

Metodología de cálculo para el estudio termodinámico de las instalaciones de secado, del proceso de fabricación de levadura torula.

Autores: Msc. Jorje L. Cabrera Sánchez. Profesor Asistente, Facultad de Mecánica, Universidad de Cienfuegos. E-mail: jlcabrera@ucf.edu.cu

Dr. C. Juan F. Puerta Fernández. Profesor Titular, Facultad de Mecánica, Universidad de Cienfuegos. E-mail: jf.puerta@ucf.edu.cu

Dr. C. Félix González Pérez. Profesor Auxiliar, Facultad de Mecánica, Universidad de Cienfuegos. E-mail: fgonzalez@ucf.edu.cu

Resumen.

Este trabajo constituye un procedimiento o metodología, que facilita realizar los cálculos de los principales parámetros de trabajo que intervienen en el proceso de secado de las plantas para producir levadura torula existentes en Cuba, a partir de un pequeño número de datos disponibles, y basados en las leyes y principios de la termodinámica permite evaluar las condiciones bajo las cuales son operadas estas instalaciones de secado, así como los estudios para el mejoramiento del uso y consumo de su energía.

Summary.

In this paper, is presented a methodology for the calculation of the main parameters of a process of yeast drying. This procedure uses a small number of data and it is based on the thermodynamic principles. The operations are evaluated under the conditions of the drying process. Also, it is presented the experiences of a Cuban plant of yeast processing, and its improvements in energy saving.

Palabras Claves: Torula, aire húmedo, ahorro de energía.

Key words: Torula, humid air, energy save.

INTRODUCCIÓN.

Entre los grandes problemas que presenta la producción de levadura torula en Cuba, se encuentra el alto consumo de energía que se requiere para tal proceso, especialmente la relacionada con la energía eléctrica y el fuel oil, que hacen que los costos de fabricación alcancen valores que resultan insostenibles ante el empuje y la competitividad de otros productos de una parte, y de otra ante la imperante necesidad de reducir al máximo el consumo de combustible, que alcanza cada vez valores más altos en sus precios del mercado mundial.

Estudios recientes realizados por⁽¹⁾ en la fábrica de levadura perteneciente al CAI Antonio Sánchez demostraron que el 40 % de los gastos en que se incurre en el proceso lo constituyen los portadores energéticos, mientras el fuel oil y la energía eléctrica alcanzan el 98 % del total de estos que se consumen en dicho proceso. Los estudios efectuados corroboraron además, la alta influencia que ejerce

la etapa de secado en estos resultados, al considerarse responsable del 15 % de la energía eléctrica y el 58 % del fuel oil que se consumen.

Como parte de este análisis en su trabajo⁽¹⁾ aborda el estudio termodinámico de la etapa de secado en la propia fábrica del CAI Antonio Sánchez, a partir del conocimiento y cálculo de aquellas variables fundamentales que pueden intervenir en el proceso, su influencia, y la posibilidad de reducir el consumo de combustible de la etapa partiendo de la modificación de algunas de ellas. Sin embargo no resulta tan sencillo llevar a feliz término este proceso, pues bajo las condiciones de explotación en que se operan estas instalaciones en el país, la mayoría de los parámetros que intervienen no son controlados o sencillamente no son conocidos, lo que dificulta grandemente la realización de los cálculos necesarios, para lo cual el autor propone la siguiente metodología que contribuye a la organización y simplificación de los mismos, a la misma vez que con la ayuda de las herramientas de Excel, permite el análisis de gran cantidad de variantes para la realización de proyectos de mejoras energéticas.

Metodología de cálculos termodinámicos, para la tecnología de las instalaciones de secado de levadura torula existentes en Cuba.

Para la realización de los cálculos se debe disponer al menos de los siguientes datos.

- Temperatura de entrada de la crema (θ_1) ----- ($^{\circ}\text{C}$)
- Humedad con la crema (ω_1) ----- (%)
- Temperatura de la crema seca (θ_2) ----- ($^{\circ}\text{C}$)
- Humedad con la crema seca (ω_2) ----- (%)
- Flujo de crema seca (G_2) ----- (kg/s)
- Temperatura del aire de dilución (t_{a0}) ----- ($^{\circ}\text{C}$)
- Contenido de humedad del aire de dilución (X_{a0}) -- (kg_v/kg_{a.s})
- Entalpía del aire de dilución (i_{a0}) ----- (kJ/kg)
- Temperatura de entrada del aire mezclado (t_{m1}) ---- ($^{\circ}\text{C}$)
- Temperatura de salida del aire mezclado (t_{m2}) ----- ($^{\circ}\text{C}$)
- Valor calórico inferior del combustible (VCI) ----- (kJ/kg)
- Flujo de combustible (B) ----- (kg/s)
- Coeficiente de exceso de aire (α)

1. Cálculo del flujo de crema a la entrada del secador (G1) y del flujo de agua contenido en la crema (W).

$$G_1 = G_2 * \frac{(100 - \omega_2)}{(100 - \omega_1)} \quad (\text{kg/s})$$

$$W = G_1 - G_2 \quad (\text{kg/s})$$

ω_1 – Humedad que entra con la crema al secador expresada en %.

