

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE DOSIFICACIÓN DE GRÁNULO MINERAL EN COSTALES DE 50 KILOS PARA LA EMPRESA IMBAPETROS

Luis Fernando Salazar, Ing. Paúl Ayala, Ing. Rodolfo Gordillo
Departamento de Eléctrica y Electrónica,
Escuela Politécnica del Ejército, Av. El Progreso S/N, Sangolquí, Ecuador

Resumen—En este artículo se presenta la descripción del diseño y la implementación de un sistema de dosificación automático, para gránulo mineral, en costales de 50 kilos. Donde el resultado brinda la opción de operar un sistema de dosificación de manera sencilla y con alta precisión. Al fin de manejar el sistema de forma automática se incorporó un controlador lógico programable con un módulo analógico, para realizar la lectura de la señal proveniente de los sensores. Se consideró al operario por lo que se añadió una pantalla táctil como interfaz con la máquina. La aplicación se desarrolló considerando que debe ser sencilla de operar, óptima, y segura. El sistema concluyó siendo amigable al operador, de fácil uso y con la ventaja de poder añadir funciones adicionales a la maquinaria.

Palabras clave—Control de peso, celdas de carga, material granulado.

I. INTRODUCCIÓN

EL material a ser ensacado es gránulo mineral el cual se obtiene mediante la trituración de piedra volcánica, la cual se extrae de minas dentro de la provincia de Chimborazo. El material pasa por un proceso de trituración para obtener piedras de un menor tamaño, posteriormente se la muele y pasa por un proceso de selección a través de una zaranda. El material clasificado se lo ensaca y se lo almacena. En lo que se refiere al ensacado existen alternativas automatizadas las cuales se basan en las señales producidas por sensores de presión los cuales entregan una señal de referencia analógica que según la carga a la que se sometan. Un módulo de conversión digital transforma esta señal a una señal digital, donde un controlador del tipo dedicado o un PLC realiza labores de comparación y toma de decisiones, afectando directamente a los actuadores del sistema. Para alcanzar la máxima precisión los elementos del sistema deben estar correctamente calibrados y con pequeños tiempos de reacción por parte de los actuadores. Gracias a la versatilidad de los interfaces humano máquina, el control del sistema se lo puede hacer mediante una pantalla táctil donde se presentan datos de importancia para el control de producción o comprobación del correcto funcionamiento del sistema.

II. FUNDAMENTOS Y CONCEPTOS BÁSICOS

II-A. Celdas de Carga

Las celdas de carga o sensores de peso son aquellos dispositivos electrónicos desarrollados con la finalidad es la de detectar los cambios eléctricos provocados por una variante en la intensidad de un peso aplicado sobre la báscula o balanza, información que a su vez transmite hacia un indicador de peso o controlador de peso. Existen varios tipos de celdas de carga los cuales tiene características específicas, que se ajustan a las distintas aplicaciones en las cuales se requiera medir presión.

II-A1. Celdas de Carga Basadas en Galgas Extensiométricas: Son básicamente una resistencia eléctrica. El parámetro variable y sujeto a medida es la resistencia de dicha galga. Esta variación de resistencia depende de la deformación que sufre la galga, provocada por la presión ejercida sobre la misma. Se parte de la hipótesis inicial de que, el sensor experimenta las mismas deformaciones que la superficie sobre la cual está pegada la galga.[1]



Figura 1: Celda de Carga

II-B. Controladores

En la industria existen opciones de controladores que van desde el tipo especializado para uso exclusivo de sistemas de sensoramiento de peso, hasta controladores que se usan en el control de casi cualquier tipo de sistema, la versatilidad de este tipo de controladores se debe a que manejan lenguaje de programación el cual puede variar para adaptarse según la capacidad del controlador.

