



■ Oportunidades de reducción en el consumo de energía a través de la optimización del sistema de vacío

Las bombas de vacío pueden considerarse como siendo uno de los equipamientos más robustos utilizados en las máquinas de papel. Pueden pasar años sin verificaciones y operan aún bajo altas temperaturas de agua de sellado, lo que ocasionalmente puede presentar dudosa calidad. Sin embargo, permanecen generando un diferencial de presión, que llamamos vacío, aunque en condiciones muy distantes de las recomendadas por los fabricantes.

Por este motivo, las bombas de vacío suelen ser rezagadas cuando se trata del mantenimiento y de auditorías regulares para verificar su funcionamiento.

Podemos pensar que, por estar produciendo dentro de los estándares solicitados, con calidad, no es necesario hacer nada respecto a las optimizaciones en el sistema de vacío. Todo lo contrario: este es el mejor momento para realizarlas auditorías a fin de identificar los cuellos de botella del sistema, que servirán de base para reducir el consumo de energía sin perder la producción.

El vigésimo sexto presidente de los Estados Unidos, Theodore Roosevelt, dijo una vez: *"Do what you can with what you have, where you are"* que; en traducción libre, significa: "Haga lo que pueda con lo que tiene, donde esté". Podemos aplicar este concepto a las optimizaciones que pueden realizarse en los sistemas de vacío de cualquier máquina de papel. Según Humbert Koefler [1], de Andritz, "Las facturas de energía pueden reducirse en un 10%, sin ninguna inversión".

Consumo de energía en las máquinas de papel

La generación de vacío representa, típicamente en una máquina de papel, uno de los mayores sistemas, capaz de presentar entre 400 y 6.000 kW de potencia instalada de motores para su operación.

En números genéricos, del consumo total de energía de la sección de formación, entre el 30 y el 40% se consumen por el sistema de vacío. En el prensado, este número baja para unos 20%. De cualquier forma, es importante observar que pequeñas acciones para reducir el consumo de energía en estas secciones pueden generar impactos significativos en los costos de operación de las máquinas de papel en general.

A continuación demostraremos qué tipo de trabajo necesitamos implementar para asegurar una reducción en el consumo de energía, sin perjudicar la producción de papel o de celulosa.

Auditorías de vacío

Los trabajos de auditoría de vacío realizados por Albany International pueden tener varios objetivos, entre ellos: aumentar la producción, reducir el consumo de agua, redistribuir el sistema de vacío, adecuar para reformas y también reducir el consumo de energía eléctrica.

La auditoría se divide en las siguientes mediciones:

- Rotación de las bombas de vacío;
- Temperatura de las bombas de vacío y del agua de sellado;
- Niveles de vacío en las bombas de vacío y en los elementos, tales como cajas y rollos de succión;
- Casos de estudio.

Rotación de las bombas de vacío

Todas las bombas de vacío tienen curvas de dimensionamiento, donde se puede relacionar el nivel de vacío de trabajo con la rotación del rotor, el volumen de aire generado en la succión y la potencia requerida del motor.

La figura 1 muestra una curva típica de bomba de vacío. El aspecto general de la curva puede variar, sin embargo las informaciones son básicamente las mismas. Por ejemplo: si obtenemos un valor de 260 rpm en el rotor de la bomba, con un nivel de vacío de 10 inHg (3,45 mca), tendremos un caudal de aire de aproximadamente 21.000 CFM.

Comparativos entre la norma TAPPI y el mercado pueden indicar que, en la posición utilizada, el caudal necesario sería de 17.000 CFM. En este caso, podríamos reducir la rotación de la bomba de vacío para alcanzar este valor.

