

# MODERNIZACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL PARA LLENADO DE TOLVAS DE CARBÓN DE LAS UNIDADES I, II Y III EN LA TERMOELÉCTRICA DE PAIPA

(Control system upgrading for the hopper filling process units I, II and III in the Paipa Thermoelectric Company)

Andrés Felipe Suárez Corredor, Fabián Rolando Jiménez López\*

Facultad de Ingeniería Electrónica, USTA Tunja. Grupo Inv. GINSCON  
\*fjimenez@ustatunja.edu.co

(Recibido 7 de octubre de 2009 y aceptado 7 de abril de 2010)

<p><b>Resumen:</b> Este documento muestra el funcionamiento actual del proceso de llenado de tolvas de carbón de las unidades I, II y III en la Termoeléctrica de Paipa, que genera Energía Eléctrica para la Empresa Generadora de Energía de Boyacá EBSA. Sobre esta base, se establece un diagnóstico de operación para realizar propuestas de automatización del proceso basado en criterios de diseño como el alcance y las limitaciones del proyecto y se establecen los requerimientos para la selección de dispositivos sensores, actuadores y controladores para manipular las variables implícitas en el sistema de llenado. De igual manera se establecen los posibles cambios en obras civiles de máquinas y sistemas específicos con sus repercusiones en el rendimiento del proceso y en última instancia se diseña la lógica de programación para el controlador lógico programable que se seleccionó para gobernar el proceso en forma manual, automática y semiautomática.</p>	<p><b>Abstract:</b> This document shows the current operation of the filling process of coal hoppers of the units I, II and III Paipa Thermoelectric Company, Boyacá, Colombia. On this basis, a diagnosis of proposals for creating automate proposals of the process based on design criteria like the achievements and the limitations of the project and the requirements are established for the selection of controllers, sensing devices and actuators for manipulating the implicit variables in the process. Similarly possible changes in civil engineering machinery are established and specific systems with their impact on the performance process and ultimately the programming logic is designed for the programmable logic controller that was selected to run the process in manually, automatic and semiautomatic.</p>
<p><b>Palabras clave:</b> sensores, controlador lógico programable, automatización de procesos, productividad, calidad, reconversión tecnológica, sistema de llenado de tolvas, industria de generación de energía.</p>	<p><b>Key words:</b> Sensors, Programmable Logic Controller, Process Automation, Productivity, Quality, Conversion Technology, Hopper Filling System, Power Generation Industry.</p>

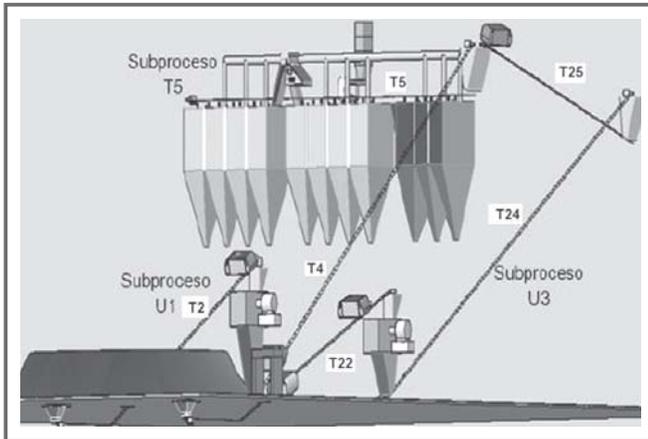
## 1. INTRODUCCIÓN

Este documento busca establecer la situación actual de la operación del sistema de llenado de las tolvas de carbón de las unidades I, II y III Termopaipa en la Empresa Generadora de Energía de Boyacá partiendo desde la alimentación de carbón de patio, hasta el depósito del carbón en cada una de las tolvas presentes para cada unidad (GENSA S.A., 2005). A partir de este diagnóstico del proceso se proponen las soluciones de instrumentación y control con el ánimo de optimizar el sistema desde el punto de vista de reducción de tiempos de proceso, seguridad de operación, reducción de costos por paradas y pérdidas de material, así como el mejoramiento de la calidad del sistema, mediante el diseño de la automatización del mismo, la cual permitirá que el proceso de llenado sea más seguro, rápido y confiables.

## 2. DESCRIPCIÓN Y DIAGNÓSTICO DEL PROCESO DE LLENADO

El proceso se divide en tres subprocesos, los cuales son denominados Unidad 1 (U1), Unidad 3 (U3) y T5 (figura 1), cada uno de estos tiene su operación normal tanto de arranque como de parada por medio de pulsadores de mando local, los cuales se encuentran ubicados cerca de su respectivo subproceso, estos pulsadores están enclavados para garantizar una secuencia lógica previamente definida por el personal que realizó la instalación para condiciones de proceso y de seguridad (GENSA S.A., 2008).

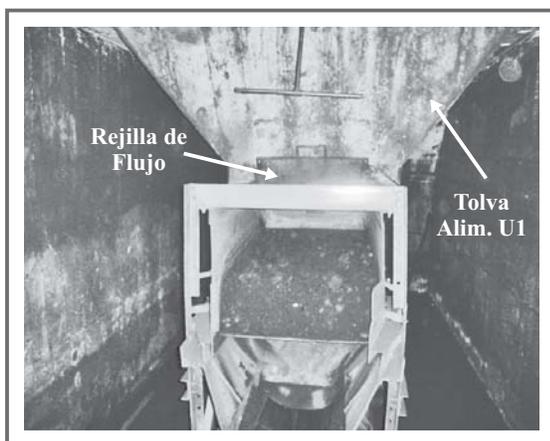
También está instalado a lo largo de todas las bandas de transporte de carbón un sistema de seguridad tipo interruptor que es accionado al halar una cuerda sujeta a las mismas; este sistema desenergiza todos los dispositivos implícitos en el proceso usado solamente en caso de emergencia.