II-B1. Controlador Lógico Programable PLC: : Debido a las prestaciones que brinda el control mediante PLC, se presenta una descripción detallada de este ya que son la opción más óptima para realizar la implementación del sistema. Los controladores lógicos programables basan su funcionamiento en las instrucciones que se encuentran en un programa escrito en su memoria interna, el programa lleva las condiciones necesarias para alcanzar los objetivos del sistema de control. Un PLC hace comprobaciones sucesivas del estado de sus entradas las cuales soportan señales de 24VDC o 120VAC dependiendo del modelo, un PLC básico cuenta con de 6 a 10 entradas, y en su salida presenta la opción de usar relés comunes, relés de estado sólido o señales tipo transistor de hasta 5 VDC y pueden contar con de 4 hasta 10 salidas en modelos básicos. En lo referente a las entradas también existen módulos que manejan señales analógicas como las generadas por los sensores descritos anteriormente, las señales son convertidas a lenguaje digital mediante un conversor análogo digital. Según se presente o no una señal en las entradas y la información captada en las mismas, el programa interno varía los estados de las salidas cerrando o abriendo los contactos, los contactos de salida pueden encender desde luces de advertencia, motores mediante el uso de contactores o actuadores neumáticos los que tienen efecto dentro de la instalación del sistema al que estén asociados. Estas características de manejo de distintos actuadores son las que hacen del PLC la opción más óptima, ya que cuentan con la robustez necesaria en aplicaciones industriales y la facilidad de adaptarse a mediante el uso de un lenguaje de programación a los requerimientos de funcionamiento basándose en señales de entrada.

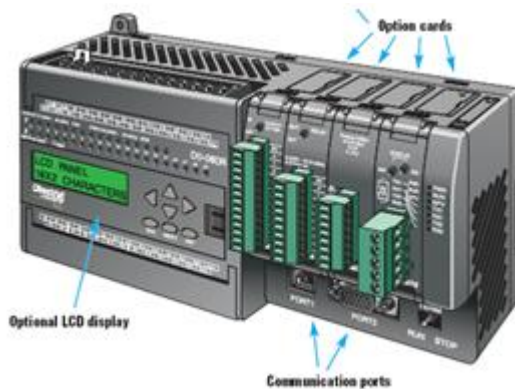


Figura 2: PLC serie DR- 06 marca KOYO

Ventajas del PLC

- Posibilidad de introducir modificaciones sin cambiar el cableado ni añadir aparatos.
- Menor coste de mano de obra de la instalación.
- Economía de mantenimiento. Además de aumentar la fiabilidad del sistema, al eliminar contactos móviles, los mismos autómatas pueden indicar y detectar averías
- Posibilidad de gobernar varias máquinas con un mismo autómata.
- Menor tiempo para la puesta en funcionamiento del proceso al quedar reducido el tiempo cableado[2]

II-C. Básculas Ensacadoras:

Las básculas ensacadoras están diseñadas para empacar una amplia variedad de productos como harinas, granos, azúcar, fertilizantes y más. La capacidad y velocidad de llenado de cada equipo es variable conforme a la necesidad de la industria. Según el fabricante, estas máquinas poseen diferentes características, como por ejemplo: velocidad de llenado variable, modo de operación manual o automático y precisión. Las ensacadoras automáticas poseen una tolva en donde se va almacenando el producto. Cuando el saco llega al peso buscado, se acciona un pistón neumático que cierra una compuerta a la salida de la tolva impidiendo el flujo del material. Las ensacadoras manuales poseen una báscula electrónica y un actuador que permite al operario llenar sacos de forma manual. La medición del peso se realiza directamente en el saco, que cuelga de las celdas de carga. La colocación de los sacos en la boca de la ensacadora se realiza manualmente sujetándolos mediante una tenaza. En el caso de algunas máquinas, este proceso se realiza automáticamente. La alimentación del producto puede ser por gravedad, por banda transportadora o tornillo sin fin, entre otros. [3]

III. DISEÑO DE SISTEMAS AUTOMÁTICOS

III-A. Requerimientos por cumplir

El sistema debe ser capaz de soportar el peso del producto final ya ensacado sin perder las características normales de funcionamiento, lo que da una exigencia en el tipo de sensor a ser utilizado. En lo que se refiere a la alimentación de la red eléctrica la fábrica cuenta con acometida de 110 VAC y de 220VAC a 60 Hz de frecuencia. El valor de error debe ser mínimo con una tolerancia máxima del mas menos 2 %.

