

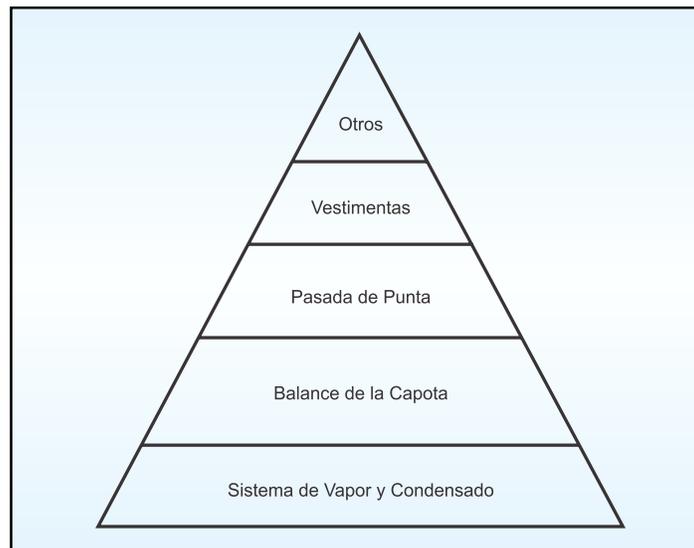


## Estudio del balance de la capota de la máquina de papel

### Introducción

El objetivo del estudio es la identificación de oportunidades de mejora de la eficiencia de la máquina de papel por medio del estudio de las condiciones existentes en la capota de la sección de secado y el desempeño de los sistemas de ventilación y extracción.

En una escala de retornos en la optimización del proceso de secado, la primera etapa es la del sistema de vapor y condensado seguido de la optimización de la capota y del sistema de ventilación.



Hay muchas oportunidades para reducir el consumo de vapor en la sección de secado. El primer estudio para que se optimice el consumo de vapor en los cilindros es el "benchmark" (punto de referencia) de vapor en relación con los datos de producción. Los valores para "benchmark" se establecen para el consumo en los cilindros secadores, pérdidas en el sistema y sistema de insuflación de aire.

	Kg vapor / Kg de agua evaporada	Kg vapor / Kg papel (sin prensa encoladora)	Kg vapor / Kg papel (con prensa encoladora)
Vapor que se utiliza en el sistema de drenaje de los secadores	1,13 - 1,20	1,20 - 1,70	2,0 - 2,4
Vapor para calentar la insuflación de aire de la capota	0,18 - 0,20	0,18 - 0,30	0,30 - 0,40
% pérdida de energía para condensador o atmósfera	< 2%	< 2%	< 2%

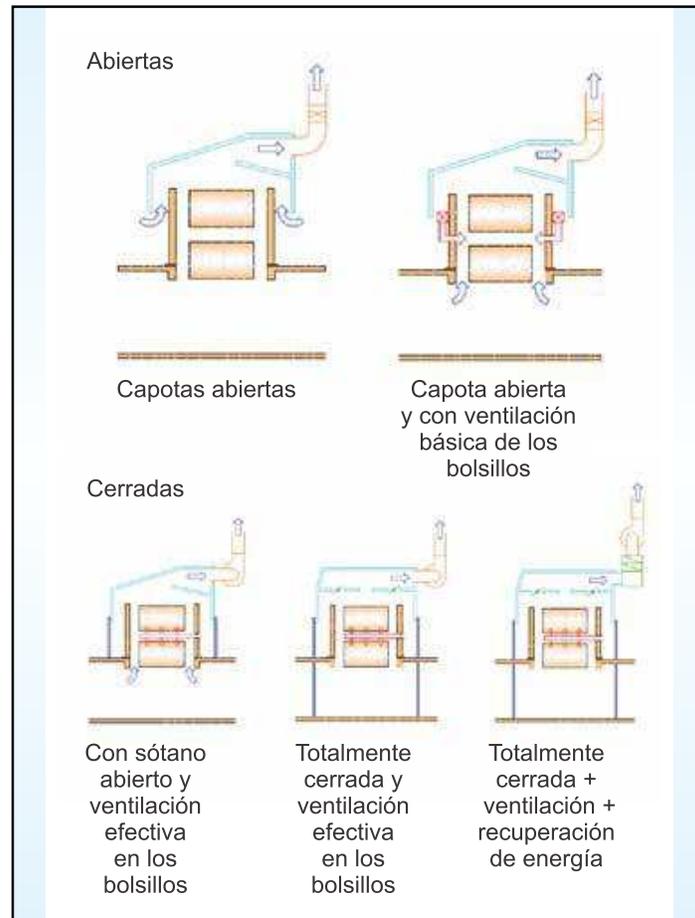
Tabla 1: Valores de "Benchmark" del uso de vapor.

