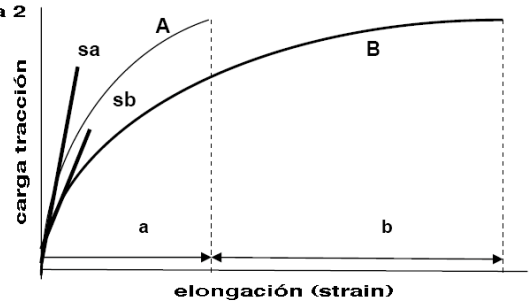
CONTRACCION DEL PAPEL DURANTE EL SECADO, alfredorendina@yahoo.com

El papel encoge, reduciendo el ancho y contrayendo en la dirección transversal CD durante el secado. Este fenómeno es mayor en los bordes que en el centro de la hoja. Hay micro compresión en las fibras orientadas en el sentido transversal CD y es mayor en las fibras cerca de los bordes de la hoja. En papeles con celulosas químicas la contracción es mayor que en papeles con pasta mecánica . También la contracción es mayor en papeles con pastas químicas con alta refinación, que en papeles con pastas químicas con baja refinación.El encogimiento o contracción del papel durante el secado, en el sentido transversal CD, tiene influencia en las propiedades físicas, en la calidad del papel y en el ancho de la hoja. También hay contracción en el sentido longitudinal MD, debido al 'tiro' entre una salida de prensas abierta y la entrada a batería de secadores (ref 4, pag 20), al estirar el papel en MD, ocasiona una contracción en CD (ref 1).

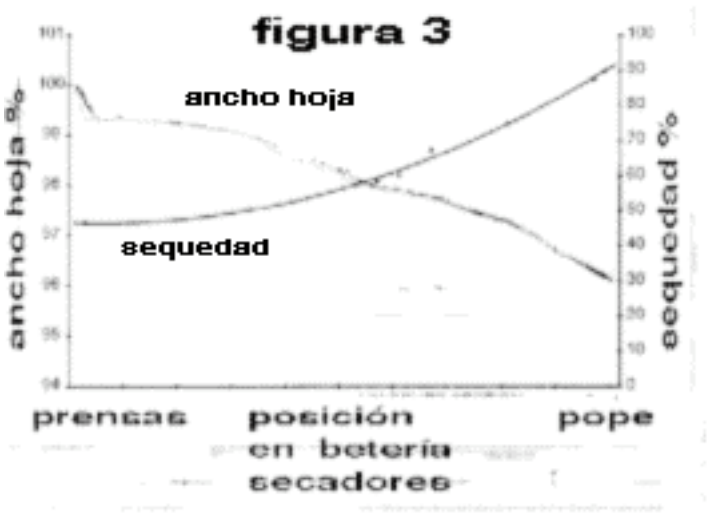
En la fig 2, diagrama de fuerza (ordenadas) versus alargamiento (abcisas), 'a' es el alargamiento hasta la rotura para la curva con baja contracción A y 'a+b' es el alargamiento hasta la rotura para la curva con alta contracción B (shrinkage). (ref 7). Ver apéndice.

figura 2

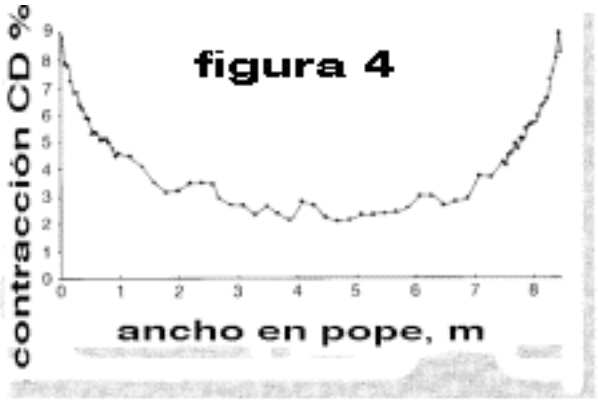


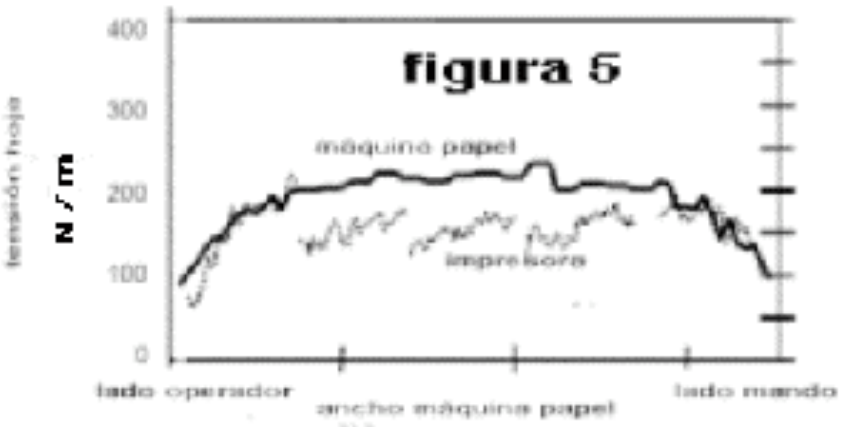
curva A, secado con baja contracción
curva B, secado con alta contracción
sa módulo elasticidad (mayor pendiente)
sb módulo elasticidad (menor pendiente)