El sistema debe contar con alarmas que den a conocer al operario la presencia de un error. Disminuir el tiempo del proceso de ensacado, aumentando la producción de la fábrica.

III-B. Equipos Usados

- PLC (Controlador Lógico Programable) Koyo DR06.
- Módulo de entrada analógica de 0-10V 12 Bits de resolución.
- Fuente de poder de 12VDC, 15W.
- Fuente de poder de 24VDC, 60W.
- Pantalla táctil de 3 pulgadas.
- Celda de carga UDB 7005
- Transductor de medición de peso KM 02.

III-C. Criterios para Selección de Instrumentos

III-C1. PLC KOYO DR06: : Se optó por el modelo DR06 de la marca KOYO, porque su módulo analógico permite la conversión de la señal de voltaje emitida por el amplificador. El módulo analógico cuenta con la resolución necesaria para obtener un valor de peso lo bastante preciso, además el PLC cuenta con varias instrucciones. El PLC tiene la capacidad de realizar cálculos matemáticos avanzados, posibilidad de realizar conversiones numéricas en caso de ser necesarias, opción de expansión de puertos, expansión de entradas y salidas, opción de entradas y salidas analógicas, conexión a un HMI mediante el puerto serial.

III-C2. Celdas de Carga :

El peso máximo al cual el sensor estará sujeto, es igual al peso del conjunto tolva, mas el peso del sistema de sujeción del costal, mas el peso de un costal rebosando de producto, más un valor de 3 % del total.

Peso total= A + B + C + Tolerancia (3 %)

A: Peso de la tolva.

B: Peso del sistema de sujeción.

C: peso de un costal rebosando de producto.

$$Tolerancia = \frac{3 \times (A + B + C)}{100} \quad (1)$$

La celda de carga UDB 7005, cuenta con carga máxima de 50 Kg, por lo que al usar 2 celdas de carga el peso de distribuye. Teniendo un peso total de 70Kg el peso que soporta cada celda es de 35 Kg, este valor esta dentro del rango de funcionamiento de la celda de carga.

III-C3. Pantalla táctil EA1-S3MLW : La elección de este interfaz fue hecha en base a su compatibilidad con el PLC antes mencionado, no es necesario el uso de una fuente externa de poder, mediante la conexión serial se realiza la comunicación y alimentación del panel, cuenta con una pantalla de 3 pulgadas táctil, donde se pueden mostrar datos de interés o calibración. Cuenta con software de programación de fácil manejo, donde se permite el uso de botones, selectores, luces de advertencia, etc.

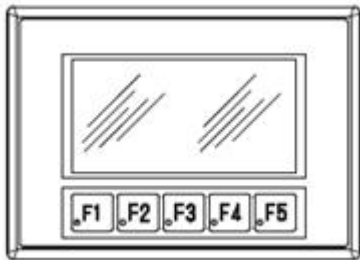


Figura 3: Diagrama del HMI

III-C4. Módulo de entrada analógico : El módulo de entrada analógico permite la lectura de los cuatro canales de señal analógica del tipo voltaje en un rango de 0 a 10 VDC en un solo escaneo del CPU, su característica de ser un bloque removible permite la desconexión del módulo sin cambiar el cableado de las entradas. Maneja bloques de programación de sencilla manipulación y calibración. Transforma la señal analógica a una señal discreta que puede ser tratada y almacenada por el PLC. Cuenta con una resolución de 12 bits (de 1 a 4095) y un tiempo de respuesta de 10mS.

III-D. Diseño del Sistema de Control:

El sistema se encuentra manejado por un PLC, el cual tiene la capacidad de recibir señales externas las cuales son procesadas para tomar acciones de control. Realiza las tareas de sensar, adquirir datos, recibir órdenes, procesar información y transmitirla al HMI.

