

CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA SECADORA DE PELLETS DE BALANCEADO

(Ibarra 2012)

Chamorro Diana, Universidad Técnica del Norte

Resumen

El trabajo detallado a continuación se fundamenta en la transferencia de calor y la necesidad de solucionar el problema de alto contenido de humedad en los pellets después de la formación del mismo.

Se realizó el diseño mecánico del secador para posteriormente implementar los elementos de control: tanto sensores y actuadores. Efectuando un debido proceso para que realice las operaciones necesarias requeridas para su funcionamiento.

Para un buen funcionamiento de la máquina secadora de pellets automatizada, se implementó un sistema donde se puede manipular la variable de temperatura dándonos la opción de elegir el set point de operación. La misma que será procesada por el sistema de control el cual está encargado de enviar las señales a los actuadores dependiendo de su estado.

Al tener un control automático de la máquina secadora, se logra reducir la humedad al 12% que es el valor aceptable para el almacenamiento adecuado mejorando la calidad del producto.

PALABRAS CLAVES

- Calor, Humedad, Máquina, Pellet, Secador, Temperatura.

ABSTRACT

The work detailed below is based on heat transfer and the need to solve the problem of high moisture content in the pellets after its formation, trying to improve the drying process through automation.

Was performed the mechanical design of the drying, to subsequently implement control elements, both sensors and actuators. Performing due process to carry out the necessary operation.

For proper operation of automated pellet drying machine, was implemented a system where can be manipulated the temperature variable, giving us the option to choose the operating set point. It will be processed by the control system which is responsible for sending signals to the actuators depending on its state.

By having an automatic control of the drying machine, moisture is reduced to 12% which is an acceptable value for proper storage, improving product quality.

- **KEYWORDS.-** Calor, Humedad, Máquina, Pellet, Secador, Temperatura, automatización.

1. INTRODUCCIÓN

El proceso de secado se lleva a cabo desde hace miles de años. El propósito principal del secado, en el caso específico de los alimentos, es el de preservarlos de la manera más natural posible. El secado conlleva a la deshidratación en los alimentos, a niveles que inhibe el crecimiento bacteriano. Los alimentos deshidratados adecuadamente pueden durar meses sin que su almacenamiento refrigerado sea necesario.

Los procesos de los productos son importantes, como es el secado siendo un tema de gran importancia, éste se lo realiza en alimentos, plantas, granos, etc., para evitar la descomposición

por enzimas o fermentos, disminuir el volumen, poder realizar el almacenamiento de granos, facilitar el transporte, como parte de un proceso de producción, para lograr homogeneidad de un producto, impide el desarrollo de microorganismos y reacciones de oxidación y de hidrólisis.

Los pellets deben ser tratados mediante el proceso de secado como parte complementaria de la producción para lograr calidad del producto final, los pellets que se produce en la actualidad tiene que pasar un secado manual al aire libre lo cual es un problema ya que el tiempo empleado es muy largo, existe la alta probabilidad de que se proliferen los microorganismos produciendo pérdida de calidad y proteínas.

Con estos antecedentes se plantea integrar el proceso de secado de pellets, con la instalación de un secador rotatorio automatizado.

La implementación del secador giratorio para pellets contempla las siguientes fases:

- Análisis de alternativas de los secadores.
- Diseño de los elementos constitutivos del secador.
- Elaboración de los planos de construcción.
- Elaboración de la parte mecánica del secador.
- Elaboración de las instalaciones para obtener aire seco.
- Elaboración del sistema de control.
- Pruebas de la parte mecánica y de control.

2. CONTENIDO

I. COMPONENTES DE LA MÁQUINA SECADORA DE PELLETS DE BALANCEADO

Los parámetros para el dimensionamiento se los obtienen en base a las especificaciones, necesidades

Parámetros para diseño mecánico.

