

## **Medición por ultrasonidos - una nueva forma de controlar las máquinas de papel**

por

Gunnar Lindblad, Director de Producto para AUTOLINE® - TSO® - ISOTUNER®  
AB Lorentzen & Wettre, Kista, Suecia

### **Resumen**

Hasta ahora, las máquinas de papel se han controlado principalmente utilizando información sobre las mediciones on-line (en línea) del espesor, el gramaje y la humedad. Ahora, la medición por ultrasonidos está haciendo notar su presencia, a pesar de que, hasta ahora, sólo estaba disponible como equipo de medición off-line (fuera de línea).

La medición por ultrasonidos, o la medición TSO como la denomina Lorentzen & Wettre, ha estado disponible durante bastantes años. TSO significa “Orientación de la Rigidez bajo Tracción” y es una medida de las propiedades elásticas del papel que pueden relacionarse directamente con la procesabilidad en la máquina de papel y en los procesos de conversión subsiguientes.

El procedimiento de medición es sencillo. Se corta directamente un perfil transversal de la bobina en la máquina de papel. Un perfil transversal se hace pasar por un medidor TSO que informa sobre las cuatro propiedades principales.

Ángulo TSO - proporciona información sobre hasta qué punto está bien ajustada la caja de entrada.

TSI - Dirección de la máquina - proporciona información sobre hasta qué punto está bien ajustada la sección de prensado.

TSO - Dirección transversal - proporciona información sobre hasta qué punto está bien ajustada la sección de secado y sobre como está ajustado el devanador, y

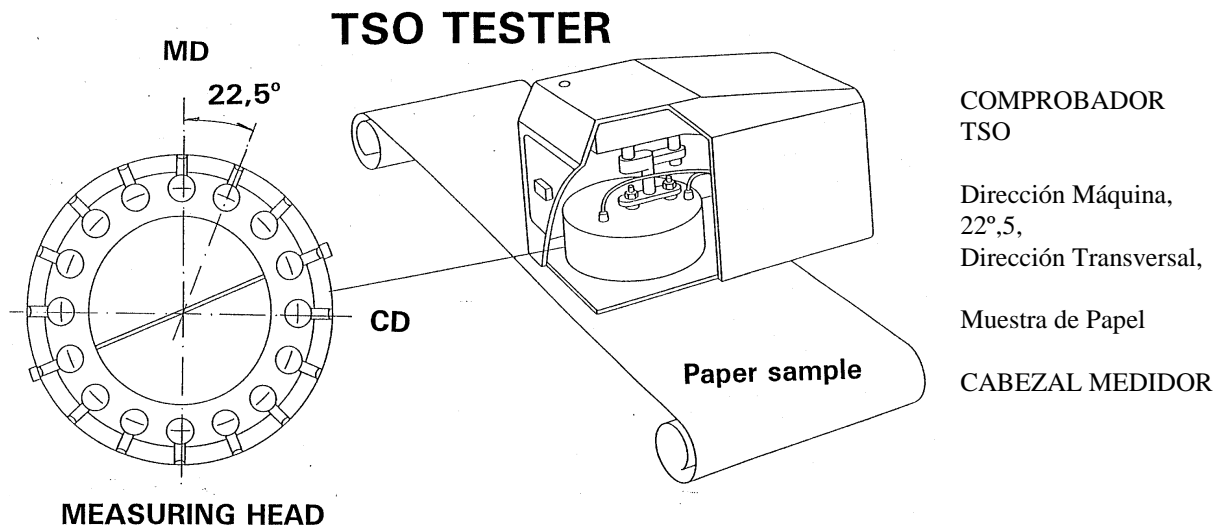
TSI Relación Dirección de la máquina/Dirección transversal - proporciona información sobre como se ajustan las condiciones de resistencia de la hoja.

Las distintas propiedades se presentan como perfiles y pueden ser comparadas directamente con las tres propiedades principales del sistema ‘On-line’. Hemos encontrado, por experiencia, los valores límite para las distintas propiedades que dan las mejores condiciones de marcha en la máquina de papel y también las mínimas variaciones posibles en la calidad del papel.

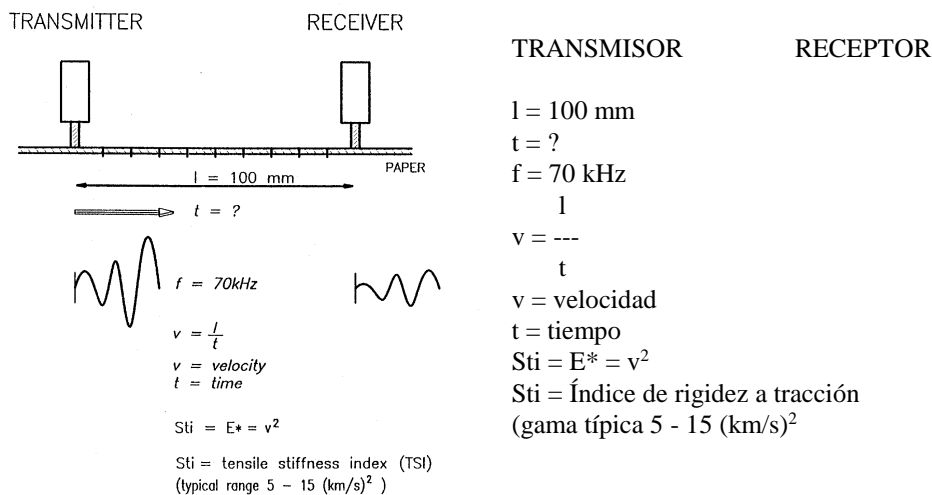
Este artículo describe en detalle la forma en que están relacionadas las distintas propiedades y cómo utilizarlas para alcanzar los mejores resultados posibles.

### **Comprobador TSO**

El comprobador TSO de L&W es en realidad un instrumento de laboratorio que puede utilizarse para optimización de procesos y para simplificar el control de calidad.