ω_2 – Humedad que sale con el producto seco expresada en %.

2. Cálculo de los productos de la combustión.

Los cálculos de los productos de la combustión pueden realizarse siguiendo los procedimientos que aparecen en la amplia literatura especializada que aborda este tema, no obstante el autor recomienda el empleo de la norma soviética por las facilidades que esta ofrece. El objetivo fundamental de estos cálculos consiste en determinar entre otros:

V_g – Volumen total de gases de la combustión ($\text{m}^3\text{N/kg}_{\text{Comb}}$)

I_g – Entalpía de los gases de combustión referida al combustible ($\text{kJ/kg}_{\text{Comb}}$)

3. Cálculo de la entalpía específica de los gases de combustión (i_g) referida a la masa de los propios gases.

$$i_g = \frac{I_g * B}{V_g * \rho_g} \quad (\text{kJ/kg})$$

ρ_g – densidad de los gases de combustión (kg/m^3)

4. Cálculo del flujo de gases de combustión (L_g)

$$L_g = V_g * \rho_g * B \quad (\text{kg/s})$$

5. Cálculo del contenido de humedad de los gases (X_g)

$$X_g = \frac{V_{H_2O}}{V_{g.s}}$$

V_{h_2o} - Volumen de agua en los productos de la combustión

$V_{g.s}$ - Volumen de gases secos de los productos de la combustión.

Ambos términos se calculan durante la realización del paso 2

6. Cálculo del contenido de humedad de la mezcla de aire de dilución y gases de combustión a la entrada del secador (X_{m1})

$$X_{m1} = \frac{X_g(Ca * tm - ia_0) + X_{a_0} * (ig - Ca * tm)}{ig + (Cv * tm * X_{a_0}) + (r_0 * X_{a_0}) - (Cv * tm * X_g) - (r_0 * X_g) - ia}$$

$Ca = 1,01$ ($\text{kJ/kg}^\circ\text{C}$)- Calor específico medio del aire a presión constante

$Cv = 1,97$ ($\text{kJ/kg}^\circ\text{C}$)_ Calor específico medio del vapor de agua

Xm_1 —Contenido de humedad de la mezcla (kg_v/kg_{a.s})

t_m _Temperatura de la mezcla de aire a la entrada del secador (°C)

7. Cálculo de la relación de multiplicidad del mezclado (n)

$$\frac{Xm_1 - Xa_0}{Xg - Xm_1} = \frac{im_1 - ia_0}{ig - im_1} = n$$

$$n = \frac{Lg}{La}$$

8. Cálculo de la entalpía de los gases mezclados (im1)

$$im_1 = \frac{ia_0 + (n * ig)}{n + 1} \quad (\text{kJ/kg})$$

9. Cálculo del flujo de aire de dilución (La)

$$La = \frac{Lg}{n} \quad (\text{kg/s})$$

10. Cálculo del flujo de aire mezclado necesario para el secado (Lm)

$$Lm = La + Lg \quad (\text{kg/s})$$

11. Cálculo del contenido de humedad de los gases mezclados a la salida del secador (Xm2)

$$Xm_2 = \frac{W}{Lm} + Xm_1 \quad (\text{kg}_v/\text{kg}_{a.s})$$

12. Cálculo de la entalpía de los gases a la salida del secador (im2)

$$im_2 = (1,01 + 1,97Xm_2) * tm_2 + 2493Xm_2 \quad (\text{kJ/kg})$$

13. Cálculo de comprobación del flujo de combustible (B)

$$B = \frac{(Lm_1 * im_1) - (La * ia_0)}{Vg * \rho_g * ig} \quad (\text{kg/s})$$

14. Cálculo de la cantidad de calor necesario para el secado (Q_{nec}) y disponible (Q_{disp})

$$Q_{nec} = W[r + Cp * (\Theta_2 - \Theta_1)] + G_2 * Cm * (\Theta_2 - \Theta_1) + Q_p \quad (\text{kW})$$

donde:

$r = 2260$ (kj/kg)_Calor de vaporización del agua a la presión del secador

$Cp = 4,19$ (kJ/kg°C)_Calor específico del agua

$Cm = 1,2$ (kJ/kg°C)_Calor específico de la crema seca

$\theta_1 = 70$ (°C)_Temperatura de entrada de la crema

$\theta_2 = 100$ (°C)_Temperatura de salida del material seco

Qp – Pérdidas de calor al exterior

$$Q_{disp} = Lg * (ig - im_1) = La * (im_1 - ia_0)$$

15. Cálculo de las pérdidas de calor en el secador (Qp)

Considerando que la cantidad de calor disponible que se produce en el combustor es exactamente igual a la que se requiere en el secador

$$Q_p = Q_{disp} - W * [r + Cp * (\Theta_2 - \Theta_1)] + G_2 * Cm * (\Theta_2 - \Theta_1) \quad (\text{Kw})$$