**Figura 1.** Subprocesos del transporte y llenado de las tolvas de carbón.

El primer subproceso U1 comienza desde el transporte de carbón desde el patio hacia la tolva de alimentación o distribuidor de patio, la cual está construida en concreto y consta de una forma cónica en su interior para permitir un continuo deslizamiento del carbón sin apelmazamiento en la estructura; este tipo de diseño ayuda a disminuir las posibilidades de que se atasque el alimentador de patio, situación que retardaría el llenado de las tolvas, claro está, siempre y cuando se consideren condiciones óptimas del carbón (granulometría, humedad, etc).

El carbón pasa a la primera banda transportadora denominada T2 (figura 1), y su circulación es regulada por medio de una bandeja deslizante la cual es accionada con un motor y un acople mecánico que permite a T2 desplazarse hacia adelante y atrás continuamente (Avallone, 1996). La regulación del flujo de carbón se hace por medio de una rejilla que se posiciona manualmente a por el operario a cargo. Esta rejilla es sostenida en el nivel deseado gracias al desplazamiento de varillas que encajan a través de un orificio guía como se puede apreciar en la figura 2.



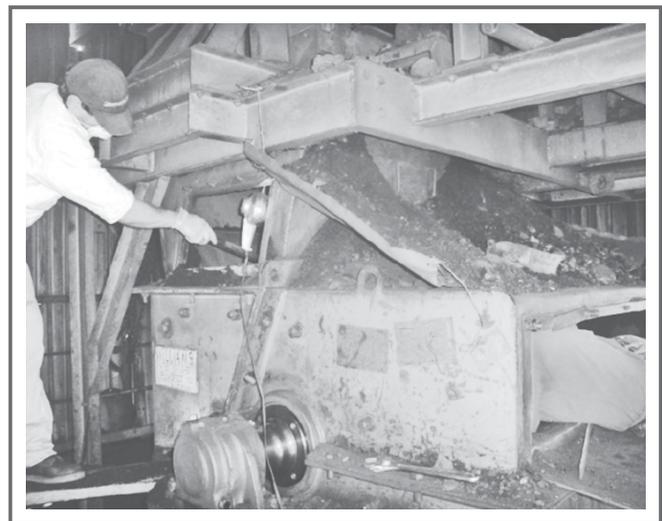
**Figura 2.** Rejilla de flujo, tolva de alimentación Unidad U1.

En este punto se presenta un gran inconveniente en la operación del proceso, ya que la integridad del operario se pone en riesgo cuando se tiene que cambiar de posición la rejilla aún cuando esté en funcionamiento el sistema. Este posicionamiento se hace en base a requerimientos de la calidad, humedad y granulometría del carbón y también, en forma indirecta de acuerdo al amperaje consumido por el motor del triturador. El amperaje consumido por el motor se eleva reiteradamente cuando sus martillos están desgastados.

El siguiente paso en el subproceso U1 es garantizar al máximo eliminar el contenido de metales que llegan mezclados accidentalmente con el carbón; esta tarea se hace con la ayuda de un separador magnético que se ubica al final de la banda en la parte superior. Este separador ayuda a proteger la vida útil de los componentes del triturador.

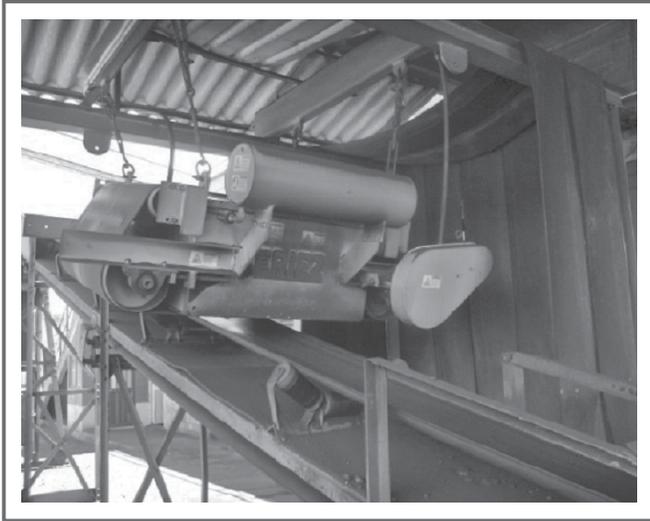
En el caso del separador de la banda T2, se aprecian inconvenientes con la intensidad del campo magnético ya que el dispositivo posee un elevado tiempo en funcionamiento y su operación es inapropiada, debido a que el operario esporádicamente permite el paso de metales al manipular manualmente la rejilla de flujo. Esta situación ocasiona la elevación del amperaje consumido por el triturador, causando su disparo y provocando el desgaste y daño continuo de los martillos y eje del motor del triturador.

La función primordial del triturador es el de homogenizar la granulometría del carbón por lo cual es de vital importancia en el proceso (Avallone, 1996). Este equipo presenta problemas en su estructura, ya que posee orificios que ocasionan fugas de carbón. Estas perforaciones se han generado como consecuencia del desgaste y tiempo de vida en funcionamiento del triturador, de igual manera, el carbón se apelmaza dentro del triturador con mucha frecuencia y se requiere reiteradamente detener su operación para remover el carbón adherido a la lámina de sus paredes internas. Esta situación se puede observar claramente en la figura 3.

