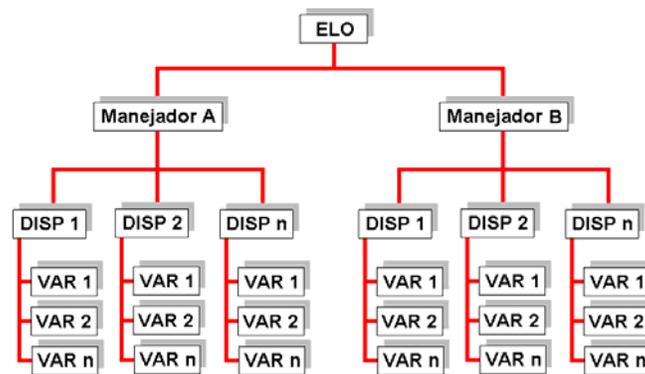


Fig.3.1 Esquema de procesamiento de datos del SCADA EROS.

Variabes de Entrada Analógica: Son señales que se miden en los dispositivos y su magnitud puede variar de forma continua en el tiempo y tomar cualquier valor dentro del rango definido (ej. Flujos, Temperaturas, Presiones, etc.).

Variabes de Entrada Discretas: Son señales que se miden en los dispositivos y su magnitud solo puede tener 1 de 2 valores o estados (ej. Apagado/Encendido, Trabajando/Parado, etc.).

Registros Analógicos: Son localizaciones de memoria dentro de los dispositivos que generalmente no están asociadas a canales físicos, en los cuales se almacenan valores analógicos.



Registros Discretos: Son localizaciones de memoria dentro de los dispositivos que generalmente no están asociadas a canales físicos, en los cuales se almacenan valores discretos.

Variables de Salida Analógicas: Son aquellas que generalmente están asociadas a canales físicos de los dispositivos mediante las cuales se envían señales analógicas a los elementos de acción final.

Variables de Salida Discretas: Son aquellas que generalmente están asociadas a canales físicos de los dispositivos mediante las cuales se envían señales discretas a los elementos de acción final.

3.2.1 Protocolo de comunicación MODBUS

- Desarrollado por Modicon para comunicación entre PLC's.
- Debido a su simplicidad y especificación abierta, actualmente es ampliamente utilizado por diferentes fabricantes.
- Entre los dispositivos que lo utilizan podemos mencionar: PLC, HMI, RTU, drivers, sensores y actuadores remotos.
- El protocolo establece como los mensajes se intercambian en forma ordenada y la detección de errores.

Principales Características del protocolo MODBUS

- Control de acceso al medio tipo Maestro/Esclavo.
- El protocolo especifica: formato de trama, secuencias y control de errores.
- Existen dos variantes en el formato: Código Estadounidense estándar para el intercambio de información (ASCII) y RTU.
- Solo especifica la capa de enlace del modelo de interconexión de sistemas abiertos (ISO/OSI).
- A cada esclavo se le asigna una dirección fija y única en el rango de 1 a 247.
- La dirección 0 está reservada para mensajes de difusión sin respuesta.



3.2.2 El Registrador de Variables

El sistema EROS brinda un registrador que va mostrando el comportamiento y tendencia en tiempo real de hasta 8 variables (un grupo) al mismo tiempo, así como la historia de las mismas, se muestra de la siguiente forma:

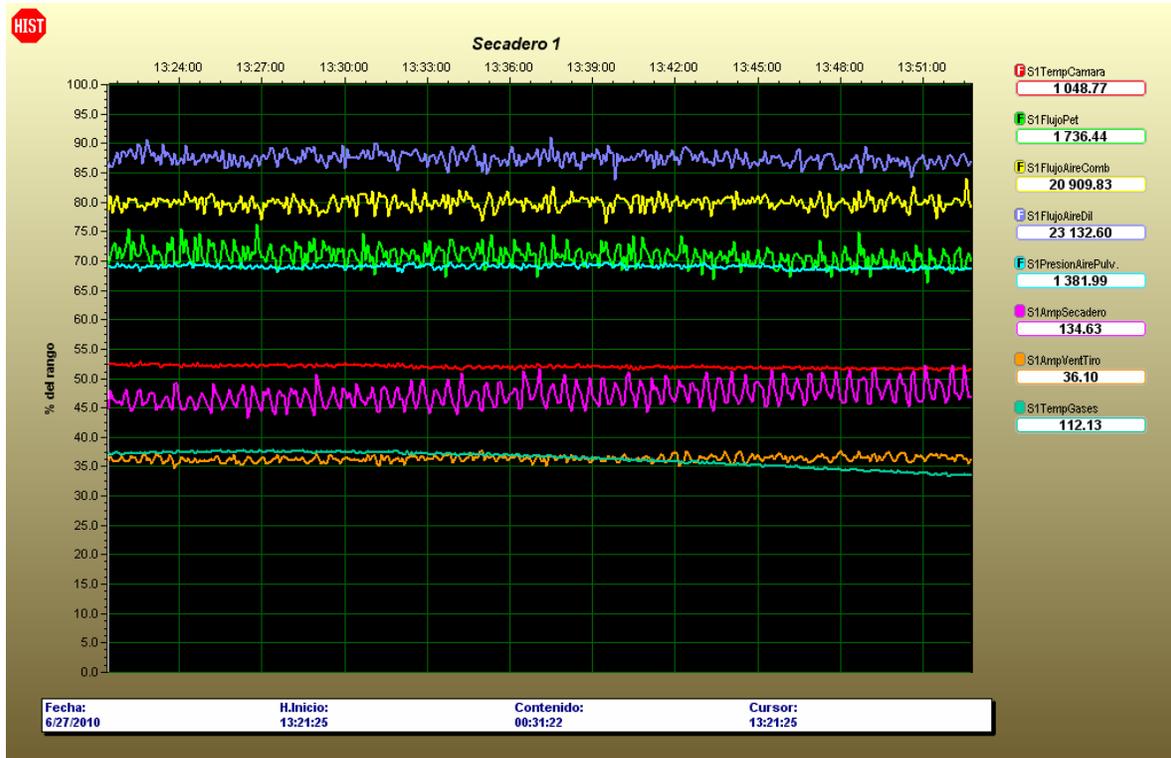


Figura.3.2 Registrador de variables

Características del Registrador de Variables

- El color de las líneas que representan el valor de las variables en el tiempo se asocia con sus etiquetas (a la derecha), es decir la variable que se representa en la etiqueta cuyo marco es rojo, se corresponde con la que está representándose con la línea roja, y así sucesivamente.
- Combina variables de diferentes tipos, es decir, mediciones, variables internas, de teclado etc. en grupos configurables por el usuario.
- Permite mostrar los valores de las mediciones en el tiempo (registro histórico).
- Permite cambiar la resolución de la carta lo que facilita percibir con más claridad la tendencia de la señal.



- Brinda datos estadísticos de las variables en diferentes períodos de tiempo que se seleccionen en el gráfico del registrador.
- Además posee otras funciones como la naturaleza del valor a mostrar, visible, línea gruesa y cambiar la señal por otra, lo cual se explica más adelante.

Información en las etiquetas

Al acercar el cursor a cada etiqueta aparece una información que muestra algunos datos de la configuración de la variable como se observa en la figura 3.3:

- Descripción de la variable.
- Unidad de medida.
- Rangos de visualización.



Figura.3.3 Información de las etiquetas de las variables

Cada etiqueta posee delante un cuadrado pequeño para indicar el modo de representarse, lo cual se cambia haciendo clic derecho sobre ella, y entonces brinda las opciones que se muestran en la siguiente figura:

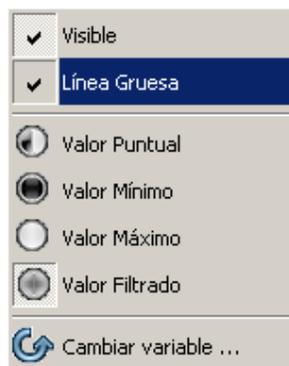


Figura. 3.4 Privilegios de las variables



- Visible: Permite mostrar o no el gráfico correspondiente a la variable, es decir la muestra o no en el registrador aunque se sigue midiendo; esto nos permite analizar la interacción entre las variables que se decida, desactivando la visualización del resto. Cuando una variable está invisible el cuadrado muestra una cruz✖.
- Línea gruesa: Para distinguir una variable de otra o para mejor nitidez en la impresión.

Valor Puntual: Muestra el valor que posee la señal en cada punto, según la resolución que tenga configurada, es decir si está en la resolución 1 segundo representa los valores medidos cada un segundo, si está en 30 segundos muestra el valor que se mide en el segundo 30, en el segundo 60 etc, sin filtrar ni promediar, simplemente el valor que posee en cada momento cada vez que transcurren 30 segundos. Por omisión esta es la forma en que se muestra y el cuadrado que está delante de la etiqueta se mostrará solamente con el color, sin símbolo alguno■.

- Valor Mínimo: Representa el valor mínimo del intervalo según la resolución, por ejemplo si se encuentra en la resolución 30 segundos muestra el mínimo valor que se haya medido en el transcurso de esos 30 segundos, etc. En este caso el cuadrado que está delante de la etiqueta mostrará un signo menos-
- Valor Máximo: Representa el valor máximo del intervalo según la resolución, por ejemplo si se encuentra en la resolución 1 minuto muestra en cada punto el máximo valor entre las 60 mediciones realizadas en ese intervalo(si se mide cada 1 segundo). En este caso el cuadrado que está delante de la etiqueta mostrará un signo más +
- Valor Filtrado: Posibilita filtrar la señal es decir visualizar el promedio de los valores que tomó dicha variable durante el período de la resolución escogida (Ej. Promedio de 10 valores en 10 segundos si se mide cada un segundo), el efecto visual en pantalla será la tendencia de la señal. Esta operación está relacionada con la resolución de la carta ya que realiza una visualización de los valores medios de la señal que se obtienen promediando los valores de la misma en ese tiempo, por lo que para una



resolución igual o menor al cuanto de medición (Tiempo entre una medición y otra), no tendrá efecto, ej. Si se está midiendo una señal cada 5 segundos y se selecciona como resolución de la carta 5, 3 ó 1 segundo, el filtrado no tendrá ningún efecto. Con esta opción podemos observar más claramente la tendencia de una señal que oscile mucho. Cuando una variable está filtrada se representa en el cuadro con una **F**.

- ❑ **Cambiar Variable:** Da la posibilidad de cambiar una señal por otra, la cual se escoge de una lista que posee todas las variables activas del sistema, esto nos permite realizar una comparación inmediata con alguna variable que no esté en el registro, este cambio se mantendrá si usted elige fijar ambiente en el menú **Grupos**.

3.3 Resolución para la visualización de las variables medidas en el registrador.

Es el tiempo que simboliza cada píxel en la pantalla del registrador como se muestra en la figura 3.5. Al modificarlo, permite mostrar diferente cantidad de información en una misma pantalla.

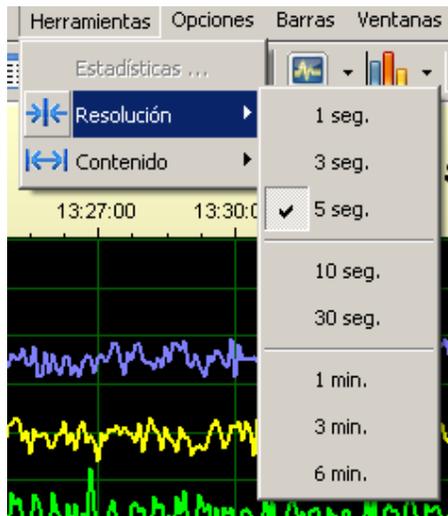


Figura.3.5 Resolución de la visualización de la variable



3.4 Exportar datos del registrador a Excel

El registrador de variables permite exportar su contenido (tiempo, nombre de las variables y valores de estas) al portapapeles de Windows y desde este a cualquier editor o aplicación de Office, más comúnmente a Excel, para ello inicialmente deberá seleccionar el intervalo que desea exportar de una de las siguientes formas:

- a) Arrastrando el cursor con el botón derecho del mouse apretado sobre el fragmento del gráfico que se desea exportar, con ello se marca en gris esa porción del registrador.
- b) En el menú del Registrador ir a la opción **Editar/Seleccionar Intervalo** marca una porción del registro delimitada en horas específicas.
- c) En el menú del Registrador ir a la opción **Editar/Seleccionar Todo** con ello marca en gris todo el registrador.

Después de realizada la selección deberá volver al menú a la opción **Editar/ Copiar selección como texto**, con ellos se coloca la información en el portapapeles y ya está en condiciones de pegarlo en un documento de Excel.

Hay que destacar que la data que se exportará se mostrará con la resolución que se encuentra configurada en ese momento en el registrador, es decir que si tiene la resolución de 5 seg., en el documento se reflejará cada valor cada 30 segundos (ver Anexo 4).

3.5 Configuración del SCADA

Después de realizada la instalación de los ficheros del sistema se procede a la configuración. Mediante las opciones que brinda el Sistema se podrán definir las características generales del mismo, el conjunto de dispositivos que entregarán información a la Estación Local de Operación (ELO) y la configuración de estos, además informar las características de las variables que él va a manipular, el enlace que tienen con el dispositivo, así como la forma, contenido y estructura de los mímicos a mostrar.