16. Cálculo del consumo de calor específico (qnec)

$$q_{nec} = \frac{Q_{nec}}{W} \quad (\text{kJ/kg}_{a.e})$$

17. Cálculo del consumo específico de aire (lm)

$$lm = \frac{Lm}{W} \quad (\text{kg/kg}_{a.e})$$

18. Cálculo del consumo específico de combustible por tonelada de torula secada (bcom)

$$b_{con} = \frac{B}{G_2} \quad (\text{kg/kg}_{t.s})$$

Si se realiza el calentamiento del aire de dilución, previo a su entrada para el mezclado con los gases de combustión, con el objetivo de aumentarle su entalpía a contenido de humedad constante y buscar disminuir así el consumo de combustible (B), tal como se puede apreciar en la ecuación definida para el mismo anteriormente entonces se recomiendan los siguientes pasos a partir de algunos de los datos obtenidos en el cálculo anterior, que no cambian para el nuevo estado deseado.

1. Se calcula el nuevo valor del contenido de humedad de la mezcla de aire-gases (Xm₁)

Este cálculo se realizará empleando la propia ecuación del paso 6, teniendo en cuenta que de los valores de los parámetros anteriormente utilizados sólo cambiará el valor de la entalpía del aire de dilución (ia₀), pues el calentamiento del aire se deberá realizar sin variar su contenido de humedad (Xa₀)

2. Se calcula el nuevo valor de (n) para el nuevo valor de Xm₁

3. Se calcula el nuevo valor de im₁ para el nuevo valor de (n)

4. Se calcula el nuevo valor de Lm para el nuevo valor de Xm₁, manteniendo constante el valor de Xm₂

$$Lm = \frac{W}{(Xm_2 - Xm_1)}$$

5. - Se calcula el nuevo valor de (La)

$$La = \frac{(Lm * ig) - (Lm * im_1)}{(ig - ia_0)} \quad \text{ó} \quad La = \frac{Lm}{n + 1}$$

6. - Se calcula el nuevo valor de (Lg)

$$Lg = n * La \quad \text{ó} \quad Lg = \frac{(Lm * im_1) - (La * ia_0)}{ig}$$

6. - Cálculo del nuevo valor del flujo de combustible (B)

$$B = \frac{(Lm_1 * im_1) - (La * ia_0)}{Vg * \rho_g * ig}$$

8. - Cálculo del calor adicional necesario para el precalentamiento del aire (Q_{adi})

$$Q_{adi} = W * [r + Cp * \Delta\Theta] + (G_2 * C_m * \Delta\Theta) + Qp - [Lg * (ig - im_1)]_{tx}$$

tx- Indica que el valor del flujo de gases de combustión (Lg) y de la entalpía de la mezcla de aire a la entrada (im₁), serán los calculados para la nueva temperatura t_x de calentamiento del aire de dilución

Conclusiones.

1. En el orden metodológico, el procedimiento propuesto para evaluar termodinámicamente el nivel del comportamiento de los parámetros de trabajo, durante la explotación de las estaciones de secado de las fábricas de producción de levadura torula que utilizan el tipo de la tecnología existente en Cuba, resulta efectivo y cómodo para valorar proyectos de mejoras energéticas de estas instalaciones.
2. Al aplicar la metodología a la fábrica de torula del C.A.I Antonio Sánchez de Cienfuegos, evaluando para las condiciones de diseño y para las actuales los resultados se corresponden con los reales obtenidos durante el trabajo de la fábrica en ambas condiciones.

Bibliografía.

1. Cabrera Sánchez, Jorje L. Análisis termodinámico y de alternativas para la reducción del consumo de combustible en el proceso de secado de la levadura torula en el CAI Antonio Sánchez/ Jorje L. Cabrera Sánchez; Juan F. Puerta Fernández, Tutor.- Trabajo en opción al grado de master en Eficiencia Energética, (Cienfuegos) UCF, 2007.- 88p.
2. Caro Conde, Omar. Caracterización energética de la fábrica de levadura torula del CAI Antonio Sánchez/ Omar Caro Conde; Jorge L Cabrera, Tutor.-Trabajo de diploma, (Cienfuegos) UCF, 2005.-- 83h.
3. Guinzburg, A. S. Fundamentos de la teoría y técnica del secado de los productos alimenticios/ A. S. Guinzburg.-- Moscú: Editorial Mir, 1973.--350p.
4. Mushtaiev, V V. Teoría y cálculo de las operaciones de secado/ V. V. Mushtaiev...[et.al.]-- Moscú: Editorial MIXM, 1974.—223p