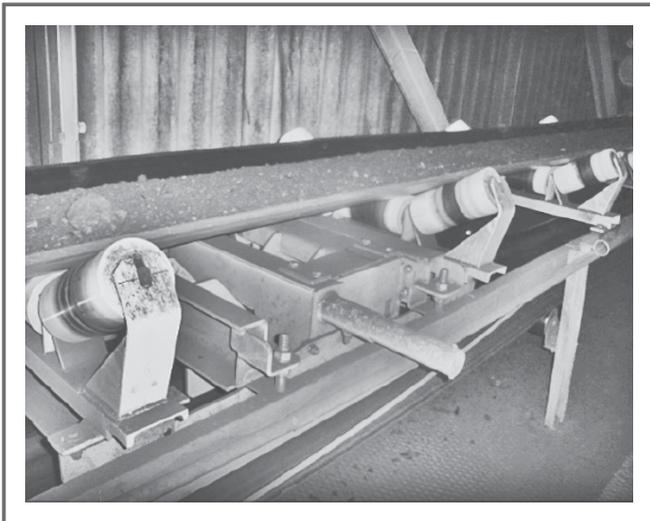


**Figura 3.** Proceso de Remoción de carbón en el Tritrador de la Unidad U1.

A la salida del triturador, el carbón se ubica en la banda transportadora T4 (figura 1), sobre la cual se encuentra ubicado otro separador magnético (figura 4) que atrae los componentes metálicos no detectados por el separador de la banda T2. Este segundo separador se encuentra en óptimas condiciones de operación y asegura que no circulen metales hacia las tolvas y pulverizadores.



Cuando el carbón se transporta al final de la banda T4, una celda de carga instalada (figura 5) mide y suministra continuamente los datos acerca del flujo de carbón que pasa por este subproceso hacia la banda transportadora común denominada T5 (figura 1) sobre la que se encuentra instalado el carro distribuidor.



Esta báscula ayuda racionar la producción y al control del ingreso de carbón en forma permanente, y entrega la información del tiempo necesario para llenar las tolvas que se estén utilizando en cada turno para así también tener presente una idea acerca de la disponibilidad de las unidades (GENSA S.A., 2005).

El segundo subproceso U3 también posee una tolva de alimentación construida en concreto, la cual fue recientemente recubierta internamente con una lámina que posee desgaste debido a las condiciones de trabajo. Esta tolva presenta problemas debido a que su estructura interna consta de piezas planas y en sus uniones apelmazan y no dejan deslizar óptimamente el carbón. Esta situación provoca la permanente revisión y acción por parte del operario para remover los apelmazamientos de modo tal que siga bajando el carbón hacia la banda transportadora T22 (figura 1). La tolva de la Unidad U3 tiene incorporada un sistema vibratorio accionado por un motor, que ayuda a disminuir el atascamiento del carbón.

Al final de la banda T22 se encuentra ubicado un separador magnético que cumple la misma función que el ubicado en la banda T2 de la Unidad U1 y también presenta los mismos inconvenientes descritos anteriormente. De igual manera el carbón circula hacia el triturador de la unidad U3, el cual funciona adecuadamente a pesar de tener un tiempo de operación equivalente al de la Unidad U1.

A la salida del triturador se deposita el carbón en la banda transportadora denominada T24 (figura 1); y al final de esta banda se deposita el carbón en una tolva de traspaso que presenta algunos inconvenientes de operación debido a los constantes remiendos sobre daños hechos sobre la estructura metálica como se aprecia en la figura 6.

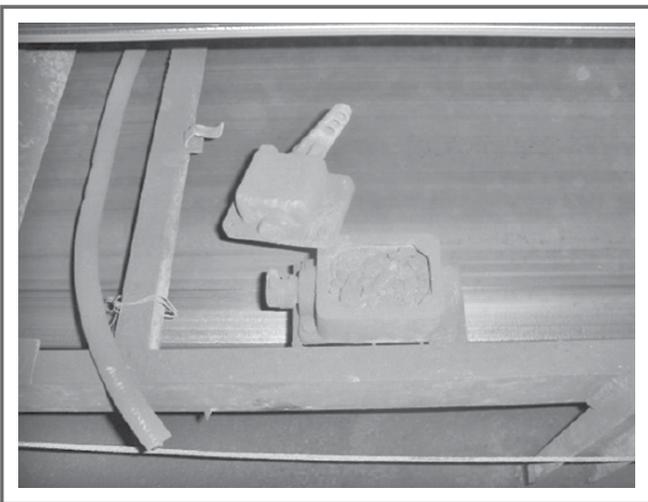
Este inconveniente hace que se presenten fallas, al provocar atascamiento del carbón antes de su ubicación en la banda T25 (figura 1) y como los operarios de patio y de la unidad T5 se encuentran lejos de este punto sin poseer alguna señalización de alarma, se hace casi imposible que se detecte dicha falla, haciendo que se desperdicie gran cantidad de carbón ocasionando daños y pérdidas de gran magnitud.



**Figura 6.** Estado Atípico de la estructura metálica de la Tolva de Traspaso BTT24 - BTT25.

La banda T25 tiene incorporada a la mitad del recorrido un sensor de flujo y al final de esta banda se tiene ubicado otro separador magnético que retira los metales que pasaron sin ser percibidos por el separador de la banda T22, para así hacer circular el carbón a otra tolva de traspaso que lo deposita a la banda común T5.