Para comenzar esta configuración en primer lugar se definieron todos los parámetros de las variables que intervendrían en el sistema y se introdujeron en la configuración



del SCADA. Inicialmente se va a la opción Configurar el Sistema , donde aparecerá la pantalla del Explorador de la Estación Local de Operación (ELO), en la cual se brinda la siguiente ventana para que se realice la configuración de los parámetros generales de la ELO:

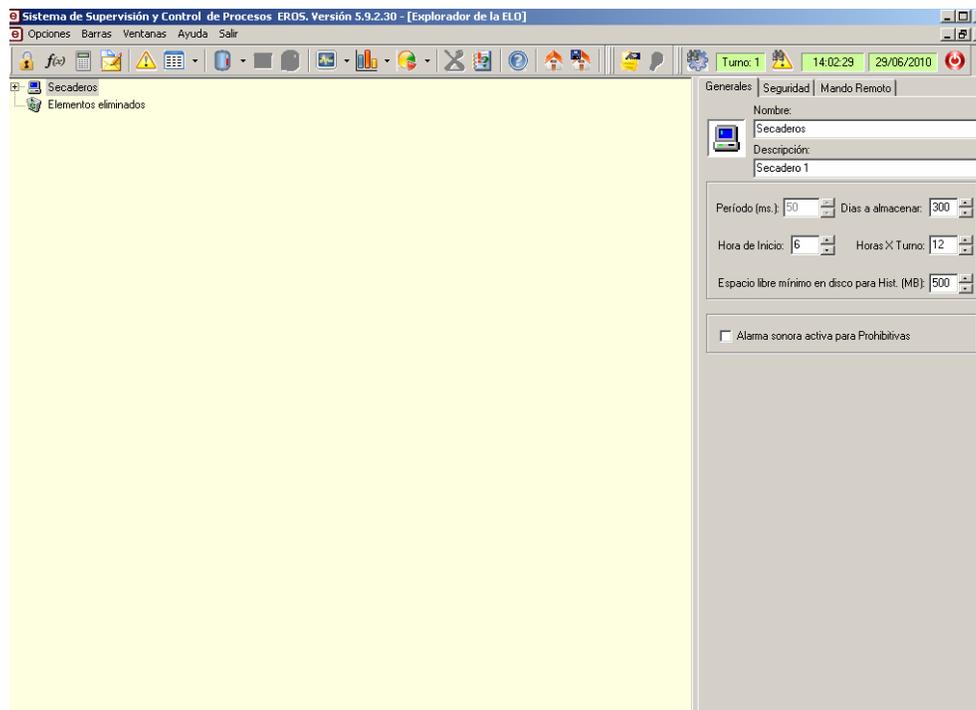


Figura.3.6 Configuración de la ELO (Estación Local de Operación)

En esta pantalla se configura:

Nombre: El nombre de la ELO. En esta aplicación se escogió Secaderos

Planta: El nombre del área donde se instalará la aplicación (opcional). En este caso sería Planta de Secado de Mineral.

Período de muestreo: Define el tiempo entre dos solicitudes sucesivas al dispositivo, será el “tic de reloj” del sistema. Los períodos de muestro de los dispositivos y variables se configurarán a un múltiplo de este. El sistema EROS trae por omisión 250 ms y se recomienda no modificar este valor por ser el que más se ajusta a la mayoría de los dispositivos que se usan generalmente.



Días a almacenar: Define el tiempo en días, que se desea almacenar en el disco tanto de ficheros históricos como de estadísticas. Para esta aplicación se definieron 30 días ya que periódicamente se realizan salvadas de los ficheros históricos.

Hora de Inicio: Se le define al sistema la hora de inicio y fin del día para los datos estadísticos en el centro donde será instalada esta aplicación. Como en esta unidad se opera en el horario de 6:00 a.m. a 6:00 p.m., entonces corresponde poner 6 en este parámetro.

Horas x Turno: Se le define al sistema las horas de trabajo en cada turno. En este caso serían 12 horas por turno.

Espacio libre en disco para Hist. (Mb): Permite que el usuario indique cuanto espacio libre en disco deberá chequear el EROS para comenzar a borrar archivos viejos. Por omisión el EROS trae 500 Mb.

Alarma sonora activa para Prohibitivas: Permite activar o no el sonido cuando ocurre una alarma prohibitiva. No está marcado este parámetro pues no hay alarmas configuradas.

Dentro de esta ventana también se encuentran las pestañas Seguridad y Mando Remoto pero no se usaron en esta aplicación.

Configuración del driver de comunicación

Después de configurada la ELO se configuran los dispositivos de medición que se conectarán a la misma, haciendo doble clic sobre el icono de la ELO se desplegarán los diferentes manejadores o drivers **internos** que ya posee el sistema por omisión que son los de las variables Internas, Remotas, de Teclado y Scripts. Para adicionar los drivers de los dispositivos **externos** de medición que se van a conectar, se ubica el cursor sobre el icono de la ELO y haciendo clic con el botón derecho del mouse aparece el menú contextual, con la opción adicionar, al seleccionarla aparecerá la lista de los drivers instalados y se elegirá el que corresponda, en esta aplicación seleccionamos el Modbus_Master_XX.



Cuando ya se ha definido el driver externo adecuado, ubicando el cursor sobre él, podrá verse en la pestaña generales, algunos datos relativos al driver, así como un botón para definir los parámetros que se usan para definir los parámetros de comunicación con los dispositivos como se muestra en la siguiente figura.

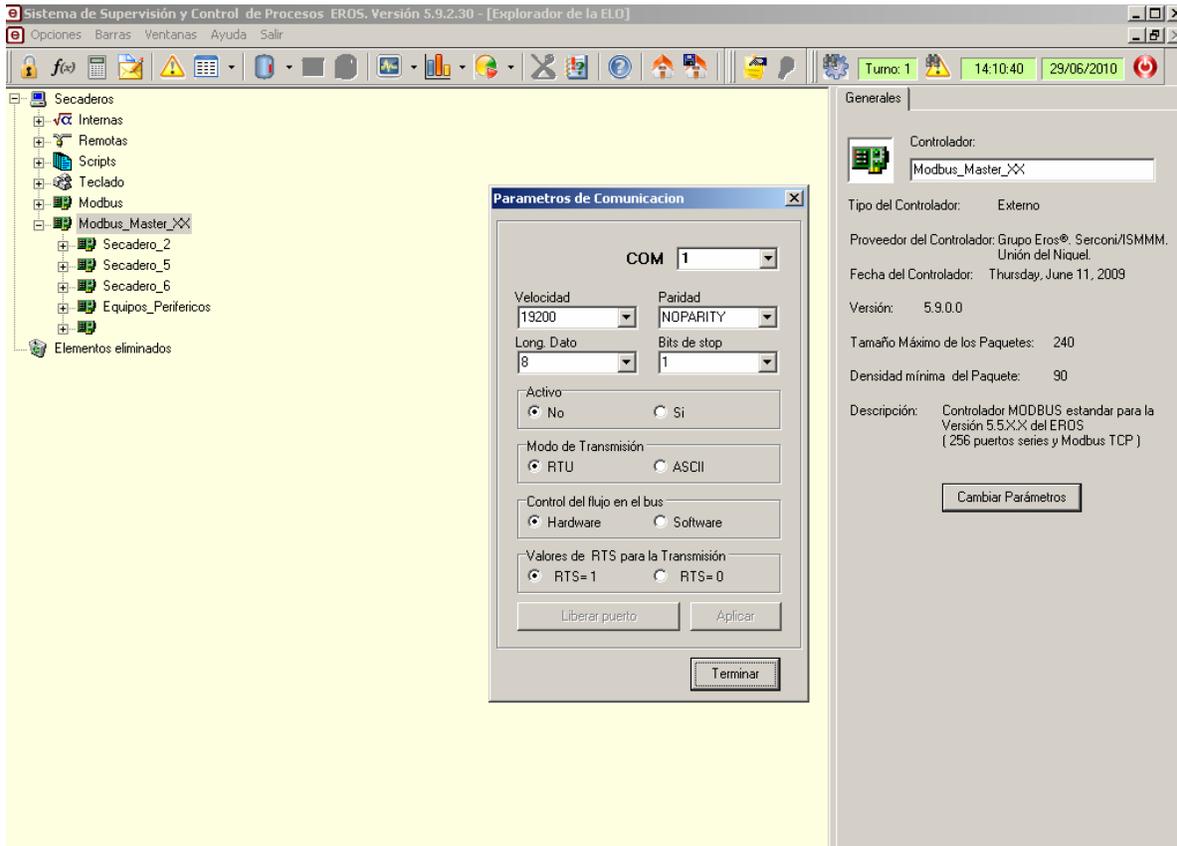


Figura.3.7 Parametrización de la comunicación

En esta pantalla se configuran los datos de comunicación con los dispositivos tales como, el número del puerto de comunicación por el que se realizará la comunicación (com), la velocidad de comunicación, el tipo de paridad, la longitud del dato, los bits de stop, si se activa el puerto para comenzar a recibir datos, el modo de transmisión, control del flujo, el valor RTS y además permite liberar el puerto para que sea usado por otra aplicación si ésta no lo está usando.



Configuración de los dispositivos

Luego de adicionar el driver, haciendo clic con el botón derecho del mouse sobre el nombre del mismo, aparecerá el menú contextual, que le permitirá adicionar, eliminar y/o modificar los dispositivos que se comunican con él.

Al poner el cursor encima del dispositivo que adicionamos, se presenta la siguiente pantalla para facilitarle su configuración:

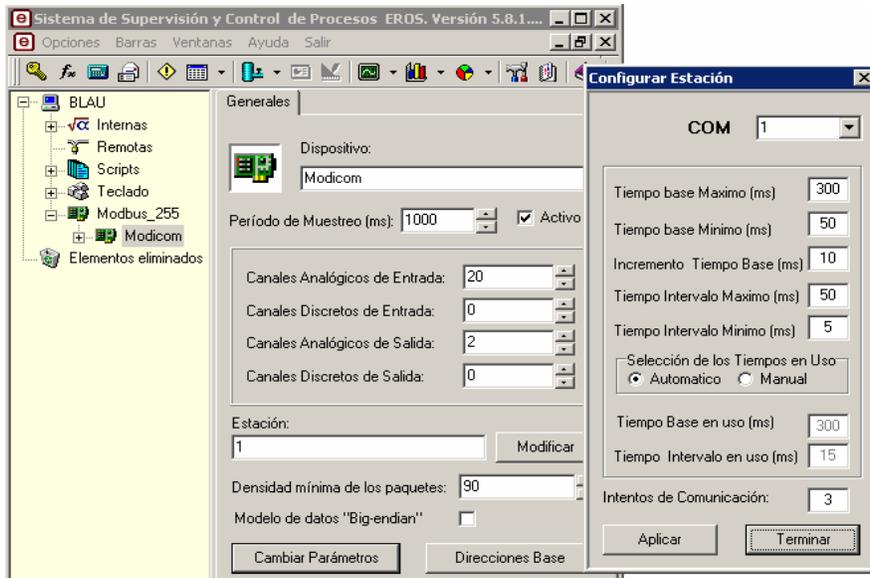


Figura.3.8 Configuración de los dispositivos

En esta ventana se configuran los siguientes parámetros:

Nombre del Dispositivo: Generalmente se asocia al tipo de dispositivo, nombre del driver o lugar donde está ubicado físicamente. En este caso se asoció al tipo de dispositivo: Modicom

Período de muestreo: Especifica el tiempo entre dos solicitudes sucesivas al driver. Esta aplicación se configuró con 1000 ms.

Activo: Permite activar y desactivar la solicitud a un dispositivo es decir que las mediciones provenientes de éste se visualizarán o no.

Cantidad de canales por tipo: Establece los canales que se van a medir en cada dispositivo por tipo de variable, en este caso 20 canales analógicos de entrada y 2 de salida.

Propuesta de Estrategia de control para mejorar la eficiencia energética y tecnológica del proceso de secado

67



Estación: Define la dirección del dispositivo en la red industrial, En este caso es el 1.

Densidad mínima de los paquetes: Se refiere al nivel de compactación que posee el paquete de comunicación que envía el dispositivo. El sistema EROS posee el valor 90 por omisión que es el que usan la mayoría de los dispositivos.

Modelo de datos “Big-endian”: Determina la orientación de los bits dentro de la trama de datos que maneja el dispositivo. El protocolo que estamos usando es el modbus que usa el modelo “Little-endian”, es decir que ubica los bytes más significativos del número en la direcciones más bajas de la memoria.

Cambiar Parámetros: En este diálogo se definen los parámetros de comunicación del dispositivo, tales como los tiempos base máximos, mínimos y en uso, los intervalos máximos, mínimos y en uso, así como los intentos de comunicación o sea cuantas veces se va a repetir la solicitud en caso de falla de comunicación.

Direcciones Base: Si la dirección de las categorías de las variables no comienza en 0, en esta opción le permite reconfigurarlas para que el sistema las localice correctamente. En esta aplicación no hay que modificarlas.

Configuración de Variables

Cuando ya están creados y configurados todos los dispositivos se procede a la configuración de las variables en cada uno de ellos como se muestra en la figura 3.11.

Cuando se definió la cantidad de canales por tipo, en el dispositivo, el sistema creó los espacios donde adicionar las variables, por tanto haciendo doble clic sobre el dispositivo o clic sobre el signo + asociado a él, aparecen los canales para introducir las propiedades de las variables que se van a configurar en cada uno de ellos, entonces, haga clic con el botón derecho del mouse sobre el número de canal que se corresponda con el canal físico del dispositivo y aparecerá un menú contextual con la opciones:



Adicionar, Editar Nombre, Salvar Configuración y Cancelar y con ellas puede adicionar la variable y además salvar mientras trabaja.