III-D1. Diseño del Programa del HMI : El programa para el manejo del sistema se lo ha dividido en cuatro ventanas principales las cuales se encargarán de desempeñar un papel específico dentro de las operaciones de trabajo.

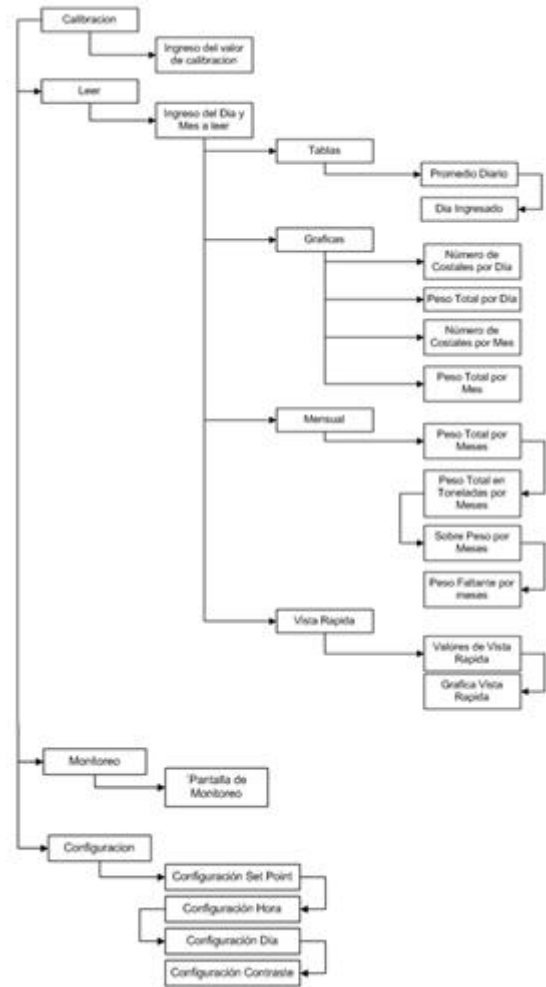


Figura 4: Diagrama de árbol del Diseño de HMI.

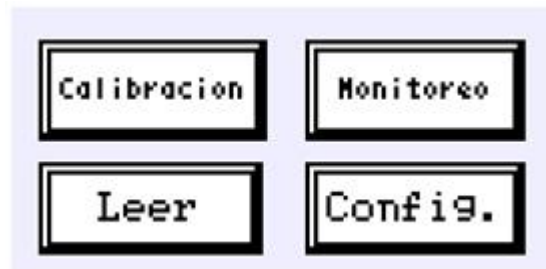


Figura 5: Pantalla Principal del HMI.

Al iniciar el sistema el HMI presenta una pantalla de inicio que permite seleccionar las acciones de: calibración, monitoreo, configuración y leer un dato dentro de la memoria. Al escoger una opción saltara hacia una pantalla donde se muestre o se ingrese algún tipo de valor de interés dentro del proceso.

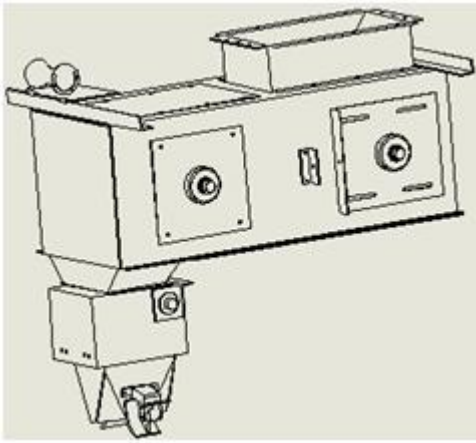


Figura 6: Vista isométrica del modelo mecánico.

III-E. Diseño mecánico del modelo

La estructura mecánica que constituye al sistema se muestra en la Figura 6, se puede apreciar la tolva de ingreso de material, la tolva dispensadora junto con las mordazas que cumplen la función de sujetar al costal. El motor transfiere el movimiento mediante una banda, la cual a su vez mueve un eje moviendo la banda de alimentación del sistema. La banda de alimentación desemboca en una tolva que cuenta con un sistema de cierre por medio de cuchara, cortando el flujo de material hacia el costal. Las mordazas se abren mediante un cilindro neumático permitiendo la liberación del costal ya pesado.