**Figura 1.** El cabezal multisensor permite medir en todas direcciones en el plano de la hoja de papel.



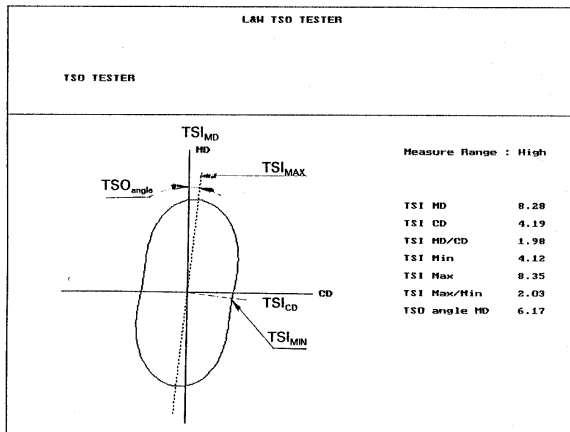
**Figura 2.** El transmisor envía un impulso ultrasónico al receptor que se propaga por el papel. La velocidad se calcula y se expresa como TSI.

Está basado en el principio de los ultrasonidos e incluye el envío de un impulso ultrasónico longitudinal, a través del papel, o sea en el plano del papel, desde un transmisor a un receptor. El instrumento de medición está provisto de un cabezal medidor que contiene 8 pares de transmisores y receptores, uniformemente distanciados sobre un círculo en el plano. La señales se convierten para describir la elasticidad en todas las direcciones del papel. La medición real necesita 5 segundos por cada posición a medir, de forma que una medición completa en una máquina de papel de 9 metros de anchura necesita 9 minutos (90 posiciones de medición). Los resultados se presentan como un informe en un rollo de papel, con el valor medio, la desviación estándar, los valores máximo y mínimo y una representación gráfica de los perfiles de las cuatro propiedades principales, que son:

- Ángulo TSO - que describe el ángulo entre la dirección de la máquina y la TSI máxima, que es la dirección de la máxima elasticidad.

- TSI en la dirección de la máquina - que describe la elasticidad en la dirección de la máquina.
- TSI en la dirección transversal - que describe la elasticidad en la dirección transversal
- Relación TSI máquina/TSI transversal - que describe la relación entre la dirección de la máquina y la transversal. Esta relación es una medida de la anisotropía, que se debe comparar con la relación entre las propiedades clásicas de resistencia, como resistencia a la tracción, rigidez al doblado, resistencia a la compresión, etc.

**POLAR ANGLE DIAGRAM**

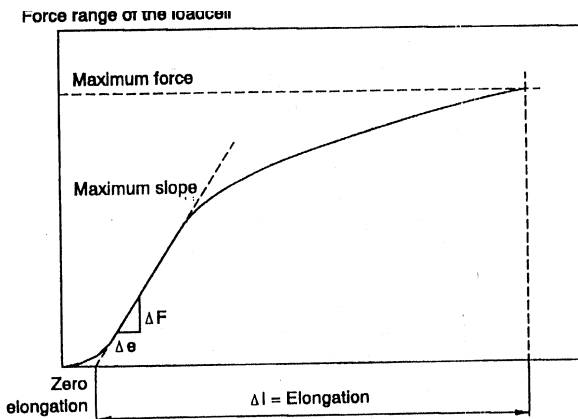


**DIAGRAMA DE ÁNGULOS POLARES**

COMPROBADOR TSO L&H  
COMPROBADOR TSO

- TSI (DM)
- TSI (MAX)
- TSO (ángulo)
- TSI (DT)
- TSI (MIN)

**Figura 3.** Las mediciones se expresan en un diagrama polar, que informa sobre las principales propiedades.



Gama de fuerzas de la célula de carga

Fuerza máxima

Pendiente máxima

Alargamiento cero

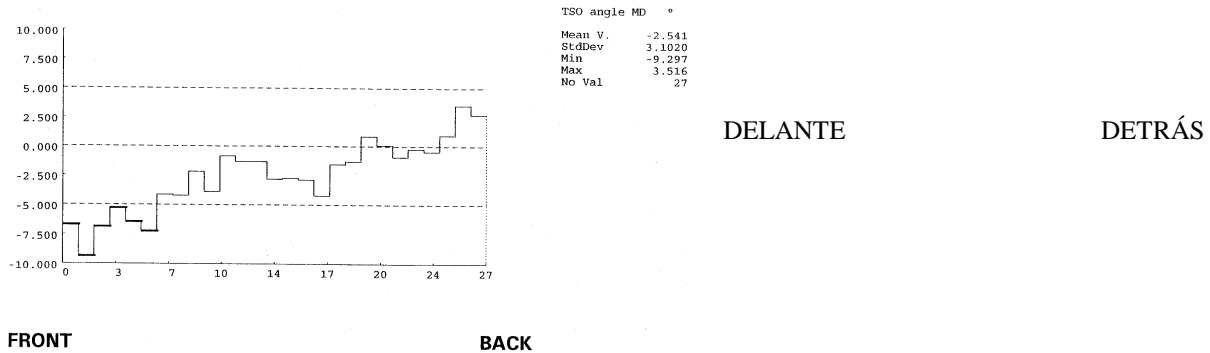
$l$  = elongación

**Figura 4.** El TSI - Índice de Rigidez a Tracción puede medirse con una máquina de ensayos de tracción y se expresa como la pendiente máxima de la curva tensión-alargamiento, o módulo de Young.

La experiencia de las fábricas que actualmente utilizan con regularidad el medidor TSO para controlar su proceso nos han proporcionado algunos valores recomendados a los que recurrir.

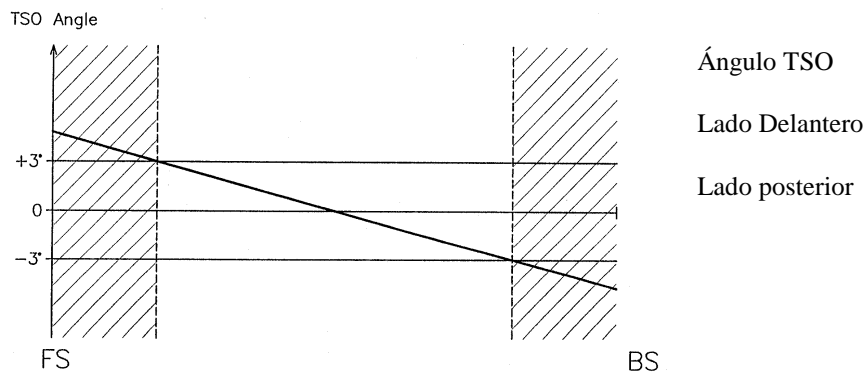
**Ángulo TSO**

El ángulo TSO nos dice si el papel tiene tendencia a rizarse/alabearse. El rizado proviene principalmente de la diferencia entre las dos caras del papel mientras que el componente de alabeo es debido a la orientación de la elasticidad.