Cuando el carbón llega a la banda transportadora común T5, el mineral se desplaza hacia el carro distribuidor o *tripper*. El *tripper* es controlado de forma manual por medio del operario de turno, el cual toma la decisión de llevar el carro hacia la posición apropiada para llenar las tolvas que posean un nivel bajo y de acuerdo a la unidad que vaya a entrar en funcionamiento. El operario por inspección visual también supervisa que se realice el llenado de tolvas hasta el nivel deseado, y controla el desplazamiento del carro utilizando tres pulsadores: pulsador de arranque a izquierda, pulsador de arranque a derecha y pulsador de parada.



**Figura 7.** Avería presentada en el sistema de Parada de emergencia de la banda transportadora T2.

Como se puede apreciar en la figura 7 los sistemas de parada de emergencia de la gran mayoría de las bandas transportadoras se encuentran averiados debido al desgaste y mal uso, de esta forma se propuso su reemplazo por otros de funcionamiento similar que garanticen la seguridad del proceso y del personal.

En la etapa del proceso de llenado se tienen las principales problemáticas del proyecto debido a que se desea que el operario se involucre lo menos posible en el proceso para proteger su integridad y salud ya que la polución existente en este sitio es elevada. Para suplir dicha necesidad, se propone el diseño de un sistema de instrumentación y control electrónico para automatizar el proceso.

Es importante adicionar, que actualmente la planta posee un sistema de supervisión remota la cual no tiene poder de mando alguno sobre los elementos presentes en el proceso, es decir solamente se limita a visualización para revisión del estado del proceso.

Los datos medidos por las celdas de carga ubicadas en las bandas transportadoras T4 y T25 y cuatro sensores inductivos ubicados a lo largo de la banda de la unidad T5, son transmitidos al Sistema de Supervisión, en donde un software SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) instalado en un computador industrial, permite al operario de control monitorear el subproceso que está en operación, e informa acerca de la cantidad de flujo de carbón que está llegando a través de cada subproceso y la posición actual del *tripper* a lo largo de la banda T5 (para cada unidad mas no para cada tolva).

### 3. SISTEMATIZACIÓN DE PROBLEMAS Y PROPOSICIÓN DE SOLUCIONES

Las principales fallas encontradas en el proceso de llenado de tolvas fueron las siguientes: los alimentadores de patio encargados de ubicar el carbón proveniente de las minas o patio en la primera banda transportadora de cada uno de los dos subprocesos (T2 y T22), poseen problemas de atascamiento de carbón bien sea debido al volumen y granulometría con el que llega, o debido a la mala calidad de suministro del carbón; así mismo, la compuerta reguladora de flujo de cada alimentador es posicionada en forma manual sin ningún tipo de pulsadores que eviten el contacto directo entre el operario y el proceso.

Las paradas de emergencia disponibles en el sistema de llenado a lo largo de cada banda transportadora son inapropiadas, ya que los actuadores son obsoletos y se carece de redundancia en caso de que los sistemas de parada disponibles se encuentren fuera de servicio por las condiciones agrestes del proceso y la falta de mantenimiento.

Los separadores magnéticos se encuentran desgastados por el largo tiempo de uso, ocasionando la circulación de metales hacia el triturador, averiando los martillos y eje del mismo, además también es posible el paso de metales no ferrosos que pueden provocar atascamiento de carbón en puntos de traspaso como el de la banda transportadora T24 a la banda T25.

El direccionamiento del carro viajero que es el encargado de descargar el carbón procesado sobre las tolvas de almacenamiento, su operación es manual, en el cual el operario a cargo de su manejo determina por inspección visual cual es la tolva que requiere ser llenada. El operario debe estar en constante disposición de realizar la supervisión del nivel de la tolva llenada y las que no están siendo llenadas ya que un sobrepaso del nivel máximo de llenado traería consigo desperdicio de carbón y deficiencias en el proceso.

Esta situación puede hacer que en un momento fortuito, el descuido del operario al llenar alguna tolva que este siendo usada para la generación de energía eléctrica, haga que alcance su nivel mínimo causando daños de gran magnitud en el proceso de generación de la planta en general.

Las válvulas implementadas para el sistema captador de dióxido de carbono se accionan de forma manual y los motores no poseen enclavamiento alguno. Es decir que si en algún momento un motor encargado de recircular los finos falle o se apague, no

tenga en cuenta que el motor encargado de la extracción siga en funcionamiento y provoque atascamiento de carbón.

Los operarios no disponen de un mecanismo de alarmas que les indique fallas durante cualquier estado del proceso, este aspecto afecta el óptimo funcionamiento del sistema, puesto que la detección de fallas a tiempo es un factor crítico para asegurar su corrección inmediata, ya que una detección tardía frente a un problema ocurrido se refleja en pérdidas y consecuencias de gran medida que en el peor de los casos son irreversibles.

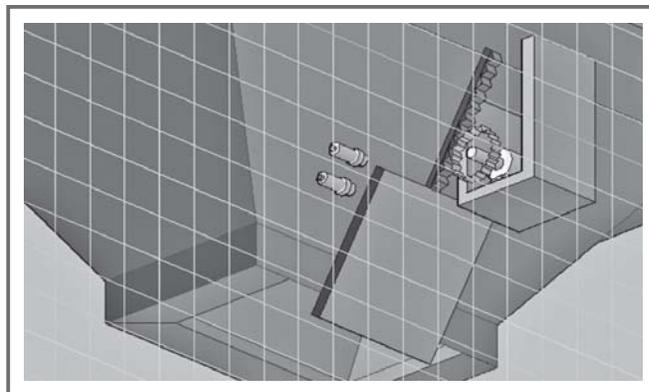
Es necesario implementar un dispositivo indicador visual o auditivo que le informe al operario el estado completo del proceso para así apoyarse en el mismo en su ánimo de hacer mejor su trabajo; así mismo se requiere de un sistema de monitoreo automático que permita responder ante fallas de manera inmediata, generar las indicaciones de fallas y responder a cualquier variable durante el llenado diario de las tolvas.

