

# **OPTIMIZACIÓN DEL SECADO DE BANDEJAS DE PULPA PRENSADA**

## **1. Presentación**

La industria de la pulpa prensada proporciona los envases para protección de una importante variedad de productos que deben protegerse para su comercialización y/o exportación, utilizando papel reciclado debidamente procesado y acondicionado con el aglutinante conveniente para preparar una pulpa con la consistencia y características adecuadas para ser prensada, utilizando moldes metálicos minuciosamente diseñados y fabricados.

Al quedar conformada la bandeja o envase, tendrá un contenido de humedad todavía elevado (75-80%), que deberá ser eliminada para conformar el producto final con las características de forma y consistencia más adecuadas para su almacenamiento, manipuleo y utilización.

El secado desde la humedad de prensado hasta alcanzar su saturación, en el punto de equilibrio entre las presiones de vapor de la bandeja y el aire, podría realizarse por simple exposición al medio ambiente; en este caso se utiliza el secado natural y resulta de la mayor importancia la humedad relativa del aire (sequedad del aire) y el nivel de exposición. El secado natural requiere de mucho espacio para extender las bandejas al aire y de mucho tiempo para completar el proceso.

En este artículo se enfoca el secado industrial que se efectúa en secadores tipo túnel en los cuales las bandejas se transportan por parrillas con diferentes arreglos respecto a la circulación de aire caliente.

Aprovechando la experiencia con varios secadores de bandejas, hemos logrado uniformizar criterios respecto a los principales factores que deben controlarse para optimizar el consumo energético sin afectar la calidad del producto.

## **2. Caracterización del producto a secar**

Para definir las condiciones y parámetros de secado de las bandejas se deben tomar en cuenta el material de las mismas y los aditivos que se utilizan para aglomeración (colas), la forma de las bandejas y su nivel de exposición al flujo secador, la calidad del prensado y su acondicionamiento térmico.

Las bandejas están constituidas básicamente por celulosa, la cual tiene un excelente comportamiento en cuanto a su curva de sorción (facilidad con la que se desprende de la humedad contenida).

En cuanto a la cola que se utiliza como aglutinante, solamente debe asegurarse que tenga un punto de ebullición superior a la temperatura de operación para evitar que se volatilice en el interior del secador y luego se condense en la atmósfera, provocando contaminación y riesgos por zonas resbalosas, al acumularse en el piso.

Respecto a la forma de las bandejas, los apropiados diseños utilizados permiten un excelente nivel de contacto entre el material y los gases de secado, favoreciendo el arrastre de la humedad.

La permanente preocupación por perfeccionar el diseño mecánico y el control operativo de la prensas ha producido un resultado formidable en la mayoría de plantas que conocemos, habiendo llegado a optimizar su funcionamiento, disminuyendo el contenido de humedad a niveles bastante adecuados..

Para el acondicionamiento térmico de las bandejas se utiliza vapor saturado y aire caliente; habiendo tenido la oportunidad de evaluar ambos sistemas, presentaremos los resultados en un análisis que someteremos a consideración de quienes disponen de estas tecnologías.

En conclusión, las condiciones que dependen de las propias bandejas para su secado resultan excelentes para favorecer altos rendimientos en los secadores, dependiendo los resultados principalmente de los otros factores involucrados; las características de diseño del secador y las condiciones operativas del sistema.

### **3. Descripción del Proceso que se desarrolla en el Secador**

El proceso de secado que se produce en los secadores de bandejas de pulpa prensada es por ebullición y arrastre; lo que significa que debe calentarse la bandeja por encima de 100°C para que se produzca la ebullición del agua contenida

En el desarrollo del proceso podemos considerar y caracterizar las siguientes etapas:

#### **Etapas 1: Calentamiento**

Al ingresar las bandejas húmedas (70%) y relativamente frías (50°C) al secador se inicia una primera etapa en el secador: Calentamiento. En esta etapa el requerimiento de calor es limitado ( 50 kcal/kg de pulpa húmeda), porque solamente se consume en la elevación de la temperatura de las bandejas (calor sensible).

En forma equivocada, en algunos secadores se inyecta mucho combustible en los quemadores ubicados esta zona, lo que produce muchas pérdidas de calor al exterior y podría ocasionar problemas en la estabilidad de las bandejas si se llega a calentar exageradamente, provocando la brusca evaporación del agua; debemos recordar que al vaporizarse el agua aumenta 500 veces su volumen para entender porque debe producirse en forma lenta y gradual en el secado

Cuando el sistema de calentamiento es con calentamiento exterior, en los secadores modernos, la distribución de calor que ingresa por la parte opuesta, determina que esta zona resulte la de menor concentración térmica, lo que resulta apropiado.

