# CURSO DE FABRICACIÓN DE PAPEL

Instructor: Edison da Silva Campos

Apostilla: revisión 01

2009

ÍNDICE DE LA APOSTILLA

**1. LA MÁQUINA DE PAPEL (INTRODUCCIÓN) [4]**
1.1. LA MÁQUINA DE PAPEL (GENERAL) [4]
1.2. DIFERENTES TIPOS DE MÁQUINAS DE PAPEL [6]
1.3. ENCOLADO SUPERFICIAL [8]
1.4. ESTUCADO [9]
1.5. MICRO-CRESPACO EN PRENSA "CLUPAK" (PAPELES "SACK KRAFT") [9]
1.6. CRESPADO DE TISÚ [10]
1.7. ALISADO MONOLUCIDO [11]
1.8. CALANDRADO (SUPERCALANDRA) [12]
1.9. CARTÓN CORRUGADO [12]
**2. CAJA DE ALIMENTACIÓN (TIPOS Y PRINCÍPIOS BÁSICOS) [13]**
**3. FORMACIÓN DE LA HOJA (MALLA FORMADORA, ELEMENTOS DE** DRENAJE, OTROS COMPONENTES) [25]
3.1. INTRODUCIÓN [25]
3.2. CONDICIONES QUE DEBEN CUMPLIR LOS SISTEMAS DE FORMACIÓN [26]
3.3. TÉCNICAS DE FORMACIÓN DE LA HOJA [27]
3.4. PRINCIPIO DE LA FORMACIÓN DE LA HOJA POR VIA HÚMEDA [27]
3.5. FORMACIÓN DE LA HOJA EN LA MESA PLANA [29]
3.6. ESQUEMA DE LA MESA PLANA [31]
**3.6.1. Rodillo de cabeza [31]**
**3.6.2. Mármol [32]**
**3.6.3. Rodillos desgotadores [33]**
**3.6.4. "Foils" [34]**
**3.6.5. Cajas aspirantes húmedas [35]**
**3.6.6. "Vacufoils" [36]**
**3.6.7. Cajas aspirantes [36]**
**3.6.8. Cilindro aspirante [38]**
3.7. TECNICAS COMPLEMENTARIAS PARA MEJORAR LA FORMACIÓN DE LA HOJA [40]
3.7.1. Traqueo [40]
3.7.2. Rodillos desgotador e filigranador [41]
3.7.3. Formadores híbridos [43]
3.7.4. Gapformer [43]
**4. SECCIÓN DE PRENSAS (TEORIA Y TIPOS). FELTROS HUMEDOS [44]**
4.1. INTRODUCIÓN [44]
4.2. TEORIA DEL PRENSADO [45]
4.2.1. Fases de prensado [45]
4.3. TIPOS DE PRENSAS [47]
4.3.1. Cilindro de presión [47]
4.3.2. Prensas aspirantes [48]
4.3.3. Prensado con doble fieltro [49]
4.3.4. Prensas de agujeros ciegos ("Blind Drilled Press") [49]
4.3.5. Prensa ranhurada [51]
4.4. FUNDAMENTOS DE LOS NUEVOS CONCEPTOS DE PRENSADO [53]
4.4.1. Prensas de cilindros de gran diámetro [55]
4.4.2. Prensa de zapata [56]

**5. SECCIÓN SECA (TEORIA Y TIPOS). EVAPORACIÓN Y EXTRACCIÓN DE** VAPOR [57]
5.1. INTRODUCCIÓN [57]
5.2. TRANSFERENCIA DE CALOR Y MASA [58]
**6. LISAS [74]**
6.1. LISAS DE ACERO [74]
6.2. LISAS DE CONTACTOS BLANDOS (“GLOSS CALENDER”) [75]
**7. “POPE" [77]**
**8. RECUPERACIÓN DE AGUAS Y FIBRAS [78]**
BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS (Internet: marzo y abril/2009) [81]