Teniendo en cuenta las fallas identificadas se seleccionó la instrumentación electrónica y mecánica para solventar las fallas identificadas. Las soluciones a estas necesidades se diseñaron teniendo en cuenta factores de vital importancia a la hora de realizar un estudio como lo son: economía, condiciones técnicas, expectativas de funcionamiento que cumplan con la aplicación requerida, perfil de empresas consultadas, experiencia de expertos y operarios, entre otras.

Las soluciones que se proponen son las siguientes: instalar una rejilla en la parte superior del alimentador de carbón de tal manera que esta impida el paso de carbón con granulometría elevada, también se propone la reestructuración de la tolva de alimentación de la unidad U3 para que su disposición interna tenga forma cónica para permitir el deslizamiento continuo del carbón aun bajo malas condiciones del mismo. Esta sugerencia se propuso al Departamento de Mantenimiento Mecánico en planta para su ejecución.

La instalación de un sistema que permita accionar la compuerta de la rejilla de flujo en las Tolvas de alimentación, de manera que el operario no entre en contacto directo con el sistema para así evitar accidentes. Este sistema consta de un motor, un acople mecánico (diseñado por Mantenimiento Mecánico) y dos sensores inductivos que permitan el posicionamiento automático de la compuerta de acuerdo al amperaje consumido por el triturador y seguridad en modo manual fijando límites de movimiento para evitar el desbordamiento de la compuerta (Avallone, 1996).

Realizar el reposicionamiento de algunos separadores magnéticos e implementar otros separadores en puntos donde se considere sea necesario evitar el paso de metales que dañen el resto de dispositivos implícitos en el proceso de homogenización del carbón; implementar un sistema detector de metales que impida el paso de los metales no detectados por los separadores magnéticos (generalmente los no ferrosos), causando la detención del proceso aguas abajo del mismo según enclavamientos, para permitir así que el operario



**Figura 8.** Diseño para optimizar control de compuerta reguladora de flujo.

remueva dicha pieza detectada y reinicie el proceso manualmente por medio de los pulsadores dispuestos en la cabina de mando.

Instalar los arrancadores adecuados a los motores implícitos en la detención del sistema a la hora de detectar metales ya que todos tienen actualmente arranque directo, para que cuando se realicen paros del sistema, se reduzca considerablemente su vida útil de servicio. Para tal fin se seleccionaron arrancadores suaves debido a su moderado costo respecto a los variadores de velocidad y a las ventajas con respecto a las corrientes de arranque estrella – triángulo.

Implementar sensores fotoeléctricos a la salida de las tolvas de traspaso en donde se presentan atascamientos continuamente, esta condición de percibir o no la luz infrarroja por parte del receptor hace que haya o no paso de carbón al comienzo de la banda y será supervisado siempre y cuando se habiliten las alarmas en el programa, en donde se dio la temporización para permitir obtener el estado normal de flujo.

Instalar un sistema de accionamiento para las válvulas del sistema captador de finos que sea de fácil manipulación, como una botonera local que sirva como respaldo del funcionamiento automático del proceso, estas válvulas se accionaran de acuerdo a donde se esté realizando el llenado, para esto se debe disponer de válvulas electromecánicas con retorno de muelle las cuales mejoran las condiciones de operación de las que actualmente instaladas en que disponen de un actuador que permite por medio de un impulso eléctrico ya sea programado o manual abrir o cerrar dicha válvula.

Instalar nuevos paradas de emergencia a lo largo de cada banda transportadora que permitan detener el proceso en caso de alguna anomalía, sirviendo como redundancia de los paradas dispuestos para cada subproceso; adquirir sensores de nivel tipo radar que aseguren la lectura continua y confiable del nivel presente en las tolvas, además servirá como ayuda al Controlador lógico Programable PLC para determinar el direccionamiento del carro, seleccionar la tolva a llenar y supervisar las restantes en caso de emergencia por nivel bajo.

Es apropiado considerar el arranque o parada del proceso en automático y manual, entregar un análisis detallado de su mantenimiento y lecturas realizadas en un determinado lapso de tiempo respecto al llenado en un sistema de supervisión remoto, el cual puede ser comparado con las lecturas de flujo entregadas por las basculas ubicadas en las bandas T4 y T25 para determinar índices desempeño de gran importancia a nivel de generación y consumo en el departamento de producción.

Adquirir un PLC Modicon M340 acorde con la aplicación con sus respectivos elementos como racks, módulos, relés y demás, o adquirir los módulos necesarios de acuerdo a las variables a manipular de un PLC Modicon TSX Micro disponible en la planta.

De acuerdo a las propuestas hechas acerca del PLC a utilizar, se implemento el código diseñado en este estudio para realizar y supervisar el control en sus diversos modos de operación. El software de programación PL7 fue usado únicamente para la programación del PLC TSX Micro mas no del Modicon M340 de acuerdo al diagrama lógico de flujo realizado en el que se tuvieron en cuenta variables como enclavamientos, posibles fallas y respuesta a ellas, nuevas variables a implementar y demás (Schneider Electric, 2007). En la figura 10 se puede apreciar el sistema general de control diseñado para la aplicación.

