

## Cálculos térmicos de la secadora de cereal.

### Agua evaporada.

Para el cálculo de la cantidad de agua que le debemos quitar a una masa de cereal de 150 kilos por minuto que atraviesa la secadora nos basaremos en la fórmula obtenida de MAG Ibérica pag. 536.

Mediante el secado del cereal pretendemos quitarle al cereal un 4% de humedad, tomando como valor de entrada un 14% HR y un 10% HR de salida.

Donde:

|  |          |      |                   |
|--|----------|------|-------------------|
| _ peso específico soja                     | $\rho =$ | 700  | kg/m <sup>3</sup> |
| _ masa de granos                           | $M =$    | 150  | kg/minuto         |
| _ masa de granos                           | $M =$    | 9000 | kg/hora           |
| _ humedad inicial que contienen los granos | $W1 =$   | 14   | %                 |
| _ humedad final que contienen los granos   | $W2 =$   | 10   | %                 |

Reemplazando:

|                               |       |     |         |
|-------------------------------|-------|-----|---------|
| _ cantidad de agua a evaporar | $W =$ | 400 | kg/hora |
|-------------------------------|-------|-----|---------|

### Cantidad de agua contenida en el aire de entrada de la secadora.

Según IRAM se toma:

|                        |              |       |     |
|------------------------|--------------|-------|-----|
| _ temperatura del aire | $t_{aire} =$ | 20    | °C  |
| _ Humedad              | $HR =$       | 70    | %   |
| _ Presión atmosférica  | $P_{atm} =$  | 101.3 | kPa |

Utilizando el diagrama Psicrometrico determinamos el contenido de agua en el aire bajo estas condiciones. Ver figura 14 en anexo I.

Por lo tanto obtenemos:

|  |        |        |                         |
|--|--------|--------|-------------------------|
| _ cantidad de agua presente en el aire | $X1 =$ | 0.0103 | kg de agua / kg de aire |
|--|--------|--------|-------------------------|

### Determinación de la temperatura de secado.

De la tabla 45 determinamos la temperatura máxima con la cual debe secarse el cereal.

Fuente: Manual de almacenamiento de granos, Autores: Domingos y Puzzi.

|                                |                |    |    |
|--------------------------------|----------------|----|----|
| _ temperatura máxima de secado | $t_{secado} =$ | 48 | °C |
|--------------------------------|----------------|----|----|

Utilizando el diagrama psicrometrico nuevamente obtenemos la humedad relativa a esta nueva temperatura.

|                    |             |    |   |
|--------------------|-------------|----|---|
| _ humedad relativa | $HR_{48} =$ | 13 | % |
|--------------------|-------------|----|---|

### Calor absorbido por el cereal.

El calor absorbido por el cereal esta dado por la siguiente fórmula:

$$Q_1 = M \times C_{pi} \times \Delta t_{0-1}$$

Donde:

|                               |            |       |            |
|-------------------------------|------------|-------|------------|
| _ masa de granos              | $M =$      | 9000  | kg         |
| _ calor específico del cereal | $C_{pi} =$ | 0.525 | kcal/kg.°C |

$$\Delta t_{0-1} = T_{regimen} - T_{ambiente}$$

|                          |              |    |    |
|--------------------------|--------------|----|----|
| _ temperatura de regimen | $T_{reg.} =$ | 48 | °C |
| _ temperatura ambiente   | $T_{amb.} =$ | 20 | °C |

Aumentando la temperatura del aire ambiente, su humedad relativa disminuye, y en consecuencia, su capacidad de absorber humedad aumenta.

|                            |                    |    |    |
|----------------------------|--------------------|----|----|
| _ salto térmico del cereal | $\Delta t_{0-1} =$ | 28 | °C |
|----------------------------|--------------------|----|----|

Por lo tanto:

\_ calor absorbido por el cereal  $Q_1 = 132300 \text{ kcal/hora}$

### **Calor absorbido por el agua a extraer del cereal.**

El calor que se debe aportar para lograr la evaporación del agua que contiene el grano para llevarlo a los valores esperados es el siguiente:

Donde:

\_ calor específico del vapor  $C_p \text{ vapor} = 0.46 \text{ kcal/kg.}^\circ\text{C}$   
\_ salto térmico adoptado  $\Delta t = 28 \text{ }^\circ\text{C}$

Reemplazando:

\_ calor absorbido por el agua  $Q_2 = 243152 \text{ kcal/hora}$

### **Calor total a suministrar.**

Este calor debe ser aportado por el aire. Para determinar el calor total a suministrar estimamos una pérdida por radiación.