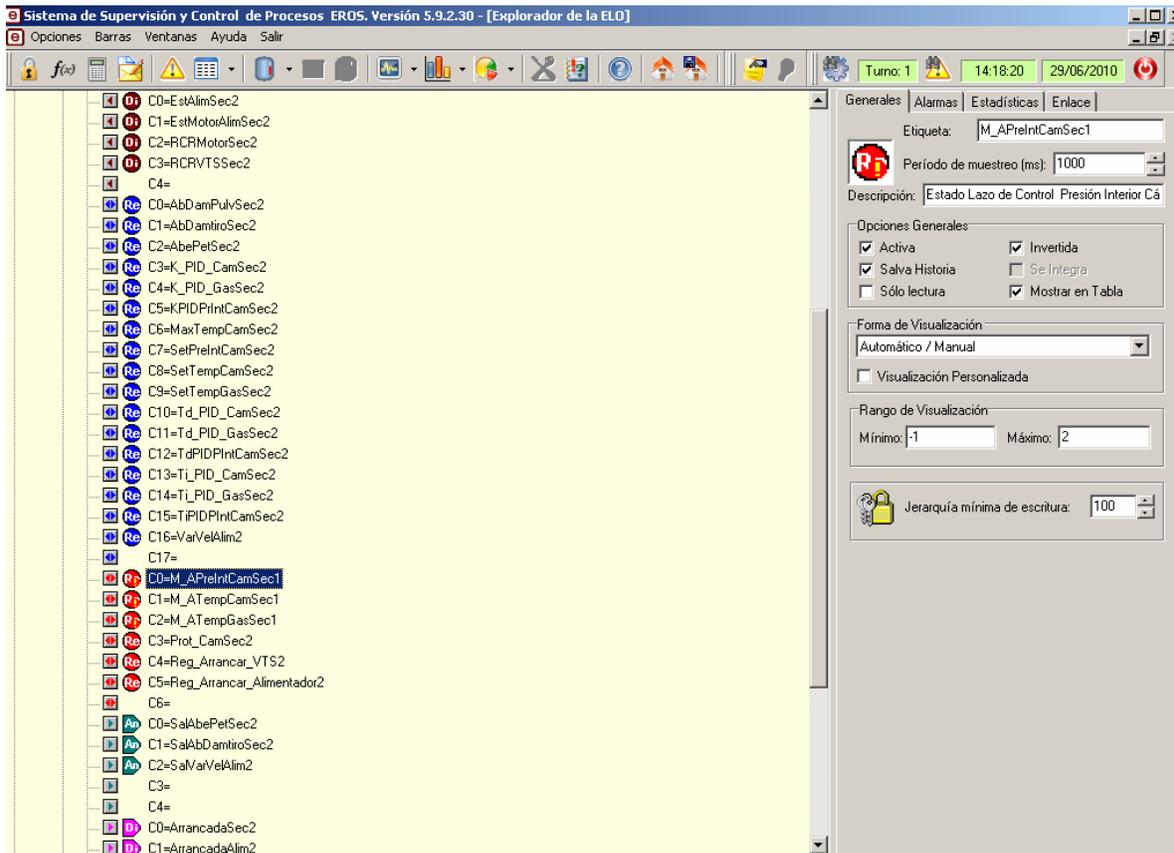


Figura.3.9 Configuración de las variables analógicas

En cada página según corresponda se configuran los siguientes parámetros:

1. Generales variables analógicas

Etiqueta: Nombre corto de hasta 20 caracteres

Período de Muestreo: Tiempo entre dos solicitudes de la señal desde la ELO al dispositivo. Todas las variables en esta aplicación poseen el mismo período de muestreo que el dispositivo es decir 1000 ms.

Descripción: Nombre largo de la variable.

Activa: Fija cuando la variable está disponible para su manipulación en el sistema o no, si no se activa no se mide y se registra como desactivada. Por supuesto en esta configuración todas las variables están activas.

Propuesta de Estrategia de control para mejorar la eficiencia energética y tecnológica del proceso de secado

69

Autor: Ernesto Sanamé Domínguez



Salva Historia: Define si se salva la información de la variable en el disco. En este caso todas las variables salvan los datos al histórico.

Se integra: Define si a la variable se le calcula la integración o no. En esta aplicación no se utiliza esta propiedad de las variables.

Unidad de medida: Se brinda un botón “Cambiar” que le permite buscar en una lista la unidad de medida que va utilizar, o incluir una nueva si no existe en dicha lista.

Rango de Visualización: Es el rango con el cual se visualizará la variable en el registrador.

Jerarquía mínima de escritura: Permite asignar los derechos a cada variable. En este caso no se concede jerarquía a ningún usuario, por lo cual tienen la que está por omisión, es decir 255.

Cota: Valor que manipula internamente el sistema para realizar los cálculos con mayor rapidez y precisión. La mayoría de las variables tienen la que está por omisión, es decir 16384.

Posiciones Decimales: Define los lugares decimales con que se mostrará el valor en todas las opciones del Sistema.

2. Linealización de la variable analógica.

Los valores de las variables externas que se muestran en los Sistemas de Supervisión no siempre coinciden con los valores que se almacenan en el dispositivo y que le corresponden de acuerdo a su enlace. Esto ocurre por dos razones: en primer término los PLC tienen usualmente mucha menos memoria RAM que las PC y por ello los programadores de los PLC, generalmente, almacenan valores reales (analógicos) en formatos que ocupen menos memoria (más compactos) como los enteros de 32, 16 bits o incluso de 8 bits. Por ejemplo, si se sabe que un valor real es no mayor que 10 y la precisión con que nos interesa almacenarlo es de una cifra después del punto decimal, se puede optar por almacenar ese valor en un entero de 8 bits. En este caso a cada valor entero almacenado en el registro de 8 bits se le haría corresponder el valor real que se obtiene de dividir ese valor entero por 10. De esta manera al valor entero 86 le correspondería el valor real 8,6. Es fácil ver que de esta forma se logra un almacenamiento más compacto en el PLC aunque a costa de



pérdida de precisión. La segunda razón por la que puede no haber coincidencia es cuando trabajamos con variables de entrada, cuyos valores se obtienen a través de convertidores análogo-digitales. Los valores del conversor son siempre enteros y deben transformarse a unidades de ingeniería. A ese proceso se le llama **linealización** porque generalmente la relación entre las unidades del conversor y las unidades de ingeniería es una relación lineal. Si el valor almacenado en el PLC ya se encuentra en unidades de ingeniería diremos que esa variable está **linealizada en el dispositivo** y por tanto coincide el valor que muestra el sistema con el almacenado en el PLC.

Linealizada en el dispositivo: Esta opción se marca si el valor de la variable las envía el dispositivo en unidades de ingeniería.

Rangos del Dispositivo: La dependencia entre los valores en el dispositivo y los valores en el SCADA EROS puede ser lineal, cuadrática o a partir de una tabla. Esta última variante se usa cuando la relación entre las dos magnitudes es tan compleja que no puede ser aproximada con la precisión necesaria mediante una relación lineal o cuadrática. En los dos primeros casos basta con definir los Rangos mínimos y máximos en el Dispositivo y en el SCADA EROS.

El Rango en el Dispositivo puede reflejar el rango del convertidor análogo digital o sencillamente los valores extremos que puede tomar el registro interno del PLC asociado a la variable de acuerdo a la programación del mismo.

Rangos de Medición: En él se definen los rangos de trabajo del instrumento en unidades de ingeniería.

Tipos de Linealización: Aquí se especifica el tipo de dependencia existente entre los valores en el dispositivo y los valores en el EROS. Tal y como se explicó anteriormente esta dependencia puede ser **lineal, cuadrática o por tabla**.

Si la dependencia es Lineal, como en esta aplicación, el EROS escala los valores de acuerdo al siguiente diagrama:

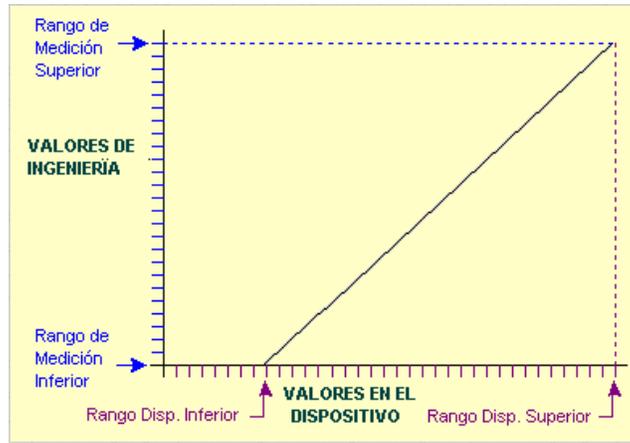


Figura.3.10 Linealización lineal

Canal de Compensación : Algunos dispositivos de medición de temperatura requieren la corrección de su medición con la temperatura ambiente (que se mide independiente), en este diálogo se declara el número del canal por el cual se está midiendo la temperatura ambiente, este número debe ser menor que el del canal que se va a compensar para que el cálculo se realice correctamente.

La figura siguiente muestra los parámetros de Linealización de variables analógicas.

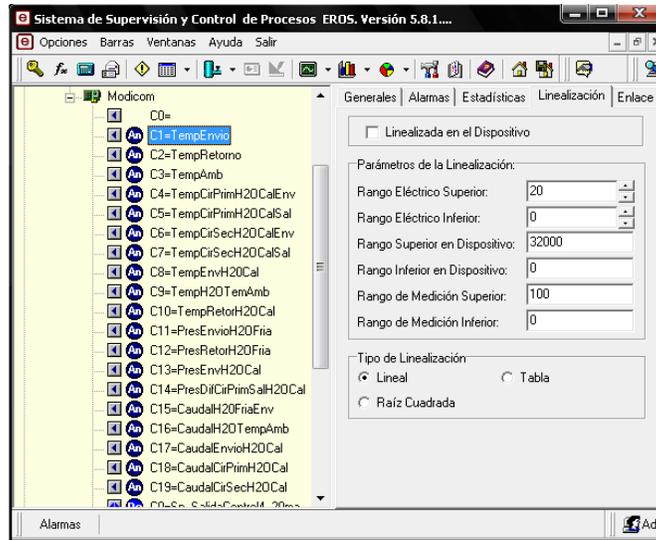


Figura.3.11 Linealización de las variables analógicas



3. Enlace en el dispositivo de la variable analógica.

En la siguiente pestaña figura 3.12 se definen las características de la variable en el dispositivo y para ello tienen los siguientes parámetros:

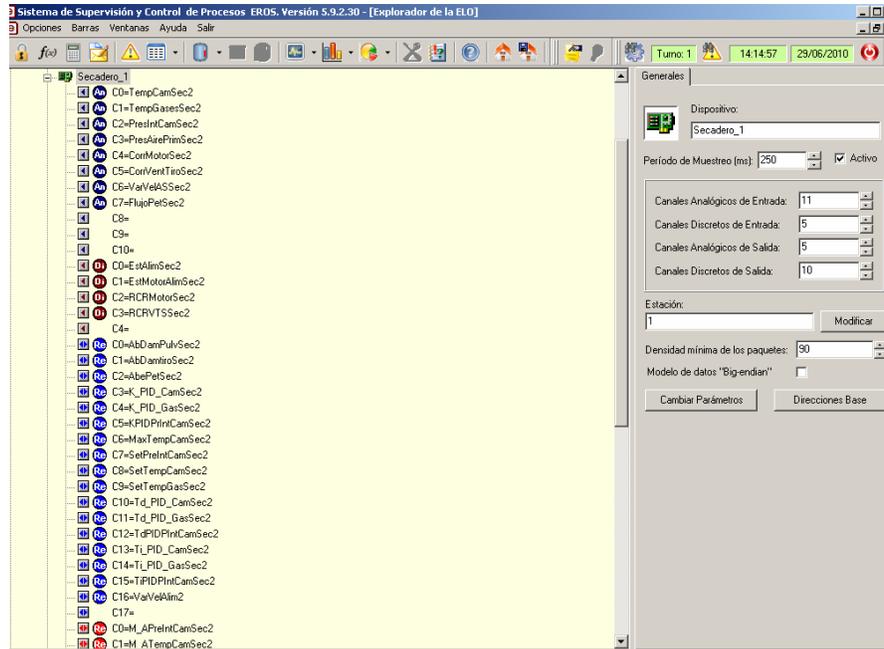


Figura.3.12 Enlace de las variables analógicas

Categoría: Según las características de la variable en el MODBUS se van a ubicar en una de estas cuatro categorías.

Bobina: Señal discreta de salida o registro interno discreto.

Entrada: Señal discreta de entrada o registro interno discreto.

Registro Interno: Señal analógica de salida o registro interno analógico.

Registro de Entrada: Señal analógica de entrada o registro interno analógico.

Status Tx Rx: Registro interno que se usa para informar la estadística de las comunicaciones de los dispositivos.

Dirección: Es el número del registro donde se almacena el dato en el dispositivo.

Tipo de dato en el dispositivo: Se definen los tipos de datos según los maneja el dispositivo, para que el sistema los interprete correctamente como lo muestra la tabla 3.1.