**Figura 5.** El ángulo TSO tomado de una muestra de una máquina de papel tipo Foudrinier funcionando ‘por afluencia’. La orientación está expresada como “divergencia”

Para todas las calidades de papel, excepto quizá el papel para sacos, el valor recomendado debe estar en  $\pm 5$  grados, mientras que el valor medio debe ser aproximadamente 0 grados. Un valor medio distinto de 0 grados (tolerancia  $\pm 0,5$  grados) indica que la caja de entrada no está equilibrada correctamente.



**Figura 6.** El valor medio del ángulo TSO debe estar en los 0 grados, lo que significa que la caja de entrada de la máquina de papel está bien equilibrada. La variación debe estar dentro de  $\pm 5$  grados

Este desequilibrio puede ser debido a muchas razones, pero principalmente es debido a un ajuste incorrecto de la válvula de recirculación. Otras causas importantes para el perfecto ajuste de la caja de entrada son:

- El sistema de aproximación
- La distribución de presión en el cabezal
- La disposición de los tubos en la caja de entrada (especialmente en los bordes)
- Las condiciones de flujo cruzado (como el uso de sangraderas e inyección)
- El perfil del labio de la caja de alimentación
- El reparto de la pasta sobre la tela metálica
- La actividad de formación

Por ejemplo, para papeles de copia y láser nuestros clientes han descubierto que las exigencias son más estrictas. Los valores de +/-2,5 a 3 grados son criterios normales para la mayoría de las fábricas que producen este tipo de calidad de papel. Esto permite a los que hacen reimpresiones de formularios, etc. estar tranquilos y evitar costosas perturbaciones en el

proceso. Tampoco se originan quejas de fabricantes o usuarios de fotocopiadoras o impresoras láser.

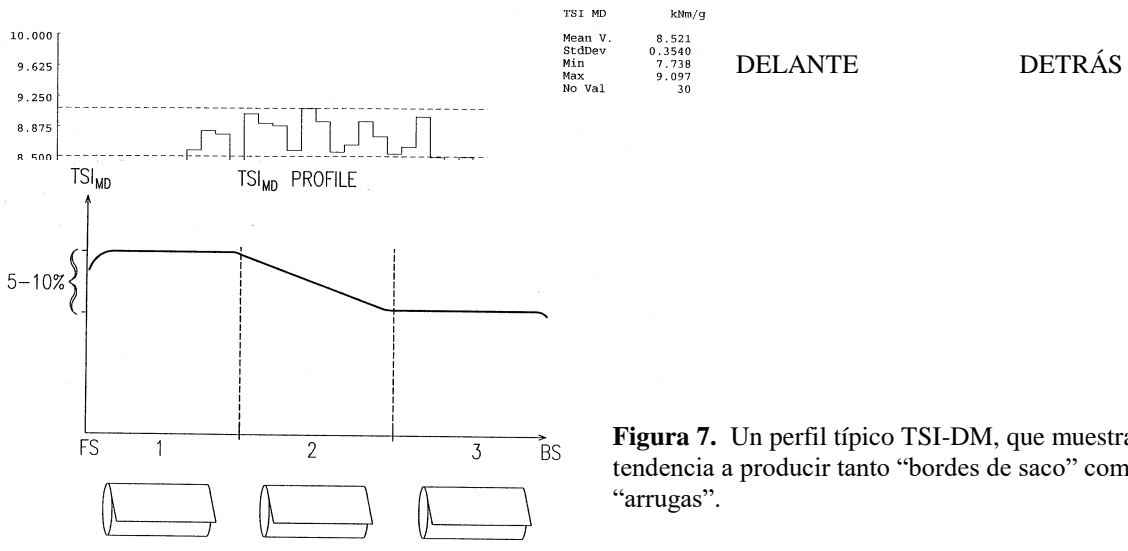
Estos criterios no pueden aplicarse directamente al papel para sacos. El papel para sacos se fabrica normalmente con un valor de la anisotropía de alrededor de 1, o sea que las propiedades de resistencia y de elasticidad son iguales en la dirección de la máquina y en la dirección transversal. Por otra parte, hemos encontrado también que merece la pena que los fabricantes de papel para sacos ajusten también sus cajas de entrada sobre la base de un papel ligeramente orientado antes de ajustar el valor de la anisotropía del papel a las cercanías de 1 o de conectar una unidad Clupack.

Es también importante mencionar que la orientación de las fibras y el ángulo TSO no son la misma cosa. El ángulo TSO o la Orientación de la Resistencia a la Tracción es una propiedad compleja en la cual la orientación de las fibras es un componente y los demás son las tensiones y alargamientos incorporados al papel. Estas tensiones y alargamientos vienen en parte de la sección de prensado y en parte de la sección de secado. Un papel recubierto o que esté de otra manera sometido a un humedecimiento después del secado real queda sometido a tensiones y alargamientos adicionales. Un papel humectado después del proceso de fabricación y al que se ha permitido secarse libremente da básicamente el mismo valor para la Orientación de la Fibra y para el ángulo TSO.

Las pruebas han mostrado que la estabilidad dimensional, o más exactamente la expansión y contracción higroscópicas, es perpendicular al ángulo TSO y no a la orientación de las fibras. Esto es otra razón para vigilar el ángulo TSO en las calidades de papel que deben dar una buena impresión en cuatricromía sin registrar problemas o en los que la poca altura de las pilas puede ser un problema.

### **TSI Dirección de la máquina**

El TSI en la dirección de la máquina o Índice de Resistencia a la Tracción en la dirección de la máquina es una propiedad que puede relacionarse directamente a muchos de los problemas de procesabilidad que tienen lugar hoy día en las máquinas de papel y en las conversiones subsiguientes.