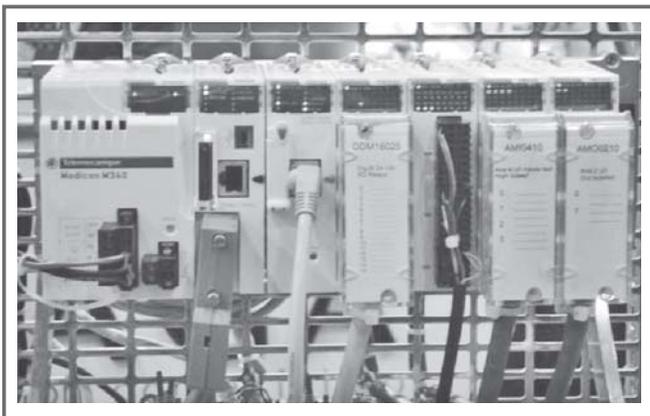


Figura 9. PLC Modicon M340.

Implementar un panel supervisor que apoye al operario a visualizar el estado general del proceso; disponer de una nueva botonera similar a la actualmente usada pero con las actuales y debidas normas de seguridad mínimas exigidas. El cableado se realizará para extender el existente para el control del subproceso unidad U1 hasta el subproceso unidad U3 y también se hará para los nuevos dispositivos a implementar mencionados, no solo a la cabina de mando sino a la sala de alimentación de 440V correspondiente.

En la figura 11 se muestran las rutas del cableado y sus respectivos puntos de traspaso quedando de color más oscuro la extensión necesaria desde la cabina subproceso U1 hasta la cabina subproceso U3.

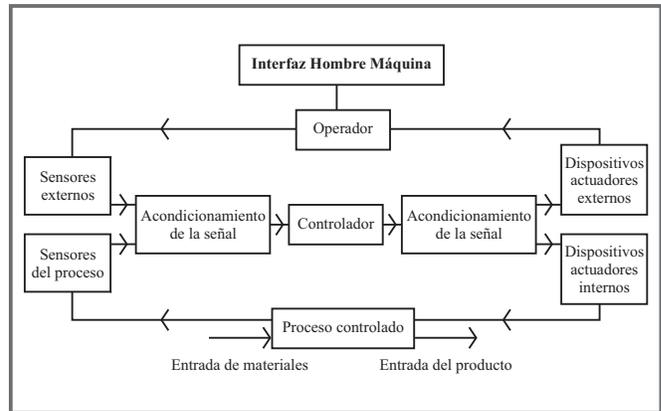


Figura 10. Sistema general de supervisión y control.

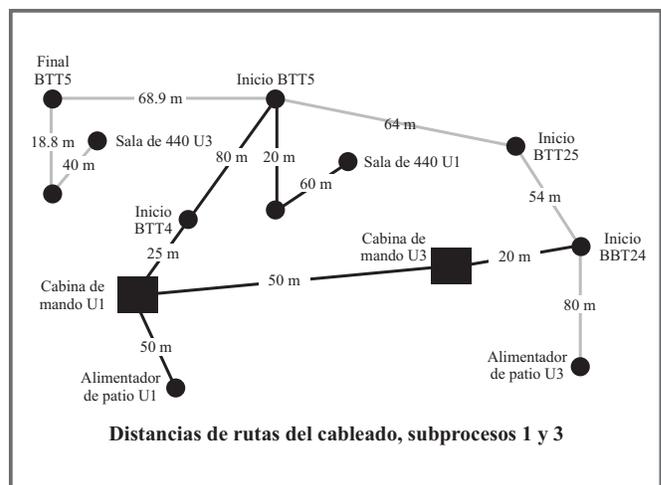


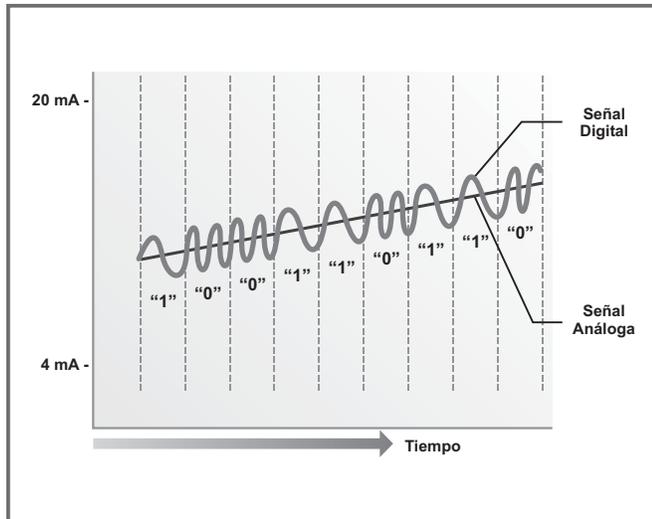
Figura 11. Ruta de cableado transporte de carbón a tolvas almacenadoras.

## 4. PROTOCOLOS Y MEDIOS DE COMUNICACIÓN

Los protocolos y medios físicos de comunicación que se explican a continuación fueron los usados para la adquisición y tratamiento de las señales entregadas por sensores y actuadores que representan los datos con los que se operará el control del proceso (Foundation Fieldbus, 2003). Es de saber que no son los únicos existentes pero se ajustaron a las necesidades en cuanto a fiabilidad del transporte de información, velocidad y demás.

### 4.1 Protocolo HART

Agrupar la información digital sobre la señal analógica típica de 4 a 20 mA DC. La señal digital usa dos frecuencias individuales de 1200 Hz y 2200 Hz, que representan los dígitos 1 y 0 respectivamente y que en conjunto forman una onda sinusoidal que se superpone al lazo de corriente de 4-20mA visto en la figura 12, (HART Communication Foundation, 2005).