Propuesta de Estrategia de control para mejorar la eficiencia energética y tecnológica del proceso de secado



Tabla.3.1 Tipo de datos

Palabra Clave	Tipo de Dato	bits	Rango
BOOL	Booleano	1	0 (falso) 1 (verdadero)
SINT	Entero corto con signo	8	-128 a 127
USINT	Entero corto sin signo.	8	0 a 255
INT	Entero con signo	16	-32768 a 32767
UINT	Entero sin signo	16	0 a 65535
DINT	Entero doble con signo	32	-2147483648 a 2147483647.
UDINT	Entero doble sin signo	32	0 a 4294967295
LINT	Entero largo	64	$-2^{63} + 1$ a 2^{63}
REAL	Real	32	1.5×10^{-45} a 2.4×10^{38}
LREAL	Real largo	64	5.0^{-324} a 1.7^{308}

Campo de Bits: Si una variable se deposita en parte de un registro, aquí se define en que bit comenzará y cuantos la componen.

Configuración de Variables/Registros Discretos

La configuración de variables/registros discretos posee 4 páginas, si son entradas y dos si son salidas. En cada una de ellas se configuran los datos:

Datos generales variables digitales.

1. Generales variables digitales

Período de Muestreo: Tiempo entre dos solicitudes de esta señal desde la ELO. Para este caso 1000 ms.

Descripción: Nombre largo de la variable que la identifica en las tablas.

Activa: Define cuando la variable estará disponible para su manipulación en el sistema o no.

Salva Historia: Determina si se salva en el disco duro la información de la variable en cuestión.



Invertida: Establece que el valor que entregue el dispositivo será negado para su uso o representación en el sistema.

Visualización: Está referida a la forma que se van a presentar en el sistema los estados de las variables discretas.

Rango de Visualización: Es el rango con que se visualizará la variable en el registrador.

Jerarquía mínima de escritura: Este parámetro permite dar diferentes niveles de derechos a cada una de las variables / registros que puedan ser modificables por el usuario.

En la siguiente figura se muestran todos estos parámetros anteriormente mencionados.

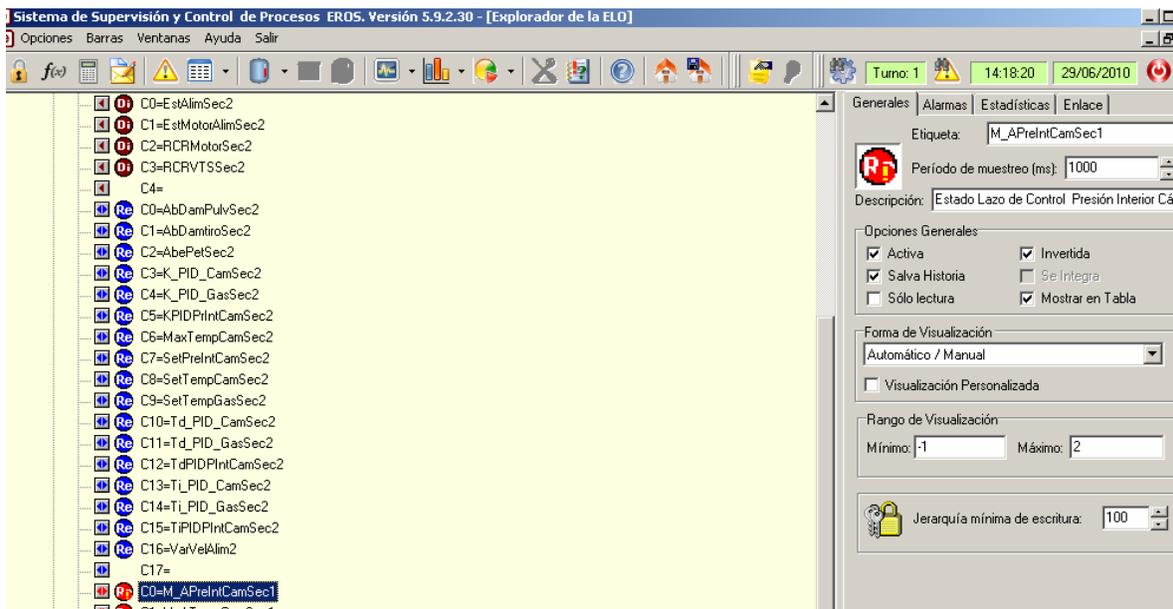


Figura.3.13 Datos generales de las variables digitales

Campo de Bits: Si una variable se deposita en un bit de un registro, aquí se define en que bit se ubicará.

Existen otras pestañas de **alarmas** y **estadísticas** de estos tipos de variables pero no se detallan porque no fueron usadas en esta aplicación.



Las variables analógicas de salida poseen las mismas opciones de configuración que las de entrada, pero con sus especificidades tal como lo muestra la figura 3.16.

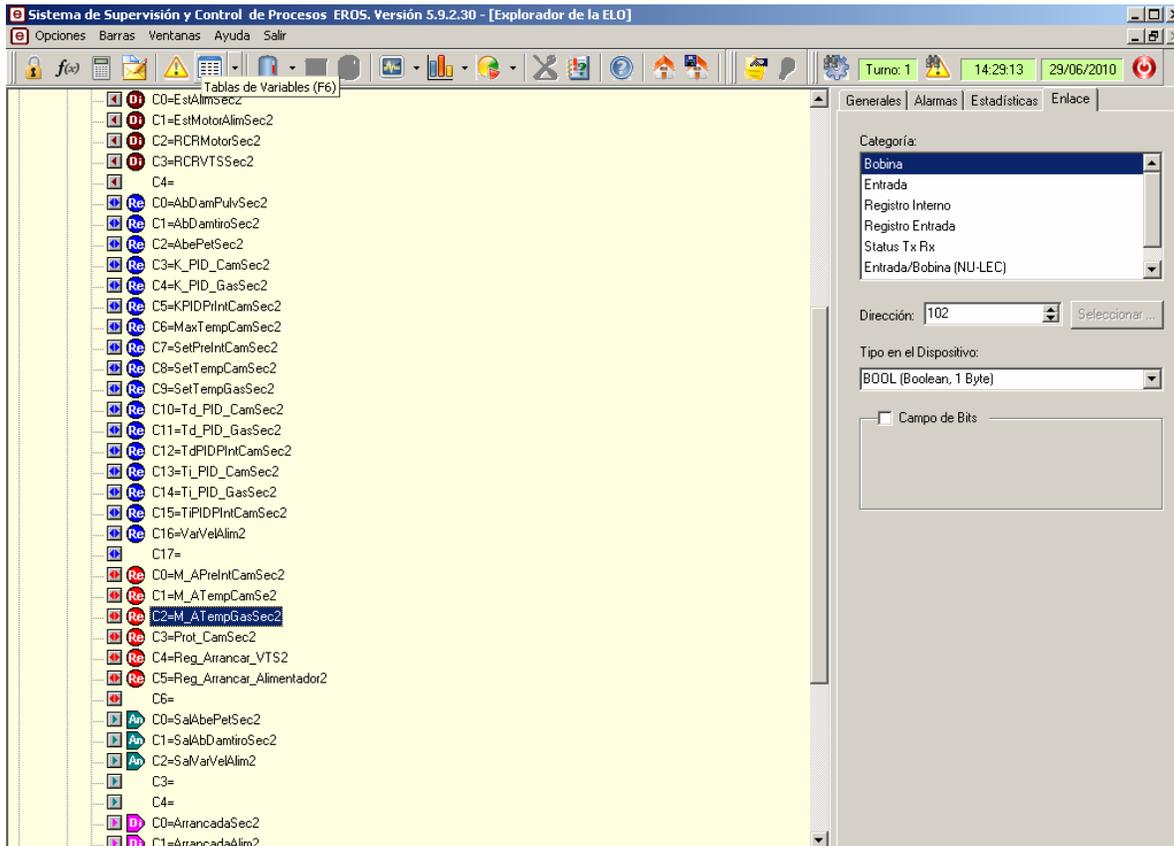


Figura.3.14 Enlace de la variable digital

Ventanas específicas de la aplicación.

Para la operación de este sistema se diseñó una ventana que muestra el flujo tecnológico de la instalación y al mismo tiempo se representan las variables que se miden en cada área del mismo, también en ella está representado un objeto que muestra los parámetros del lazo de control y permite modificarlos. Figura 3.15

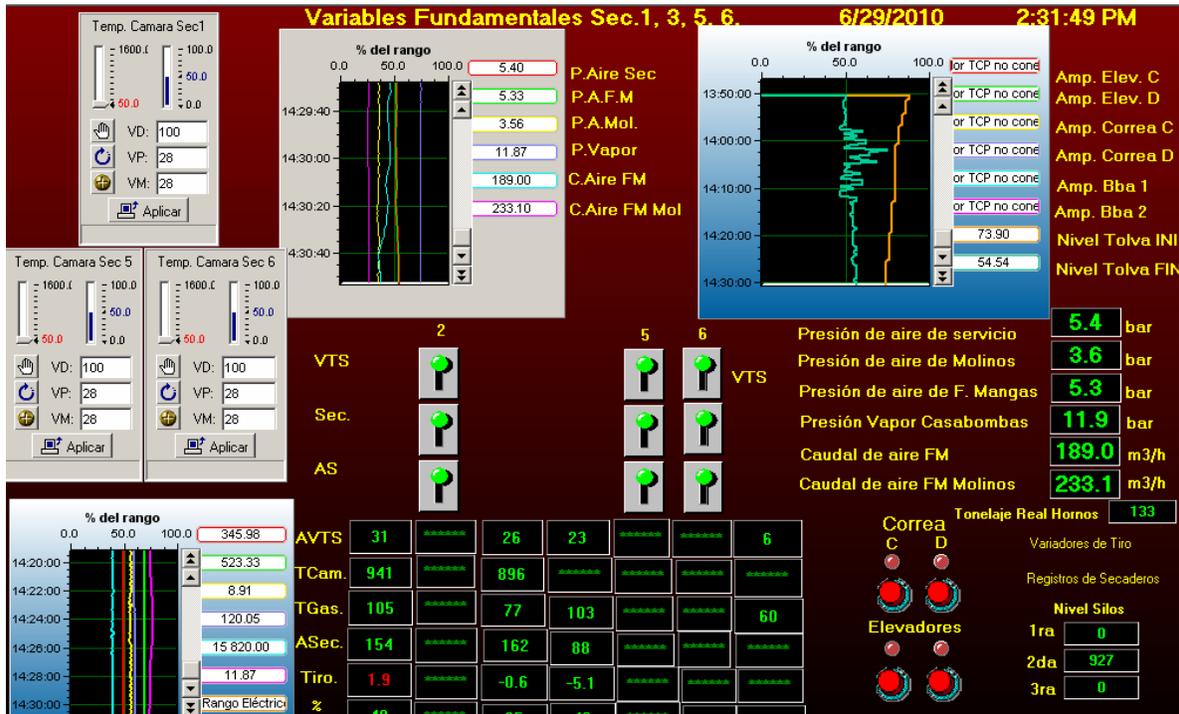


Figura.3.15 Ventana de operación de SCADA EROS de los secaderos.

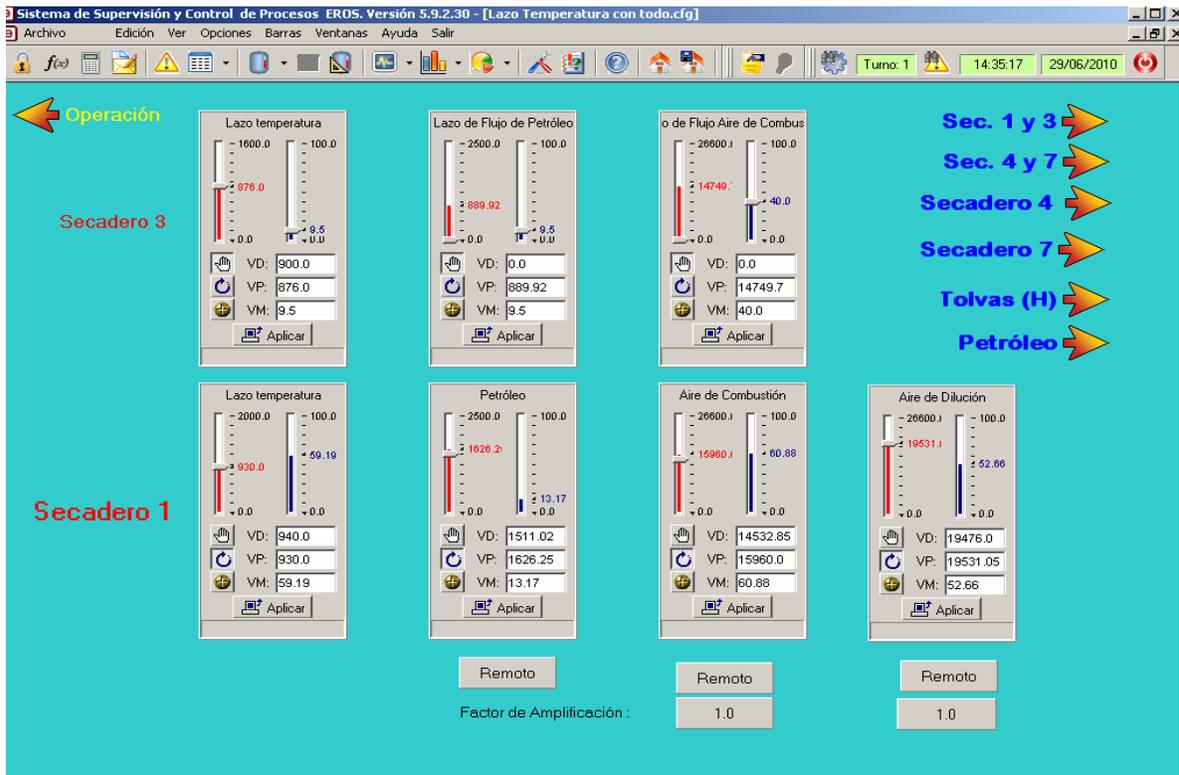


Figura. 3.16 Ventana de operación del lazo de temperatura de la cámara y aires.