**Figura 7.** Un perfil típico TSI-DM, que muestra la tendencia a producir tanto “bordes de saco” como “arrugas”.

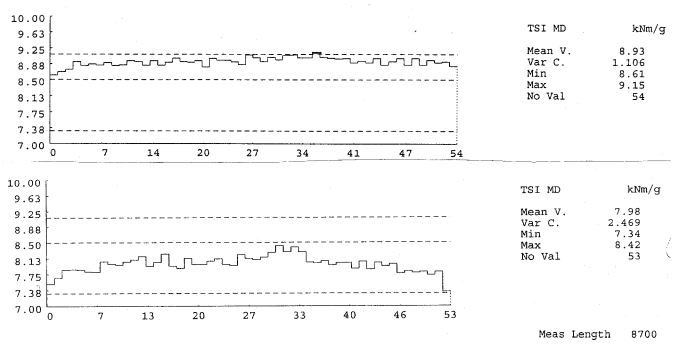
El perfil real debe ser lo más plano posible. Ésto nos da una elasticidad uniforme a lo ancho de toda la máquina. Las variaciones permisibles están entre el 5% y el 10% según la clase de papel.

TSI (DM)  
 PERFIL DEL TSI (DM)

LADO DELANTERO  
 LADO POSTERIOR

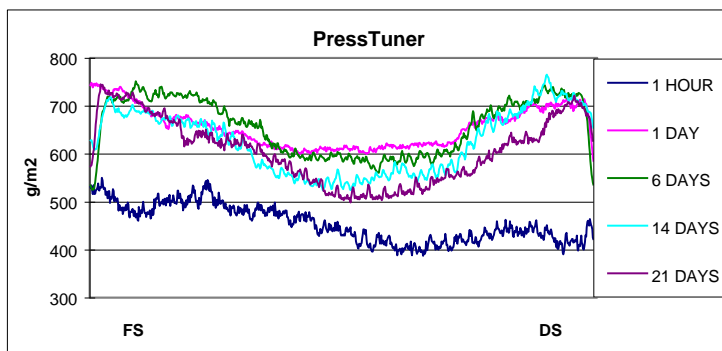
**Figura 8.** La variación de los valores del TSI-DM deben mantenerse dentro del 5-10%

Un papel fuertemente orientado, tal como el papel para periódicos, debe estar dentro de la zona más baja de variación de forma que se eviten bordes largos, averías de las telas en la máquina de papel y en la máquina de imprimir, arrugas, formación de pliegues, etc.



**Figura 9.** El perfil de la parte superior muestra una rotativa funcionando en el modo Arrastre y en la parte inferior una rotativa funcionando ‘por afluencia’. La máquina en Arrastre muestra variaciones mucho menores y no tiene problemas de “frenadas en la sala de prensas” ni de “arrugas”.

Comparándolo con papel de forrado o corrugado, por ejemplo, en los que las propiedades de compresión son importantes, podemos relacionar el TSI en la dirección de la máquina con la SCT en la dirección de la máquina (resistencia a la compresión de una tira) y con la CMT (Prueba de Medios Concora). Debido a la gran dispersión de resultados respecto a los métodos clásicos de medición y también a las perturbaciones en el método actual de medida, que son más difíciles de describir, la comparación entre el TSI en la dirección de la máquina y la CMT es, con frecuencia, cuestionada. Deseamos afirmar que el valor del TSI da una información mejor y más exacta sobre la forma en que el papel se comportará en la caja terminada de cartón corrugado que la dada por lo que nos dicen las propiedades más establecidas. El futuro mostrará el camino que seguiremos para obtener una información más rápida y creíble y un papel de mejor calidad.

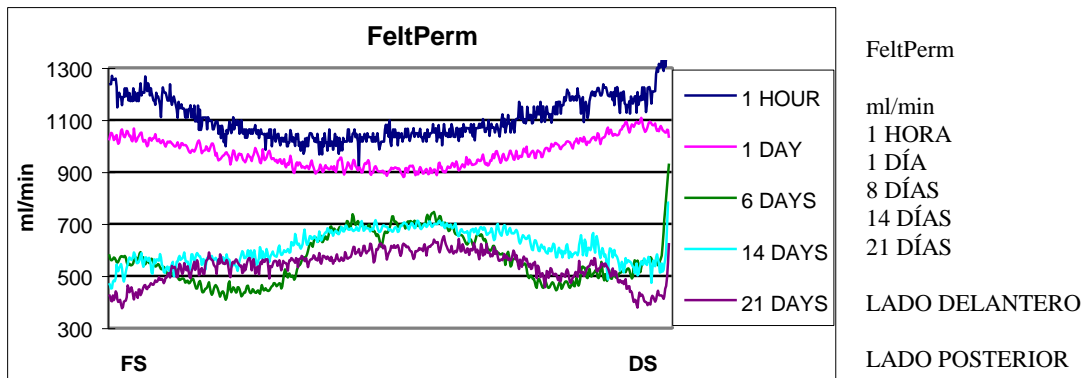


PressTuner  
 g/m<sup>2</sup> 1 HORA, 1 DÍA, 8 DÍAS, 14 DÍAS, 21 DÍAS  
 LADO DELANTERO LADO POSTERIOR

**Figura 10.** Mediciones de un PressTuner en el fieltro de un máquina hechas en varias ocasiones

Para poder mejorar el perfil del TSI en la dirección de la máquina es importante que la sección de prensa esté bien ajustada y que los fieltros de la prensa estén en buen estado. Todos los técnicos de servicio de los suministradores de fieltros están actualmente provistos de un PressTuner Scanpro o un JetMem de L&W para comprobar la eliminación de agua en la sección de prensado.

La información de estos medidores Scanpro es importante para optimizar la sección de prensado y el perfil TSI en la dirección de la máquina. El medidor mide el contenido de agua en el fieltro y, con esta información, puede indicar lo bien que está eliminando el agua la sección de prensado, cómo funcionan las cajas de aspiración y si el rodillo de prensado tiene el bombeado correcto. Otra ayuda que se está volviendo cada vez más común es el FeltPerm Scanpro de L&W.



**Figura 11.** Perfiles típicos tomados con un FeltPerm SCANPRO de L&W que muestra las diferencias entre el filtro nuevo y cuando empieza a obturarse y necesita limpieza.

Este medidor está basado en el principio de la permeancia al agua, en el que agua se pulveriza bajo una presión conocida en una tobera de un diámetro determinado a través del fieltro de la prensa. Por este medio podemos calcular la permeabilidad del fieltro y también ver si está obturado o está en buenas condiciones.