# 1. LA MÁQUINA DE PAPEL (INTRODUCCIÓN)

## 1.1. LA MÁQUINA DE PAPEL (GENERAL)

La caja de entrada o de cabeza es un elemento situado justo antes de la unidad de formación de la hoja de papel, y está encargada de suministrar a ésta un chorro de suspensión fibrosa de geometría laminar. La operación que se realiza en la caja de entrada consiste en transformar el flujo circular de la pasta procedente de la bomba de dilución en un flujo rectangular coincidente con el ancho de la máquina de papel, al tiempo que le imprime una velocidad uniforme. Esta operación es de fundamental importancia, dado que la formación y uniformidad del papel formado depende de una dispersión uniforme de las fibras y otros constituyentes del papel, por lo que las misiones de la caja de entrada son las de extender la pasta uniformemente e igualar los flujos y la consistencia a lo ancho de la máquina de papel, uniformar el gradiente de velocidad de la pasta a lo largo de la máquina de papel, crear la turbulencia adecuada para evitar la floculación de las fibras y descargar un flujo de pasta constante y con el ángulo correcto sobre la máquina de papel (21).

Las cajas de entrada están constituidas por diferentes elementos: repartidor, dispositivos de igualación de velocidades y generación de turbulencia y dispositivos de formación del chorro. Puede distinguirse entre cajas de entrada abiertas y presurizadas, pudiendo ser estas con colchón de aire o hidráulicas, totalmente llenas de líquido (21).

La formación de la hoja de papel consiste, básicamente, en la operación de filtración. El chorro de suspensión fibrosa procedente de la caja de entrada, con una consistencia inferior al 1%, se deposita sobre el soporte de formación, constituido por una tela tejida por un filamento metálico (en el pasado) o sintético que posee una luz de malla del mismo orden de magnitud que la longitud de las fibras utilizadas. A partir de este momento se ejerce de una manera continua o discontinua una diferencia de presión en el seno de la suspensión fibrosa; esta diferencia de presión hace que una gran parte del agua que acompaña el chorro de entrada sea eliminada por filtración, quedando las fibras entrelazadas entre si formando un manto o colchón más o menos estratificado. Industrialmente se utilizan en la actualidad diferentes tipos de unidades de formación: mesas planas, formas redondas, formadores de doble tela e híbridos, que son mesas planas con una tela de formación superior (21).

En las mesas planas el soporte de filtración constituye una banda sin fin que se desplaza por encima de una serie de órganos que eliminan agua de la suspensión fibrosa hasta conseguir una estructura formada por fibras entrelazadas, compactas y con un grado de

humedad lo suficientemente pequeño como para permitir el traslado de la hoja de papel formada a la operación posterior, que se produce en las prensas, donde se continúa eliminando humedad (21).

En efecto, la hoja de papel que sale del formador con una humedad aproximada del 75-80%, pasa a continuación a la sección de prensas, donde se realiza la operación de "prensado". Los objetivos primordiales de esta operación son los de eliminar agua y consolidar la hoja, aunque también el prensado suministra lisura, reduce la mano y proporciona mayor resistencia a la hoja húmeda, para su mejor traslado al secadero o sequería. En las prensas la hoja de papel es sometida a una presión entre prensas giratorias, conjuntamente con un fieltro existente entre ellas. En esta operación, parte del agua del papel pasa al fieltro desde donde se evacua hasta alcanzar aproximadamente una humedad del orden del 50-60% (21).

La operación de prensado es muy interesante desde el punto de vista económico, ya que la eliminación de agua en ella es mucho más barata que cuando se realiza mediante secado. El prensado de la hoja de papel influye en sus propiedades, como la mano, índice de estallido, longitud de rotura, alargamiento, rigidez, etc. (21).

La eliminación del agua remanente sólo se conseguirá mediante el aporte de calor en el secadero o sequería. En esta operación de secado se termina de eliminar el agua del papel hasta alcanzar una humedad definitiva situada entre 5 y 7%. Esta operación se realiza normalmente poniendo en contacto la hoja de papel húmeda con la superficie exterior de unos cilindros de fundición (secadores o secaderos) que están calentados interiormente con vapor. Para mejorar el contacto de la hoja de papel con la superficie caliente de los cilindros, se usan telas secadoras en algunas casos. Otros como el caso del cilindro "Yankee" para papeles tisú o para , no hay a presencia de telas secadoras (21).

Una vez seco, las fibras se han unido convirtiéndose finalmente en lo que consideramos papel. En algunas ocasiones, se requiere un papel muy brillante, o con una lisura especial, esto se consigue presionando entre dos rodillos llamados lisas. Fase final de la formación del papel. Otra aplicación de las lisas es la de modificar el calibre o grosor del papel mediante presión. Finalmente, el papel fabricado se enrolla en el "Pope" en grandes bobinas para su posterior uso. La figura 1 muestra o perfil de sólidos en la dirección de una máquina de papel.