El uso del "Benchmark" de Kg de vapor/Kg de agua evaporada es lo mejor para la evaluación de la sección de secado. Los valores de Kg de vapor/Kg de papel son los más fáciles, sin embargo, son los menos efectivos para la evaluación de la eficiencia energética. Hay una amplia variación en el contenido seco después de las prensas, dependiendo del tipo de papel, sólidos, tipos de prensas, etc. Eso hace que sea muy difícil la determinación precisa de un buen parámetro de "Benchmark". Las máquinas más eficientes tienen un consumo específico de 1,2 Kg vapor/Kg de agua evaporada, pero la TAPPI considera 1,3 como un buen parámetro.

**Proyecto de la capota**

Las principales funciones de la capota son:

- 1) El manejo del agua evaporada en el proceso de secado;
- 2) La provisión de un ambiente uniforme de secado con el control de los flujos de aire, temperatura y humedad y la reducción de energía necesaria para la evaporación, reduciendo y controlando los flujos de aire. A continuación, se pueden ver los principales tipos de capotas que se pueden separar, por lo general, en abiertas y cerradas.

**Sistema de insuflación de la capota**

El sistema de ventilación origina condiciones uniformes de secado en el bolsillo y también promueve el aumento en la capacidad de secado. El aumento de la capacidad de secado del 10 al 15% se considera el vapor promedio, pero en algunos casos es posible obtener índices superiores al 15%.

La principal función de la insuflación de aire es renovar el aire y, de esta manera, mantener el nivel de humedad necesario y/o adecuado para el bolsillo de secado. La insuflación de aire debe estar con una temperatura superior a la temperatura de la hoja o habrá el riesgo de condensación en el bolsillo. El ciclo de secado se puede separar en dos etapas el ciclo de secado: 1) Primera etapa: La transferencia de calor. 2) Segunda Etapa: La evaporación. En la primera etapa, el cilindro bajo temperatura calienta el agua en la hoja. Debido a la transferencia de calor de los cilindros a la hoja, hay un diferencial de temperatura entre la hoja y el cilindro, y siendo superior el diferencial de temperatura para una determinada área de contacto, se transferirá más calor.

La mayor parte de la evaporación de agua de la hoja ocurre durante el contacto entre los cilindros secadores. Aquí la diferencia entre las presiones parciales de vapor de agua del aire y de la hoja de papel dará la fuerza motriz para la evaporación. En un bolsillo sin ventilación, el continuo desprendimiento de vapor de agua para el bolsillo resultará en la acumulación de humedad en el bolsillo. Esto hace que se reduzca la presión del vapor entre la hoja y el aire y resulte en una evaporación escasa. El aire del bolsillo puede estar cerca de la condición de saturación, donde casi no hay evaporación. A la vez, la baja evaporación en el bolsillo resulta en un sutil enfriamiento de la hoja. Esto significa que habrá un

menor diferencial de temperatura entre la hoja y la superficie del cilindro, resultando en una menor evaporación en la próxima etapa de calentamiento. Además, un sistema de ventilación deficiente puede generar problemas de perfil transversal de humedad de la hoja.

Se puede afectar el volumen de insuflación de aire debido a problemas de mantenimiento en los motores y ventiladores, filtros tapados, telas secadoras tapadas y válvulas u obstrucciones en los ductos. Una indicación de la incorrecta temperatura de la insuflación de aire también puede aumentar el consumo específico de vapor o menor temperatura del aire.

Se puede calcular la recomendación del volumen mínimo de la insuflación de aire por medio de la tabla a continuación según la tasa de evaporación teniendo en cuenta el área total de los cilindros.

