**Daniel Justo**

Coordinador de Productos

Albany International

Indaial - SC - Brasil

Traducción revisada por Andres Piedrahita

Ingeniero de Servicio - Colombia

## La influencia de la superficie del fieltro en el desagüe

La búsqueda del conocer cómo la variación de presión en micro escala tiene influencia en el prensado y en el desagüe de la hoja, llevó al estudio que se presenta a continuación.

Inicialmente, se buscó la caracterización de la compresión y superficie del fieltro en "micro" y "macro" escalas. Se refiere a "micro escala", las no uniformidades de la superficie de las fibras, por las distancias entre puntos de 10 a 80  $\mu\text{m}$ . Las distancias entre puntos de hilos de bases de fieltro son llamadas "macro escalas", pues se caracterizan entre 0,2 a 2 mm.

Para caracterizar la superficie de los fieltros, se utilizó el equipo que se muestra en la figura 1.

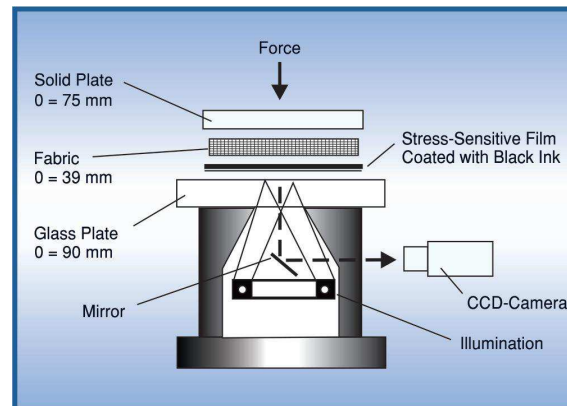


Figura 1: Dispositivo usado para caracterizar las variaciones de tensión/compresión

Se comprimió cada fieltro contra una película sensible a la compresión entre dos placas lisas. Una cámara recolectaba la imagen generada en la película durante la compresión.

La alteración de la transmisión de la película es sensible al tiempo, pero se observó que después de 30 segundos de aplicación de la carga, ya no había alteración de la imagen de la película.

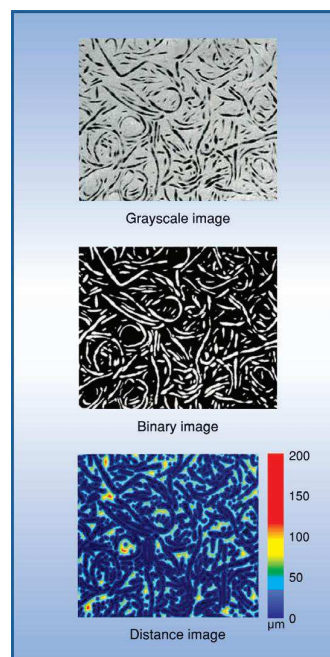


Figura 2: Ejemplo de la evaluación de las variaciones de distancia para el fieltro 1

Se registraron las imágenes en tonos de gris y se transformaron utilizando funciones en imágenes binarias. Así, fue posible caracterizar las distancias y el tamaño de las áreas y contacto, como se ejemplifica en la figura 2. Se obtuvo la imagen a través de la aplicación de una carga de 4,0 MPa. La primera imagen es la escala de gris obtenida por el método. La segunda es la inversión de la primera imagen, en la que el blanco representa la región de contacto y el negro el área de no contacto. La tercera imagen ilustra las distancias entre los píxeles de contacto y los de no contacto. En ese ejemplo, la distancia más grande fue de 200  $\mu\text{m}$ .

La tabla 1 muestra los parámetros usados para caracterización de contacto.

Para conocer la influencia de los parámetros de caracterización de los fieltros, se produjeron cuatro fieltros con diferentes características. Se probaron estos fieltros en una máquina piloto en EuroFEX (STFI-Packforsk, Estocolmo). La configuración elegida fue de tres *nips* de prensa, el primer *nip* es doblemente fieltroado y seguido de dos *nips* de prensas de zapata con fieltro único.