De donde se tiene:

- Capacidad promedio = 16000 kg/mes
- Humedad de entrada del pellet = 2,33 kg agua/kg producto

- Humedad a la salida del pellet = 0,1363 kg agua/kg producto
- Temperatura máxima del aire de secado = 100°C = 212°F
- Densidad del aire = 1 kg/m³
- Capacidad calórica del aire $C_{p\text{aire}} = 0,24 \frac{\text{Btu}}{\text{lbR}} = 1,005 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$
- Temperatura de bulbo húmedo = 18°C = 64,4 °F

DIMENSIONAMIENTO DEL SECADOR ROTATORIO

Para encontrar el flujo promedio del producto por hora se considera que al mes se trabajan 4 semanas los 5 días y por 8 horas diarias.

$$\dot{m}_p = 16000 \frac{\text{kg}}{\text{mes}} * \frac{1\text{mes}}{4 * 5 * 8 \text{ horas}}$$

$$\dot{m}_p = 100 \left[\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right]$$

Para tener el diámetro y longitud del cilindro que cumpla con los requerimientos antes mencionados se establece con una tabla interactiva teniendo los siguientes datos.

$$D = 0,38\text{m}$$

$$L = 2\text{m}$$

Tomando en cuenta esto se procede a calcular el tiempo de retención en el interior del cilindro el producto con la ayuda de la siguiente formula.

$$t = \frac{60 * \pi * D^2 * L * f * \delta_p}{4 * m_p} \text{ [min]}$$

Dándonos un tiempo de:

$$t = 8,846 \text{ [min]}$$

Para continuar con el diseño y con la ayuda de la siguiente fórmula encontraremos el ángulo de inclinación del cilindro rotatorio.

$$t = \frac{L}{N * D * \tan\theta}^1$$

$$N: 20 \text{ [rpm]}$$

¹ Handbook of Industrial Drying; Mujumdar Arun, Marcel Dekker Inc. New York, 1995, PP. 171,175

$$\theta: 1,079^\circ$$

SELECCIÓN DEL MOTOR DE GIRO DEL CILINDRO

Para la selección del motor es necesario conocer la cantidad de inercia que debe vencer para que produzca el momento adecuado y el cilindro de secado gire.

La cantidad de inercia a vencer es la conformada por:

- La inercia del eje del secador
- La inercia de los volantes solidarios
- La inercia de la pellet
- La inercia del cilindro de secado

Para determinar el momento del cilindro de secado se emplea la ecuación

$$\Sigma M = \Sigma I * \alpha$$

Donde:

M: momento [N * m]

I: Inercia de todos los elementos del sistema [kg * m²]

α: Aceleración angular [rad/s²]

La inercia total del sistema es la suma de todas las inercias de los diferentes elementos del cilindro de secado.

$$\Sigma I = I_{\text{eje}} + I_{\text{cilindro}} + I_{\text{pellet}} + I_{\text{volantes}}$$

Para luego tener la sumatoria de las inercias se reemplaza en la ecuación 4

$$\Sigma I = 3,697 * 10^{-3} + 0,6857 + 0,04049 + 0,831$$

$$\Sigma I = 1,562 \text{ [kg. m}^2\text{]}$$

Con la inercia total, se procede a desarrollar la ecuación 3, con el objetivo de encontrar el momento que realiza el motor sobre el eje.

$$M_T = 217,45 \text{ [Nm]}$$

De donde se tiene que la potencia teórica del motor es de:

$$P_{\text{motor}} = M_T * n_2$$

Donde:

P_{motor}: Potencia motor [W]

M_T: Momento torsor o par de torción 217,45[Nm]

n₂: Velocidad angular del cilindro de secado, 2,094[rad/s]

Por lo que se tiene:

$$P_{\text{motor}} = 455,42 \text{ [W]} \text{ o } 0,61 \text{ [Hp]}$$

En vista que en el mercado no se encuentra el motor de esta potencia se toma un motor de 1HP trifásico ya que se requiere de esta alimentación por lo que será comandado por un variador de frecuencia. De aquí en adelante se tomara esta potencia para los siguientes cálculos.

Diseño del eje de transmisión

Para obtener las dimensiones del eje se empleara el método de SODERBERG, ya que este procedimiento se emplea para dimensionar un elemento de máquina, el cual debe soportar un esfuerzo constante, y un alternante.