Tasa de Evaporación kg/h/m <sup>2</sup>	Objetivo Humedad Bolsillo	Diámetro de los cilindros			
		1,2 m	1,5 m	1,8 m	2,2 m
4,9	0,120	3,2	4,0	4,8	5,9
9,8	0,165	4,4	5,6	6,7	8,1
14,6	0,200	5,4	6,7	8,0	9,8
19,5	0,230	6,1	7,7	9,2	11,2
24,4	0,255	6,9	8,6	10,3	12,6
29,3	0,275	7,6	9,5	11,4	13,9
34,2	0,290	8,3	10,4	12,5	15,3
39,1	0,300	9,2	11,5	13,8	16,9

Tabla 2: Volumen de insuflación de aire en el bolsillo en m<sup>3</sup>/min por metro de ancho del cilindro.

Nota: Teniendo en cuenta que la insuflación de aire está con humedad de 0,02kg agua / kg de aire seco a 93°C de bulbo seco y 42°C bulbo seco.

La insuflación de aire se distribuye en la sección de secado, principalmente, por cajas sopladoras. Está a disposición una gama de diferentes tipos y configuraciones de cajas sopladoras para diferentes tipos de papeles y gramajes. La figura a continuación muestra ejemplos de configuraciones.

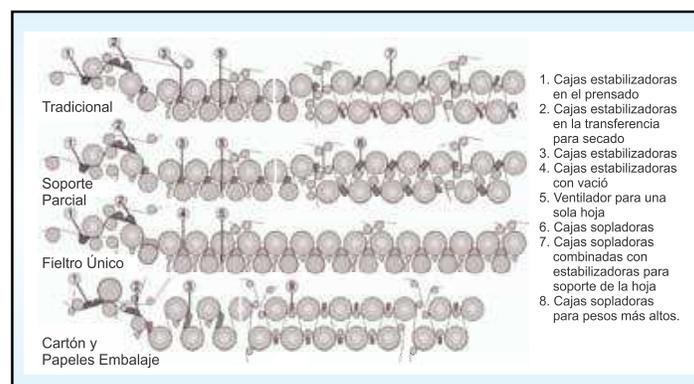


Figura 2: Ejemplos de caja sopladora

Actualmente, no se proyectan las cajas sopladoras, sólo para proveer aire seco al bolsillo y mejorar el secado, sino también para mejorar la estabilidad de operación y/o *runnability* de la máquina, ayudando en la estabilidad de la hoja, evitando roturas.

La temperatura que se recomienda para la insuflación de aire es alrededor de 90 – 95°C.

Algunas pruebas indicaron un pequeño aumento en la tasa de evaporación cuando la temperatura subió de 80 – 90°C a 120 – 130°C y el consumo de vapor para los cilindros tuvo una pequeña reducción. Pero como el consumo de vapor para calentamiento de la insuflación de aire creció considerablemente, en la condición de mayores temperaturas del aire, la prueba evidenció un aumento neto del 2% en el consumo de vapor en la sección de secado.

### La línea o punto cero de la capota

Es el punto donde la capota se convierte en presurizada y el calor y la humedad tienden a salir por el edificio de la máquina.

La capota de la sección de secado opera con un efecto chimenea, con el aire frío del sótano, calentándose y cargando humedad hacia arriba a través de la sección de secado. El aire se expande cuando se calienta, entonces la presión relativa aumenta cuanto más alta sea la elevación.

Inferior al punto cero (sótano y nivel bajo el piso de operación) el aire se infiltra de las puertas y otras aberturas. El punto cero se mide, generalmente, sobre el piso de operación de la máquina en varios puntos hacia la máquina a lo largo de la capota. En el dibujo a continuación, el punto cero se ubica a 2 metros del piso de operación. El nivel que se recomienda es el tope de la puerta de la capota para una capota cerrada y sobre los paneles de la capota (para evitar fugas) para capota abierta.