Los factores que afectan el perfil del TSI en la dirección de la máquina son:

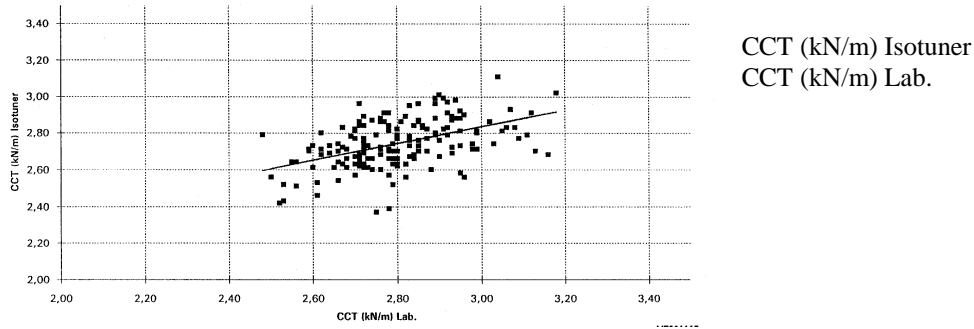
- El refinado
- El estiraje entre las distintas secciones de la prensa
- El estado de las cajas de aspiración
- La eliminación de agua en las secciones de prensado
- El estado del fieltro
- La presión lineal en la prensa
- El ángulo TSO

### **TSI en dirección transversal**

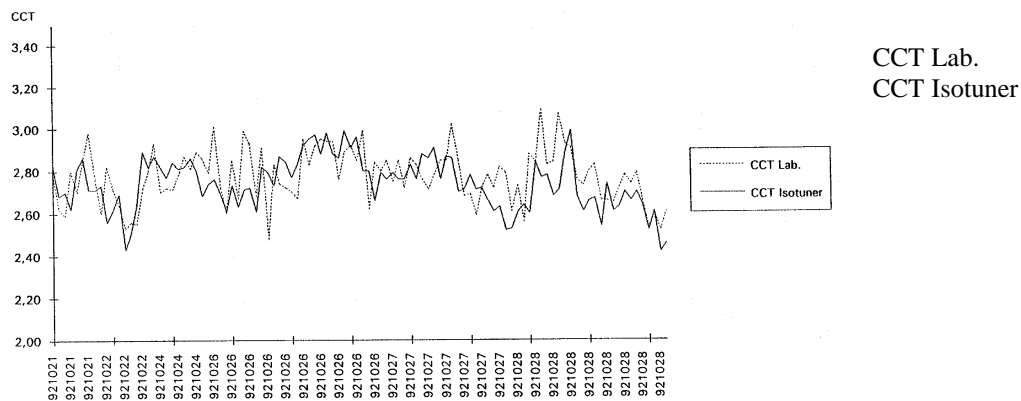
El TSI o Índice de Resistencia a la Tracción en dirección transversal puede relacionarse directamente con las exigencias sobre el papel en cuanto a su resistencia en dirección transversal y también con su contracción/expansión transversalmente a la máquina.





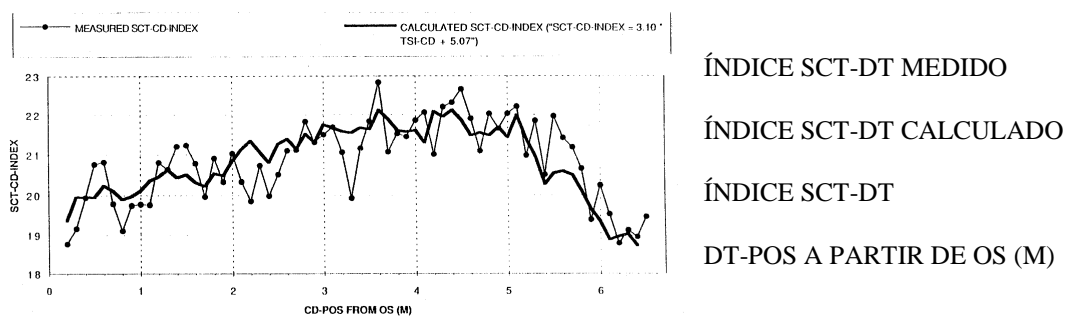


**Figura 14.** La correlación entre el CCT calculado y el CCT medido (CCT = Ensayo de Trituración Concora, puede medirse también como RCT o SCT). El CCT calculado está relacionado con el TSI-DT y el Peso de Base.



**Figura 15.** Variaciones a largo plazo de los valores del CCT medidos y calculados.

Los factores que gobiernan el nivel y la apariencia del perfil del TSI en dirección transversal incluyen la diferencia de velocidad entre el chorro y la tela metálica. Además, el refinado afecta la forma del perfil. Ésto, junto con la posibilidad de afectar el arrastre transversal en la sección de secado, hace posible controlar la contracción en el sentido transversal. Ésto es importante porque la contracción afecta la forma del perfil del TSI en dirección transversal.



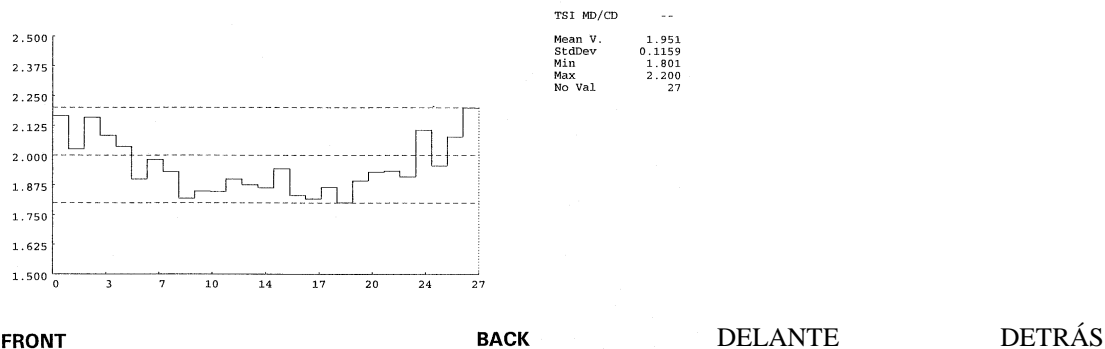
**Figura 16.** Comparación entre el SCT-DT medido y calculado a partir del TSI-DT y el Peso de Base. El SCT puede variar hasta un 20-25% dentro de una bobina entera de la máquina.

Los factores que afectan directamente el perfil del TSI en dirección transversal son:

- La sección de secado
- El refinado
- El arrastre en la dirección de la máquina
- El arrastre en la dirección transversal
- La diferencia de velocidades entre la velocidad del chorro y la velocidad de la tela metálica.