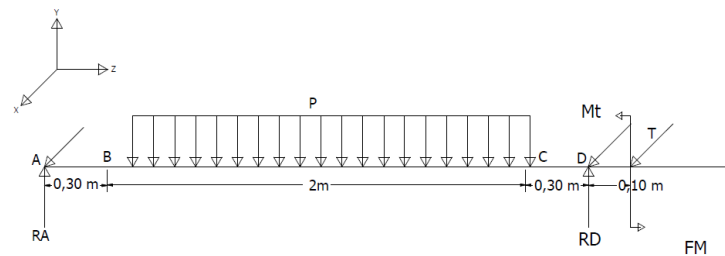


Figura 1: Diagrama de cuerpo libre del eje

De donde se puede calcular:

$$\Sigma MA = 0$$

$$\Sigma MA = 1,15 * 984.002 - RB * 2,30 + 3738 * 240$$

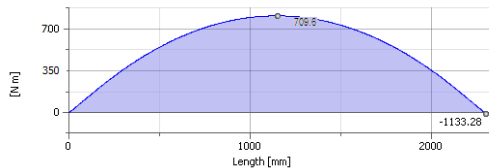
$$R_B = 4392,52N$$

$$\Sigma MB = 0$$

$$\Sigma MA = 3738 * 10 + 984.002 * 1.15 - RA * 240$$

$$R_A = 654,522N$$

Figura 2: Diagramas de momento flector en el eje



Autor: Diana Chamorro

Como se puede apreciar en la gráfica anterior obtenidas con la ayuda de programa Inventor 2010, el momento flector máximo es de:

$$M_{\max} = 709.6 \text{ [N.m]}$$

Conociendo las cargas a la que está sometido el eje de transmisión, se debe seleccionar eje hipotético que existe en el mercado y que cumpla los requerimientos.

Acero de transmisión: SAE 1018 laminado en frío
 $d_{\text{eje}} = 38,1 \text{ [mm]} = 1,5 \text{ [pulg]}$ Eje hipotético

$$S_y = 32 \text{ [Kpsi]} = 220.63 \text{ [MPa]}$$

$$S_{ut} = 58 \text{ [Kpsi]} = 400 \text{ [MPa]}$$

Con estos datos, se calcula el esfuerzo por flexión:

$$\sigma_x = \frac{M_{\max} C}{I} \quad \text{Ecuación 35}$$

$$I = \frac{\pi d_{\text{eje}}^4}{64} \quad \text{Ecuación 36}^2$$

$$I = 1,034 * 10^{-7} \text{ [m}^4\text{]}$$

$$\sigma_x = 130,66 \text{ MPa}$$

Este esfuerzo de flexión varía de compresión a tensión y viceversa, en el transcurso de que el eje gira, es decir es un esfuerzo sinusoidal con inversión completa, por lo que se tiene

$$\sigma_x = \sigma_a$$

$$\sigma_m = 0$$

Para calcular el esfuerzo por torsión usaremos la siguiente formula:

$$\tau_{\max} = \frac{M_T d_{\text{eje}}}{J} \quad \text{Ecuación 37}^3$$

$$J = \frac{\pi d_{\text{eje}}^4}{32}$$

$$J = 2,068 * 10^{-7} \text{ [m}^4\text{]}$$

$$\tau_{\max} = 65,586 \text{ [MPa]}$$

Por lo que el eje se diseña por resistencia a la durabilidad, para lo cual se emplea la siguiente ecuación.

$$s'_n = S_n C_s C_m C_{st} \quad \text{Ecuación 39}^4$$

$$n = \frac{2}{3 \sqrt{\left(\frac{2\tau_a + 2\tau_m}{S_e + S_y}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_a + \sigma_m}{S_e + S_y}\right)^2}}^5$$

Remplazando los valores se tiene:

$$n = 1,49$$

Que es un buen factor de seguridad por lo que se decide construir el eje con las características anteriores.