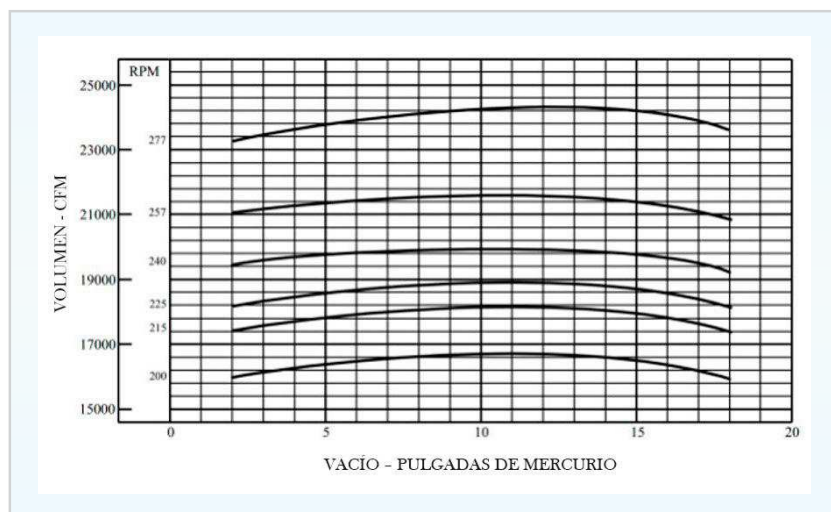


Figura 1: Curva de bomba de vacío típica, caudal, nivel de vacío y rotación.

Utilizando la figura 2 para dimensionar los motores, observamos que, para operar con 260 rpm, el motor necesita aproximadamente 600 HP (441,3 kW). Ya para operar en 210 rpm, el motor necesita menos de 400 HP (294,2 kW) para operar en el caudal de 17.000 CFM mencionado anteriormente.

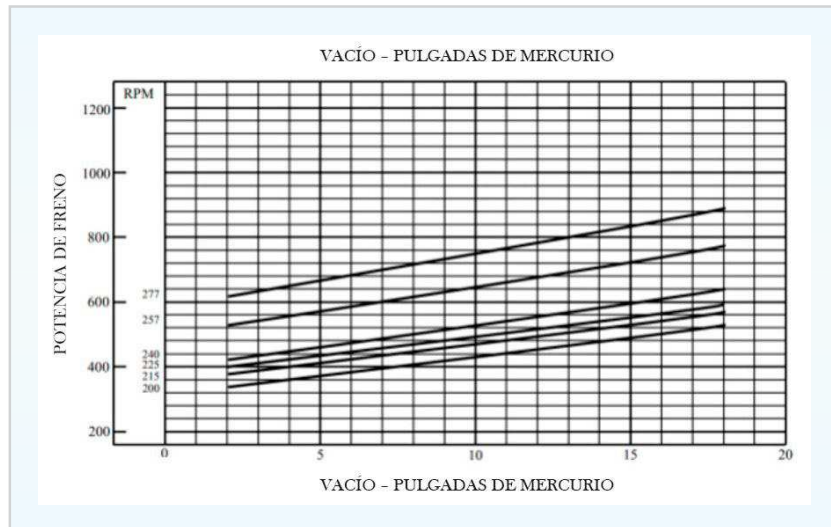


Figura 2: Curva de bomba de vacío típica, potencia del motor, nivel de vacío y rotación.

Apenas para facilitar los cálculos, consideremos que la potencia nominal sea igual a la consumida, que el equipamiento opere 350 días por año y que el costo del kWh sea de 0,50 R\$/kWh.

Motor de 600 HP (441,3 kW)

$$\text{consumo anual} = 441,3 \text{ kW} \times 24 \frac{\text{h}}{\text{dia}} \times 350 \frac{\text{dias}}{\text{ano}} \times 0,50 \frac{\text{R\$}}{\text{kWh}}$$

$$\text{consumo anual} = \text{R\$ } 1.853.460,00$$

Motor de 400 HP (294,2 kW)

$$\text{consumo anual} = 294,2 \text{ kW} \times 24 \frac{\text{h}}{\text{dia}} \times 350 \frac{\text{dias}}{\text{ano}} \times 0,50 \frac{\text{R\$}}{\text{kWh}}$$

$$\text{consumo anual} = \text{R\$ } 1.235.640,00$$

La diferencia en reales entre la primera situación y la segunda es de R\$ 617.820,00 anuales en ahorro de energía.