Se realizaron las pruebas de fieltro en el segundo *nip* de prensa ajustado a 600 kN/m de carga lineal e inclinación (tilt) de 1,0 y velocidad de 600 m/min. Se ajustaron los *nips* de 1ª y 3ª prensas de tal modo que no interfiriera en el flujo y garantice sólo la transferencia de la hoja.

Se eligieron dos diferentes pulpas para evaluación: pulpa química blanqueada (el 40% fibras largas y 60% fibras cortas) y pulpa termomecánica (TMP, 83 CSF). Para la pulpa química, se realizaron pruebas con los gramajes: 30, 45, 60, 80 y 100 g/m<sup>2</sup>, por otro lado, los gramajes de las hojas de TMP fueron 30, 40, 50, 60, 70, 80 y 100 g/m<sup>2</sup>.

Los contenidos secos de la entrada en la 2ª prensa fueron el 21,9% para pulpa química y el 17,1% para TMP.

Tabla 1
Relación de área de contacto (%)
Distancia promedio entre un pixel de no contacto y el pixel más próximo de contacto ( $\mu\text{m}$ )
Área abierta de interfaz calculada como el cuadrado de la distancia promedio multiplicada por $\pi$ ( $\mu\text{m}^2$ )
Ángulo de inclinación de la distribución cumulativa basada en los valores entre la distancia cero y la distancia promedio ( $\mu\text{m}^{-1}$ )
Índice de perímetro: definido como el total del perímetro de contacto dividido por el área medida ( $\text{mm}^{-1}$ )
Índice de perímetro específico definido como el perímetro total de las áreas de contacto dividido por el área de contacto ( $\text{mm}^{-1}$ )
Desvío estándar de la carga aplicada (MPa)

Tabla 2	1	2	3	4
Filtro número	1	2	3	4
Fibra superior	280 g/m <sup>2</sup> de fibras de diámetro 78 $\mu\text{m}$	280 g/m <sup>2</sup> de fibras de diámetro 61 $\mu\text{m}$	280 g/m <sup>2</sup> de fibras de diámetro 43 $\mu\text{m}$	280 g/m <sup>2</sup> de fibras de diámetro 22 $\mu\text{m}$
Fibras intermedias	420 g/m <sup>2</sup> de 78 $\mu\text{m}$			
Base	500 g/m <sup>2</sup> multiaxial			
Fibras cara inferior	280 g/m <sup>2</sup> de 78 $\mu\text{m}$			

Para evaluar la calidad de previsión de los diferentes parámetros de caracterización de contacto con relación al flujo, se formuló un modelo multidimensional para cada tipo específico de pulpa y condiciones operacionales para contenidos secos, gramaje de hoja, y un parámetro de caracterización de contacto. El modelo ha sido generado en el software MODDE 6,0 (Umetrics AB). Los fieltros utilizados para caracterización y para las pruebas en máquina piloto están descritos en la tabla 2.

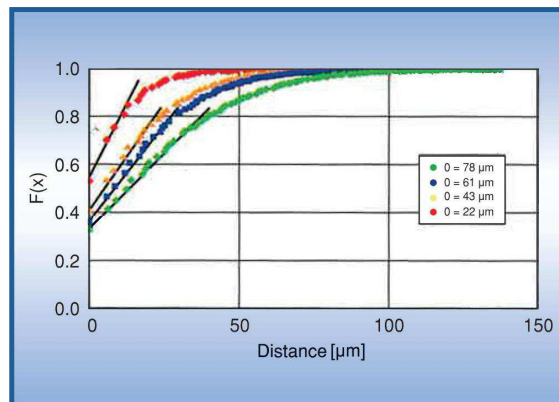


Gráfico 1: Distribución acumulativa de distancia de los cuatros fieltros con diferentes diámetros de fibra de superficie: carga media de 4MPa, resolución especial de 6,3 mm