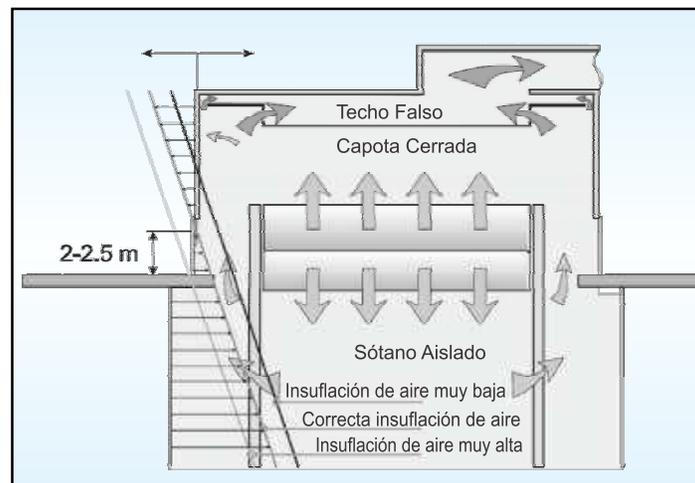


Figura 3: Ejemplo de una capota cerrada y el punto cero

Se puede detectar el punto cero con las puertas abiertas y con un manómetro de rotor hasta la altura en donde cambia la dirección o con la utilización de un generador de humo para verificar el nivel de estabilización o midiendo la presión estática. Algunas máquinas poseen sensores y sistema para la corrección del flujo de aire para el ajuste del punto cero.

El punto cero también puede interferir en el nivel de comodidad en el edificio de la máquina y en la estabilidad de la hoja de papel.

### Levantamiento previo para el estudio del balance de una capota

Esta etapa es muy importante para planificar la medición, obtener las capacidades de proyecto de los sistemas de ventilación e insuflación y/o cambios que ocurren y recolectar los puntos de muestreo o medición.

En esta etapa, el levantamiento de las capacidades normales puede presentar dificultades debido a los cambios o reformas, como también la falta de informaciones. También se deben seleccionar muy bien los puntos de muestra para análisis de los flujos de aire y de humedad. Lo ideal es que la medición se realice en un punto donde el flujo de aire sea laminar. Esta es la mayor dificultad debido a la cercanía de los motores de ventilación y escape de la capota, curvas o ángulos en los ductos. En virtud de esta dificultad, el número de muestras en cada punto de medición deberá ser superior.

Para levantamiento de los datos de volúmenes de aire se utilizan: el tubo de pitot, anemómetros y termómetros de bulbo seco y húmedo. Para complementar el trabajo, también se pueden realizar estudios con máquinas de humo para la evaluación visual de los flujos de aire. Las mediciones dinámicas de las temperaturas de los cilindros y perfil de humedades de los bolsillos son también importantes para una visión general de toda la capota.

A continuación, un ejemplo de una evaluación de la capota en una máquina de papel Kraft.

	Unidad	Datos de la máquina
Producción bruta	T/ h	17,6
Humedad después de prensados	%	64
Total agua evaporada	T/ h	27,7
Consumo de vapor	T/ h	37,2
Consumo específico de vapor	T vapor/ t agua evaporada	1,34
Evaporación específica	Kg agua evaporada/ h/ m <sup>2</sup>	27,0
Capota totalmente cerrada con ventilación en los bolsillos		

Tabla 3: Datos de producción

A continuación, los levantamientos de los sistemas de insuflación y escape de la capota.

Insuflación			
Posición	Humedad g H <sub>2</sub> O/kg aire seco	Caudal Total	
		Agua kg H <sub>2</sub> O/h	Aire Seco kg aire seco/h
Ventilador 1	48,6	521	10.728
Ventilador 2	48,6	625	12.865
Ventilador 3	53,2	1.168	21.946
Ventilador 4	41,2	308	7.473
<b>Total</b>		<b>2.622</b>	<b>53.012</b>

Tabla 4: Resumen de los datos de la medición del sistema de insuflación

En la tabla 4, por el resumen de los datos de la medición se puede concluir que las humedades del aire de insuflación están altas. Lo que se recomienda es lo mínimo posible y como máximo 29 g H<sub>2</sub>O/Kg de aire seco. Valores superiores a esto pueden ser un indicio de fugas en los intercambiadores de calor. En este caso, los principales motivos para que esta humedad sea alta son los puntos de admisión del aire para insuflación, que están ubicados en el entrepiso y un problema en el balance del aire del edificio de la máquina de papel, que en este ambiente tiene humedades altas.