En este caso hipotético, se reemplazó un motor más potente por otro menos potente. Sin embargo, resultados similares pueden obtenerse con la instalación de inversores de frecuencia, cambio de reductores y ajuste de poleas en las bombas de vacío que operan con este tipo de sistema.

En más del 90% de los casos, los accionamientos de las bombas de vacío se sobredimensionan, creando la oportunidad de ganar con la reducción del consumo de energía, reduciendo la rotación de las bombas de vacío.

Temperatura de las bombas de vacío y del agua de sellado

Durante las auditorías de vacío se miden las temperaturas en cuatro puntos de la bomba: en

la entrada, en la salida, en el casco y en las líneas de agua de sellado. El objetivo de estas mediciones es rastrear los desequilibrios que puedan comprometer el correcto funcionamiento de las bombas. Con los valores obtenidos en la salida de la bomba y en la línea de agua de sellado es posible saber si la cantidad de agua utilizada es la adecuada para asegurar la eficiencia máxima del equipamiento.

En la figura 3, podemos visualizar una tabla con los valores de temperatura registrados en una auditoría de vacío

entrada	salida	casco	agua del sellado	salida agua del
oC	oC	oC	oC	oC
28,5	36,6	33,2	27,4	9,2
29,5	34,4	33,8	27,2	7,2
27,7	34,8	33,9	27,6	7,2
27,7	35,3	33,9	27,5	7,8
47,4	59,5	50,5	27,6	31,9
38,1	58,1	51,6	29,8	28,3
49,1	52,4	45,9	27,9	24,5
49,0	51,5	42,8	27,9	23,6

Figura 3: Datos de temperatura de bombas de vacío.

El resultado de la sustracción de la temperatura de salida por la temperatura del agua de sellado deberá ubicarse entre 8 y 16°C. Caso sea inferior a 8°C, significa que el flujo de agua está por encima de lo recomendado. Además del desperdicio de agua, puede causar pérdida de eficiencia de la bomba de vacío, aumento de la corriente del motor y desgaste precoz del equipamiento. Si el resultado es mayor que 16°C, significa que el caudal de agua está por debajo de lo recomendado, también causando pérdida de eficiencia de la bomba de vacío.

En las dos situaciones relatadas, se concluye que la cantidad de energía usada para operar una bomba con caudal de agua adecuado y, por lo tanto, alta eficiencia, es la misma – sino es menor – que la consumida por una bomba operando con baja eficiencia. Es decir: el costo por tonelada de papel o celulosa producido será inexorablemente más alto en el caso de descontrol de caudal de agua de sellado.

En la tabla a continuación, se construyó un simple comparativo de escenarios. En el primero, la diferencia de temperatura entre la salida y el agua de sellado está dentro de la franja recomendada de 8 a 16°C, indicando el caudal de agua de sellado adecuado para asegurar un funcionamiento eficiente del equipamiento. Ya en segundo escenario, el resultado de la sustracción se encuentra fuera de la franja.

Escenario A		Escenario B
CAUDAL ADECUADO		CAUDAL INADECUADO
CONSUMO DE ENERGÍA	=	CONSUMO DE ENERGÍA
ESTABILIDAD DE MÁQUINA	>	ESTABILIDAD DE MÁQUINA
COSTO POR TONELADA	<	COSTO POR TONELADA

Otro factor importante es la temperatura del agua de sellado. Como estamos en un país tropical, normalmente las temperaturas encontradas son de alrededor de 30°C, mientras que las curvas provistas por los fabricantes se elaboraron en la temperatura de 15,5°C. Cuanto más alta la temperatura del agua de sellado, mayor será la pérdida de eficiencia de las bombas de vacío. Este fenómeno se da porque la cantidad de vapor de agua a 15,5°C es menor que a 30°C. Como el vapor también es un gas, "roba" la capacidad volumétrica de la bomba, reduciendo su eficiencia como podemos ver en el diagrama y en el gráfico presentado a continuación.

