

**Cesar de A. Goss Filho**

Coordinador de Producto
Albany International
Indaial - SC - Brasil

**Felipe Zardo**

Ingeniero de Servicio Senior
Albany International
Indaial - SC - Brasil

El impacto de la carga de accionamiento en el consumo de energía y en el desgaste de la tela formadora en la máquina de papel.

Introducción

La energía es una preocupación de todo tipo de industrias, debido a su elevado impacto en el costo de producción. El segmento de papel y celulosa es el cuarto mayor consumidor de energía a nivel mundial, representando cerca del 5-6 % de la energía total utilizada en toda la industria.

En una máquina de papel, el costo de energía para la remoción de agua en la sección de formación es bajo, comparado con las otras secciones. Siendo así, es conveniente remover la mayor cantidad de agua posible en esa sección para bajar el costo de producción.

El consumo de energía eléctrica, vapor y agua son los principales factores que impactan en el costo de producción de una máquina de papel y celulosa, los cuales están altamente influenciados por las vestimentas, que en promedio representan el 2 % del costo total.

En el cuadro 1 se puede observar el costo de energía para la remoción del agua de proceso en las diferentes secciones de una máquina de papel.

Sección	% Remoción agua	Costo
Formación	95-97%	~10%
Prensado	2-4%	~12%
Secado	1%	~78%

Cuadro 1: Costo de remoción de agua por sección.

Fuente: Albany International, Seminario de Forming.

Una cantidad importante de energía se utiliza solo para superar la fricción entre las vestimentas y los elementos estáticos de la máquina de papel. La energía necesaria para mover la tela formadora es proporcional a los niveles de vacío aplicados, o sea, cuanto mayor el nivel de vacío, mayor es la fricción generada en la superficie de las cajas de succión. Esa energía se desperdicia, pues no contribuye en el proceso de la fabricación de papel.

La fricción es considerada una de las principales causas del alto consumo energético o de pérdida de energía. En una máquina de papel, se estima que entre el 15 % y el 25 % de la energía total consumida es desperdiciada para superar la fricción.

En la sección de formación, la fricción entre la tela formadora y los elementos de drenaje puede representar hasta el 80% de la carga de accionamiento. En la sección de prensado, aproximadamente el 16 % de la carga total de accionamiento está relacionada con la fricción entre los fieltros y las cajas de succión.

Los motores eléctricos utilizados para el accionamiento de los rodillos de una máquina de papel suelen demandar una alta carga y potencia instalada. Para facilitar el análisis de la carga de accionamiento, se puede aplicar una herramienta conocida como *Power Survey*.

Análisis Power Survey

Metodología de la herramienta Power Survey.

Existen dos maneras de efectuar un análisis de la carga de accionamiento de una máquina de papel. La primera es la *Normal Running Load (NRL)*, la cual se refiere a la carga real en la que el sistema está operando. La segunda es la *Transmittability*, que se refiere al análisis de capacidad de transmisión del sistema.

Nota: mantendremos algunos términos en inglés debido a las referencias y a las tablas.

Las unidades de potencia de accionamiento generalmente son calculadas en HP (1 HP = 33000 lb.ft/min) o en kW (1 kW = 6118,3 kg.m/min). Las constantes de potencia de la máquina de papel generalmente se expresan como:

- Sistema inglés en potencia por pulgada lineal de ancho de la tela por 100 pies/min de velocidad (hp/in.width/100fpm).
- Sistema métrico en kilowatt por metro lineal de ancho de la tela por 1 m/min de velocidad (kW/m/ancho/1m/min).

Este análisis aborda los siguientes conceptos: potencia real para el accionamiento de la tela (NRL actual), potencia consumida por los elementos de la máquina (NRL teórico) y la transmisibilidad de energía de los rodillos a la tela formadora.