Propuesta de Estrategia de control para mejorar la eficiencia energética y tecnológica del proceso de secado



3.6 Verificación del funcionamiento del monitoreo.

El alcance del trabajo planteado enmarca la regulación de forma automática desde una estación de control máster de la relación aire-combustible, basado en el balance volumétrico y de masas de combustible, comburentes y carga que llevan los secaderos, en el resultado de la aplicación de este trabajo se puede ver como los controladores para cada valor de combustibles generan los set point con los valores reales de los volúmenes de aire que necesita la combustión en cada momento. En las figuras 3.17; 3.18 y 3.19 se pueden ver el comportamiento manual y automático de la temperatura en la cámara de combustión o variable de proceso con respecto al valor deseado, y el comportamiento de los aires de combustión, pulverización y dilución de forma automática.

3.6.1 Verificación del funcionamiento del Sistema de Mineral de Secado en estado Manual

Aquí se observa (Ver figura 3.17) el comportamiento de las variables que influyen en el proceso. Mostrando características acordes a los rangos de operatividad.

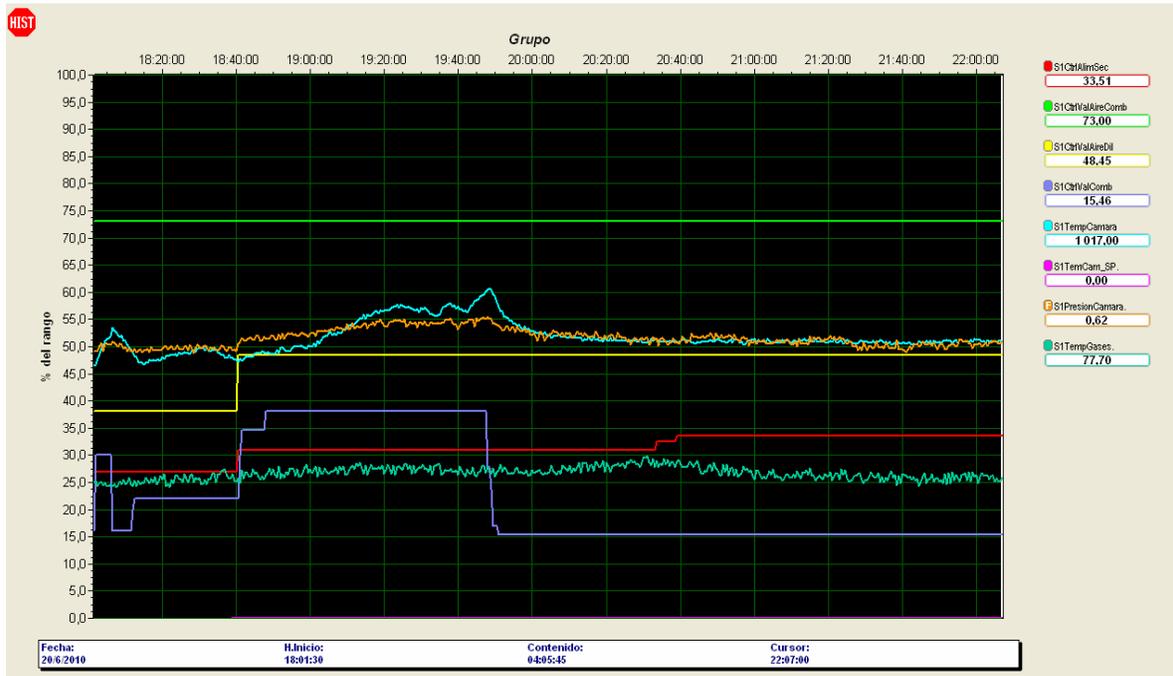


Figura.3.17 Comportamiento de las variables en estado manual.



3.6.2 Verificación del funcionamiento del Sistema de Mineral de Secado en estado automático

En la siguiente figura se muestra el monitoreo de algunas variables en el secado del mineral, donde es de vital importancia conocer los valores de temperatura de la cámara y gases de salida ya que estos exigen de 900 a 1000 °C También se muestran otras variables indispensables en el proceso.

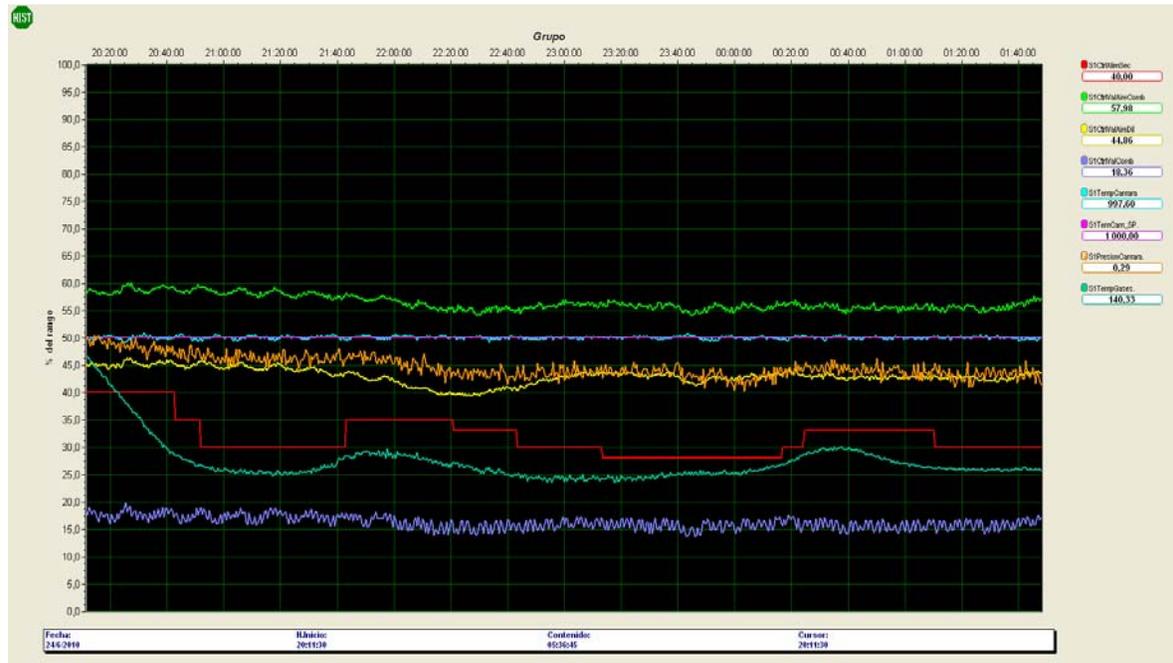


Figura.3.18 Comportamiento de las variables en estado automático.

Como resultado de la implementación de este trabajo se logra en gran medida una mayor estabilidad, eficiencia y seguridad de los secadores de mineral, debido a que el sistema de control concibe la regulación automática estable de forma dinámica de los principales parámetros tecnológicos del proceso, así como los sistemas de seguridad intrínsecas para la protección de las cámaras de combustión que puedan estar condicionado por errores humanos.

En la siguiente figura se visualiza mejor el comportamiento de tres variables donde se ve el set point deseado y como la variable se mantiene cerca su set point. Con esto se logra una mayor durabilidad a la cámara y la calidad del secado del mineral.

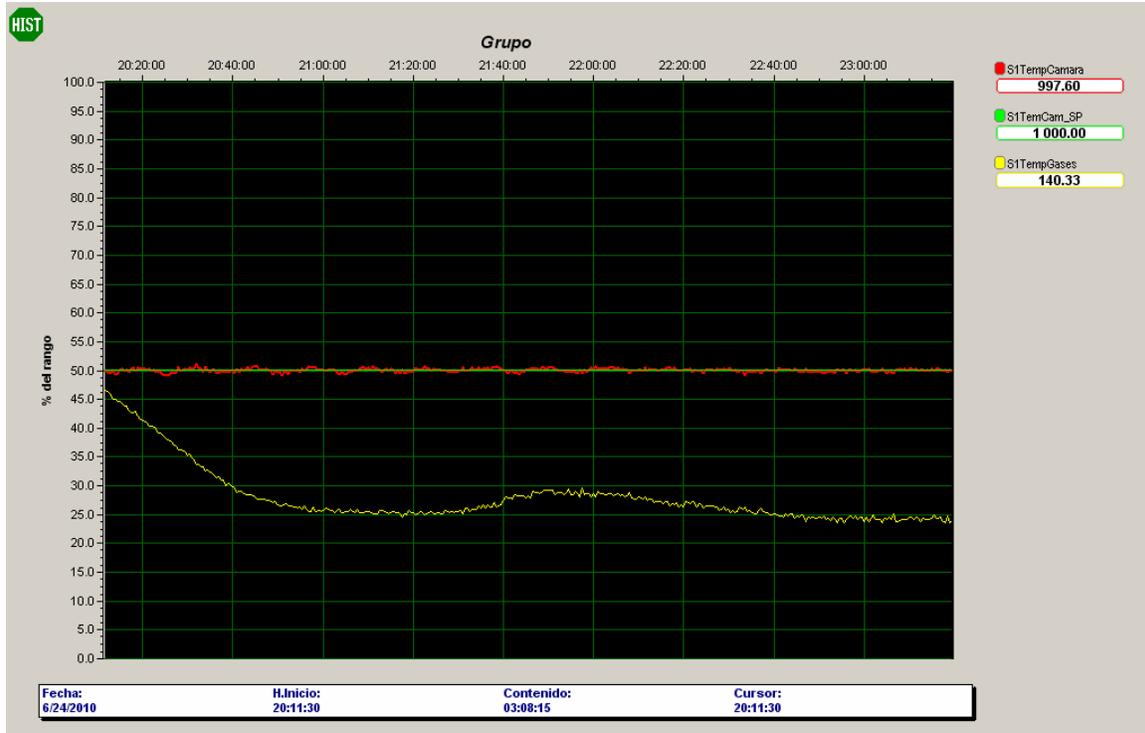


Figura. 3.19 Comportamiento de tres variables en automático.

3.7 Determinación de la Productividad de los Secaderos por los Alimentadores

Para calcular la productividad de los secaderos se determinó humedad, densidad aparente o peso volumétrico y se midió las dimensiones de la pila del mineral que se alimenta al secadero.

Análisis de los resultados.

La muestra de mineral se tomó de alimentador del secadero #1 el 15 de enero del 2010. En el Anexo 6 se encuentra los parámetros de operación del AS.

La humedad como puede verse en la tabla 3.4, osciló de 30.42 % a 31.34 %, promediando 30.89 % y la densidad aparente promedió 1.34 t/m³.



Tabla 3.2 Humedad y densidad aparente del mineral alimentado al secadero #1.

Fecha	Humedad (%)	Dens. aparente (t/m ³) mineral húmedo
15/7/08	31.34	1.38
15/7/09	30.42	1.35
15/7/11	30.48	1.34
15/7/12	31.31	1.28
Promedio	30.89	1.34
Máximo	31.34	1.38
Mínimo	30.42	1.28

Determinando la velocidad para cada % AS del alimentador de mineral al secadero # 1 y con los promedios de la humedad y de la densidad aparente se calculó la productividad del secadero presentado en la tabla 3.3.

Tabla 3.3 Productividad del secadero #1 para diferentes %AS.

Secadero #1	
%AS	Productividad seca (t/h)
19.6	18.6
19.8	18.8
21.0	19.8
24.8	23.8
29.6	28.6
29.8	29.1



3.8 Balance térmico y de masa del secadero

El balance térmico y de masa del secadero nos permitirá conocer las relaciones, los rangos de trabajo y el comportamiento de los diferentes parámetros del proceso que intervienen en la combustión del secadero, esto pudimos haberlo hecho también por la modelación matemática del proceso, pero partiendo de la identificación que poseíamos del proceso, más las pruebas realizadas, y ante lo complejo de la modelación de un proceso multivariables como el nuestro preferimos llevar a cabo esta idea.

Balance térmico y de masa del secadero

Indicadores.	UM	Crudo 1400
Mineral procesado	t/día	1440.00
Rendimiento	t/h	60.00
Humedad de entrada, (H ₂ O)	%	30.00
Humedad de salida, (H ₂ O)	%	4.50
Consumo espec. de comb	k/t. Min.	28.00
Precio	USD/t.	101.35

Composición del combustible

Indicadores.	UM	Crudo 1400
Carbono, (C)	%	80.47
Dihidrógeno, (H ₂)	%	10.65
Azufre, (S)	%	7.00
Agua, (H ₂ O)	%	0.10
Sedimento	%	0.10
Viscosidad a 50 °C	cSt	1400.00
Viscosidad a 80 °C	cSt	1400.00



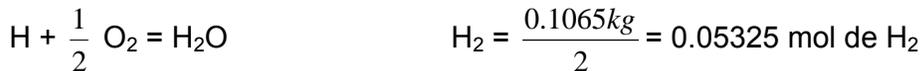
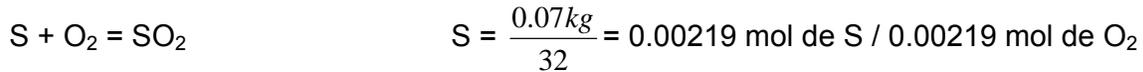
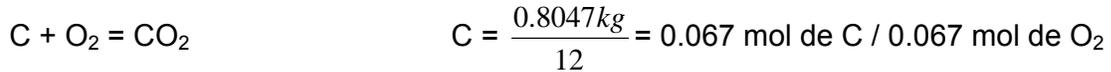
Calor de combustión.

kcal/kg

9214.00

Reacciones de combustión ocurridas en un secadero.