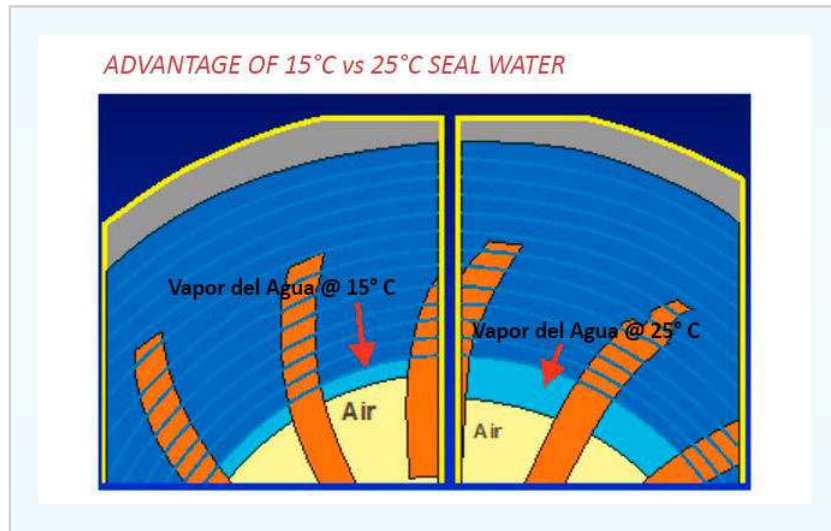


Figura 4: Efecto de la temperatura del agua de sellado en el interior de una bomba de vacío.

En la figura 5, se puede calcular la pérdida de eficiencia para varias temperaturas de agua de sellado. Vamos a utilizar el ejemplo ilustrado por las líneas azules presentadas en el gráfico. A 80°F (26,6°C), el factor de corrección es de 0,96, es decir, pérdida del 4% de eficiencia. A 110°F (43,3°C), el factor pasa a ser de 0,88; es decir, el 12% de pérdida de eficiencia, sin incluir la edad, pérdida de carga o pérdidas en las líneas.

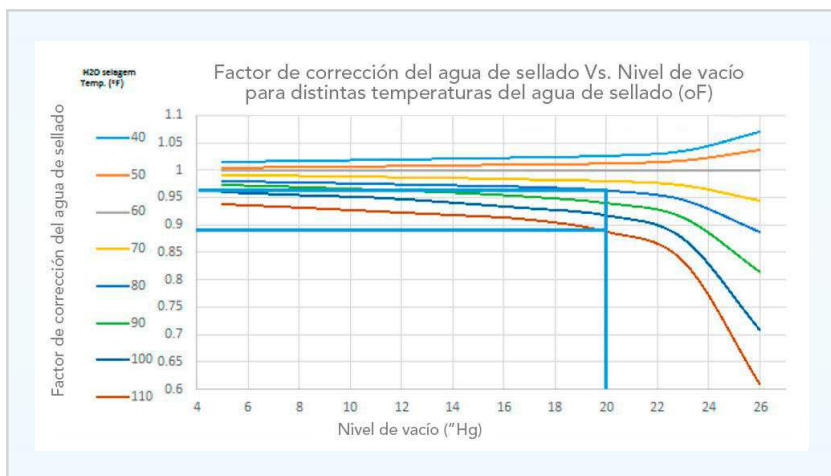


Figura 5: Factores de corrección para distintas temperaturas de agua de sellado.