DISEÑO ENERGÉTICO CALOR CONSUMIDO POR EL SISTEMA

La cantidad de calor consumido por el sistema se determina por la siguiente ecuación.

³ Robert Mott, Diseño de elementos de máquinas, Segunda edición, PP. 68,78,149.

⁴ Robert Mott, Diseño de elementos de máquinas, Segunda edición, PP. 145,149.

⁵ Shigley J., Diseño en ingeniería mecánica, 6ta edición, pág. 322

² Gere J., Mecánica de materiales, Apéndice C, pág. 760.

$$Q_{cs} = Q_{\text{pellet}} + Q_{\text{perdido}}$$

Ecuación: 48

Donde:

Q_{cs} : calor consumido por el secador

CALOR CONSUMIDO POR EL PELLETT.

Con el flujo másico del pellet y el calor específico del pellet se podrá obtener el calor requerido para elevar la temperatura ambiente a la temperatura de 100°C.

$$Q_{\text{pellet}} = mC_p(T_f - T_{ep})$$

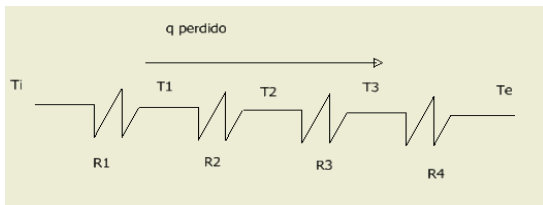
$$Q_{\text{pellet}} = 13 * 1,6 * (100 - 28) = 1497.6W$$

Calor perdido

Para calcular el flujo de calor perdido para los espesores que conforma el cilindro de secado, se utiliza el método de las resistencias eléctricas, tanto de convección como de conducción

Para una mejor comprensión de la transferencia de calor a los exteriores del secador se esquematiza un circuito térmico representado en la siguiente figura 20.

Figura 3. Circuito térmico del flujo de calor perdido



Autor: Diana Chamorro

Como el circuito se encuentra en serie la suma de las resistencias dará la resistencia térmica total equivalente como se indica en las ecuaciones 2.41 y 2.42

$$R_{total} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4$$

$$R_{total} = \frac{1}{h_i A_1} + \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2 * \pi * K_2 * L} + \frac{\ln \frac{r_3}{r_2}}{2 * \pi * K_3 * L} + \frac{1}{h_e * A_e}$$

Para luego obtener la resistencia total aplicando la ecuación se tiene.

$$R_{total} = 0,346397286 [^{\circ}C/W]$$

Para conocer la cantidad de calor perdido se emplea la ecuación (2.44).

$$Q_{\text{perdido}} = \frac{\Delta T}{R_{Ttotal}} = \frac{(T_i - T_o)}{R_{Ttotal}}$$

$$Q_{\text{perdido}} = 225,433[W]$$

DISEÑO DEL CONTROL DE TEMPERTURA

Para el diseño energético se ha utilizado como elemento calefactor un módulo de resistencias o níquelinas, que ya posee el colegio en la planta de balanceados.

La resistencia calefactora cumple el papel de aumentar la temperatura del aire a controlar dentro del cilindro secador. Se realizó las conexiones requeridas para obtener la potencia necesaria, y se aisló térmicamente con lana de vidrio.

Características de las resistencias

- Voltaje de alimentación 220 V 3~
- Corriente máxima de consumo: A.
- Calibre del conductor N° 18

CÁLCULOS PARA LA POTENCIA REQUERIDA DEL SISTEMA

Para obtener el calor requerido del sistema se tiene:

$$P = I^2 * R$$

$$P = 8^2 * 27.5 = 1760W$$

ELEMENTO PRIMARIO DE CONTROL

Se ha utilizado un sensor Pt100 que nos ayuda a realizar el control de temperatura.

Sensor Pt100.