#### **Etapas 2: Vaporización**

Para entender correctamente lo que sucede en esta etapa resulta necesario considerar que siempre se produce una migración de humedad de las bandejas al aire, siendo la única excepción el punto de equilibrio entre las presiones parciales de la humedad del aire y el material, lo que se produce cuando las bandejas tienen alrededor de un 7% de humedad y condiciones normales de presión y temperatura. En el interior del secador, lo que realmente sucede es que se produce un desplazamiento muy lento de la humedad (secado) que se agudiza a medida que se eleva la temperatura de la bandeja. En esta etapa, al llegar la bandeja a temperaturas más altas se acelera la transferencia de masa de agua desde las bandejas a los gases circulantes, llegando a depender el secado de la capacidad de los gases para seguir recibiendo humedad que se vaporiza, pudiendo llegar a saturarse si no circulan con la velocidad necesaria.

En esta etapa se consume la mayor cantidad de calor; en secadores que tengan quemadores distribuidos se tendrá que inyectar la mayor cantidad de combustible. En los secadores con fuente de calor externa, se mantienen las condiciones térmicas, dependiendo el proceso de la velocidad con la que viajan las bandejas; debe apreciarse en estos últimos secadores con varios pases de bandejas, que el diseño considera los primeros pases de las bandejas por la parte superior, donde se mantienen las condiciones de temperatura más altas, al inyectarse y orientarse los gases calientes de arriba hacia abajo, por donde se extraen gases más fríos y húmedos.

### **Tercera Etapa: Secado**

Podemos denominar como secado a esta etapa, porque la caracterizamos por la disminución de humedad de las bandejas hasta niveles mínimos, produciéndose el desplazamiento de humedad principalmente por arrastre. Esta etapa resulta más lenta, siendo necesario alargarla debido a que la humedad migra cada vez con menos facilidad; así puede comprobarse observando la curva típica de secado (**Anexo 1**).

Para cada secador se debe construir la curva de secado, tratando de orientarla hacia la curva típica, en la cual se conseguirán los mejores resultados de producción y eficiencia, manteniendo la calidad y rechazos mínimos en las bandejas.

### **Cuarta Etapa: Estabilización**

Esta última etapa en el secador consiste básicamente en la zona que permanece la bandeja prácticamente seca sin exposición al calor, en contacto con el aire atmosférico, por lo que también podría llamarse de enfriamiento.

Tomando en cuenta que la disminución de humedad podría alcanzar valores inferiores al punto de equilibrio (7%), a medida que se enfrían las bandejas en contacto con el aire, se estabilizará el equilibrio entre las presiones de vapor de las bandejas y el aire, dependiendo esta condición también de la humedad relativa del aire atmosférico.

También en esta etapa se realiza el control de calidad de salida de las bandejas del secador, permitiendo comprobar directamente si el proceso de secado se ha desarrollado correctamente. El arqueado de las bandejas o el quemado de las puntas, indican un secado excesivo en el interior del secador; humedad residual y cierta falta de rigidez de las bandejas, secado insuficiente.

## **4. FACTORES DE CONTROL OPERATIVO**

El secado de bandejas de pulpa prensada puede considerarse un proceso relativamente simple, por lo que se debemos ser muy exigentes con los niveles de eficiencia y productividad del sistema. Las operaciones unitarias que permitan el desarrollo del proceso son el transporte de las bandejas, transferencia de calor, transferencia de masa y transporte de fluidos. Efectuando un análisis de cada una de ellas podremos plantear con mayor criterio un proyecto de optimización térmica del secador:

### **4.1 Transporte de las bandejas**

El tiempo de permanencia de las bandejas en los secadores constituye uno de los parámetros que más han evolucionado en la evolución de los diseños de los secadores de pulpa prensada, llegando a niveles impresionantes de acortamiento del tiempo, en la medida que se logra aprovechar el volumen útil disponible dentro del secador para conseguir mayor nivel de contacto entre gases de secado y bandejas, minimizando las pérdidas térmicas por convección y radiación.