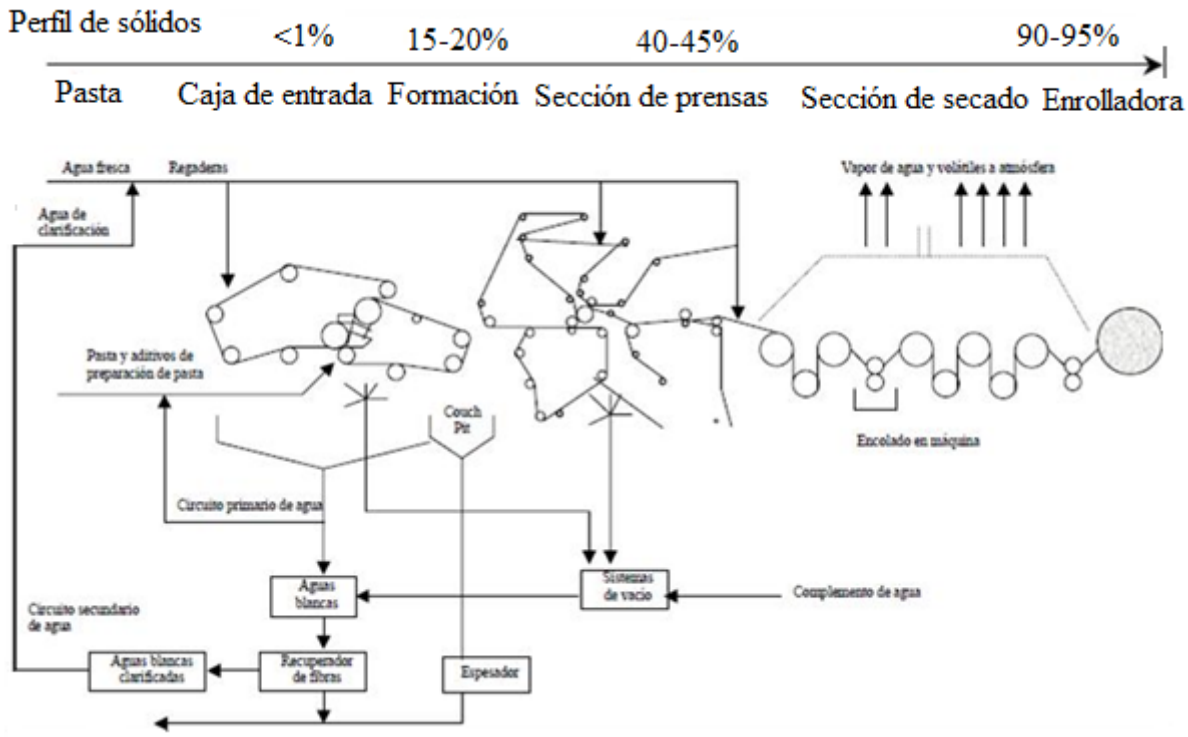
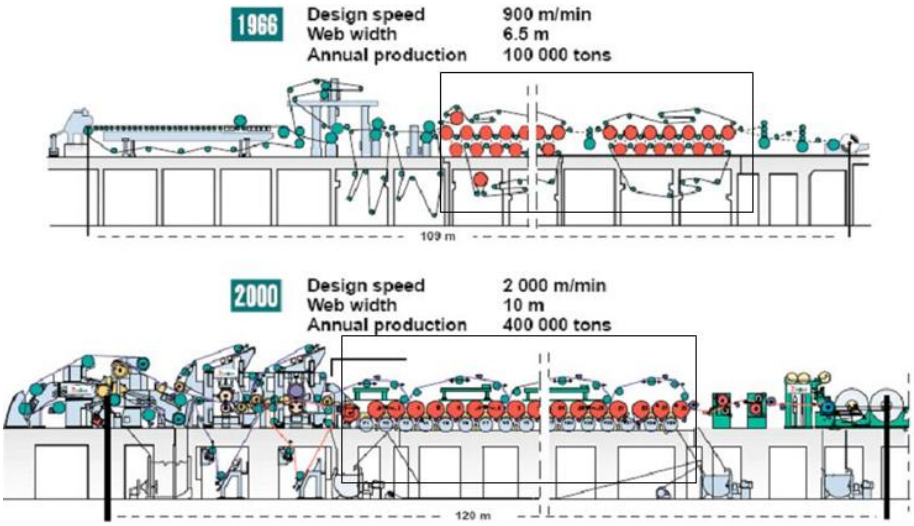