'E' es el valor de la tangente en el origen de coordenadas. Se observa que el valor 'E', es mayor para el secado con baja contracción y el alargamiento 'a+b' es mayor para el papel con alta contracción. La superficie debajo de las curvas 'a' o 'a+b', dá la absorción de energía de tracción(ver apéndice), por lo tanto es importante reducir la contracción CD en un liner para aumentar la carga de rotura y en papel para bolsas,en algunos casos, se procede al secado con aire caliente para que el papel tenga mayor contracción CD y mayor absorción de energía de tracción (tensile energy absorption). Si por algún medio se restringe la contracción durante el secado, la resistencia a la tracción aumenta (ref 7) .
La elongación (fig 2) dividida por la longitud original, se denomina alargamiento específico 'ε'. Si es positivo se llama 'estiramiento' (strech) y si es negativo se llama 'contracción' (shrinkage).
Ver fig 3, ref 1, en la cual se grafica como varía el ancho de la hoja ,desde salida prensas hasta el pope, en función de la sequedad de la hoja y posición de la hoja en los secadores. Observar la contracción a la salida de prensas. Según Torbjorn Wahlstrom, gerente de investigación de Stora Enso, la contracción se reduce en la evaporación decreciente 'falling rate' (ref 4, pag 48/49) debido a que se hace más dificíl la evaporación.



Tenemos contracción CD en el pasaje abierto de una batería de secadores a la siguiente (cuando hay dos filas de secadores). El control de la contracción en CD, aumenta la producción al aumentar el ancho de la hoja, mejora la rugosidad superficial, la uniformidad del índice de tracción y la carga de tracción en el punto de rotura, a lo largo del ancho de la hoja.En la figura 4 se observa la contracción en CD, en el ancho de la hoja (ref 1,papel diario). Hay una contracción en CD 7% mayor en los bordes debido a que la hoja está más suelta en los bordes.
La figura 5, ref 6, muestra el perfil de tensión en una hoja de papel en el ancho, este es normalmente convexo, lo cual significa que los bordes de la hoja están más flojos que el centro. Este perfil es debido al proceso de secado. La hoja es estirada en las transferencias abiertas entre secadores, lo cual afloja los bordes debido a que disminuye el modulo de elasticidad y aumenta la contracción CD. El perfil de tensiones va del pope a la prensa impresora, y son similares. Los impresores tiene muchos problemas con las bobinas de los bordes, en la impresión offset, donde se agrega agua en cada impresión. Esto ocasiona problemas en la operación. Como solución sugieren cajas de vapor (ref 4, pag 43 a 48) en las prensas.





En una máquina de papel la hoja puede ser estirada ‘ε +’ en la dirección de marcha MD por variación de la velocidad en los diferentes grupos de secado. En los secadores, la presión de la tela secadora contra la hoja de papel, previene parcialmente la contracción en el sentido transversal CD ‘ε -’ (ref 2). Con telas secadoras con poca tensión y baterías de dos filas de secadores, la contracción CD es mayor que la MD. Si el secado se hace con ‘ε=0’, dado que las fibras se orientan preferentemente en MD y son más rígidas en la dirección axial, la tensión de tracción es mayor en MD. Siempre se tendrá una contracción CD y el ideal de los papeleros es tener un perfil (fig 5) lo más plano posible.

La fig 6, muestra la variación del índice de rigidez a la tracción (ver apéndice), en los sentidos MD y CD, en función de ‘ε -’ ó ‘ε +’ (ref 2). Hay que aclarar que son ensayos de laboratorio con un dispositivo que sujeta la muestra en los cuatro bordes y permite estirar en MD y CD (fig 20).
La resistencia a la ‘delaminación’ en el sentido ‘Z’ es del orden de 1/100 de la resistencia a la tracción en el plano del papel. La delaminación se presenta durante la impresión y al aplicar un ‘coating’ plastico. También ocurre en las cajas de corrugado al aplicar cola en las esquinas de la caja, después de un tiempo, en los bordes unidos con cola. Cuando se marcan dobleces en cajas de corrugado, se precisa que el material se delamine localmente en varias capas finas;y se necesita uniformidad en la resistencia a la delaminación en el espesor (sentido ‘Z’). La fig. 7 muestra la reducción de la resistencia a la ‘delaminación’ (ref 2) cuando se pasa de ‘ε -’, a ‘ε=0’, y ‘ε +’. El cambio de area es igual a la suma de las contracciones MD y CD. La disminución en la resistencia a la delaminación se atribuye a la reducción de las uniones entre fibras de la hoja de papel (bonded area). En las cajas de corrugado, por el doblado, se precisa uniformidad de la resistencia a la delaminación en el espesor. La resistencia a la delaminación se reduce al disminuír la contracción o al aumentar el estiramiento.
En máquinas anchas podemos tener ‘ε=0’ en la zona central de la hoja y ‘ε -’ en los bordes (fig 14, inferior).
La fig. 8, muestra como la ‘rigidez’ a la tracción, se desarrolla al final del proceso de secado para CD y MD (ref 2). La figura 9 muestra muestra los valores de‘rigidez para ‘ε -’ contracción, ‘ε=0’, ‘ε +’ estiramiento (ref 2).
Una humedad absoluta de 0.2 Kg agua/Kg papel equivale a una sequedad del 83.33%