\_ pérdidas por radiación  $\text{Perd.} = 5000 \text{ kcal/hora}$

$$Q_{\text{total}} = Q_2 + \text{Pérdidas}$$

\_ calor total a suministrar  $Q \text{ total} = 248152 \text{ kcal/hora}$

### **Cantidad de aire a entregar.**

Primero debemos calcular la cantidad de calor aportado por kg de aire para un salto de temperatura estimado.

\_ salto de temperatura del aire de entrada  $\Delta t = 28 \text{ }^\circ\text{C}$   
\_ calor específico del aire  $C_p \text{ aire} = 0.24 \text{ kcal/kg.}^\circ\text{C}$   
\_ calor específico del vapor  $C_p \text{ vapor} = 0.46 \text{ kcal/kg.}^\circ\text{C}$   
\_ título a la entrada del secador  $X_1 = 0.0103 \text{ kg de agua / kg de aire}$

$$Q = C_{\text{aire}} \times \Delta t + X \times C_{\text{vapor}} \times \Delta t$$

\_ calor aportado por kg de aire  $Q = 6.85 \text{ kcal/kg de aire seco}$

Por lo tanto si multiplicamos este valor por los kg de aire necesario obtenemos el calor total a entregar.

$$Q_{\text{total}} = Q \times G_{\text{aire}}$$

Despejando los kg de aire:

\_ caudal de aire necesario  $G_{\text{aire}} = 36212 \text{ kg aire/hora}$

Si conocemos el peso específico del aire.

\_ peso específico del aire  $\rho_{\text{aire}} = 1.29 \text{ kg/m}^3$

De esta forma el caudal de aire necesario será:

\_ caudal de aire necesario  $G_{\text{aire}} = 28072 \text{ m}^3/\text{hora}$   
 $G_{\text{aire}} = 468 \text{ m}^3/\text{minuto}$

### **Temperatura del aire a la salida de la secadora.**

La temperatura a la salida de la secadora dependerá de la humedad en los granos de soja, es decir que, cuanto mayor sea la cantidad de humedad presente en los granos, mayor será el salto térmico entre la temperatura de entrada y la de salida. Tener en cuenta que siempre la temperatura de salida será menor que la de entrada, debido a la humedad absorbida.

El salto térmico entre la entrada y la salida será:

$$\Delta t = t_{\text{entrada}} - t_{\text{salida}}$$

Donde:

\_ temperatura de entrada t entrada = 48 °C

Mediante un balace térmico obtenemos:

$$Q_1 = \Delta t \times (Cp_{\text{aire}} \times G_{\text{aire}} + Cp_{\text{vapor}} \times G_{\text{vapor}})$$

\_ calor específico del aire Cp aire = 0.24 kcal/kg.°C

\_ calor específico del vapor Cp vapor = 0.46 kcal/kg.°C

$$G_{\text{vapor}} = X_1 \times G_{\text{aire}}$$

\_ título a la entrada del secador X1 = 0.0103 kg de agua / kg de aire

\_ caudal de vapor G vapor = 373 kg vapor/hora

Por lo tanto:

\_ salto térmico entre la entrada y la salida Δt = 19.1 °C

\_ temperatura de salida t salida = 28.9 °C

### **Cantidad de agua contenida en el aire de salida de la secadora.**

Al vapor contenido en el aire habrá que sumarle el extraído del cereal.

$$G_{\text{agua}} = W + G_{\text{vapor}}$$

\_ caudal de agua G agua = 773 kg

Calculando el nuevo título para verificar en el diagrama psicrometrico.

$$X_2 = \frac{G_{\text{agua}}}{G_{\text{aire}}}$$

\_ título a la salida del secador X2 = 0.0213 kg de agua / kg de aire

Ver figura 15 en anexo I.