### Anisotropía del TSI en dirección transversal

La relación de los TSI en la dirección de la máquina y en la transversal o la relación del índice de Resistencia a la Tracción - Rigidez, se controla por la diferencia entre la velocidad del chorro y la velocidad de la tela metálica.



**Figura 17.** Un perfil típico de la relación TSI-DM/DT

Esta relación se conoce desde hace mucho tiempo. Se sabe también que la mejor formación y la mínima tendencia al rizado se consigue en el estado de equilibrio, que es cuando la diferencia de velocidades es 0. Pero hacer funcionar una máquina de papel en esta situación es muy difícil y se hacen esfuerzos para funcionar con una diferencia de velocidad, positiva o negativa, lo más cercana a la posición de equilibrio. Se puede mencionar también que la relación de velocidades chorro/tela metálica que el sistema de control de la máquina de papel especifica no es la verdad completa. La velocidad del chorro se calcula normalmente utilizando las variaciones de presión como punto de arranque. Una forma muy fiable de determinar la posición de equilibrio es medir la anchura de la hoja continua, que es mayor en la posición de equilibrio.

Hemos encontrado los valores recomendados siguientes para la relación del TSI dirección máquina/transversal y para distintas calidades de papel:

Papel de copiado y láser	1,8-2,3
Papel de impresión rodillo a rodillo	2,3-2,7
Papel para periódicos	3,0-5,5
Forro (relacionado a la resistencia)	2,0-2,5
Forro (relacionado al reventamiento)	3,0-3,5
Cartón	2,0-2,5
Papel para sacos	1,0-1,3

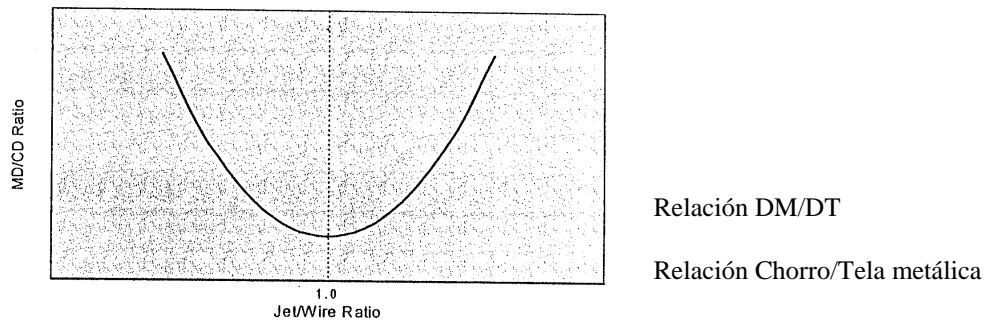
La variación en estos valores está relacionada con la magnitud de las variaciones permitidas en los perfiles de los componentes. Si ambos TSI, en la dirección de la máquina y en la

Pruebas Ultrasónicas - Una nueva forma de controlar la máquina de papel

G.Lindblad - AB LORENTZEN & WETTRE, Kista, Suecia

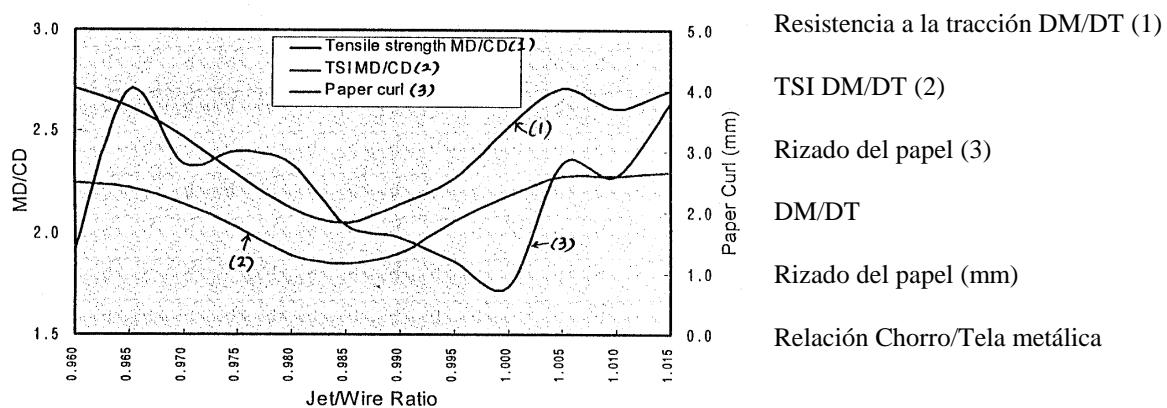
02/10/2018

transversal están en la zona superior, ésto produce inmediatamente una gran variación en la anisotropía.



**Figura 18.** La correlación entre la relación chorro/tela metálica (Afluencia/Avance) y la relación TSI-DM/DT.

Se han hecho comparaciones en las que se han obtenido valores para la relación de los TSI en la dirección de la máquina y en la transversal, la relación de la Resistencia a la Tracción en la dirección de la máquina y en la transversal y el rizado en función de la diferencia de velocidad. Ésto se ha hecho para papel de copiado, entre otros, en una máquina de papel Valmet. El rizado más bajo apareció en la posición de equilibrio, mientras que las relaciones más bajas del TSI y de la Resistencia a la Tracción se encontraron con una diferencia de velocidad negativa.



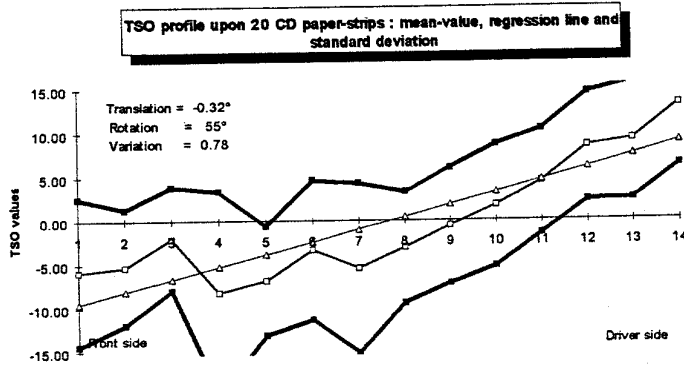
**Figura 19.** La comparación entre TSI-DM/DT, la relación entre la Resistencia a la Tracción DM/DT y la tendencia al rizado respecto a la relación Chorro/Tela metálica.