**Figura 12.** Señal de transmisión con protocolo Hart.



**Figura 13.** Multiplexor de 16 entradas analógicas [12].

Como la señal promedio de una onda sinusoidal es cero, no se añade ninguna componente DC a la señal analógica de 4-20mA, lo que permite continuar utilizando la variación analógica para el control del proceso.

Este protocolo proporciona una solución para la comunicación de instrumentos inteligentes, compatible con la transmisión analógica en corriente 4-20mA, que permite que la señal analógica y las señales de comunicación digital sean transmitidas simultáneamente sobre el mismo cableado. Mediante este sistema, la información de la variable primaria y señal de mando es transmitida sobre la señal portadora analógica de 4-20mA, mientras que la señal digital es utilizada para transmitir otro tipo de información diferente tal como parámetros del proceso, configuración, calibración e información de diagnóstico del instrumento (HART Communication Foundation, 2005).

#### 4.2 Multiplexores

Para supervisar el estado de todas las tolvas del proceso que compete a este estudio, se hace conveniente multiplexar las señales análogas enviadas por cada sensor de nivel, y como se necesita uno por tolva siendo 11 tolvas, se encontró que la mejor solución a utilizar es el multiplexor de la figura 13.

Este multiplexor permite además de reducir los costos que implica el acople de cada señal al PC, reducir el cableado necesario para transportar los datos de cada sensor, además, garantiza efectividad y rapidez en la comunicación debido a que el barrido total del estado de las tolvas en caso que se encuentren en generación las tres unidades es de 11 segundos, por lo que la lectura de cada tolva toma aproximadamente un segundo, situación que no es crítica para la aplicación (Intech Instruments, 2009). La supervisión se hará sobre todas las señales de entrada de manera simple y continua.

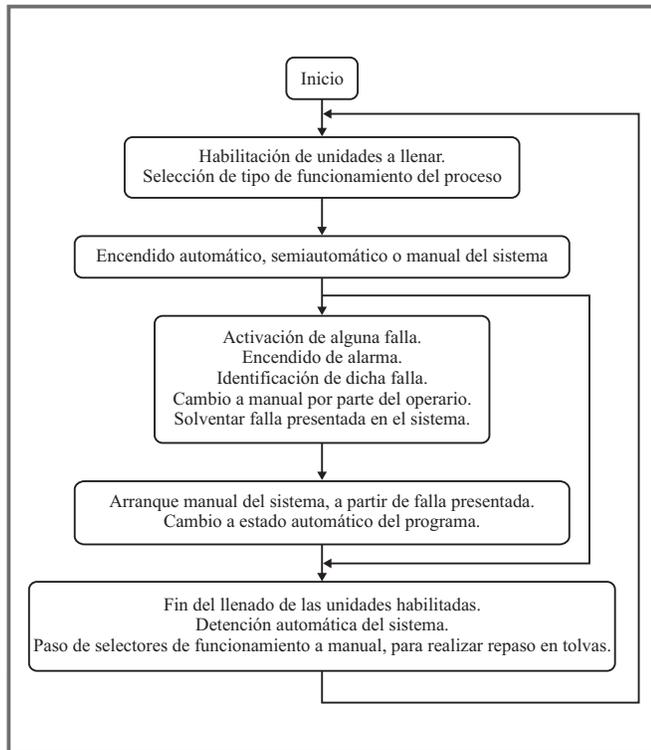
#### 4.3 Topología de Red

El tipo de red seleccionado que define el medio físico de comunicación y el enlace seleccionado fue Ethernet ya que utiliza un protocolo de enlace CSMA/CD (Carrier Sense, Multiple Access, Collision Detect), el cual, cuando una estación está lista para enviar los datos y detecta que la red está libre, publica su trama en la red con la dirección del destinatario. Todas las estaciones escuchan los datos, pero solamente la destinataria responde.

Este sistema es capaz de interrumpir la transmisión si detectó una colisión, e intenta retransmitir los datos luego de una espera de tiempo aleatoria. En la especificación estándar IEEE 802.3, ethernet trabaja a 10 Mb/s, su topología es multimodo, y soporta hasta 1,024 nodos en par trenzado, fibra óptica o cable coaxial. Otras definiciones de Ethernet amplían sus características a 100Mb/s, y la nueva tecnología Gigabit Ethernet amplía la velocidad hasta 1000 Mb/s (Rodríguez, 2006).

Algunos medios físicos utilizados por ethernet son cable coaxial, par trenzado, y fibra óptica pero la creciente cantidad de dispositivos que soportan ethernet, junto con la estandarización de protocolos estándares en la industria como TCP/IP y OPC hicieron que esta fuera la elección para la aplicación ya que responde a sistemas donde se requiere conectividad abierta e interoperabilidad entre sistemas y plataformas; además, existen conversores GPIB/Ethernet, RS-232/Ethernet, etc, que hacen aun más flexible la comunicación.

En la figura 14 se muestra el Flujograma de la secuencia lógica de transporte y llenado de las tolvas de carbón de las unidades I, II y III, seguida en el código realizado para el PLC TSX Micro en el software de programación PL7 (Schneider Electric, 2005).