Debido al hecho de haber sido desarrollada para máquinas tipo Fourdrinier, para las cuales existen las tablas de referencias para el cálculo teórico, esta herramienta se aplica solo a este tipo de máquina.

Normal Running Load (NRL)

Es la carga normal esperada en cada sección de la máquina, bajo condiciones normales de operación, tales como: vacío de la mesa plana, presiones de las prensas, tensión de las vestimentas, lubricación adecuada, alineación y nivelación de los rodillos, etc.

Son considerados dos tipos de NRL: el NRL Actual o Real y el NRL Teórico.

- *NRL Actual* – Es el valor basado en las lecturas de la potencia demandada por los rodillos de accionamiento en esta sección de la máquina. El valor del NRL actual deberá ser mayor que el NRL teórico, condición que indica que la operación de la máquina esta con baja carga o de acuerdo con la normalidad.

La potencia eléctrica generalmente se expresa en watts (W) o horse-power (HP). Un HP equivale a 746 W o 33000 lb.ft/min.

Un watt es la potencia producida cuando un amperio (A) de corriente fluye a través de una diferencia de potencial eléctrico de un voltio (V).

Es común evaluar la potencia del motor en HP, aunque el W sea la unidad básica de potencia eléctrica.

La NRL actual se calcula por la suma de la potencia real aplicada por los rodillos accionados de la sección de formación para dar movimiento a la tela formadora.

$$HP = \frac{V \cdot A}{746}$$

$$kW = \frac{V \cdot A}{1000}$$

Donde:

V = Voltaje (V)

A = Amperaje (A)

También se puede calcular dividiendo la potencia aplicada por el ancho y velocidad de la tela para obtener un valor específico.

$$HP = \frac{V \cdot A}{746} \div \text{Ancho Tela} \div \text{Velocidad Tela}$$

$$kW = \frac{V \cdot A}{1000} \div \text{Ancho Tela} \div \text{Velocidad Tela}$$

- *NRL Teórico – Es el cálculo teórico asociado a los factores NRL atribuidos a varios elementos de la máquina, basado en una tabla de valores estándar. Esos valores son los promedios de muchas máquinas, los cuales se obtuvieron de estudios prácticos.*

El cálculo del NRL teórico considera todos los elementos de la sección de formación, tales como: forming board, rodillo cabecero, láminas de foils, cajas de bajo y alto vacío, rodillos guías, rodillo accionado y zonas de vacío del rodillo couch.

Para cada componente y tipo de material aplicado se utilizan constantes de potencia, como se ve en el Cuadro 2.

Elementos de la Fourdrinier	Tipo de Material	Normal Running Load (NRL) Valores en hp/in/100fpm					
		Celulosa	Cartón	Kraft	Imprimir y Escribir	Periódico	Tissue
Forming Board	-	Adicionar del 10 al 15% al NRL calculado para considerar la pérdida					
Rodillo Cabecera	-	0,00100	0,00100	0,00090	0,00090	0,00080	0,00080 c/ succión 0,00170
Regla Foils (cada una)	Suave (ej.: polietileno)	0,00051	0,00048	0,00046	0,00043	0,00043	0,00042
Regla Foils (cada una)	Duro (ej.: cerámica)	0,00046	0,00044	0,00042	0,00039	0,00039	0,00039
Reglas Foils con Vacío (cada una)	Suave (ej.: polietileno)	0,00066	0,00058	0,00052	0,00047	0,00046	0,00045
Reglas Foils con Vacío (cada una)	Duro (ej.: cerámica)	0,00060	0,00055	0,00048	0,00043	0,00043	0,00042
Cajas de Succión (cada una)	Cálculo de la pérdida es $HP = 0,0015 \mu_e \times W \times V$, donde W es el ancho de la caja (in) y V es el nivel de vacío de la caja (in Hg)						
	Valores experimentales para coeficiente de fricción efectivo - μ_e						
	Polietileno	0,150 a 0,180 (promedio típico = 0,165)					
Cerámica	0,120 a 0,140 (promedio típico = 0,125)						
Rodillos Guía (cada uno)	-	0,00060	0,00050	0,00050	0,00050	0,00050	0,00040
Rodillo Accionador	-	0,00100	0,00100	0,00100	0,00100	0,00100	0,00090
Rodillo Couch	-	Cálculo de la pérdida es $HP = 0,00120 + (0,00005 \times \text{nivel de vacío de cada zona del couch})$					