El transporte de las bandejas se desarrolla utilizando parrillas metálicas que conducen las bandejas dentro del secador en uno, dos o tres pasos. Los secadores de un solo paso resultan muy largos y para mayor aprovechamiento de la estructura se instalan con doble parrilla. En estos casos, la parrilla superior podrá viajar bastante más rápida que la inferior porque la concentración de calor siempre se orienta hacia arriba por convección.

Cuando se manejan diseños de 3 pasos, muy frecuentes en los secadores modernos, la velocidad de la parrilla se incrementa considerablemente, llegando a tiempos de permanencia de las bandejas del secador de hasta 6 minutos con velocidades promedio de hasta 6 metros/minuto.

Como no resulta factible considerar velocidades variables cuando solamente se tiene un solo accionamiento mecánico, el manejo de la curva de secado se manipula en estos casos con el movimiento de gases.

En secadores con doble accionamiento, generalmente uno en la parte de ingreso y otro en la salida, la velocidad en ambos tramos podría ser diferente, correspondiendo una velocidad mayor a la segunda parte, donde se producen la etapa que completa el secado y la estabilización final.

## **4.2 Transferencia de calor**

La transferencia de calor en el interior del secador se produce principalmente por convección, entre los gases calientes y las bandejas húmedas e inevitablemente las parrillas; en menor proporción se transfiere calor por conducción, entre la parte más expuesta al calor de las bandejas y alguna parte fría y entre las parrillas y las bandejas en contacto con las mismas, en razón de que el material metálico de las bandejas calienta más rápidamente que las bandejas.

Para favorecer este proceso resultan de importancia los siguientes factores:

- Diferencial de temperatura entre gases y bandejas
- Nivel de turbulencia de los gases dentro del secador
- Superficie de bandejas expuestas al contacto con los gases en movimiento

## **4.3 Transferencia de Masa**

Resulta la operación más importante por constituir el secado mismo. La transferencia de masa de agua desde la bandeja a los gases calientes se favorece en la medida que se incrementa la temperatura de la propia bandeja y también del aire; en el primer caso el agua tiende a desprenderse de la bandeja; y en el segundo, por aumentar la avidez del aire para arrancar el agua de la bandeja. Los límites termodinámicos para ambas temperaturas los representan aquellos que representan la posibilidad de efectuar la transferencia de masa con tanta violencia que afecten la estructura de la bandeja.

## **4.4 Transporte de Fluidos**

La mecánica de fluidos que se maneja dentro de los secadores tiene mucha influencia sobre la eficiencia y rendimiento térmico del secado. Basados en la experiencia ganada en los proyectos de optimización de secadores de bandejas que hemos realizado, podemos establecer los factores que revisten mayor influencia sobre la calidad del proceso:

- El factor de mayor importancia es el aislamiento del secador respecto al medio exterior. En la medida que se pueda conseguir el mayor nivel de hermetización del secador se podrá conseguir los mejores rendimientos térmicos del sistema.

- **Recirculación de gases:** La capacidad de los gases para captar humedad se mantiene casi inalterable por los bajos niveles de contenido de humedad que alcanzan, por lo cual pueden mantenerse altos niveles de recirculación de gases, desechando solamente una mínima proporción que será reemplazada por aire fresco. Al establecer un equilibrio entre la humedad contenida en los gases que se eliminan y la que se extrae de las bandejas, se logrará una condición de operación ideal de sistema, por lo cual resulta tan importante la continuidad operativa de los secadores.
- **Orientación de los gases:** En la mecánica de fluidos que se maneja dentro del secador la convección reviste gran importancia. Tomando en cuenta que los gases calientes tienen siempre la tendencia a subir, en los secadores la tendencia natural será el ingreso de los gases calientes por la parte baja de las cámaras de secado, transcurriendo los gases hacia arriba por convección a través y en contacto con las bandejas. Para conseguir mayores niveles de contacto y aprovechamiento se tendrá que invertir energía en forma de impulso, para forzar un arreglo diferente de uno o varios pазos. La tendencia en los secadores modernos es introducir los gases por la parte superior en forma controlada, impulsando la salida por la parte baja.

## 5. Balance Térmico del Secador

La mejor forma de conseguir y mantener una gestión energética permanentemente orientada hacia la optimización integral del trabajo del secador consiste en desarrollar y mantener en cada secador el conocimiento de su balance de masa y calor.

En el **Anexo 2** se presenta el balance real de un secador en el cual se han conseguido niveles satisfactorios de eficiencia térmica, los cuales deberían ser un objetivo permanente de todos los secadores de este tipo.