♦ Crudo 1400 cSt.



$$O_2 = \frac{0.05325kg}{2} = 0.026625 \text{ mol de } O_2$$

Consumo teórico de O₂

♦ Crudo 1400 cSt.

$$0.067 + 0.00219 + 0.026625 = 0.0958 \text{ mol de } O_2$$

Consumo de aire por kg de petróleo: (aire estequiométrico seco de entrada)

♦ Crudo 1400 cSt.

$$\frac{0.0958 \times 22.4}{0.21} = 10.22 \text{ m}^3$$

Con aire de exceso: (representa de 200-250 % del aire estequiométrico).

♦ Crudo 1400 cSt.

$$10.22 + 2.5 (10.22) = 3.5 (10.22) = 35.77 \text{ m}^3 \text{ N/kg de petróleo}$$

Consumo total de aire:

♦ Crudo 1400 cSt.

$$60 \text{ t/h} * 28 \text{ kg / t. de mineral} = 1680 \text{ kg/h}$$

$$1680 \text{ kg/h} * 35.77 \text{ m}^3\text{N/kg} = 60093.6 \text{ m}^3\text{N/h}$$



Cantidad de agua formada en la combustión

Cantidad de vapor de agua: 0.0525 mol/kg de petróleo.

Volumen:

$$0.0525 * 22.4 = 1.176 \text{ m}^3\text{N/kg de petróleo} \quad 1.176 * 1102.5 = 1296.54 \text{ m}^3\text{N/h.}$$

- ◆ Crudo 1400 cSt.

Cantidad de vapor de agua 0.05325 mol/kg de petróleo

Volumen

$$0.05325 * 22.4 = 1.1928 \text{ m}^3\text{N/kg de petróleo}$$

$$1.1928 * 1680 = 2004 \text{ m}^3\text{N/h.}$$

Cantidad de agua introducida por el aire.

- ◆ Para el combustible: Según datos obtenidos del instituto de meteorología, con un 85 % de humedad relativa promedio durante el año:

Para 0.019 kg de H₂O / kg de aire seco = 0.0306 kg de H₂O / kg de aire seco:

- ◆ Crudo 1400.

Para 35.77 m³N/kg de aire seco

$$\frac{35.77}{22.4} = 1.6 \text{ kg mol de H}_2\text{O}$$

$$1.6 * 0.0306 = 0.04896 \text{ kg mol de H}_2\text{O}$$

Volumen de agua introducido

- ◆ 1400 cSt.

$$0.04896 * 22.4 = 1.1 \text{ m}^3\text{N}$$

$$1.1 * 1680 = 1848 \text{ m}^3\text{N/h}$$

Volumen total de aire húmedo

- ◆ 1400 cSt.

$$35.77 * 1.09 = 39 \text{ m}^3\text{N/kg de petróleo:}$$



Volumen total de agua después de la combustión

- ◆ 1400 cSt.

$$1.1928 + 1.1 = 2.29 \text{ m}^3\text{N/kg de petróleo}$$

Volumen de gases formado

1400 cSt.

Para 1 kg de petróleo

$$\text{CO}_2 = 0.067 * 22.4 = 1.5008 \text{ m}^3\text{N/kg}$$

$$\text{SO}_2 = 0.00219 * 22.4 = 0.049 \text{ m}^3\text{N/kg}$$

$$\text{O}_2 = 10.22 * (3.5 - 1) * 0.21 = 5.3655 \text{ m}^3\text{N/kg} \quad \text{N}_2 = 35.77 * 0.79 = 28.2583 \text{ m}^3\text{N/kg}$$

$$\text{H}_2\text{O} = 0.05325 * 1.1928 = 0.0635 \text{ m}^3\text{N/kg}$$

$$V_{T(\text{kg})} = V(\text{CO}_2) + V(\text{CO}_2) + V(\text{SO}_2) + V(\text{O}_2) + V(\text{N}_2) = 35.24 \text{ m}^3\text{N/kg}$$

Para 1h de trabajo de un secadero

$$\text{CO}_2 = 1.5008 * 1680 = 2521.344 \text{ m}^3\text{N/h}$$

$$\text{SO}_2 = 0.049 * 1680 = 82.32 \text{ m}^3\text{N/h}$$

$$\text{O}_2 = 5.3655 * 1680 = 9014.04 \text{ m}^3\text{N/h}$$

$$\text{N}_2 = 28.2583 * 1680 = 47474 \text{ m}^3\text{N/h}$$

$$\text{H}_2\text{O} = 0.0635 * 1680 = 107 \text{ m}^3\text{N/h}$$

$$V_{T(\text{h})} = V(\text{CO}_2) + V(\text{CO}_2) + V(\text{SO}_2) + V(\text{O}_2) + V(\text{N}_2) = 59200 \text{ m}^3\text{N/h}$$

Balance de H₂O de un secadero en operación en condiciones normales:

- ◆ Para el combustible: Con la humedad relativa antes mencionada y contenido de H₂O en el petróleo de 0.1%, se calcula:
- ◆ Cantidad de agua evaporada en el mineral alimentado a un secadero:

H₂O de salida + Composición hasta 100% de H₂O de entrada

Composición hasta 100% de H₂O de salida

$$(30 - 4.5) \times \frac{70}{95.5} = 18.69 \text{ t/h}$$

- ◆ Para el crudo cubano 1400 cSt y las cámaras Vascas:

De las 78.69 t/h de mineral que pasan por un secadero, 18.69 son de agua evaporada y 60 t/h de mineral seco.

$$\frac{18.69}{18.01} \times 1000 \times 22.4 = 23247.12 \text{ m}^3\text{N/h}$$



Volumen de gases de salida

$V_s = \text{Aire de exceso} + \text{Agua evaporada} + \text{Agua del petróleo} + \text{Agua del aire}$

◆ Crudo 1400 cSt.

◆ $V_S = 60093.6 + 23247.12 + 107 + 1848$

$V_S = 85295.72 \text{ m}^3\text{N/h}$

Generación de energía producto del calor de los gases de combustión.

(Calor de combustión * Consumo de combustible por segundo)* 0.004

◆ Crudo 1400 cSt.

$[9214 * (1680/ 3600)] * 0.004 = 17 \text{ mW}$

- Las cámaras de combustión contratadas a la firma Vasca ININSER S.A. generan 18821.7 m³N/h de gases y 5 mW más que las norteamericanas, además de que son capaces de trabajar con el crudo cubano. Por tanto, resulta de gran importancia modificar el sistema de succión con el objetivo de extraer este volumen, obteniendo a su vez, mayor cantidad de toneladas de mineral secado por horas con menos secaderos en operación.

El aire que utilizan las cámaras norteamericanas para generar este volumen de gases proviene de dos ventiladores centrífugos, [aire de combustión (primario) y de exceso (secundario)]. La cantidad de aire introducido por estos es de 67960 m³/h. El combustible atomizado mecánicamente entra a la cámara con una temperatura de precalentamiento de 120 °C. Al contactar con el aire primario de combustión y el aire secundario o de exceso enriquece la mezcla, saliendo los gases a 900 °C .

Las cámaras de la firma Vasca combustionan el petróleo con aire proveniente de tres ventiladores centrífugos, secundario (exceso), obteniéndose mayor volumen de gases que las actuales. El petróleo entra a la cámara con una temperatura de precalentamiento de 120 °C pulverizado por el caudal del ventilador de pulverización (directo al quemador). Al entrar en contacto con el flujo de la máquina centrífuga de combustión (primario) se quema y el aire de exceso (secundario) del ventilador de dilución enriquece la mezcla, saliendo los gases a 1100 °C. La suma del caudal introducido por estos ventiladores es de 62000 m³/h.

Propuesta de Estrategia de control para mejorar la eficiencia energética y tecnológica del proceso de secado

86

Autor: Ernesto Sanamé Domínguez



Para demostrar el efecto de sobreconsumo y pérdidas de combustible, realizamos la siguiente prueba en varios secaderos, a partir de los valores de operación del momento fijamos el valor del flujo de combustible y comenzamos a variar, primero el aire primario y luego el aire secundario, observando el comportamiento gráfico de la temperatura en la cámara de combustión, que siempre reflejaba un incremento hasta un punto donde el exceso de aire comenzaba a enfriar la cámara. Logramos alcanzar incrementos de temperatura de hasta 125 °C por encima de los valores de operación de esos momentos, lo que nos obligó lógicamente a cerrar la válvula de combustible hasta alcanzar nuevamente los valores de operación. Esto demuestra un sobreconsumo y generación de gran cantidad de gases contaminantes a la atmósfera.

Los valores tomados para el cálculo económico de las pérdidas ocasionadas a la planta fueron tomados de los reportes técnicos de operación y pruebas realizadas sobre el comportamiento dinámico del proceso de combustión.

Para una combustión estequiométrica se cumple la siguiente relación.

A 980 kg de petróleo se le suministran 10153 m³N/h de aire primario

A 980 kg de petróleo se le suministran 35535 m³N/h de aire secundario (este garantiza el exceso de gases en la cámara)

$$Q = m c \Delta t$$

$$Q = 10153 \text{ m}^3\text{N/h} \cdot 0.31 \text{ kcal/}^\circ\text{C m}^3\text{N} (1000 - 30)$$

$$Q = 3053007 \text{ kcal}$$

Poder calórico del petróleo.

$$9100 \text{ a } 10100 \text{ kcal/kg}$$

$$Q = 3053007 \text{ kcal} / 10100 \text{ kcal/kg}$$

$$Q = 302 \text{ kg}$$

$$Q = 35535 \text{ m}^3\text{N/h} \cdot 0,31 \text{ kcal/}^\circ\text{C m}^3\text{N} (1000 - 30)$$

$$Q = 10685375 \text{ kcal} / 10100 \text{ kcal/kg}$$

$$Q = 1058 \text{ kg}$$



La variación del ahorro de combustible por la optimización del proceso oscila entre 0.3 y 1.06 t, optimizando éste parámetro se puede ahorrar de un 15 ~ 20 % del consumo de combustible, o sea.

Tomaremos un valor del límite inferior $16 \% \times 302 \text{ kg} = 48 \text{ kg/h/secadero}$.

La operación normal de la planta requiere 5 secadero en operación, lo que reporta un ahorro de combustible de.

$48 \text{ kg} * 24 * 365 * 5 \text{ secadero} = 2102400 \text{ kg de petróleo}$

Para un secadero = 100055 kg de petróleo

$2102400 \text{ kg}/1000= 2102 \text{ t}$

$100055 \text{ kg}/1000= 100.06 \text{ t}$

Si el plan de consumo de petróleo nativo en el año es de 33648 t, se ahorra en el año 8424 t que equivale 2004912 CUC.

Se puede ver que con la propuesta de este proyecto se disminuye considerablemente el sobreconsumo de portadores energético en la planta, y se disminuye considerablemente la contaminación ambiental.

AUTOMATIZACIÓN DEL ÁREA DE SECADEROS

- 1 Cuadro Himel ó similar con placa de montaje
- 1 Transformador de mando y maniobra.
- 15 Relés de maniobra finder con diodo led incorporado.
- 1 Central de alarmas Entrelec.
- 4 Interruptores magnetotérmicos Merlin Gerin.
- 30 Bornes Entrelec seccionables por fusible..
- 1 Fuente de alimentación Siemens Sitoc E24/10.
- 1 Procesador Schneider 171CCS76000 M1 256 RAM RS232.
- 1 Adaptador Schneider 172 PNN 210 22.
- 2 Modulo base Schneider de 16 entradas analógicas 170AAI14000
- 2 Modulo base Schneider de 4 salidas analógicas 170AAO92100
- 2 Modulo base Schneider de 32 entradas digitales 170ADI35010

Propuesta de Estrategia de control para mejorar la eficiencia energética y tecnológica del proceso de secado

88

Autor: Ernesto Sanamé Domínguez



1	Modulo base Schneider de 32 salidas digitales 170ADO35000
1	Modulo base Schneider de 16 salidas digitales 170ADO34000
8	Lote de tres conectores Schneider 2,5 m. 18 ptos. 170 XTS00100
8	Adaptador comu. Schneider Interbus (I/O bus) 170INT11000.
6	Cable Schneider Interbus-S 25 cm 170MCI02500 montado.
1	Conector T para red MB+
1	Cable de derivación para MB+ Schnider 990NAD21110 2,4 mts
1	Convertidor I/I con aislamiento galvánico para desacoplo de la corriente
VTS	
2	Convertidores de corriente con aislamiento galvánico para VTS y
secadero	
3	Interfaces de 16 vías
12	Pilotos de señalización
8	Pulsadores
3	Selectores
1	Tubo de iluminación interior
30	Rotulaciones
1	Tarjeta de interface MB+, SA85 para insertar en PC con Slot PCI
1	PC, Pentium IV con impresora y monitor de 19". 60GB/512MB/de
RAM/UPS	
600	Metros de cable UTP de par trenzado con shield para redes MB+
	Conectores, bornes, cable, y pequeño material, etc
	Construcción y montaje del cuadro eléctrico

AI PRECIO PARCIAL DE 20464,57 CUC

3.9 Emisión de gases al espacio

Los gases procedentes del proceso de secado son pasados por el filtro de secaderos donde es colectado el polvo y los gases con el vapor de agua son expulsados a la atmósfera con $< 50 \text{ mg/m}^3$ de polvo y cantidades insignificantes de óxidos de azufre, antimonio, vanadio y otros.