#### Resultados:

Lo Gráfico 1 muestra el resultado de la distribución acumulativa de las distancias de los cuatro fieltros. La evaluación quedó dentro de lo esperado, una vez que los fieltros con fibras más finas en la superficie tuvieron menores distancias promedio, áreas de contacto más grandes y ángulo de inclinación más grande cuando se comparan con los de fibras más gruesas. Es normal que las fibras más finas tengan más cantidad que las fibras más gruesas para los mismos gramajes de manta, así, ellas tendrán área de contacto más grande y distancia promedio más corta, así como ángulo de inclinación más grande. Se detallan los valores de los parámetros de caracterización de contacto en la Tabla 3. Se descubrió que la distancia promedio variaba con un factor de dos (32/15,8) al compararla con las fibras de manta con superficie de 78  $\mu\text{m}$  al fieltro con fibras 22  $\mu\text{m}$ . La relación del área de contacto varió entre 32,7 y 52,8%. Esto esta acuerde con lo que se puede encontrar en la literatura de referencia.

La diferencia en el desvío estándar de la carga aplicada quedó entre 6,0 y 7,5 MPa, utilizándose fibras de manta de superficie de 22 y 78  $\mu\text{m}$ , sorprendentemente baja cuando se la compara a estudios anteriores. En parte, se atribuyó el motivo para la variación baja a la utilización de base muy uniforme, y parte a la alta resolución espacial. Los valores del índice del perímetro fueron más elevados que los recientemente informados en la literatura, lo que se puede explicar por la utilización de manta de fibras con superficie más fina y mayor resolución espacial en el análisis de imagen.

Tabla 3. Valores de parámetros de caracterización de contacto evaluados a una carga de 4,0 MPa y resolución espacial de 6,3 $\mu\text{m}$				
Fibras de superficie	78 $\mu\text{m}$	61 $\mu\text{m}$	43 $\mu\text{m}$	22 $\mu\text{m}$
Relación de área de contacto (%)	32,7	35,9	40,6	52,8
Distancia promedio ( $\mu\text{m}$ )	32	27,1	23,9	15,8
Área abierta de interfaz ( $\mu\text{m}^2$ )	3217	2307	1795	784
Inclinación ( $\mu\text{m}^{-1}$ )	0,0133	0,0166	0,0181	0,0256
Índice de perímetro específico ( $\text{mm}^{-1}$ )	36,7	42,6	49,9	55,2
Índice de perímetro ( $\text{mm}^{-1}$ )	12	15,3	20,3	29,1
Desvío estándar de la carga aplicada (MPa)	7,5	7,4	7,1	6

Lo Gráfico 2 muestra los valores de contenido seco obtenidos después de la 2ª prensa para pulpa química y para TPM con los diferentes fieltros con relación a los gramajes y hoja. Los resultados de pruebas piloto están representados con los símbolos llenos. Los símbolos en bajo relieve representan los valores previstos utilizando el modelo tridimensional que usa el parámetro de las distancias promedio de caracterización de contacto.

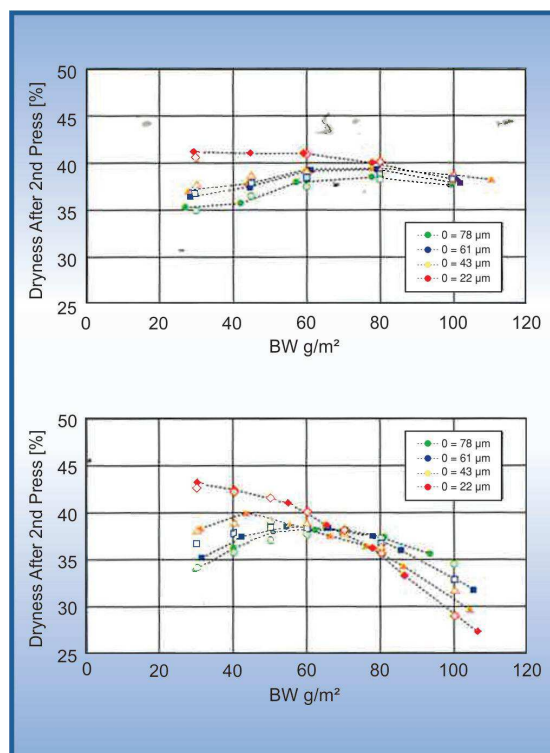


Gráfico 2: Los índices de contenido seco de la pulpa química (superior) y TPM (inferior) después del nip de la segunda prensa como función del gramaje y diámetro de la fibra de manta