Una humedad absoluta de 1.2 Kg agua/Kg papel equivale a una sequedad del 45.45% (ref 4, pag 49)

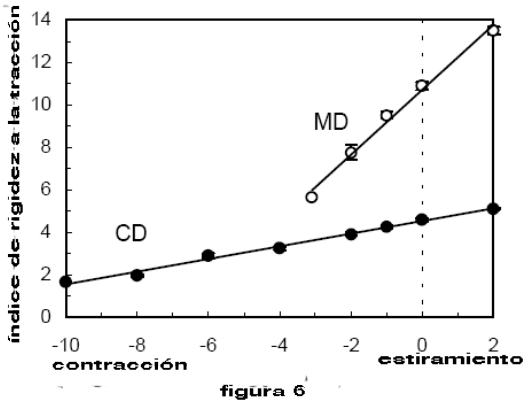


figura 6

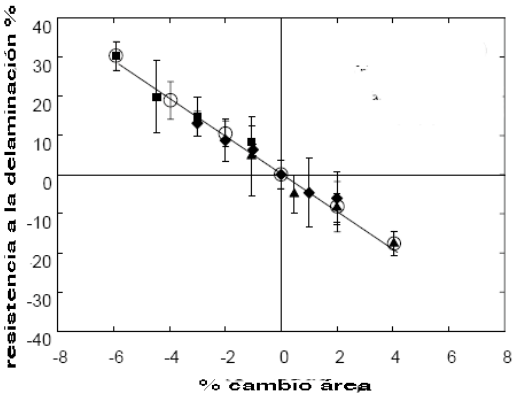


figura 7

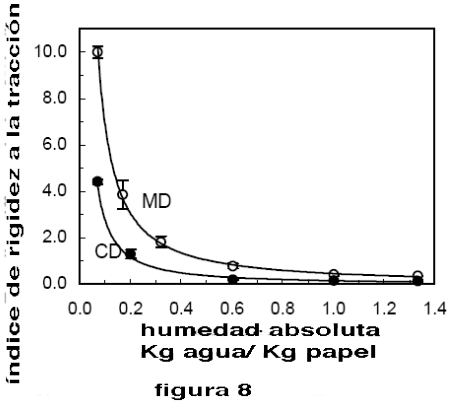


figura 8

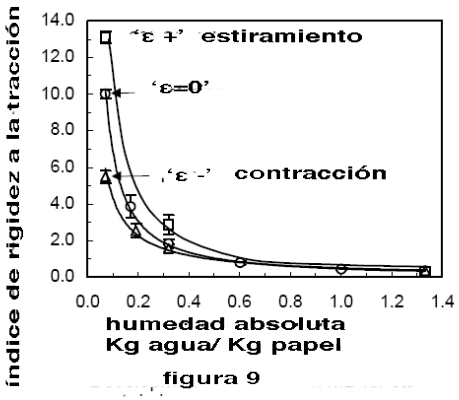


figura 9

SECADO EN BATERIAS MODERNAS DE SECADORES

Una batería de secadores moderna, fig 11 derecha, tiene solo la fila de secadores superiores y un solo fieltro; Unoran (ref 4, pag 17a 21). Los secadores con vapor están en la fila superior (la hoja está entre la tela secadora y la pared caliente del secador) y en la fila inferior hay rollos con vacío (la hoja no toca la pared del secador y está sobre la cara externa de la tela secadora); fig 10, ref 2 y 8.