Figura 1- FUENTE: (8)

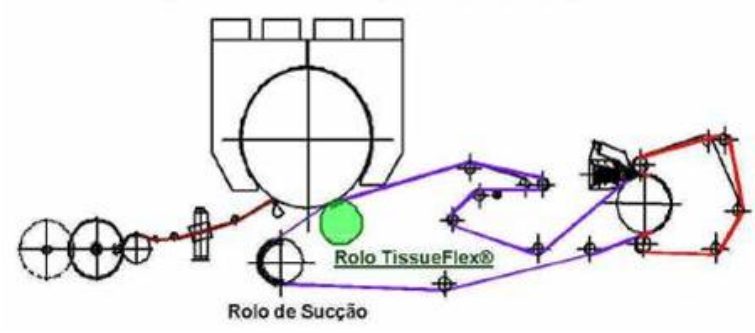
## 1.2. DIFERENTES TIPOS DE MÁQUINAS DE PAPEL

Las figuras a seguir (2 a 7) muestran algunos diferentes tipos de máquinas de papel que serán discutidas durante el curso.



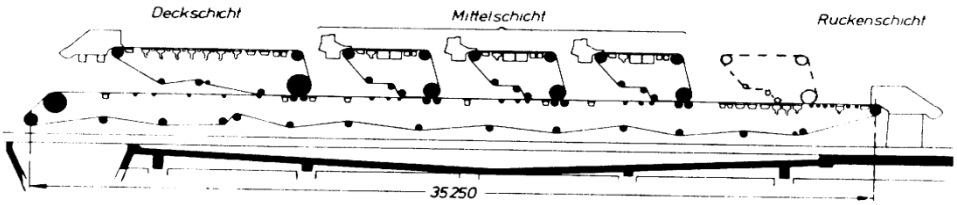

Máquina “Double Tier” vs. máquina “Single Tier” con formación en doble tela y “soft calandra”

Figura 2 – FUENTE (16)



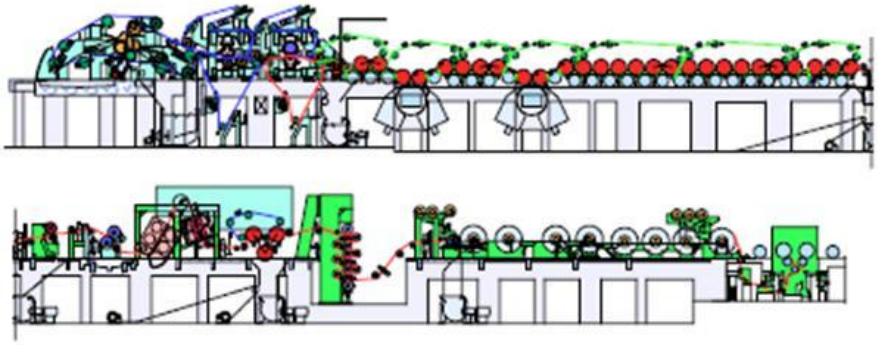

Máquina Tisú tipo “Crescent Former” con prensa zapata

Figura 3 – FUENTE (20)



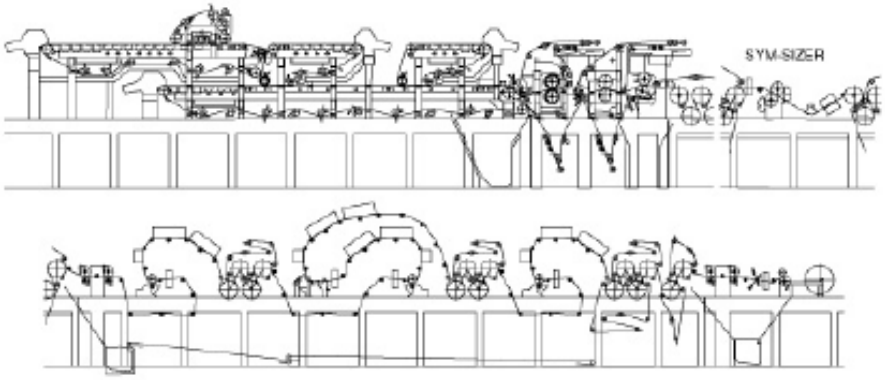

Máquina para cartón multicapas con 5 cajas de entrada

Figura 4 – FUENTE: (20)