Los resultados indican diferentes comportamientos para las pulpas. Las hojas de TMP son más sensibles al proyecto de fieltros y también al gramaje de la hoja. Los fieltros presentaron flujos diferentes con relación a los gramajes, con puntos de inflexión en gramajes diferentes.

El contenido seco más grande fue obtenido con un fieltro de superficie más fina. De un modo general, los fieltros de superficie más fina presentaron contenido seco más grande en gramajes más bajos. En gramajes más grandes, los fieltros de superficie más gruesa presentaron contenido seco más grande.

Lo Gráfico 3 representa índices de contenido seco con relación a las distancias promedio para diferentes gramajes de hoja sólo para hojas de TPM. El gramaje de 73 g/m<sup>2</sup> fue el punto de inflexión, donde a partir de él los fieltros con superficie más gruesa presentan mayor flujo. Se llamó ese gramaje de PB de transición. El PB de transición depende de las condiciones operacionales como carga lineal, velocidad de máquina, configuración de nip y tipo de pulpa.

Para la hoja de pulpa química con hojas de 30 a 100 g/m<sup>2</sup>, se obtuvieron los índices más altos de contenido seco con el fieltro de superficie más fina. Las diferencias más altas ocurrieron con hojas de 30 g/m<sup>2</sup>. Para hojas de 100 g/m<sup>2</sup>, la diferencia de contenido seco fue muy pequeña para todos los fieltros. El PB de transición previsto para pulpa química, utilizándose modelos multidimensionales, quedó en 105 g/m<sup>2</sup>.

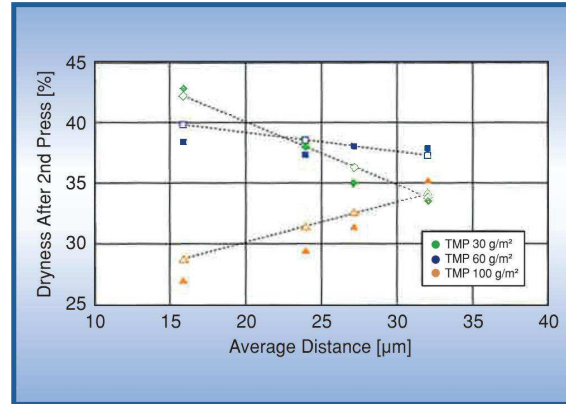


Gráfico 3: Contenido seco como función de la distancia promedio para gramaje de hoja de 30, 60 y 100 g/m<sup>2</sup>. Los símbolos llenos representan el secado medido; los vacíos representan los valores previstos de secado; 600 kN/m, 600 m/min, TMP

Se utilizó el valor de R<sup>2</sup> (correlación) del modelo multidimensional para evaluar la calidad de la previsión de los diferentes parámetros de caracterización de contacto con relación al flujo. Lo Gráfico 4 resume los valores de R<sup>2</sup> para cada parámetro de caracterización de contacto inferior y superior al PB de transición.

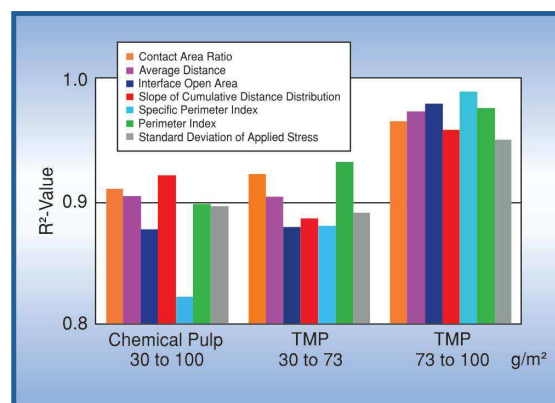


Gráfico 4: Valores de R<sup>2</sup> del modelo multidimensional para cada parámetro de caracterización de contacto