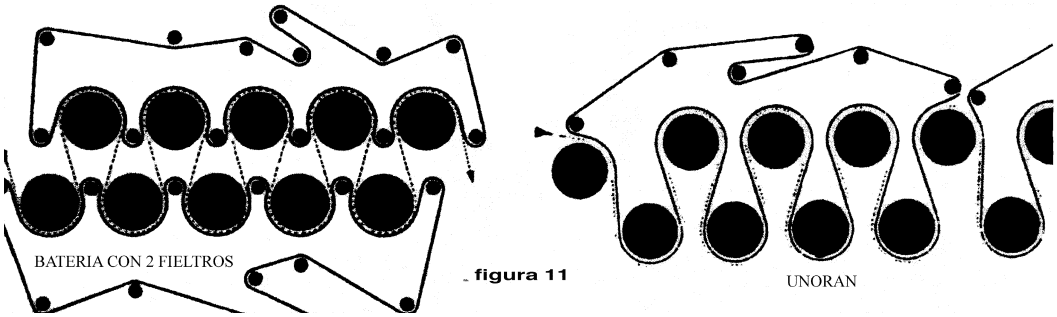
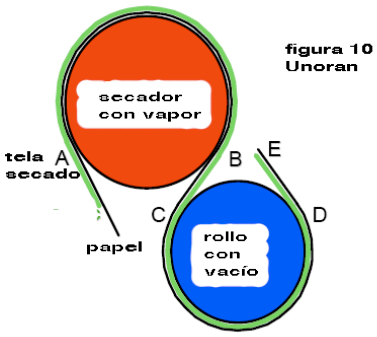
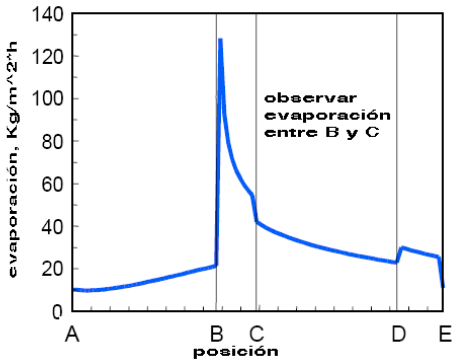
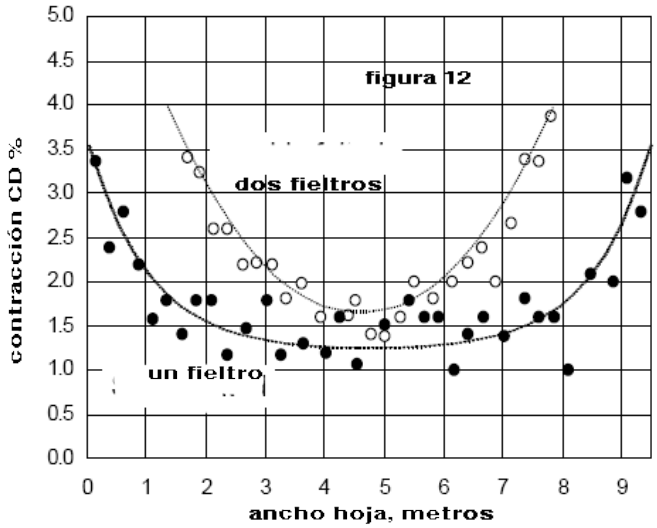


figura 11





Alrededor del 20% de la evaporación tiene lugar en el secador AB (ref 2). Las distancias BC y DE sería el equivalente de cuando la hoja está en el aire (free draw), para baterías de 2 fieltros (fig 11, izquierda); solo que en el Unoran la hoja está soportada por la tela secadora. La evaporación es alta 40%, debido a que la hoja llega con energía provista por la temperatura, que se disipa como vapor de agua. En las posiciones BC y DE se utilizan cajas de soplado de aire caliente (blow boxes) que crean vacío para sostener mejor la hoja contra la tela secadora. El resto de la evaporación CD tiene lugar en el rollo con vacío. El vacío en el rollo inferior ayuda a reducir la contracción, pero es más efectivo el sostén de la hoja en la tela secadora, la cual se diseña para esta última función. Resumiendo con la disposición Unoran y con los rollos inferiores con vacío la contracción de la hoja es menor que cuando hay dos fieltros, pero es mayor en los bordes de la hoja.
El Unoran permitió aumentar velocidades y una operación más estable (runnability). Reducir las distancias BC y DE reduce la contracción. La fig 12 (ref 2) muestra la contracción en el ancho de la hoja para maquinas con un solo fieltro y con dos fieltros.



Cuando en las cajas de soplado (blow boxes) se corta el aire caliente, el perfil de contracción cambia debido a que se corta el sostén de la hoja contra la tela secadora.
La ref 9, es un trabajo de laboratorio, para determinar la influencia, en máquinas con dos fieltros, del ancho de la hoja 'W' y del 'free draw' 'L', fig 13, en la contracción de la hoja. La conclusion es que para ancho W constante, cuanto mayor la relación W/L, es

decir menor el free draw, el perfil de contracción se hace más plano, pero siempre con aumento fuerte en los bordes de la hoja (fig 14 superior).