Existe también una relación entre la temperatura del agua de sellado y el consumo de energía de los motores de las bombas de vacío, que puede ser fácilmente observada en la figura 6.

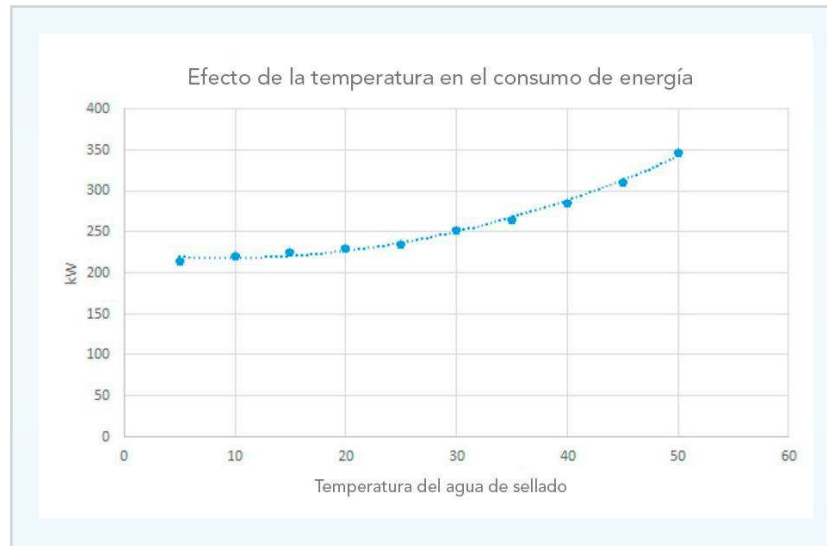


Figura 6: Efecto de la temperatura del agua de sellado en el consumo de energía de las bombas de vacío.

Para temperaturas inferiores a 30°C, se observa poca alteración en el consumo de energía. Sin embargo, después de este valor, las diferencias se vuelven expresivas. A 30°C, la potencia requerida es de 250 kW, ya a 40°C, este valor se aproxima de 280 kW, un aumento del 11%.

En síntesis: cuanto más baja la temperatura del agua de sellado, más eficiente será la bomba de vacío y menos energía eléctrica será consumida para la misma producción de papel o de celulosa.

Niveles de vacío

Es muy recomendable que las piernas de las bombas de vacío contengan vaciómetros de fácil lectura y acceso para los operadores, o puntos de toma de vacío, con el objetivo de accionar rápidamente en caso de problemas. Sin querer ser reiterativo, una bomba que supuestamente debería generar un diferencial de vacío de 6 mca consume prácticamente la misma energía si presenta problemas y opera con 1,5 mca. Por lo tanto, la verificación de los niveles de vacío en las bombas deberá realizarse periódicamente, caso el objetivo sea mantener el consumo de energía eléctrica lo más bajo posible.

De la misma manera, los puntos de medición o vaciómetros deberán estar presentes en los elementos de desagüe, tales como: láminas de vacío, cajas de mediano vacío, cajas de alto vacío, rollos de succión y cajas de succión de los fieltros. La reducción en los valores registrados en estos puntos puede indicar alguna alteración en el sistema de vacío y contribuir para inestabilidades en la máquina de papel, por lo tanto deben ser monitoreados con atención.

La diferencia máxima aceptable entre el nivel de vacío en la bomba de vacío y cualquier elemento en la máquina de papel no podrá ser superior a 350 mmca. En este caso, algunas hipótesis pueden ser levantadas y testeadas. Las más comunes son gran pérdida de carga, provocada por mal dimensionamiento del sistema y pérdidas o restricciones en las líneas. La figura 7 ilustra este tipo de situación, donde la bomba presenta un nivel de vacío de 6,0 mca, y el rollo *couch*, apenas 4,0 mca. En este caso, el valor aceptable en el rollo debería ser de 5,65 mca