Cuadro 2: Constantes de potencia de los elementos de Fourdrinier con tela formadora sintética.
Fuente: adaptado de Robert P. Derrick, Drive power requirements for Fourdrinier type formers (Cuadro 4, p. 462).

Los datos del Cuadro 2 son para máquinas con velocidad hasta 2000 fpm (610 m/min). Para mayores velocidades es necesario aumentar los requisitos de accionamiento, considerando un aumento de los valores de NRL y RDC. Para ello se utiliza un coeficiente, que depende de la velocidad de la máquina, como se ve en el Cuadro 3.

Velocidad de la Máquina		Factor de Carga	
fpm	m/min	Franja	Promedio
< 2000	< 610	1,00 a 1,05	1,025
< 2500	< 760	1,10 a 1,15	1,125
< 3000	< 915	1,15 a 1,20	1,175
< 3500	< 1070	1,20 a 1,25	1,225

Cuadro 3: Factor de carga debido a la velocidad.
Fuente: adaptado de Robert P. Derrick, Drive power requirements for Fourdrinier type formers (p. 462).

Recomended Drive Capacity (RDC)

Es la capacidad recomendada de accionamiento, que representa la energía estimada necesaria para una sección específica de la máquina, cuando esta opera con la máxima carga prevista. Esa condición de carga máxima generalmente es el resultado de un elevado nivel de vacío en las cajas de succión, alta carga o presión de las prensas, exceso de agua en los secadores y desalineaciones de rodillos, entre otras condiciones anormales.

La diferencia entre la RDC y NRL representa el margen de seguridad operacional por encima del NRL, pero no considera posibles aumentos de carga en los arranques, ni tampoco condiciones inusuales de funcionamiento, que son específicos de cada sección o de cada máquina.

La mayoría de las referencias que se ven en el Cuadro 4, son de máquinas Foudrinier con por lo menos 2,28m de ancho y están agrupadas por tipo de papel.

Papel	NRL	RDC	Observaciones		
			Suma del ancho cajas de succión - máximo (in)	Vacío cj. húmeda (in Hg)	Vacío cj. seca (in Hg)
Imprimir y Escribir	0.100	0.115	120	2	4
Kraft < 100 g/m ²	0.120	0.138	100	4	7
Kraft > 100g/m ²	0.150	0.173	120		
Tarjeta	0.150	0.173	100	5	
	0.180	0,207	120		
	0.200	0.230	150		

Cuadro 4: Constantes de potencia para máquinas Fourdrinier con ancho mínimo de 2,28 m.

Fuente: adaptado de TAPPI, TIS 0406-05-Power Requirements of Fourdrinier Machines (1963).

Transmittability

Es la capacidad de transmisión de potencia de los rodillos a la tela formadora. La transmisibilidad está afectada por los siguientes factores: ángulo de abrace de la tela formadora en los rodillos de accionamiento, tensión de la tela formadora, coeficiente de fricción entre el rodillo y la tela, vacío aplicado en el rodillo (ejemplo: couch), dureza de los rodillos y presión de *nip* (ejemplo: rodillo lumpbreaker).

La potencia máxima de transmisión calculada debe exceder la carga normal de funcionamiento actual de la sección de la máquina. Se recomienda que la capacidad máxima de trasmisión de energía sea de por lo menos 1,20 a 1,30 veces el NRL actual.