Los gases generados durante el proceso de molienda son pasados por un filtro de mangas siendo expulsados a la atmósfera con un contenido de $< 50 \text{ mg/m}^3$ y cantidades insignificantes de vapores de hidrocarburos.

Propuesta de Estrategia de control para mejorar la eficiencia energética y tecnológica del proceso de secado

89

Autor: Ernesto Sanamé Domínguez



III. CONCLUSIONES GENERALES

En el presente trabajo de investigación se llegaron a las siguientes conclusiones:

- ✓ Se realizó el estudio del proceso a ser controlado, determinándose la ausencia de lazos de control en todo en el sistema de secado del mineral níquelífero de la Emp. Cmdte. Rene Ramos Latour.
- ✓ Se propuso una estrategia de control para la temperatura y la presión en la cámara de combustión y temperatura de los gases de salida.
- ✓ Un exceso de humedad en el mineral provoca una alta evaporación de gases, lo que aumenta la presión en el interior del secadero.
- ✓ Cada secadero Sobreconsume alrededor de 48 kg/h de petróleo por la manipulación incorrecta de la relación aire/combustible.
- ✓ Con los resultados obtenidos mejorara la eficiencia energética y tecnológica del proceso de secado.



IV. RECOMENDACIONES

En la presente investigación se proponen las siguientes recomendaciones:

- ✓ Profundización en el estudio del sistema de secado del mineral laterítico de la Emp. Cmdte. René Ramos Latour.
- ✓ Implementar la estrategia de control propuesta.



V. BIBLIOGRAFÍA

1. Aguado, A.: Identificación y Control de Procesos Industriales, Curso IX International Congress on Research in Electrical Sciences. Torreón Coahuila, México, 1995.
2. Arliuk B.I. (1985): Regularidades del intercambio de calor en los hornos rotativos. Ts. Metalurgia (No. 3), p. 67-73
3. Chang, A.: Una Visión Sobre las Reservas Estratégicas de Eficiencia Metalúrgica en la Tecnología Carbonato-Amónico. Minería y Geología, V. 16, n.1. 1999.
4. Columbié, N. A. y R. Guzmán (1992): Sobre la modelación matemática del proceso de calcinación del C.B.N en el horno tubular rotatorio. Revista Minería y Geología, No.1.
5. CORRIPIO, SMITH, Principles and practice of automatic process control.
6. CORRIPIO, Desing and application of process control systems.
7. Detkov, S. P. (1986): Intercambio de calor en los hornos rotatorios. Ts.M (No.3), p. 48-51. [1]
8. Hansen, P. D.; Badavas, P. C.: Multivariable Nonlinear Process Controller. The Foxboro Company, Patente Nro 5570282, EEUU, 1996.
9. Huang, B. Shah, S.L.; Practical Issues in Multivariable Feedback Control Performance Assessment, Journal of Process Control, 8 (5-6), p. 421-430. 1998
10. MOVING FAIRES VIRGIL, V. BREWER ALEXANDER, M. SIMMANG CLIFFORD, Thermodynamics.
11. P.V BARR, BRIMACONBE J.K, WATKINSON A.P. A Heat-transfer Model for the rotary Kiln: Part II. Development of the cross-section model.
12. YLINIEMI LEENA, A.A.JUTILA ESA, URONEN PAAVO. Modeling and control of a pilot-plant rotary drier uised for drying industrial ore concentrates, university of Oulu, division of control engineering, Oulu, Finland.
13. YLINIEMI LEENA, URONEN PAAVO, A comparison of diferent control strategies of a rotary drier, university of Oulu. Deparment of process ingineering, linnanmaa, Oulu, finland.



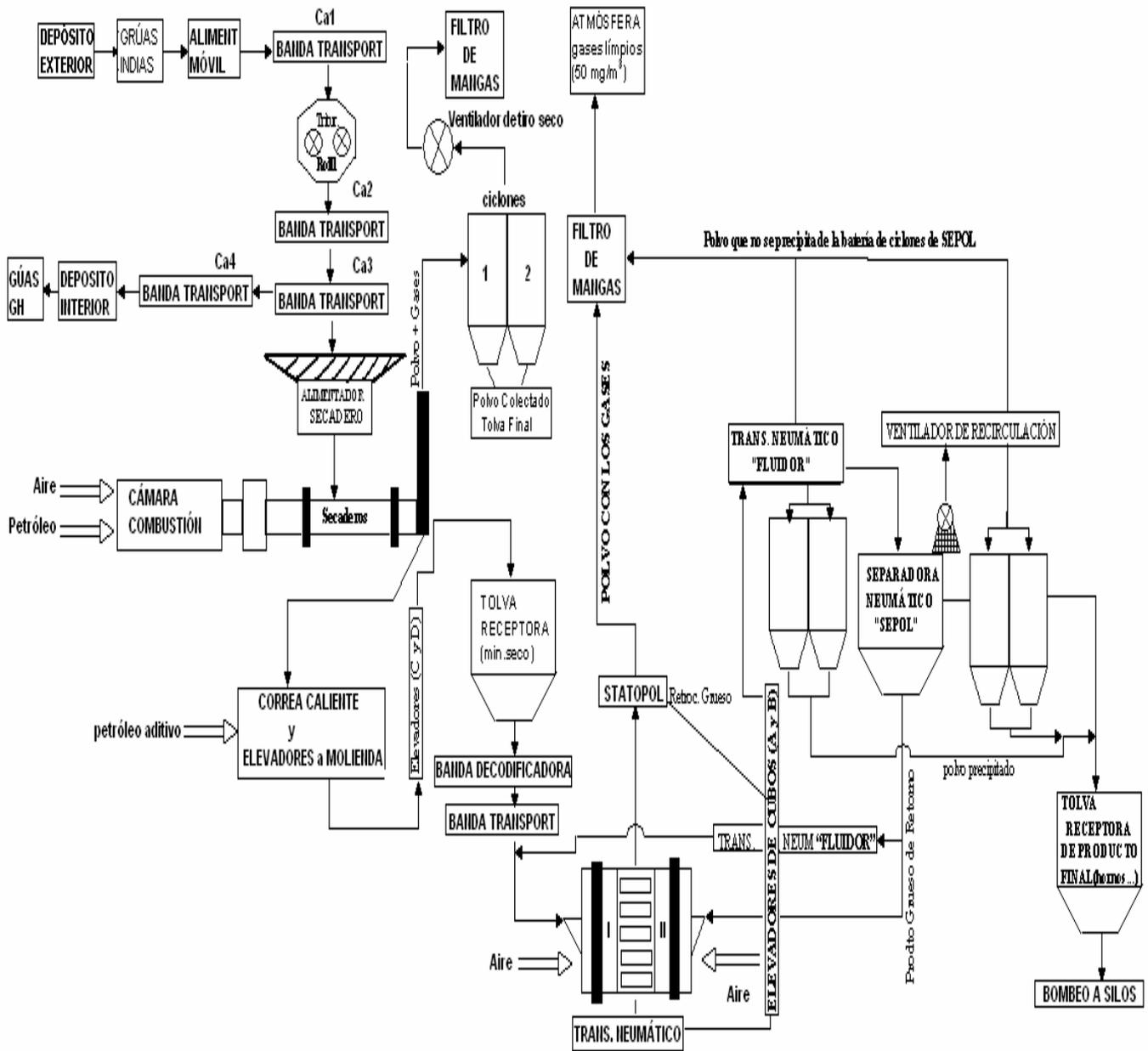
VI. ANEXOS

Propuesta de Estrategia de control para mejorar la eficiencia energética y tecnológica del proceso de secado

93

Autor: Ernesto Sanamé Domínguez

ANEXO 1: Proceso Tecnológico de la Planta de Secaderos y Molinos.



ANEXO 2

Tabla. Nombre de los equipos del área de Secaderos.

Nro.	Clave	Nombre.
1	MAS – (1 al 7).	Machetes de los Alimentadores de Secaderos del 1 al 7.
2	AS – (1 al 7).	Alimentadores de Secaderos del 1 al 7.
3	S – (1 al 7).	Secaderos del 1 al 7 (numerados de Sur a Norte).
4	CRS – (1 al 7).	Correas de Retorno de Alimentadores de Secaderos (1 al 7)
5	VTS – (1 al 7).	Ventiladores de Tiro de Secaderos del 1 al 7.
6	VC – (1 al 7).	Ventiladores de Combustión de Secaderos del 1 al 7.
7	VE – (1 al 4).	Ventiladores de Exceso de Secaderos del 1 al 7.
8	BP – (1 a la 6)	Bombas de Petróleo de los secaderos de la 1 a la 6.
9	CP – (1 a la 6)	Calentador de Petróleo del 1 al 6.
10	TP – 10 y 11.	Tanques de Petróleo Nro. 10 y 11 (sur y norte).
11	CS – (1 al 4) N	Ciclones de los Secaderos 1 al 4 del lado Norte.
12	CS – (1 al 4) S	Ciclones de los Secaderos 1 al 4 del lado Sur.
13	CS – (5 al 7) E	Ciclones de los Secaderos 5 al 7 del lado Este.
14	CS – (5 al 7) O	Ciclones de los Secaderos 5 al 7 del lado Oeste.
15	S9”S – (1 al 3)	Sinfín de 9” de polvo fino de los Secaderos 1 al 3.
16	S16”S – (1 y 2)	Sinfín de 16” de polvo fino de Secaderos Nro. 1 y 2.
17	S14” S	Sinfín de 14” de polvo fino de los Secaderos Nuevos (5 al 7).
18	BM10”S – 1 y 2	Bomba de 10” de polvo de Secaderos Nro.1 y 2 (Norte y Sur)
19	CC – 1	Correa caliente del sistema “C”.
20	CD – 1	Correa caliente del sistema “D”.
21	R – C	Romana de la Correa caliente del sistema “C”.
22	R – D	Romana de la Correa caliente del sistema “D”.

ANEXO 3.

Tabla Parámetros del régimen tecnológico normal.

Nro.	Parámetro a medir	Rango de variación	Controlado por:
			Responsable
1	Humedad del mineral de entrada a secaderos.	32 a 34 %	Mina Jefe brigada depósito.
2	Tamaño máximo de los fragmentos a la entrada de secaderos.	< 100 mm	Operador Trituradoras.
3	Temperatura máxima de la cámara de combustión. Secaderos # 1	860 - 940 °C	Operador de panel secaderos
4	Temperatura cámara de enfriamiento del secadero # 1	120 a 140 °C	Operador de panel secaderos
5	Temperatura de los gases de salida. Secaderos # 1	80 a 85 °C	Operador de panel secaderos
6	Temperatura del petróleo a la salida de las "calandrias" (según el gráfico de viscosidad - temperatura para el tipo de petróleo).	95 a 120 °C	Operador secaderos (fogonero)
7	Presión del petróleo suministrado a los quemadores.	10 a 30 kg/cm ²	Operador secaderos (fogonero)
8	Amperaje máximo del motor del secadero # 1.	35 A	Operador de panel secaderos
9	Presión de la cámara de combustión (vacío)	3 a 15 kg/m ²	Operador de panel secaderos
10	Temperatura media de los gases en el ducto al filtro de mangas. Máxima admisible	78 a 110 °C 120 °C	Operador de panel secaderos
11	Humedad del mineral a la salida de los secaderos.	4.5 a 5.5 %	Operador de panel secaderos
12	Concentración de polvo en los gases de salida por la chimenea del filtro de mangas.	< 30 mg/m ³	Operador de filtro.
13	Temperatura del vapor de calentamiento del petróleo.	120 a 135 °C	Planta eléctrica
14	Presión del vapor de calentamiento del petróleo.	5,4 a 5,8 kg/cm ²	Planta eléctrica
15	Amperaje de los ventiladores de tiro de los secaderos.	35 a 50 A	Operador de panel secaderos

Anexo 4

Tabla de registro de las variables del proceso

Tiempo	S1CtrlAlim	S1CtrlValA	S1CtrlValA	S1CtrlValC	S1TempCama	S1PresionC	S1TempGase
17:57:00	27,00	73,00	38,14	15,00	922,50	-0,86	78,52
17:57:30	27,00	73,00	38,14	15,00	927,50	0,21	73,42
17:58:00	27,00	73,00	38,14	15,00	936,00	-0,29	75,83
17:58:30	27,00	73,00	38,14	15,00	935,00	-0,48	76,35
17:59:00	27,00	73,00	38,14	15,00	929,50	-0,61	78,00
17:59:30	27,00	73,00	38,14	15,00	932,50	-0,76	75,98
18:00:00	27,00	73,00	38,14	15,00	924,00	-1,00	73,20
18:00:30	27,00	73,00	38,14	15,00	923,00	-0,58	73,58
18:01:00	27,00	73,00	38,14	15,00	926,50	0,25	75,83
18:01:30	27,00	73,00	38,14	16,00	931,50	-0,54	75,15
18:02:00	27,00	73,00	38,14	30,00	933,50	-0,49	76,20
18:02:30	27,00	73,00	38,14	30,00	955,00	-0,37	72,98
18:03:00	27,00	73,00	38,14	30,00	971,00	0,06	74,85
18:03:30	27,00	73,00	38,14	30,00	992,50	0,43	75,23
18:04:00	27,00	73,00	38,14	30,00	1003,00	-0,50	73,35
18:04:30	27,00	73,00	38,14	30,00	1019,50	0,26	75,08
18:05:00	27,00	73,00	38,14	30,00	1028,00	0,30	72,67
18:05:30	27,00	73,00	38,14	30,00	1033,00	0,25	73,13
18:06:00	27,00	73,00	38,14	30,00	1039,00	0,22	74,02
18:06:30	27,00	73,00	38,14	16,00	1070,00	0,49	72,67
18:07:00	27,00	73,00	38,14	16,00	1059,50	0,45	74,17
18:07:30	27,00	73,00	38,14	16,00	1052,00	0,19	72,38
18:08:00	27,00	73,00	38,14	16,00	1043,00	0,04	73,50
18:08:30	27,00	73,00	38,14	16,00	1035,50	0,34	75,45
18:09:00	27,00	73,00	38,14	16,00	1043,00	0,21	73,73
18:09:30	27,00	73,00	38,14	16,00	1020,00	-0,23	76,50
18:10:00	27,00	73,00	38,14	16,00	1021,50	-0,03	74,17
18:10:30	27,00	73,00	38,14	16,00	1007,00	-0,56	74,77
18:11:00	27,00	73,00	38,14	16,00	997,50	-0,23	77,55