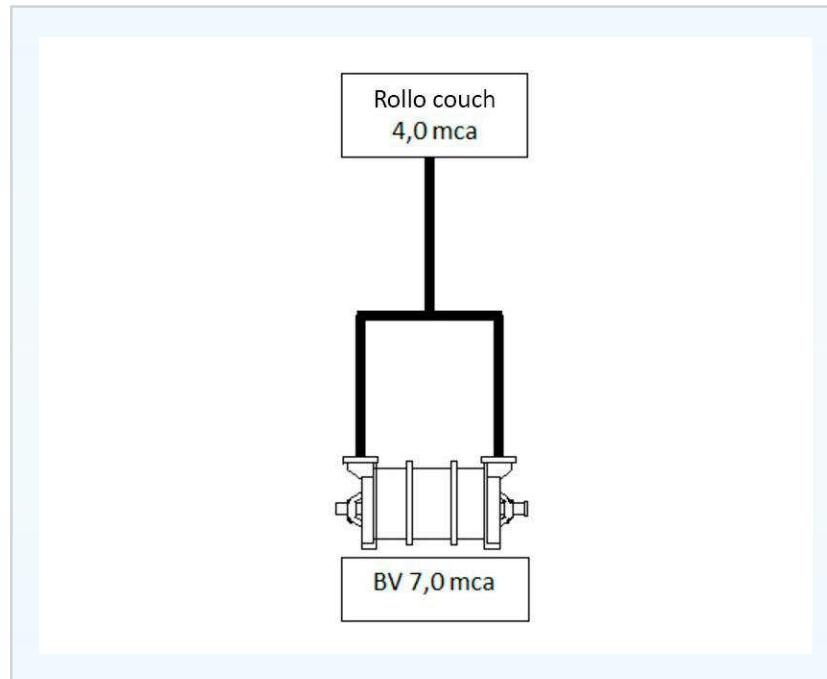
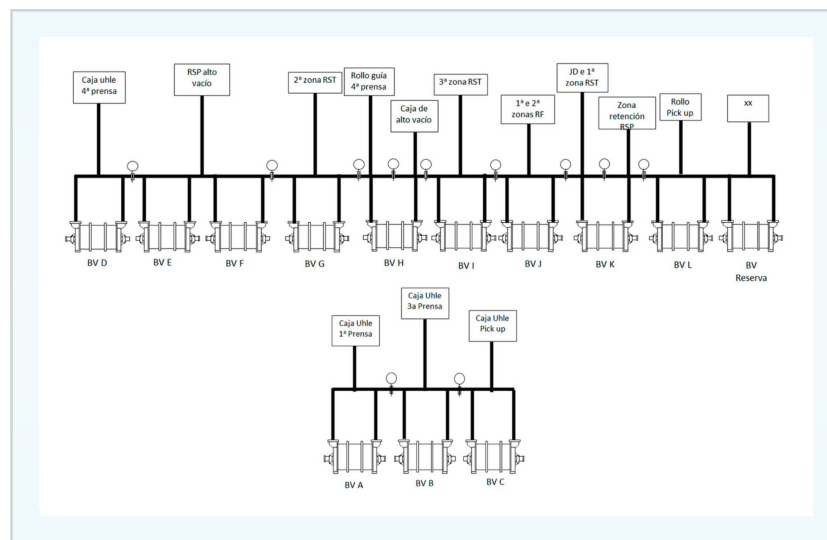


Figura 7: Diferencia entre la bomba de vacío y el punto de aplicación.