Para L contante, cuanto mayor la relación W/L, es decir L<<W, el perfil de contracción se hace más plano, pero siempre con aumento fuerte en los bordes de la hoja (fig 14 inf). La ref 3, muestra gráficos similares deducidos en base a modelos matemáticos.

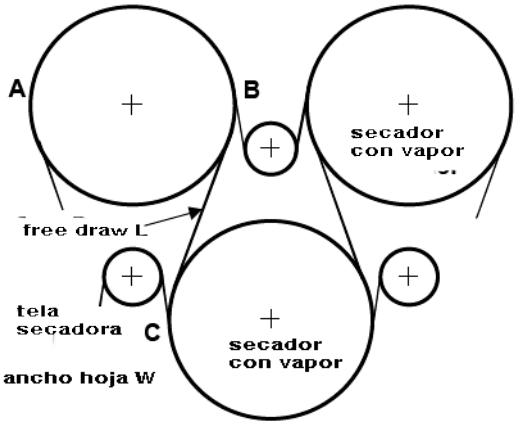
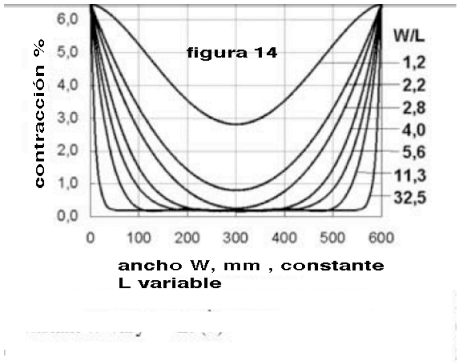
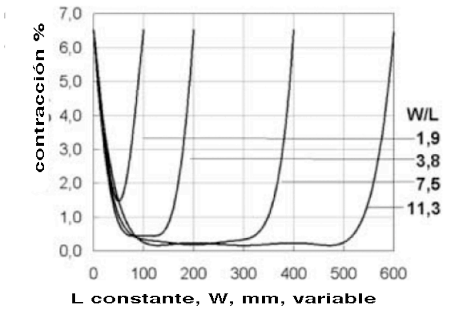
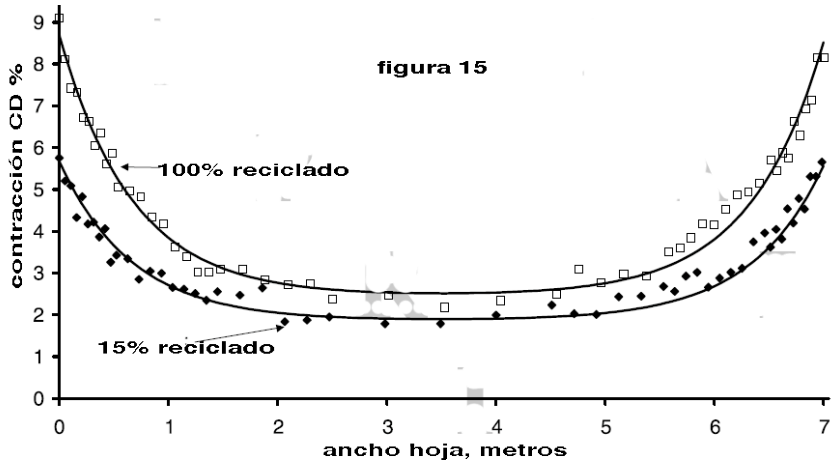


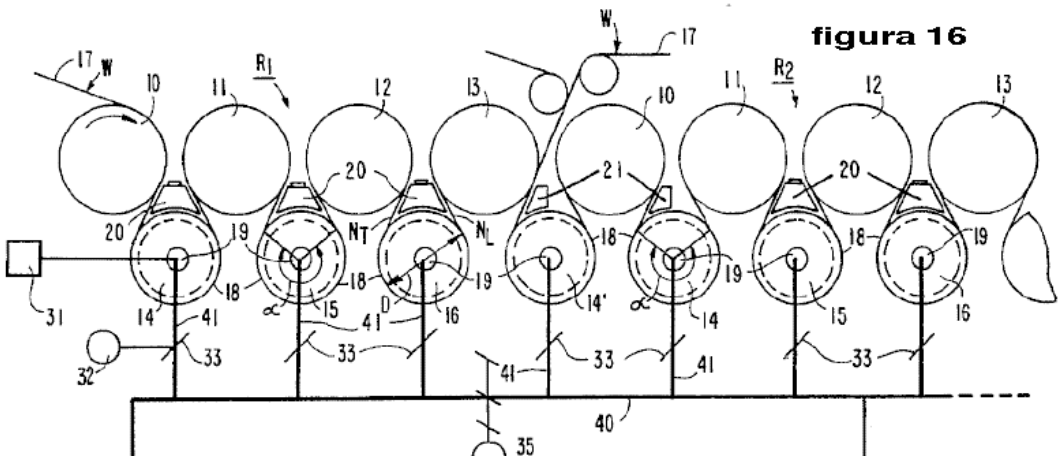
figura 13, máquina con dos fieltros





La ref 3, dá el perfil de contracción CD según el porcentaje de papel reciclado (fig 15). Según el porcentaje de cargas (21% a 26% cenizas), el perfil de contracción es ligeramente menor cuanto mayor el porcentaje de cargas.