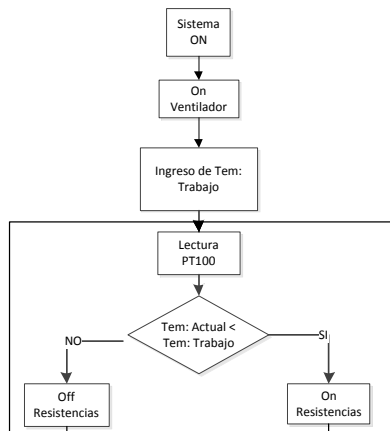
Este sensor termo-resistivo permite determinar la temperatura a la cual va a trabajar el secador. Es un sensor PT100 de 3 alambres que está diseñado para operar entre -100 y 482 ° C.

Se utiliza la conexión de tres hilos porque disminuye el error generado por la resistencia de los cables dando un error inevitable.

Al ser un sensor pasivo no lineal se requiere un acondicionamiento para que la señal este en el nivel requerido en la entrada del PLC, por lo que se utiliza el módulo de expansión analógico (AM2 RTD) del PC LOGO el cual es se encargar de procesar la señal de dicho sensor.

A continuación se detalla en un diagrama de flujo el proceso del control de temperatura en el cilindro secador.

Diagrama 1: Control de temperatura



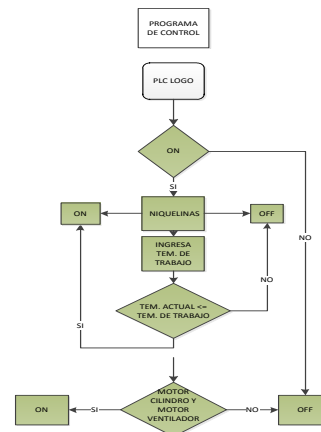
Autor: Diana Chamorro

Características del PLC

El Logo tiene una capacidad de ampliación máxima de 24 entradas digitales, 16 salidas digitales, 8 entradas analógicas y de 2 salidas analógicas utilizando los siguientes módulos.

DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA EN EL LOGO.

Diagrama 2. Diagrama de flujo del programa en LOGO



Fuente: Diana Chamorro

3. REFERENCIAS

- [1] Handbook of Industrial Drying; Mujumdar Arun, MarcelDekker Inc.New York, 1995, PP. 171,175
- [2] Incropera; F, (1996). Fundamentos de Transferencia de Calor. (4ta. ed.) México. Pearson Education
- [3] Nonhebel G. (1979). El secado de sólidos en la industria Química” España Ed. Reverté.
- [4] Robert Mott (2006). Diseño de elementos de máquina. (4ta. ed.) México Educación.
- [5] Perry R. (1999). Manual del Ingeniero Químico; (6ta. ed.). McGraw-Hill; México, D.F;
- [6] Shigley J. (1989). Manual de Diseño Mecánico. (6ta ed.). McGraw-Hill;
- [7] Mc Cabe, Warren I. (2002). Operaciones Unitarias en la Ingeniería Química. (6ta. ed.). McGraw-Hill Interamericana Editores.
- [8] Guerrero Eduardo (2002). Diseño y Construcción de una Tostadora de Café, EPN.
- [9] Ortega M. (1996). Cartas Psicrométricas; Editorial Imprima; Ecuador;
- [10] Rodríguez Nelson. Modelación y Simulación Matemática del Secado; Departamento de Matemáticas y Estadística Universidad del Tolima.
- [11] Riba, C. (2002) Diseño concurrente (1ra. ed.). Barcelona: Edición UPC.
- [12] SKF.; Catálogo general.
- [13] Catálogo general del variador de frecuencia Altivar 11.

- [14] VARGAS J. (2004). Guía de Fundamentos de Dibujo Industrial.
- [15] YUNUS A. CENGEL. (1996). Termodinámica; McGraw-Hill; (4ta Ed). México.
- [16] Cálculo de materiales de ingeniería, Iván Bohman C.A.

Diana Cristina Chamorro Sangoquiza. Nació en Quito, Pichincha, Ecuador el 06 de Mayo de 1987. Realizó sus estudios superiores en la Carrera de Ingeniería en Mecatrónica de la Universidad Técnica del Norte, de la ciudad de Ibarra, Ecuador (2005 - 2012). Contacto: dianys15@hotmail.com

Cel. 0983125614