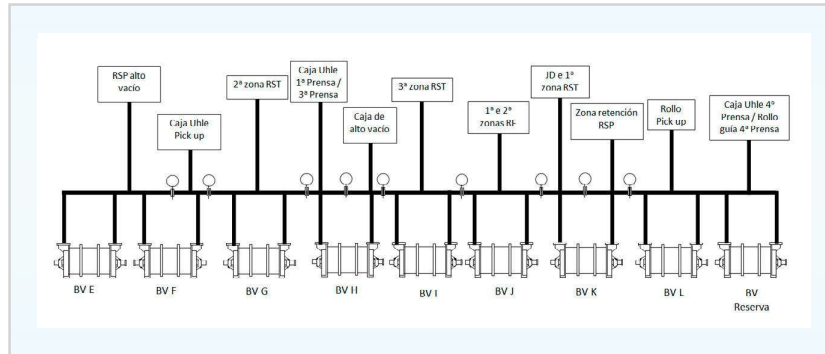
Casos de estudio

Redistribución de los sistemas de vacío de máquinas de papel con exceso de capacidad instalada.

En este primer caso, la auditoría de vacío identificó exceso de capacidad instalada en la sección de prensado. El flujograma de vacío antes de la redistribución puede observarse en el diagrama a continuación:

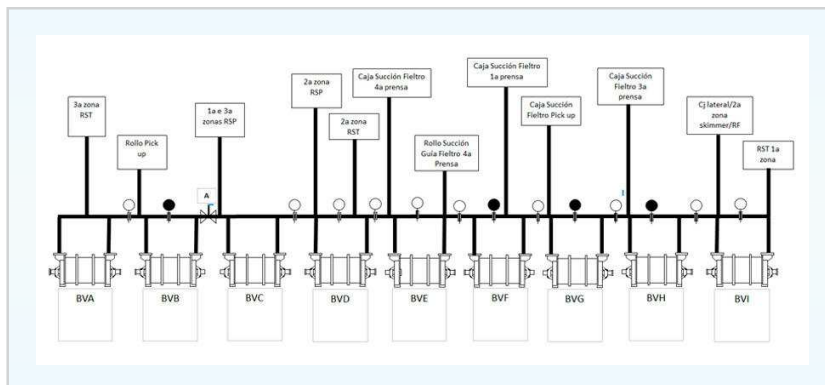


Con los resultados obtenidos, el equipo de PAG (*Process Analysis Group*), de Albany, definió junto con el cliente las bombas que podrían desconectarse y qué alteraciones en estilos de indumentarias y estrategias de condicionamiento deberían adoptarse. Con esto, surge el nuevo flujograma del sistema de vacío:

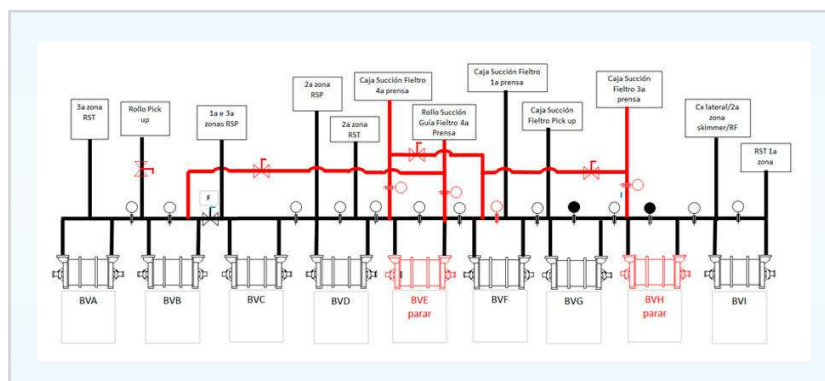


Observe que las bombas A, B y C fueron desconectadas, pues eran las más grandes de la fábrica. De tal forma, el condicionamiento de los fieltros fue redistribuido para las demás, incluso una bomba reserva, recordando que, debido a la nueva estrategia de condicionamiento, el fieltro de la 3ª prensa utiliza apenas parte del caudal de BVH. Tras la instalación, la válvula se cierra y el fieltro opera totalmente sin condicionamiento, bien como el fieltro de la 4ª prensa. La reducción en el consumo de energía fue de aproximadamente US\$ 500.000,00 anuales, sin perjudicar el funcionamiento de la máquina y la calidad del papel.]