Se puede ver el caudal total de insuflación de aire y concluir que los ventiladores, por lo general, están con caudales de aire seco muy inferiores a las capacidades normales de proyecto, que son de 140.000 m<sup>3</sup>/h de aire seco.

Utilizando la tabla 2, se obtiene la recomendación de volumen mínimo de la insuflación del aire. Por medio del cálculo, se obtiene un volumen total de 134.000 m<sup>3</sup>/h, número muy cerca del valor nominal de proyecto. Las temperaturas de la insuflación del aire están altas, alrededor de 130°C, debido a los problemas de condensación. En el sistema de insuflación se pueden observar excelentes oportunidades de optimización.

Escape			
Posición	Humedad g H <sub>2</sub> O/kg aire seco	Caudal Total	
		Agua kg H <sub>2</sub> O/h	Aire Seco kg aire seco/h
Extractor 1	162,7	8.527	52.394
Extractor 2	186,0	17.541	94.298
Extractor 3	99,6	5.637	56.589
<b>Total</b>		<b>31.705</b>	<b>203.280</b>

Tabla 5: Resumen de los datos de la medición del sistema de escape.

Las humedades del aire de escape también son altas en los extractores 1 y 2, siendo valores recomendados para esta configuración de capota alrededor de 130 gH<sub>2</sub>O/kg aire seco.

El Balance de la Capota (Insuflación / Escape aire seco) está en un 26%, valor muy bajo. El proyecto original de esta capota, teniendo en cuenta los flujos normales máximos de proyecto del sistema de insuflación y escape, es del 64%. Por la configuración de esta capota, la recomendación de la TAPPI es del 55% al 80%.

Comparando el total de agua evaporada que se obtiene de los contenidos de materia seca de la entrada y salida del secado (27,7 t/h agua evaporada) y el total de agua de escape (31,7 t/h agua en el escape) se obtiene una relación de 1,14, pero los valores que sobran de agua en el escape dependen de los volúmenes de aire de infiltración en la capota y humedades de la insuflación de aire. Relación alrededor de 1,2 se puede considerar normal.

### Comentarios finales

Albany viene consiguiendo, junto a los clientes, generar valores representativos con los estudios del balance de la capota, principalmente porque los procesos de secado del papel afectan cada vez más los costos de producción. Algunas máquinas operan con un nivel muy amplio de gramajes y tipos de papeles, sin embargo, ningún ajuste en el sistema de insuflación se realiza generando más consumo específico de vapor para una determinada producción.

Diversas máquinas también están operando con su capacidad de producción al máximo, muchas veces, superior a la capacidad del proyecto, sin un acondicionamiento adecuado de los bolsillos de secado, altas humedades en el sistema de escape, dificultades en justificar una inversión en la sección de secado y, en algunas oportunidades, problemas de mantenimiento.

En este estudio, se plantearon algunos puntos para la identificación de oportunidades de mejoras del sistema de secado y/o reducción del consumo específico de vapor. Sin embargo, se discutió del tema de manera general y, sin dudas, hay muchas otras oportunidades, pues cada máquina o tipo de producción, tiene su particularidad.

### Referencias:

- FAPET – Papermaking Science and Technology Books – Book 9/Drying – Chapter 9 / Dryer section ventilation and heat recovery.
- Optimizing Steam Use in the dryer Section – Jim Nastrom / Mike Soucy – Kadant Johnson Canada.
- Ganhos de Produção através de Melhorias e Otimizações no Sistema de Vapor e condensado – Apresentação Giovani G. Bezerra - 4º Seminário sobre secagem de vapor e condensado – evento ABTCP.
- TAPPI – Recommended minimum dryer pocket air requirements - TIP 0404-17.
- TAPPI – Dryer section performance monitoring - TIP 0404-33.
- Hood Balance Survey – Joel Calson – Albany International.

### Perfil del autor:

Sérgio Luiz Pereira es Técnico en Celulosa y Papel por el SENAI (Telêmaco Borba/PR), graduado en Ingeniería Química por la FURB (Blumenau/SC), con Posgrado en Procesos Textiles por el SENAI/UFSC (Blumenau/SC). Ha comenzado sus actividades en la PCC – actual Klabin, en Correia Pinto. Trabaja hace 16 años en Albany International, donde actualmente es Coordinador de Productos – Telas Secadoras.