Para cada rodillo con accionamiento (couch y otros rodillos con mando) y para cada tipo de revestimiento se utilizan coeficientes de fricción (μ), como se ven en el Cuadro 5.

Material del rodillo	Tela sintética
Bronce / Acero inoxidable	0,190
Fibra de vidrio	0,240
<u>Goma</u>	
0 P&J	0,240
2 P&J	0,250
4 P&J	0,260
6 P&J	0,270
8 P&J	0,285
10 P&J	0,300
12 P&J	0,320
14 P&J	0,345
16 P&J	0,370
18 P&J	0,405

Cuadro 5: Coeficiente de fricción.

Fuente: Albany International, Power Survey-Calculations example tables

a) *Transmittability – Abrace (Wrap)*: es la cantidad de energía que puede ser transmitida por el rodillo couch y por los rodillos con mando, debido al abrace de la tela formadora alrededor del mismo

$$HP\ Wrap = \frac{T_s \cdot W \cdot S \cdot ((e^{\mu\alpha}) - 1)}{33000}$$

$$kW\ Wrap = \frac{T_s \cdot W \cdot S \cdot ((e^{\mu\alpha}) - 1)}{6118,3}$$

Donde:

T_s = Tensión de la tela (lb/in o kg/m)

e = Base de log. natural (2.718)

α = Ángulo de abrace (radianes – 1 radian = $360^\circ/2\pi = 57,3^\circ$)

W = Ancho de la tela (in o m)

S = Velocidad de la tela (fpm o m/min)

μ = Coeficiente de fricción (para el tipo de superficie del rodillo y tipo de tela)

b) *Transmittability – Vacío (Vacuum)*: es la cantidad de energía que puede ser transmitida por el rodillo couch debido a las zonas de vacío del rodillo.

$$HP\ Vacuum = \frac{0,4912 \cdot \mu \cdot V \cdot W_2 \cdot W \cdot S}{33000}$$

$$kW\ Vacuum = \frac{10^{-3} \cdot \mu \cdot V \cdot W_2 \cdot W \cdot S}{6118,3}$$

Donde:

W_2 = Ancho de la caja de vacío (in o mm)

V = Nivel de la zona de vacío (in Hg o mm H₂O)

W = Ancho de la tela (in o m)

S = Velocidad de la tela (fpm o m/min)

μ = Coeficiente de fricción (para el tipo de superficie del rodillo y tipo de tela)

0,4912 = constante de conversión de in Hg para psi

c) *Transmittability – Presión del rodillo (Nip)*: es la cantidad de energía adicional que puede ser transmitida debido a la carga del rodillo de presión. Ejemplo: Rodillo lumpbreaker sobre el rodillo couch.

$$HP\ Nip = \frac{\mu \cdot P_N \cdot W \cdot S}{33000}$$

$$kW\ Nip = \frac{\mu \cdot P_N \cdot W \cdot S}{6118,3}$$

Donde:

μ = Coeficiente de fricción (rodillo accionado donde se está investigado el deslizamiento)

P_N = Presión del rodillo (lb/in o kgf/m)

W = Ancho de la tela (in o m)

S = Velocidad de la tela (fpm o m/min)

Nota: En las fórmulas de cálculo de la transmisibilidad, se puede considerar como constante de la máquina $KM = W.S$, donde W es el ancho (in o m) y S es la velocidad (100 ft/min o m/min).

La transmisibilidad total es la suma de energía de abrace, vacío y presión de nip de los rodillos de accionamiento.

$$HP = Wrap + Vacuum + Nip$$

Conclusión

La herramienta Power Survey se utiliza para comparar la condición actual de la sección de la máquina versus la teórica, analizando la potencia real de accionamiento de la tela (NRL actual), la potencia consumida por los elementos de la máquina (NRL teórico) y la transmisibilidad de energía de los rodillos a la tela formadora.