III-F. Diagrama de cableado entradas y salidas del PLC

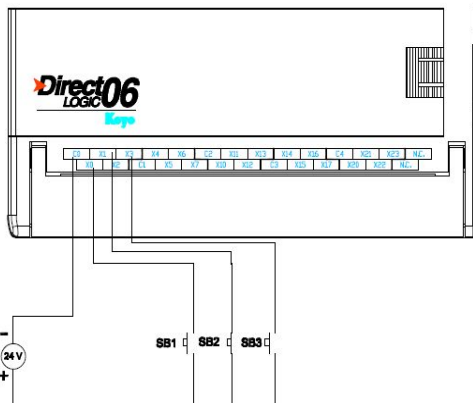


Figura 7: Diagrama de Entradas del PLC.

En la figura se puede observar la distribución de la conexión hacia las entradas del PLC, el modelo del PLC permite señales de entrada que van desde los 5V hasta los 24V. En la figura se muestran 3 pulsadores, el que se encuentra conectado a la entrada X0 es el pulsador que inicia el proceso de ensacado, el segundo pulsador es el paro de emergencia, y el tercero es el que permite la activación de las mordazas sujetadoras del costal

En la figura se pueden observar las conexiones de las salidas del PLC, el modelo seleccionado permite usar distintos

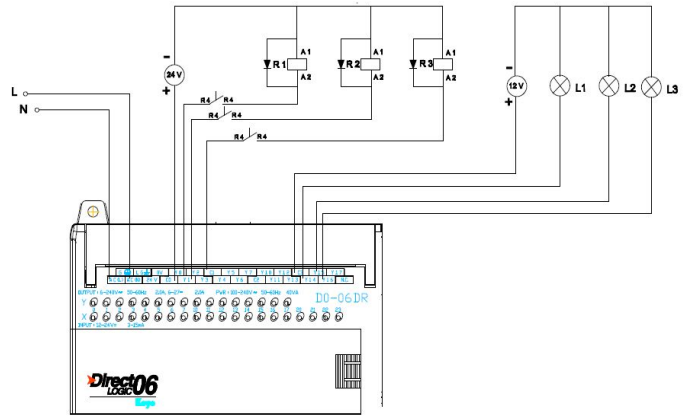


Figura 8: Diagrama de Salidas del PLC

voltajes en las salidas ya que cuenta con 5 comunes que se encuentran aislados entre sí. En este caso se utilizaron 2 fuentes la primera de 24V controla los relés que energizan las electroválvulas y el que controla el contactor del motor.

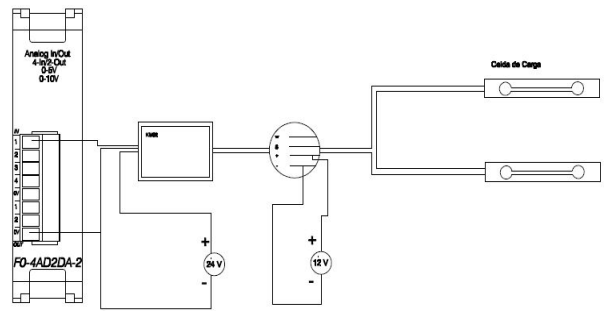


Figura 9: Módulo Analógico

Para obtener una señal digital a partir de la señal emitida por las celdas de carga se utilizo un transductor de medición de peso, el cual se conecta a las celdas y amplifica la señal acondicionándola para ser leída por el PLC la señal de salida del transductor es de 0-10 V. Las celdas son excitadas por una fuente de 12V, mientras que el módulo trabaja con una fuente de 24V, las fuentes deben estar aisladas y ser estables para así garantizar que la calidad de la señal.