### Procedimiento para optimizar una máquina de papel utilizando la medición ultrasónica del TSO

La primera cosa a hacer es comprobar que la máquina esté correctamente ajustada en cuanto a paralelismo, nivel, caudal de vacío, variaciones de velocidad, concentración de la pasta, estado del fieltro y de la tela metálica, etc.

Cuando intentamos empezar con la caja de entrada, debemos anotar también los parámetros de marcha utilizados. También puede ser interesante medir la velocidad del chorro, ya que ésta normalmente se calcula por medio del sistema de control de la máquina.

Se toman muestras transversales de 10 o 20 posiciones en el rodillo de la máquina y se ensayan en el aparato TSO. El número relativamente grande de muestras es necesario para poder observar si hay alguna variación en la dirección de la máquina que afecte el ángulo TSO. Cuando las mediciones se han efectuado, los resultados se transfieren a una hoja de cálculo (p.ej. EXCEL) para permitir el cálculo de la pendiente media de todos los perfiles en la serie de medidas (traslación) y del ángulo en que están localizados.



Perfiles TSO sobre 20 tiras DT de papel: valor medio, recta de regresión y desviación estándar

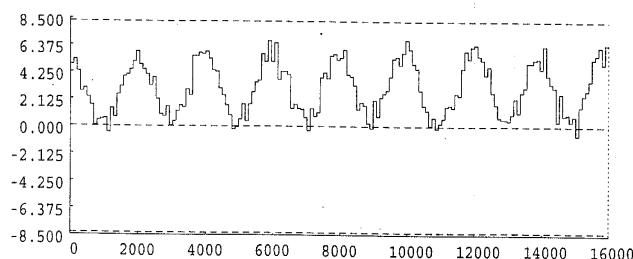
Traslación  
Rotación  
Variación

Valores de TSO

Lado delantero  
Lado de accionamiento

**Figura 20.** Cuando se han sumado los 20 perfiles y se ha calculado el valor medio junto con la variación dentro de todos los perfiles, es posible establecer que clase de acciones hay que tomar para resolver los problemas de la caja de entrada.

También podemos observar si la variación en la dirección de la máquina es mayor o menor que en la dirección transversal. Para obtener la frecuencia y el aspecto de cualquier variación en la dirección de la máquina, se toma una cinta de prueba en la dirección de la máquina. Esta cinta puede ser de la misma longitud o más larga que la tela metálica.



TSO angle MD °

Mean V.	3.004
Var C.	67.2740
Min	-0.703
Max	6.797
No Val	164

Ángulo TSO DM

Media

3,004

Variación

67,2740

Mínimo

-0,703

Máximo

6,797

No. de valores

164

**Figura 21.** Una muestra tomada en la dirección de la máquina, mostrando la variación con una frecuencia específica. Estas variaciones están relacionadas a un sacudidor incorporado en la mesa de formación para conseguir una formación mejor.

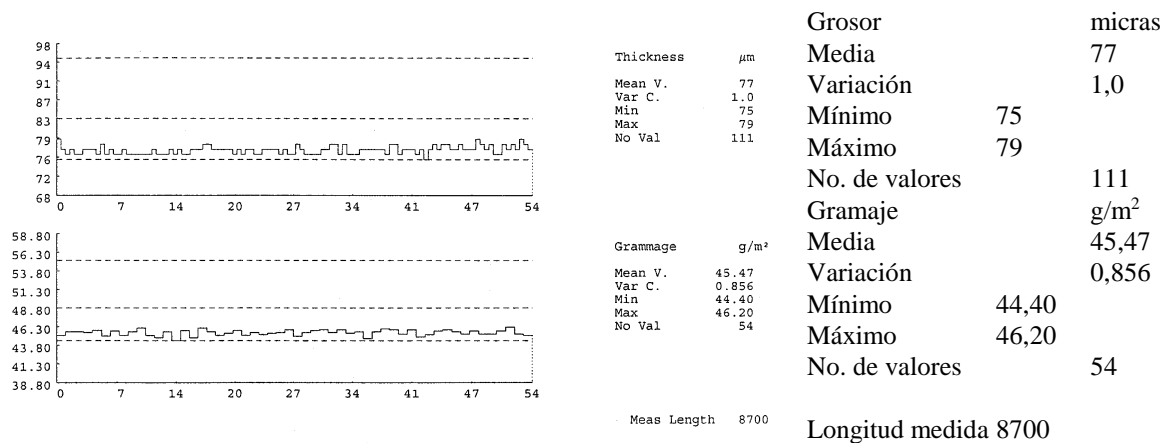
Después de haberla pasado por el medidor TSO, podemos analizar los resultados y, posiblemente, encontrar el origen de la variación. Es muy corriente que un desequilibrio en la caja de entrada de origen a una variación en la dirección de la máquina. Otras causas son las pulsaciones que tienen lugar antes de la caja de entrada o las vibraciones mecánicas en cualquiera de los rodillos de la máquina de papel.

Cuando hayamos determinado las acciones a tomar para ajustar la caja de entrada, ésta se ajusta y se repite el ensayo hasta que hayamos alcanzado los mejores resultados posibles.

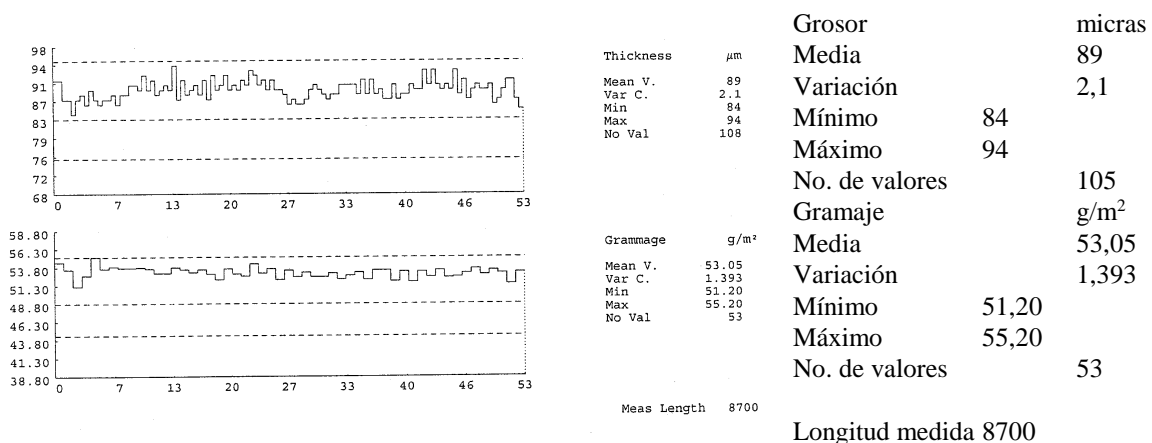
Cuando la caja de entrada esté ajustada satisfactoriamente, es el momento de seguir hacia la máquina de papel. El tablero de formación y la pieza metálica serán la parada siguiente, pero deberían haberse solucionado antes de ajustar la caja de entrada, porque la sección húmeda afecta al resultado final.