En el segundo caso, también se identificaron algunas oportunidades de desconexión de bombas de vacío, considerando el exceso de la capacidad para algunos rollos de succión y para los fieltros utilizados. A continuación, es posible analizar el flujograma actual del sistema de vacío de la máquina de papel.



Nuevamente utilizamos los recursos del consultor de prensado de Albany, en conjunto con el cliente, para elaborar un flujograma de vacío, con la posibilidad de desconexión de, al menos, dos bombas de vacío, resultando en una reducción del consumo de energía de aproximadamente US\$ 370.000,00 anuales, según se observa a continuación:



Conclusiones

Es posible reducir el consumo de energía de las máquinas de papel con acciones rápidas y prácticamente sin inversión, en la mayoría de los casos.

Para esto, auditorías regulares en el sistema de vacío son altamente recomendables, pues permiten detectar los cuellos de botella y las oportunidades de optimización. Además, la adopción de buenas prácticas en el mantenimiento de las bombas de vacío, bien como la calidad del agua de sellado, por ejemplo, contribuye positivamente para el correcto funcionamiento de esta sección tan importante para las máquinas de papel en general.

Bibliografía

- Condicionamento de feltros. Momento Técnico Ed. 04. Freitas, Julio.
- Sistema de vácuo na seção de formação. Momento técnico Ed 23. Goss, Cesar e Leitis, Gustavo.
- Auditorias de vácuo Albany International. Moraes Jr, Volni.
- *Reducing Energy Consumption in Paper Making using Advanced Process Control and Optimisation*. Austin, Paul.
- *Determination of Vacuum Pump Operational Efficiency*. Singhal, DK.
- *Paper Machine Vacuum Systems Offer Range of Energy-Saving Opportunities for Mills*. *Pulp and Paper Magazine*. Sweet, Douglas F..
- Dicas Técnicas: Fatores que causam baixos níveis de vácuo. Nash.
- *Making with Less*. Sweet, Douglas.
- *Energy-saving solutions for the paper machine*. TAPPSA – 2010. Osara, Mikko.
- *Measuring Paper Machine Energy Performance*. Reese, Dick.
- *Vacio en las Máquinas de Papel*. Rendina, Alfredo.
- *Energy Saving Potential at Felt Conditioning*. Kokkonen, Kari.
- *Opportunities to Improve Energy Efficiency on Paper Machine*. Kumar, Vivek.

Perfil del autor:

Volni Nunes de Moraes Junior es Ingeniero Químico por la Universidade Federal de Santa Catarina UFSC, con MBA en Marketing por la FGV, Curso de Black Belt Lean Six Sigma por la M. I. Domenech Consultores y MBA en Inteligencia de Mercado por el IBRAMERC. Inició sus actividades profesionales en Santa Maria Companhia de Papel e Celulose, en 2000, y en Albany, en 2002, como Ingeniero de Servicios de Formación. Actualmente ejerce la función de Ingeniero de Servicios en la línea de Prensado y sistemas de vacío para máquinas de papel y celulosa.

indmomento_tecnico@albint.com | Um canal direto para sugestões e dúvidas.

Órgão Informativo de Albany International Brasil - Mayo de 2016 - Albany International Tecidos Técnicos Ltda. - www.albint.com - Rua Colorado, 350 CEP 89130-000 - Indaial - Santa Catarina - Brasil - Telefone: (47) 3333-7500 - Fax: (47) 3333-7666 - E-mail: indmomento_tecnico@albint.com

Expediente:

Editores: Fábio J. Kühnen, Harlei A. Erdmann - Diagramação: Studio Gama Comunicação - Revisão: Diogo F. Biehl - A redação não se responsabiliza pelos conceitos emitidos em artigos assinados. É proibida a reprodução total ou parcial de textos, fotos e ilustrações, por qualquer meio, sem autorização.