Para realizar los cálculos teóricos del NRL y transmisibilidad de la sección de formación de la máquina de papel es necesario relevar algunas informaciones, tales como voltaje y amperaje de los motores, ancho/velocidad y tensión de la tela, ángulo de abrace de los rodillos de accionamiento, ancho y niveles de vacío de las cajas de succión, entre otras.

También se debe considerar el tipo de revestimiento, dureza y material utilizado en los rodillos y cobertura de las cajas de succión para verificar el coeficiente de fricción.

Por medio de ese análisis es posible determinar si la máquina opera con baja o alta carga y ayudarnos a identificar problemas de estabilidad y desgaste prematuro de la tela formadora debido a "micropatinado" de la tela sobre los rodillos de accionamiento.

Para garantizar que la máquina opere con normalidad, el NRL actual deberá ser mayor que el NRL teórico y la transmisibilidad de los rodillos de accionamiento debe exceder la potencia real máxima aplicada.

También es posible comparar la condición actual con las referencias estándar de NRL y RDC para cada tipo de papel y velocidad en máquinas Fourdrinier, para saber si la sección estudiada está operando dentro de los estándares normales.

Referencias bibliográficas

Albany International. Appleton wire division. Power Survey-Calculations example tables.

Dave Nalbach; Kevin Doyle. Forming section Power Survey. Albany International. 2014.

Mikael Danielsson. Paper machine clothing (forming and press) as key contributor for energy saving in paper machine part II - structural and tribology effects on energy efficiency in forming fabrics. 8thCTP/PTS Symposium on packaging design and recycling. Grenoble, March 25-26, 2014.

Peter Slater. Paper machine clothing as a key contributor for energy savings in paper and board machines. World Pulp & Paper. p. 62-66.

Robert P. Derrick. Drive power requirements for Fourdrinier type formers. Initial Report CA 4448. Simons Eastern Company. Atlanta-Geórgia. p. 465-468.

Robert P. Derrick. A method for calculating the power transmitting ability of Fourdrinier rolls. Simons Eastern Company. Atlanta-Georgia. p. 403-407.

TAPPI. TIS-0406-Power requeriments of Fourdrinier machines. Issued 1963.

Perfil de los autores:

Cesar de Araujo Goss Filho, graduado en Ingeniería Mecánica por la UFSC, con curso de especialización en Celulosa y Papel por el IPT, Posgrado en Marketing por la FURB/INPG. Inició sus actividades en 1979 en Klabin do Paraná en el área de Producción y en 1984 trabajo en Pisa, donde participó del start-up de la Máquina de Papel. En Albany empezó en 1984 como Ingeniero de Servicios en el área de Prensado y actualmente ejerce la función de Coordinador de Productos - telas formadoras.

Felipe Zardo es Ingeniero de Producción Mecánica por la UNOESC-Joaçaba/SC, Posgraduado en Tecnología de Celulosa y Papel por la UFV/MG y tiene MBA en Administración de Proyectos por la FGV-Chaçapécó/SC. Inició sus actividades en el área de papel en 2008 en la empresa Celulosa Irani-Vargem Bonita/SC como Practicante, pasando posteriormente por las funciones de Analista de Proceso (2009), Asistente de Producción de Papel (2010) e Ingeniero de Producción (2011). Ingresó en Albany International en 2017 como Ingeniero de Servicios Sênior, actuando en el área de Forming, función ejercida actualmente.

indmomento_tecnico@albint.com | Un canal directo para sugerencias y preguntas.

Órgão Informativo de Albany International Brasil - Novembro de 2021 - Albany International Tecidos Técnicos Ltda. - www.albint.com - Rua Colorado, 350 CEP 89085-148 - Indaial - Santa Catarina - Brasil - Telefone: (47) 3333-7500 - E-mail: indmomento_tecnico@albint.com

Expediente:

Editores: Célio Rodrigues, Elaine Cristina Henkels, Jackson Roberto da Gama Corrêa e Rafael Sucharski - 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.