Inferior al PB de transición, se descubrió que, con relación a la pulpa química, los parámetros de caracterización con los valores de R<sup>2</sup> más altos eran los grados de inclinación de la distribución cumulativa de la distancia y la relación del área de contacto. Con relación a la TMP inferior al PB de transición (30 a 73 g/m<sup>2</sup>), el índice de perímetro y la relación del área de contacto presentaron los valores de R<sup>2</sup> más altos. Superior al PB de transición (TMP, 73 a 100 g/m<sup>2</sup>), se descubrió que el área abierta de interfaz y el índice de perímetro específico proporcionaban los valores de R<sup>2</sup> más altos. Eso indica que diferentes parámetros de caracterización de contacto son relevantes para diferentes gramajes. Los parámetros importantes de caracterización de contacto superior e inferior al PB de transición, y sus implicaciones para el diseño del fieltro, se presentan en la Tabla 4.



Tabla 4. Parámetros de caracterización de contacto que proporcionan buen flujo inferior y superior al PB de transición	
Inferior al Pb de transición	Superior al Pb de transición
Alta relación de área de contacto	Alto valor de área abierta de interfaz (gran abertura)
Alto valor de inclinación de la distribución cumulativa (pequeñas distancias) entre áreas de contacto	Bajo valor de índice de perímetro (pocas y grandes áreas de contacto)
<b>Alto valor de índice de perímetro (muchos puntos y pequeñas áreas)</b>	

### Conclusiones

Se analizaron las variaciones de presión en un conjunto de cuatro fieltros con diferentes diámetros de fibra de manta y se aplicó un nuevo método para cuantificar las variaciones de presión. Se utilizaron diferentes parámetros que caracterizan las variaciones de presión para describir la extensión, el tamaño de las áreas de contacto y la distancia entre ellas. Como se esperaba, los cuatro fieltros presentaron diferencias considerables en su comportamiento de contacto.

Los parámetros de caracterización de contacto describieron el comportamiento de flujo de los diferentes fieltros probados. Se formuló un modelo multidimensional para un determinado tipo de pulpa y un conjunto de condiciones operacionales basados en el secado medido, en el gramaje de la hoja y en los parámetros de caracterización de contacto. El flujo tuvo influencia, principalmente por el diámetro de las fibras de la manta de la superficie del fieltro y por el gramaje de la hoja. Los parámetros de caracterización de contacto con relación al tamaño de las áreas de contacto y a la distancia entre ellas proporcionaron la mejor previsión-modelo para hojas de gramajes bajos, mientras que los parámetros con relación al tamaño de las aberturas proporcionaron la mejor previsión-modelo para hojas de mayor gramaje.

Los resultados de flujo presentados por los diferentes fieltros variaron considerablemente según el gramaje, especialmente con relación a la TMP. Se descubrió la existencia de un PB de transición cuando el diámetro superficial de las fibras de la manta no ejercía influencia sobre el resultado del flujo. Inferior al PB de transición, una superficie más fina de manta proporcionó un flujo considerablemente mejor, mientras que se observó la tendencia opuesta superior al PB de transición. Con un gramaje de hoja cada vez más grande, el contenido seco obtenido se reducía significativamente. Estos resultados están en conformidad con el trabajo de Chang, que descubrió diferentes resultados de flujo para mantas de diversos gramajes, pero, hechas de pulpas idénticas. Chang explicó ese efecto a través de una capa de interfaz de alta densidad en la hoja, próxima a la superficie del fieltro húmedo, restringiendo la cantidad de agua que sale de la hoja durante el prensado húmedo a un gramaje más alto. Chang nombró esa condición de prensado "controlado por la interfaz".