Como curiosidad, la figura 16,tomada de una patente de Valmet, año 1996, en la cual disputan la patente 'bel champ' de Beloit. Se observan los rollos inferiores con vacio y las 'blow boxes' para sujetar la hoja contra la tela secadora. Se aplica en velocidades de 1000/1200 m/min y su justificación esta en la constancia de marcha (runnability).

En una máquina con monolúcido (papeles sulfito), debido a la acción de la prensa monolúcida, practicamente no hay contracción. Aún con pre-secadores, si la sequedad de la hoja es aproximadamente 60%, la contracción es despreciable con relación a las propiedades del papel. Tener presente que una contracción del 0.5% en el total del ancho de la hoja, significa una contracción mayor en los bordes.

APENDICE, Términos, símbolos y definiciones usados

-Dirección longitudinal de máquina MD, dirección de marcha de la máquina de papel
-Dirección transversal de máquina CD, dirección transversal a MD, en el plano del papel
- Alargamiento específico (strain) alargamiento dividido por la longitud original ε %.
Un alargamiento específico positivo significa que el papel ha sido estirado (strech) y un alargamiento específico negativo significa que el papel se contrajo (shrinkage) y por lo tanto redujo su longitud

-Resistencia a la tracción (tensile strengh) fuerza aplicada dividido el ancho de la tira de papel, se expresa en kN/m (kilo Newton/ metro) -
Indice de tracción (tensile index), cociente entre la resistencia a la tracción y el gramaje, se expresa en N*m/g (Newton***metro/gramo); gramaje en gramos/m^2. Cuando se habla de 'índice' se refiere al cociente entre un valor determinado y el gramaje.**

Del gráfico fuerza- estiramiento fig 17 (ref 11), se determina:

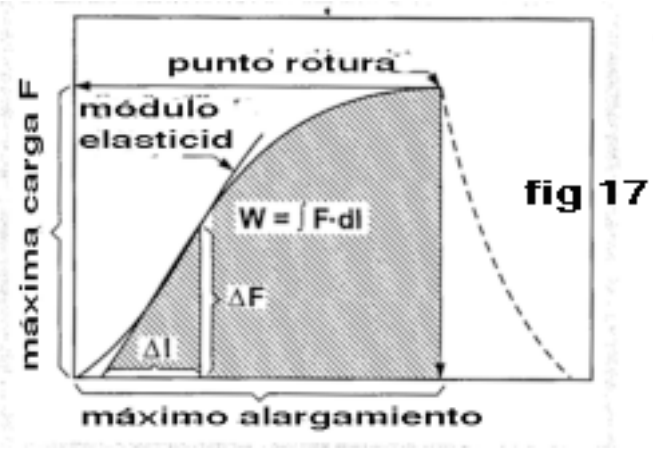


fig 17

La superficie debajo del gráfico nos dá la absorción de energía de tracción (tensile energy absorption), $W = \int F^* \Delta l$, [Joule / m^2], se denomina TEA (ref 12)
resistencia a la tracción = F_{max} / b; (tensile strengh), [kN / m]
índice de tracción = Fmax / (b*w) ; (tensile index), [N*m / g]
alargamiento específico, $\varepsilon = \Delta l / l_0$; (elongation), [%]
rigidez a la tracción, TS = (ΔF / b)*(l_0 / Δl); (tensile stiffness), [g*cm] (Taber, ref 12)
módulo de elasticidad, $E = \sigma / \boldsymbol{\varepsilon} = (\Delta F / b^* t) / (\Delta l / l_0) = TS / t$; (modulus of elasticity)

w: gramaje
b: ancho de la tira de papel ensayada
t: espesor de la tira de papel ensayada
l_0: longitud original de la tira de papel ensayada
Δl: alargamiento
F: fuerza
E: modulo de elasticidad (corresponde a la tangente máxima)
TS: rigidez a la tracción
-anisotropía (anisotropy) , diferentes propiedades según la dirección en la cual se mide dicha propiedad
-hoja de papel isotrópica (isotropic), tiene iguales propiedades físicas en todas direcciones. Ejemplo, la hoja obtenida en el formador de laboratorio.
-hoja de papel anisotrópica (anisotropic), tiene diferentes propiedades físicas en las direcciones MD y CD. Ejemplo, la hoja obtenida en una máquina de papel.
-relación anisotrópica (anisotropic ratio), da la relación MD / CD, indica el grado de orientación de la fibra.
ANISOTROPIA EN LA FORMACION DE LA HOJA
Este tema no pertenece a la contracción durante el secado de la hoja. Dos breves

comentarios sobre las ref 13 y 14. En la formación en la tela, la diferencia de velocidad entre la velocidad de salida del labio de la caja de entrada (chorro) y la tela, afecta la formación y la orientación de las fibras. Cuando esta diferencia se desvía de cero en una pequeña cantidad la formación mejora. Cuando esta diferencia es grande la formación se deteriora. En la fig 18, ref 14, se observan resultados obtenidos con papel kraft de 60 gr/m^2 y consistencia 0.3%; valores de formación y relación MD / CD.