**Figura 14.** Diagrama de flujo del llenado de tolvas de carbón unidades I, II y III Termopaipa.

## 5. PASOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO

Ya que la implementación de este estudio para automatizar el llenado de las tolvas de carbón de las unidades I, II y III, es muy amplio y costoso, se dividió en subproyectos los cuales dieron la oportunidad de realizar dicha implementación por etapas según la prioridad y necesidades que presenta el proceso. Al finalizar dichas etapas se dispuso de un proceso totalmente automatizado que respondió a todas las necesidades presentadas en el comienzo de este documento. Las sugerencias propuestas para corregir las fallas detectadas son las siguientes:

- Arreglo general de estructuras por el Departamento de Mantenimiento Mecánico.
- Sistema de apertura y cierre de la compuerta reguladora de flujo del alimentador de patio, paradas de emergencia en BT y arreglo del electrofreno del *tripper*.
- Sistemas que impiden el paso de carbón grueso y detector de metales por el Departamento de Mantenimiento Mecánico.
- Automatización del proceso de transporte y llenado de las tolvas de carbón Unidades I, II y III, utilizando como tecnología de control el PLC Modicon M340 de Siemens®.

- Instrumentación para realizar la medición de nivel en las tolvas de carbón y direccionamiento del *tripper*, seleccionando tecnología e instalación de sensores y transmisión por bus de campo HART.
- Disposición para apertura y cierre automático para las válvulas del SCF y motores adjuntos, por el Departamento de Mantenimiento Mecánico.
- Sistema SCADA para monitoreo detallado y adquisición de datos del proceso, utilizando el sistema WinCC de Siemens®.

## 6. CONCLUSIONES

Por medio de la implementación de este proyecto se garantizó un mayor control y agilidad en el proceso de llenado de tolvas bajo distintas condiciones de operación, lo que permitió disminuir las pérdidas en generación y vida útil de maquinaria previniendo fallas graves y teniendo a disposición todas las unidades y tolvas correspondientes requeridas para la generación sin necesidad de doblar turnos para realizar el llenado de las mismas.

A través de los sistemas de supervisión y adquisición de datos es posible calcular un dato extra aproximado a la hora de determinar la disponibilidad de producción de cada unidad considerando índices básicos como ingreso de carbón por unidad de tiempo, duración de llenado y vaciado para cada unidad estando con y sin generación, en condiciones continuas o de arranque.

Se redujo la complejidad y se mejoró la calidad del proceso a la hora de manipular el sistema por parte del operario, quedando disponibles para ayudar en otras tareas donde haga falta personal.

Teniendo en cuenta las condiciones agresivas del proceso a la hora de realizar el trabajo, se buscó ayudar a reducir la exposición de los operarios encargados de este trabajo a inhalaciones excesivas de carbón, con lo que se cuida su salud y vida.

Se adquirió destreza en el medio industrial gracias a la gran cantidad de variables y nuevos conceptos que se deben tener en cuenta a lo largo de un estudio. También se observó el grado de importancia que tiene la educación recibida a la hora de aplicarla en campo.

## 7. REFERENCIAS

- GENSA S.A. E.S.P., Plan de Calidad Generación de Energía Eléctrica Termopaipa I, II y III, Versión 07, Departamento de servicios técnicos, (2008).
- E. A. Avallone and T. Baumeister, Marks' Standard Handbook for Mechanical Engineers, New York: McGraw-Hill, (1996).

- GENSA S.A. E.S.P., Características Unidades I, II y III Termopaipa; Versión 02, Departamento de servicios técnicos, (2005).
- Process Automation Control. Technical Overview Foundation Fieldbus, Austin, Texas: FieldBus Foundation, Rev 1998- (2003). [En Línea] Disponible: <http://www.pacontrol.com/download/foundation-fieldbus-overview.pdf>
- HART Communication Foundation, Hart Application Guide, Austin, Texas: HART Communication Foundation, (2005). [En Línea] Disponible: <http://www.hartcomm.org/hcf/documents/appguide.pdf>
- A. Rodríguez, Sistemas SCADA – Guía Práctica, Barcelona, España: Editorial Marcombo, (2007), p.p. 139–200.
- National Instruments, Instrumentación y Control, Numero 2, Tutorial Técnico National Instruments, (2004). [En Línea] Disponible: <http://www.highlights.com.ec/docs/InstCont04.pdf>
- Schneider Electric, PL7 Junior/PRO, Manual de Modos Operativos, España; Guía Schneider Electric, (2005). [En Línea] Disponible: [http://biblioteca.schneiderelectric.es/nbd-update/cont2/35003086\\_K01\\_000\\_03.pdf](http://biblioteca.schneiderelectric.es/nbd-update/cont2/35003086_K01_000_03.pdf)
- Schneider Electric, Descripción de Lenguajes de Programación, Sección B, España; Guía Schneider Electric, (2003). [En Línea] Disponible: [http://biblioteca.schneiderelectric.es/nbd-update/cont2/3501536\\_K01\\_000\\_00.pdf](http://biblioteca.schneiderelectric.es/nbd-update/cont2/3501536_K01_000_00.pdf)
- Schneider Electric, Plataforma de Automatización Modicon M340, España; Catálogo Schneider Electric, (2007). [En Línea] Disponible: <http://construnario.com/diccionario/swf/28205/@@@@Control%20Industrial%20y%20Automatizaci%C3%B3n/Automatizaci%C3%B3n/Cat%C3%A1logos/Cat%C3%A1logo%20Plataforma%20de%20automatizaci%C3%B3n%20Quantum.pdf>
- HART Communication Foundation, Org. (2009). How Work HART?, Austin, Texas: HART Communication Foundation, (2009). [En Línea] Disponible: [http://www.hartcomm.org/protocol/about/aboutprotocol\\_how.html](http://www.hartcomm.org/protocol/about/aboutprotocol_how.html)
- Intech Instruments LTD. (2009) Analogue Input Remote Station / Intelligent Multiplexer. [En Línea] Disponible: <http://www.intech.co.nz/products/remotestations/2100-a16.html>