Por lo general, se transfiere la presión mecánica aplicada en el *nip* de la prensa localmente por las fibras de la manta sobre la hoja. Eso resulta en áreas comprimidas sobre el fieltro. Las áreas menos comprimidas, ubicadas entre las comprimidas, son líneas principales de flujo debido a su permeabilidad considerablemente más grande. Ellas se hacen cada vez más importantes cuando se deben eliminar cantidades más grandes de agua, o sea, a un gramaje más alto o en el primer *nip* de una sección de prensa. Sin embargo, la compresión más pequeña en estas áreas también significa que ellas tendrán contenido seco considerablemente inferior cuando se la compara al contenido seco en la hoja, una vez que el agua solo parcialmente se la comprime hacia fuera de ellas.

Se sugiere que el espesor de la capa de interacción en la hoja varía según el comportamiento de contacto del fieltro. Un fieltro húmedo con superficie más fina y pequeña distancia entre las áreas de contacto, crea una capa menos espesa en la hoja (observe el lado derecho del diagrama izquierdo en la Fig. 3).

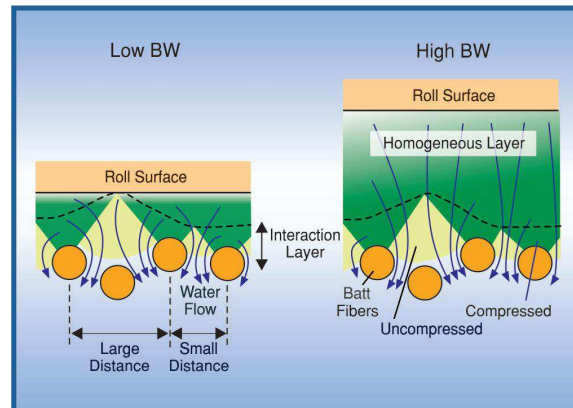


Figura 3: Hipótesis sobre la interacción del fieltro y de la hoja, y su influencia sobre el flujo de agua en el interior de la manta con diferentes gramajes y diferentes distancias entre las fibras de la manta

Inferior al PB de transición, es deseable una capa fina de interacción para minimizar la porción de área no comprimida. Superior al PB de transición, una capa más espesa de interacción, con áreas no comprimidas superiores, es necesaria para facilitar el flujo de agua hacia afuera de la hoja. Para concluir podemos afirmar que para cada gramaje de hoja, tipo de pulpa y conjunto de condiciones operacionales, un comportamiento específico de contacto de fieltro es necesario para que se pueda obtener el mejor desempeño de flujo.

Pero, se debe tener en cuenta, especialmente con relación a las hojas de gramajes bajos combinadas a fieltros más ásperos, que también se pueden generar los valores bajos de contenido seco, por una cantidad relativamente grande de re humectación de separación, debido a la presencia de grandes poros llenos de agua compartidos entre la hoja y el fieltro.

En el futuro, se utilizarán las informaciones sobre la caracterización de contacto provisto por el método en un modelo del proceso de prensado húmedo. Además, se las utilizarán para perfeccionar el fieltro en lo que se refiere a su comportamiento de contacto en diferentes situaciones de flujo.

#### Agradecimientos:

Esa investigación es parte de un programa conjunto de investigaciones realizada por Albany International Corp. y el grupo de investigaciones sobre "flujo mecánico eficiente" del Instituto Sueco de Investigaciones sobre Pulpa y Papel (STFI - Packforsk).

Los autores Jörgen Gullbrand y Hannes Vomhoff expresan sus agradecimientos a estas instituciones y al apoyo brindado por la Agencia Nacional de Ingeniería de Suecia (STEM).

#### Perfil del autor:

Daniel Justo es graduado en Ingeniería Química por la Universidad Federal de Rio Grande do Sul (UFRGS – Porto Alegre, RS) con Especialización en Metodología de Enseñanza por la Fundación Universidad Regional de Blumenau (FURB – Blumenau, SC) y MBA en Gestión Empresarial por la Fundación Getúlio Vargas (FGC – Blumenau, SC). Tiene 10 años de experiencia en la fabricación de papel y 25 años en proyectos y aplicación de vestimentas por Albany International, con énfasis en papel fino y cartón.