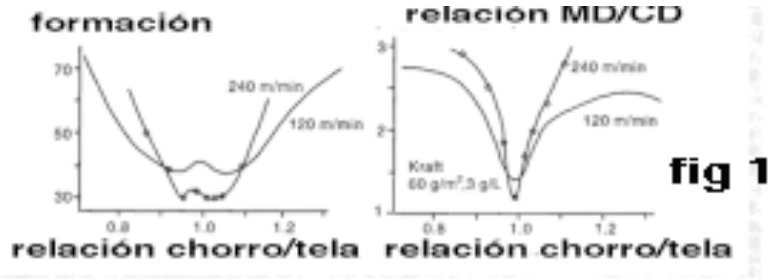


fig 18

También en las ordenadas puede figurar la diferencia de velocidades entre el chorro (jet) de la caja de entrada y la tela, como se ve el a fig 19, ref 14. Del cero en abcisas hacia la izquierda tenemos arrastre de la tela (drag) y del cero hacia la derecha tenemos que el chorro empuja la tela (rush). Generalmente en máquinas de alta velocidad se trabaja en 'drag' para ahorrar potencia en la fan pump.

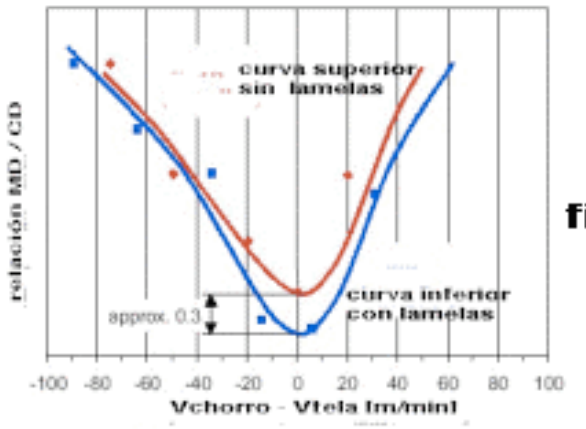
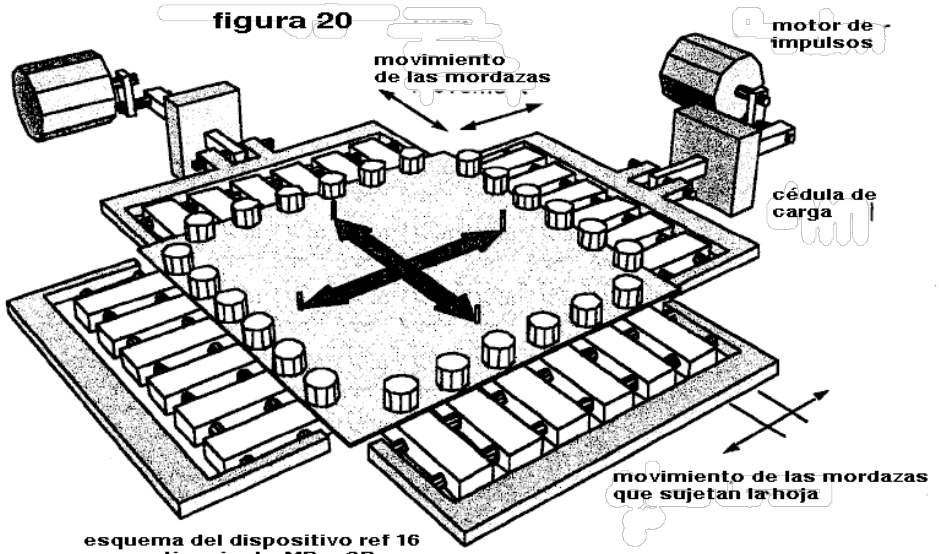


fig 19

En los papeles liner (Ring Crush Test, RCT y Short Span Compression Test SCT, los ensayos son CD) y onda (Concora Crush Test CMT, los ensayos son MD y en Corrugated Crush Test CCT, los ensayos son CD (ref 12). En general en este tipo de papeles, se busca una relación MD / CD baja. La ref 13 indica que las propiedades son más bajas para Vchorro – Vtela=0; el cóncora del onda es mayor para un arrastre (drag)de15 m/min, se reduce al alcanzar cero y luego aumenta hasta 11-12 m/min. Para el ring crush del liner se necesita que las fibras se alineen en el CD y por lo tanto es necesario un empuje (rush) de 11-12 m/min. Por lo tanto para mantener cóncora y obtener ring crush, se debe trabajar con un empuje (rush) de 11 m/min. Esto es independiente de la material prima, tipo de máquina y velocidad.
El ancho de la hoja es máximo en el pope cuando Vchorro – Vtela= 0. Para encontrar este punto hay que medir el ancho de la hoja en el pope o a la salida batería de secadores.