IV. RESULTADOS.



Figura 10: Seguimiento del Set Point

En la tabla se puede observar el desempeño de la dosificadora, notándose una tendencia a mantener un valor promedio

de 99.2 libras por saco ensacado, sin sobrepasar la tolerancia de 2%, los mayores picos se presentan con máximo de 100 libras, y con un mínimo de 98.3 libras. En el caso de ser necesario el sistema cuenta con calibraciones tanto mecánicas, como electrónicas que permiten mantener un valor constante en el set point.



Figura 11: Tiempo de Dosificación por Costal

El promedio de tiempo en llenar un costal es de 4,64 segundos, variando este valor entre un costal y otro por la disposición del material dentro de la banda al momento de ser transportado de la tolva de alimentación hacia la tolva de llenado. Teniendo en cuenta esta tabla se puede estimar que en un día de trabajo es posible encostalar cerca de 320 costales, de gránulo de las mismas características que el que se uso para la obtención de estos datos.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Mediante un diseño previo y un posterior análisis se logro determinar los elementos que serian útiles en la implementación del sistema dosificador, disminuyendo errores en la construcción.
- Durante la implementación del proyecto se evidencio una mejora en el proceso productivo, ya que el disminuir carga física a los obreros, permitió desarrollar una planificación del trabajo que repercutió en el aumento de la capacidad productiva.
- El control on/off se aplico en lo que se refiere al abastecimiento del gránulo, ya que la respuesta de los actuadores cumplió con los requerimientos del sistema. Manteniendo los rangos de tolerancia.
- Se dedujo la factibilidad de cumplir con la tolerancia del 2% al utilizar equipos electrónicos que puedan detectar pequeños cambios en los valores de peso, e introduciendo calibraciones en la acción de los actuadores.

Recomendaciones

- Es recomendable utilizar sensores y transductores que brinden un rango de medición lo suficientemente amplio, para tomar acciones correctivas en el caso de presentarse problemas o cambios de los límites a ensacar.
- Se debe considerar el peso de los sistemas a ser implementados, además de la distribución de los mismos para su funcionamiento, para evitar cambios innecesarios dentro los procesos ya existentes. Se debe considerar la comprobación de la calibración y de los valores que el sistema genera, el recomendable usar un peso referencial estándar para garantizar estos valores.

REFERENCIAS

- [1] Sensores de presión utilizados en las plataformas de fuerza aplicadas al estudio de la posturografía.
- [2] [http://www.grupo-maser.com/PAG_Cursos/Auto/auto2/auto2/PAGINA %20PRINCIPAL](http://www.grupo-maser.com/PAG_Cursos/Auto/auto2/auto2/PAGINA%20PRINCIPAL)
- [3] Descripción de Tolvas y bandas para sistemas de medición de peso.

Luis Fernando Salazar Botta Nació el 17 de Marzo de 1987 en la ciudad de Riobamba. Realizó sus estudios universitarios en la Escuela Politécnica del Ejército (ESPE), obteniendo el título de Ingeniero en Electrónica Automatización y Control. Sus áreas de investigación son los sistemas automáticos de medición de peso para productos granulados.
e-mail: luisf.botta@gmail.com

Ing. Ayala Jaime Paúl

Nació en Quito en la actualidad es Profesor Tiempo Completo del Departamento de Eléctrica y Electrónica en la "Escuela Politécnica del Ejército". Sus estudios superiores los realizó en la "Escuela Politécnica del Ejército" en la carrera de Ingeniería Electrónica en Automatización y Control. Sus estudios de postgrado los realizó en la "Universidad Politécnica de Cataluña" en España obteniendo un título de Máster en Mecatrónica, en la "Escuela Politécnica del Ejército" obteniendo un título de Máster Internacional en Administración de Empresas y posteriormente un Diplomado Superior en Gestión de Proyectos, y en el "Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría" en Cuba donde en lo posterior se recibirá como Doctor en Ciencias en Automática y Controles. Las áreas de interés son Control avanzado, moderno en accionamientos estáticos de electrónica de potencia, Eficiencia Energética, Automatización industrial de producción, Seguridad Industrial.