Después viene la sección de prensado. Debemos hacer las mediciones utilizando el medidor de humedad Scanpro, el PressTuner SCANPRO de L&W, para averiguar si todo está como es debido. Debe utilizarse también un FeltPerm Scanpro de L&W para medir la permeabilidad al agua, ya que un fieltro obturado no puede eliminar toda el agua necesaria. Deben comprobarse la distribución de la presión en la línea de tangencia del rodillo, de la carga y de la carga lineal. Además, debe comprobarse el arrastre entre los rodillos, ya que éste afecta la variación del perfil del TSI en la dirección de la máquina. Comprobar también el refinado y la concentración de la pasta con el fin de cambiar la apariencia de los perfiles.

Es importante, en todo momento, no cambiar los perfiles de grosor, gramaje y humedad más de lo permisible. Éstos valores deben comprobarse en cada cambio que se haga.



**Figura 22.** Perfiles de calibre y peso de base tomados sobre una muestra de una máquina de papel para periódicos funcionando en el modo Avance.



**Figura 23.** Perfiles de calibre y peso de base tomados sobre una muestra de una máquina de papel prensa funcionando en el modo Afluencia.

Hemos visto ejemplos de máquinas de papel que están incorrectamente ajustadas en la sección de prensado en lo que se refiere a los valores del TSI en la dirección de la máquina, con el fin de compensar un perfil pobre de humedad. Éste mostraba una protuberancia en el perfil del TSI en la dirección de la máquina y el fieltro de la fábrica obligaba a hacer funcionar la máquina de esta manera.

Cuando ya tengamos dominada la sección de prensado, podemos intentar solucionar la sección de secado. Quizá no es la más fácil de hacer pero hay ciertas posibilidades como cambiar el arrastre entre los cilindros de secado o la regulación de la temperatura en cada cilindro y entre ellos. No debe olvidarse el efecto del refinado ni la diferencia de velocidades a que se hace funcionar la máquina.

## Conclusiones

Hemos intentado, en este artículo, mostrar el potencial del uso de las modernas técnicas de medida, como los ultrasonidos, para optimizar una máquina de papel.

La fabricación de papel es un proceso complejo y para hacerlo correctamente se necesita una gran experiencia y muchos conocimientos. Nosotros no somos fabricantes de papel pero tenemos una gran experiencia en técnicas de medición y también en la evaluación de los resultados obtenidos con los instrumentos que fabricamos.

La experiencia de las fábricas que siguen más o menos el programa descrito en este artículo sobre posibilidades de optimización lo ha mostrado como muy válido. La procesabilidad ha mejorado grandemente produciéndose menos residuos. Las especificaciones de calidad se han vuelto más estrictas lo que ha redundado en ahorros de coste.

Mirando la elasticidad en vez de las clásicas propiedades de resistencia a la tracción nos da una mejor imagen de la procesabilidad del papel así como oportunidades inesperadas de mejorar el papel.

## Referencias

- (1) Polar Diagrams of Elastic Stiffness: Effect of machine variables. (Diagramas Polares de la Rigidez Elástica: Efecto de las variables de la máquina) Gary A. Baum (1987) *Paper Physics Conference*.
- (2) L'Optimisation de la Qualité sur la Machine à Papier (La Optimización de la Calidad en la Máquina de Papel)  
J. Silvy, V. Morin, A. Allée, *ATIP* 44 (6)(1990)
- (3) The influence of roll and reels on flutter and windage (La influencia de los rodillos y las bobinas en el ondulado y el bobinado) Richard J. Adams 75 (11)(1992) *TAPPI Journal*.
- (4) Automatic measurement of sheet directionality and elastic properties by ultrasound (Medición automática por ultrasonidos de la direccionalidad de la hoja y de las propiedades elásticas) H. Ekblad, *Pulp and Paper Canada*, 94 (9)(1993)
- (5) Applications of co-ordinated profile control (Aplicaciones del control coordinado del perfil) Harri Mustanen, Petri Nyberg, *Control Systems* (1994) Estocolmo

- (6) Module-Jet -erste Betriebserfahrungen mit dem neuen Stoffauflaufkonzept (Chorro Modular - primeras experiencias industriales con el nuevo concepto de caja de entrada del material) *Wochenblatt für Papierfabrikation*, (12) (1994)
- (7) Field experience in prediction of corrugated board strength with ultrasonic testing, (Experiencias prácticas en la predicción de la resistencia del cartón corrugado por medio de ensayos con ultrasonidos) J. Sandström, M. Titus, 78 (10)(1995) *TAPPI Journal*.
- (8) A new headbox design featuring consistency profiling decoupled from fibre orientation response. (Un nuevo diseño de caja de entrada que presenta un perfil consistente disociado de la respuesta a la orientación de las fibras) Scott B. Pantaleo, 78 (11)(1995) *TAPPI Journal*.
- (9) Effects of Wet Straining and Drying on Fibre Orientation and Elastic Stiffness Orientation. (Efectos del estirado en húmedo y del secado sobre la orientación de la fibra y la orientación de la rigidez elástica) T.R. Hess, P. H. Brodeur, 79 (5)(1996), *Journal of Pulp and Paper Science*.
- (10) An On-Line Control System for Simultaneous Optimisation of Basis Weight and Orientation Angle Profiles. (Un Sistema de Control On-line para la Optimización Simultánea de los Perfiles de Peso Base y del Ángulo de Orientación) John Shakespeare, Juha Kniivilä, Anneli Korpinen, Timo Johansson, (3)(1996) *Paper Technology*.