Luego dejando Vtela constante se ajustan los tiros y se aumenta Vchorro variando la presión en la caja de entrada en 8 m columna de agua. Si la hoja se ensancha se continua aumentando Vchorro de a 4 m columna de agua y ajustando los tiros. Continuar hasta que la bobina en el pope comience a reducir su ancho.
Ahí tenemos Vchorro – Vtela= 0. Para calcular usamos $h = (V/60)^2 / (2*9.81)$, siendo V[m/min] y h[m].
Si la hoja reduce el ancho, reducir Vchorro en 8 m columna de agua y luego de a 4 m, hasta que la hoja se ensanche. Esto permite determinar si hay error en el instrumental que mide la presión en el labio de la caja de entrada. Si ese es el caso el error es casi constante para cualquier velocidad.
Suponiendo igualdad de gramaje en la tela, debido a la contracción CD el gramaje aumenta en los bordes. Si la corrección se hace cerrando el labio en los bordes de la caja de entrada, tenemos corrientes cruzadas que alteran los valores físicos en los bordes de la hoja. Si la corrección se hace por dilución este efecto se reduce (ref 1).

figura 20



esquema del dispositivo ref 16 para estiramiento MD y CD

Por último este trabajo no hubiera sido posible sin tener acceso a los trabajos del gerente de investigación Sr. Torbjorn Wahlstrom, actualmente en Stora Enso, al cual agradezco su invalorable colaboración. Creo que el capítulo 46, escrito por el, The Ljungberg Textbook, Stockholm, es una lectura imprescindible sobre este tema de la contracción de la hoja de papel durante el secado.

REFERENCIAS

1-Drying and Paper Quality, Pekka Pakarinen, Harri Kiiskinen, Jouni Paltakari, chapter 10; Dryer Fabrics, Lars Fagerholm, chapter 12;Tappi book 9, Papermaking part 2, Drying
2-Influence of Shrinkage and Strech During Drying on Paper Properties, Torbjorn Wahlstrom, Valmet Karlstad AB
3-The Effect of Machine Conditions and Furnish Properties on Paper CD Shrinkage Profile, Raimundo P. A. Constantino, Steve J. I'Anson and William W. Sampson, School of Materials, University of Manchester, Cambridge, September 2005
4-Secado en la Industria del Papel, Alfredo R. Rendina, Editorial Dunken, 2008
5-Paper Physics, Tappi Book 16, chapter 5, Kaarlo Niskaken, Petri Karenlampi, In Plane Tensile Properties.
6-Better Productivity by Measuring Web Tension Profile, Hannu Linna, Markku Parola, VTT Information Technology; Jorma Virtanen, Metso Paper Automation
7-PTN57 Tensile Loading and Unloading of Paper, Charles Green, 23 Maryvale Drive, Webster, NY 14580 ©2000-2001 techman@papercurl.com & http://www.PaperCurl.com
8-Pertti Heikkila, Oleg Timoleev, Harri Kiiskinen, chapter 3, Multicilinder Dryer; page 91,Tappi book 9, Papermaking part 2, Drying
9-Dryer Section Simulation for Laboratory Investigations of Shrinkage Profile, Torbjorn Wahlstrom, Metso Paper Karlstad; Jan O. Lif, Stora Enso, 2003, International Paper Physics Conference
10- Torbjorn Wahlstrom, chapter 46, The Ljungberg Textbook, Stockholm
11-Jan-Erik Levlin, chapter 7, General Physical Properties of paper and Board, Tappi book 17, Pulp and Paper Testing
12-Panorama de la Industria de Celulosa y Papel en Iberoamérica 2008, capítulo VI, Propiedades del Papel, Miguel Zanuttini
13-Rush / Drag, Roy Jones, Technical Bulletin 101190, Weavexx
14-Bo Norman, chapter 6, Web Forming, page227, Tappi book 8, Papermaking Part 1, Stock preparation and Wet End
15-Peter Halder, Robert Hutterer,Board and Packaging Headbox Technology for the 21 st century, TAPPSA, African Pulp and Paper Week, October 2002
16-Biaxial Properties of Paper During Drying, Relations Between Stresses, Strains and Properties, Torbjorn Wahlstrom, Christer Fellers, Swedish Pulp and Paper Research Institute, 1999 Tappi Engineering and Product Quality Conference