Obtentemos del gráfico:

\_ humedad relativa a la salida del secador HR<sub>34</sub> = 42 %

Para determinar el porcentaje de humedad mínimo con el cual pueden quedar los granos a la salida del secador utilizamos un gráfico que presenta el equilibrio higroscópico para distintas humedades relativas.

Este punto se puede definir como aquel donde se equilibran la humedad del grano a cierta temperatura con la humedad del aire a esa temperatura.

Esto indica que tendremos varios puntos, uno para cada temperatura y para cada humedad relativa.

\_ mínimo porcentaje de humedad en los granos W<sub>3</sub> = 7.3 %

Ver figura 16 en anexo I.

### **Cantidad total de calor a entregar recalculado.**

\_ calor total a entregar = Q total = 248152 kcal/hora

### **Determinación de la pérdida de peso del cereal.**

Del gráfico siguiente determinamos el porcentaje de pérdida de peso que se produce en la secadora.

\_ % de pérdida de peso Pérdida de peso = 4.5 %

Por lo tanto:

|   |     |      |         |
|---|-----|------|---------|
| _ peso del material a la entrada de la secadora | T = | 9000 | kg/hora |
| _ peso del material a la salida de la secadora  | T = | 8595 | kg/hora |

Ver figura 17 en anexo I.

### **Dimensionamiento general de la secadora.**

Primeramente determinaremos el volumen en metros cúbicos que atraviesan la secadora por hora.

|   |            |       |                        |
|---|------------|-------|------------------------|
| _ densidad del cereal                           | $\rho_p =$ | 700   | kg/m <sup>3</sup>      |
| _ peso del material a la entrada de la secadora | T =        | 9000  | kg/minuto              |
| _ volúmen de cereal en la secadora              | V cereal = | 12.86 | m <sup>3</sup> /minuto |

El volúmen de la secadora estará dado por:

$$Vol = n \times (e \times w \times h)$$

Donde:

|                           |     |     |   |
|---------------------------|-----|-----|---|
| _ número de columnas      | n = | 2   |   |
| _ espesor de cada columna | e = | 0.2 | m |
| _ ancho de cada columna   | w = | 2.5 | m |

Despejando obtenemos la altura del cuerpo de la secadora.

|                                    |         |       |   |
|------------------------------------|---------|-------|---|
| _ altura del cuerpo de la secadora | $h_1 =$ | 12.86 | m |
|------------------------------------|---------|-------|---|

Para la tolva de carga, la altura se determinara según el ángulo del talud que se forma.

En el caso de la soja, este valor será:

|                   |            |    |   |
|-------------------|------------|----|---|
| _ ángulo de talud | $\alpha =$ | 25 | ° |
|-------------------|------------|----|---|

### **Selección del ventilador.**

Para determinar la presión con el cual debemos trabajar para atravesar la columna de cereal utilizaremos la fig. 19.

Fuente: Aeration of grain in commercial storage, Autor: Holman.

Para ingresar al gráfico debemos saber que caudal de aire atraviesa 1 metro cuadrado de la columna de cereal en el tiempo de un minuto.

|  |                        |       |                                  |
|--|------------------------|-------|----------------------------------|
| _ caudal de aire                             | G aire =               | 28072 | m <sup>3</sup> /hora             |
|  | G aire =               | 468   | m <sup>3</sup> /minuto           |
| _ espesor de la columna de cereal (adoptado) | e =                    | 0.2   | m                                |
| _ superficie a ser atravesada por el aire    | S =                    | 13.5  | m <sup>2</sup>                   |
| _ caudal de aire por m <sup>2</sup>          | Q por m <sup>2</sup> = | 0.58  | m <sup>3</sup> /s.m <sup>2</sup> |

Por lo tanto la presión estática por metro será:

|                              |        |      |                         |
|------------------------------|--------|------|-------------------------|
| _ presión estática por metro | PE/m = | 1300 | (N.m/s <sup>2</sup> )/m |
|------------------------------|--------|------|-------------------------|

Multiplicando este valor por el espesor de la columna de cereal.

|                    |      |       |                     |
|--------------------|------|-------|---------------------|
| _ presión estática | PE = | 260   | N.m/s <sup>2</sup>  |
|                    | PE = | 26.51 | mm H <sub>2</sub> O |
|                    | PE = | 260   | Pa                  |