Anexo 5

Consumo específico para producir una tonelada de mineral

Nro.	Materiales y portadores energéticos.	Consumo específico	Unidad de medida	Observaciones
1	Petróleo (Fuel Oil)	24 a 30	kg/t	Depende de la humedad del mineral alimentado a secaderos. A mayor humedad mayor consumo específico (aprox. +1 kg/t por +1% de humedad del mineral) .
2	Energía eléctrica	20 a 25	kW/t	Depende del tipo de mineral, el rendimiento de los equipos y el Coeficiente de utilización de la capacidad instalada.
3	Aire (Servicio)	1,9 a 2,1 4,7 a 6,0	Nm ³ /t kg/cm ²	Características necesarias
4	Aire (Transporte neumático)	26 a 31	Nm ³ /t	Consumo necesario
5	Aire (Combustión)	760 a 870	Nm ³ /t	Depende de la humedad del mineral (+20 m ³ / 1% de humedad)
6	Vapor de agua.	5,4 a 5,8 120 a 135	kg/cm ² °C	Consumo necesario.
7	Agua de enfriamiento Secaderos	65 a 70	m ³ /h	Depende de la cantidad de equipos en operación.

Anexo 6

Parámetros de operación del secadero # 1 durante 2 horas antes de la toma de la velocidad del AS.

Tiempo	% AS	Temp.Cám.	TempGases	Tiro	Amp.Sec.	Amp.Vent.Tiro	Flujo Pet
7:20	40.72	912.88	84.38	-1.45	40.89	37.41	942.66
7:26	40.72	909.31	84.96	1.95	55.24	37.07	1028.35
7:32	40.72	912.88	79.84	-3.16	81.36	37.20	965.36
7:38	40.72	916.50	83.79	-3.12	49.20	37.09	909.70
7:44	40.72	911.38	86.28	-3.54	52.25	36.56	912.63
7:50	45.36	911.13	86.57	-1.61	56.89	37.71	1016.63
7:56	45.36	913.50	89.80	-2.45	58.72	36.33	997.59
8:02	45.36	908.38	92.29	-1.77	61.10	37.45	977.08
8:08	45.36	913.50	99.47	-1.83	39.49	36.24	1024.69
8:14	45.36	909.63	100.20	-1.29	58.53	37.41	939.73
8:20	50.00	908.38	101.52	-1.76	73.85	36.38	988.80
8:26	50.00	910.50	101.66	-0.32	40.65	35.83	1034.21
8:32	50.00	908.69	96.24	-1.95	38.03	35.55	976.35
8:38	50.00	910.19	94.19	-1.01	76.66	39.47	981.48
8:44	50.00	909.00	93.17	-4.03	47.79	40.18	1024.69
8:50	50.00	909.00	92.87	-4.23	43.34	40.59	973.42
8:56	50.00	900.88	91.26	-3.68	65.43	41.05	1004.18
9:02	50.00	902.69	93.46	-3.35	49.62	40.00	1007.84
9:08	50.00	901.81	89.65	-3.18	47.85	40.64	922.88
9:14	50.00	909.88	90.53	0.91	40.10	37.04	977.81
9:20	50.00	906.63	93.02	-2.20	43.03	37.07	1029.82
9:26	50.00	897.00	92.58	-0.13	39.37	37.13	996.12
9:32	50.00	887.38	91.70	1.64	46.02	37.13	1022.49
Promedio	46.97	907.87	91.71	-1.81	52.41	37.76	984.98
Máximo	50.00	916.50	101.66	1.95	81.36	41.05	1034.21
Mínimo	40.72	887.38	79.84	-4.23	38.03	35.55	909.70
Desv.Est	3.86	6.35	5.77	1.72	12.57	1.66	38.37

ANEXO 7. Terminología y símbolos.

Tabla. Los símbolos y abreviaturas más usadas en este manual son los que se relacionan a continuación.

Símbolo	Descripción
A	- Ampere
API	- Densidad API (Instituto Americano del Petróleo)
C.A.	- Corriente alterna
C.D.	- Corriente directa
cal.	- Caloría
°C	- Grado Celcio
cm	- Centímetro
Co	- Cobalto
CO ₂	- Dióxido de carbono
CO	- Monóxido de carbono
°E	- Grado Engler
°F	- Grado Farenhei (° F = (9/5) x °C + 32).
Fe	- Hierro
°	- Grados
h	- Horas
H ₂	- Hidrógeno
H ₂ O	- Agua
Hz	- Hertzios
HP	- Caballos de fuerza (1 HP = 0,746 kW)
HV ó C.V.	- Caballos de vapor (1 HV = 0,736 kW)
J	- Joule (1 J = 4,19 cal.)
kJ	- Kilojoule
kJ/kg	- Kilojoule por kilogramo
kg/m ²	- Kilogramos por metro cuadrado
kg/m ³	- Kilogramos por metro cúbico
kg/cm ²	- Kilogramos por centímetro cuadrado
kg/h	- Kilogramos por hora
kcal	- Kilocaloría
kcal/kg	- Kilocalorías por kilogramo
kg/t	- Kilogramos por tonelada métrica
kW	- Kilowatt
l	- Litro
l/min.	- Litros por minuto
m/min.	- Metros por minuto
m/seg.	- Metros por segundo
mm	- Milímetros
m	- Metros
m ²	- Metros cuadrados
m ³	- Metros cúbicos
Ni	- Níquel
P	- Presión
Pa	- Pascales
'	- Pies

"	- Pulgadas
%	- Por ciento
Q	- Flujo, caudal
r.p.m.	- Revoluciones por minuto
SiO ₂	- Sílice , Óxido de silicio
t	- Toneladas métricas
V	- Voltios
W	- Watt

ANEXO 8

Tabla. Motores de Secaderos y Molinos

		KW	HP					Jaula	Bobinado	
Grúa India # 1 ,2,3 y 4										
Traslación del Puente	URSS	9	12	440 -Y	23,4	840	0,73		292-V, 21- A	480
Traslación del Puente	URSS	9	12	440 -Y	23,4	840	0,73		292-V, 21- A	480
Traslación del Puente	URSS	9	12	440 -Y	23,4	840	0,73		292-V, 21- A	480
Traslación del Puente	URSS	9	12	440 -Y	23,4	840	0,73		292-V, 21- A	480
Traslación del Puente	URSS	9	12	440 -Y	23,4	840	0,73		292-V, 21- A	480
Traslación del Puente	URSS	9	12	440 -Y	23,4	840	0,73		292-V, 21- A	480
Traslación del Puente	URSS	9	12	440 -Y	23,4	840	0,73		292-V, 21- A	480
Traslación del Puente	URSS	9	12	440 -Y	23,4	840	0,73		292-V, 21- A	480
Peso	Spain Indar	190	255	440 -Y	350	695	0,77		290-V,385- A	1200
Cierre	Spain Indar	190	255	440-Y	350	695	0,77		290-V,385- A	1200
Traslación del Carro	Spain Alconza	70	94	440- Δ	118	697	0,82		190-V,220-A	980
Traslación del Carro	Spain Alconza	70	94	440- Δ	118	697	0,82		190-V,220-A	980
Ventilador del Carro	Siemens	3,45	5	440 -Y	6,3	1720	0,84	X		28
Ventilador del Carro	Siemens	3,45	5	440-Y	6,3	1720	0,84	X		28
Alimentador Móvil # 1										
Correa	URSS	7,5	10	440-Y	13,2	1750	0,86	X		115
Carro	URSS	2,5	3	440-Y	6,23	1800	0,86	X		28
Puente	URSS	11	15	440-Y	20	1730	0,86	X		76
Estera	URSS	11	15	440-Y	19,6	1800	0,86	X		74
Alimentador Móvil # 2										
Correa	DDR	11	15	440-Y	19,4	1750	0,86	X		74
Carro	URSS	2,5	3	440-Y	6,2	1800	0,86	X		26
Puente	HELMKE	17	23	440-Y	31	1176	0,86	X		195
Estera	USA	22,4	3	440-Y	38	1760	0,86	X		220
Alimentador Móvil # 3										
Correa	DDR	11	15	440-Y	19,4	1750	0,86	X		74
Carro	URSS	2,5	3	440-Y	6,2	1800	0,86	X		26
Puente	HELMKE	17	23	440-Y	31	1176	0,86	X		195
Estera	USA	22,4	30	440-Y	38	1760	0,86	X		220

Transp. de Banda										
CA- 1	SIEMENS	34,5	46	440- Δ	54	1765	0,88	X		230
CB- 1	USA	37,3	50	440-Y	60	1710	0,88	X		256
CA- 2	SIEMENS	34,5	46	440- Δ	54	1765	0,88	X		230
CB- 2	URSS	22	29	440- Δ	21,3	1740	0,89	X		230
CA- 3	SIEMENS	34,5	46	440- Δ	54	1765	0,88	X		230
CB- 3	DDR	18	24	440- Δ	29,5	1750	0,88	X		120
CA- 4	TAUBA- HOL.	11	15	440-Y	19,4	1750	0,85	X		115
CB- 4	TAUBA- HOL.	11	15	440-Y	19,4	1750	0,85	X		115
Trituradora										
A-Este	ABB	63	84	440-Y	112	708	0,79	X		930
A - Oeste	ABB	63	84	440-Y	112	708	0,79	X		930
B - Este	ABB	63	84	440-Y	112	708	0,79	X		930
B - Oeste	USA	56	75	440-Y	95	884	0,86	X		876
Secaderos										
Secaderos # 1	Spain Indar	92	123	2400-Y	36	893	0,7	X		2350
Secaderos # 2	Spain Indar	92	123	2400-Y	36	893	0,7	X		2350
Secaderos # 3	USA	93,3	125	2400-Y	35,6	888	0,85	X		1850
Secaderos # 4	VEB	150	201	2400-Y	253	890	0,89	X		1300
Secaderos # 5	Spain Indar	110	147	2400-Y	34	1193	0,87	X		1250
Secaderos # 6	USA	112	150	2400-Y	35	1185	0,8	X		1050
Secaderos # 7	USA	112	150	2400-Y	35	1185	0,8	X		1050
Ventilador Comb.										
Ventilador Comb. # 1	USA	29,8	40	440-Y	48	1200	0,8	X		115
Ventilador Comb. # 2	URSS	13	17	440-Y	22	1760	0,85	X		105
Ventilador Comb. # 3	INGLE	7,46	10	440-Y	13	1730	85	X		56
Ventilador Comb. # 4	USA	29,8	40	440-Y	48	1200	0,8	X		115
Ventilador Comb. # 5	SIEMNES	34,5	46	440- Δ	54	1765	0,88	X		250
Ventilador Comb. # 6	SIEMNES	34,5	46	440- Δ	54	1765	0,88	X		250
Ventilador Comb. # 7	HELMKE	17	23	440- Δ	31	1176	0,8	X		195
Alimentador Secadero										
Alim. Secadero AS # 1	HELMKE	17	23	440- Δ	31	1176	0,8	X		195
Alim. Secadero AS # 2	HELMKE	17	23	440- Δ	31	1176	0,8	X		195

Alim. Secadero AS # 3	HELMKE	17	23	440- Δ	31	1176	0,8	X		195
Alim. Secadero AS # 4	HELMKE	17	23	440- Δ	31	1176	0,8	X		195
Alim. Secadero AS # 5	USA	14,9	20	440- Y	25,9	1762	0,79	X		130
Alim. Secadero AS # 6	USA	44,8	60	440- Y	70	1800	0,75	X		195
Alim. Secadero AS # 7	USA	14,9	20	440- Y	25	1765	0,75	X		130
Ventilador de Tiro										
Ventilador de Tiro # 1	Westighuose	149	200	2400-Y	44,7	1190	0,86	X		1430
Ventilador de Tiro # 2	Westighuose	160	214	2400-Y	44,7	1190	0,8	X		1430
Ventilador de Tiro # 3	SIEMENS	160	214	2400-Y	48,1	1782	0,8	X		1720
Ventilador de Tiro # 4	SIEMENS	160	214	2400-Y	48,1	1782	0,86	X		1720
Ventilador de Tiro # 5	SIEMENS	160	214	2400-Y	48,1	1782	0,86	X		1720
Ventilador de Tiro # 6	SIEMENS	160	214	2400-Y	48,1	1782	0,86	X		1720
Ventilador de Tiro # 7	USA	112	150	2400-Y	35	1750	0,8	X		1500
Compresor										
# 1 Bombas de los Secad.	Westinghouse	149	200	2400-Y	4907	589	0,78	X		1250
# 2 Bombas de los Secad.	ABB	75	101	440- Δ	132	713	0,79	X		960