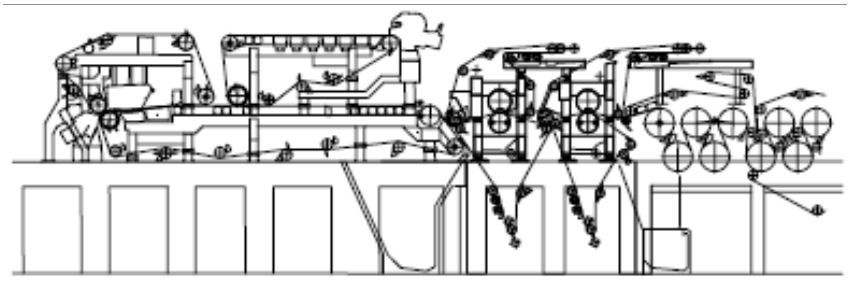
Máquina para papel estucado dos caras “on machine” con supercalandra

Figura 5 – FUENTE: (16)




Máquina para cartón multicapas estucado dos caras.

Figura 6 – FUENTE: (16)



Máquina doble tela y una caja secundária

Figura 7 – FUENTE: (16)

## 1.3. ENCOLADO SUPERFICIAL

La forma más sencilla de acabado es el tratamiento de las superficies en la prensa encoladora, integrada en la máquina de papel. Aquí se aplica almidón a fin de consolidar la superficie. Mediante el encolado de la superficie se evita que se produzcan efectos de arrancado en la máquina de impresión. El tratamiento en la prensa encoladora sirve en muchas ocasiones para preparar y ajustar el papel base para el siguiente proceso de estucado (8).

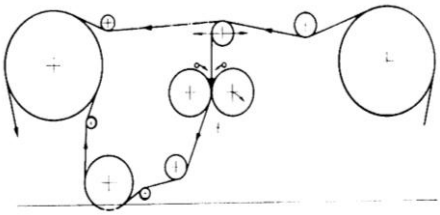


Figura 8 – FUENTE: (8)

La prensa encoladora (“size-press” o “speed-sizer” – figura 8) consta de un par de rodillos blandos, generalmente recubiertos de goma, que se presionan uno contra otro y entre los que se pasa la banda de papel (8).

Mediante la presión se dosifica y se empuja la solución encoladora en el papel. La cantidad de pigmento que se puede aplicar con este dispositivo es limitada. Sin embargo, hay otros tipos de equipos de aplicación de encolado superficial (figura 9 y 10) (8).

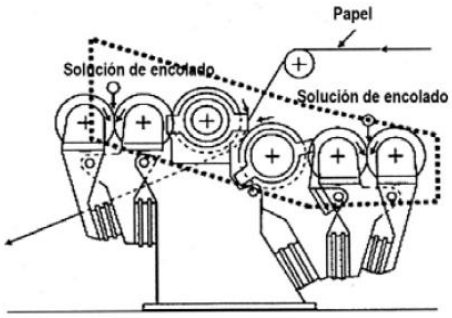



Figura 9 – FUENTE: (8)

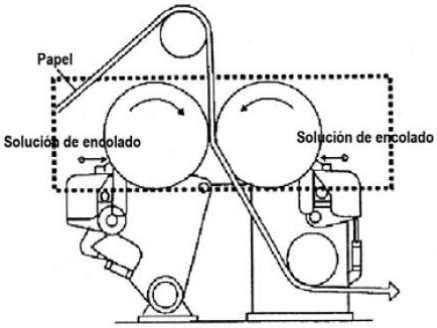



Figura 10 – FUENTE: (8)

## 1.4. ESTUCADO

En los últimos años han ido aumentando las exigencias a los medios impresos de comunicación. Las expectativas en cuanto a estética y características de impresión del papel han sido factores decisivos para ulteriores desarrollos. Mediante el estucado podían mejorarse las cualidades ópticas, la blancura y coloración del papel, así como su brillo y lisura. Además fue posible imprimir tramas muy finas y las capas de color más delgadas permitieron conseguir una mayor diversidad de colores y más contraste en las imágenes impresas (8).

En el proceso de estucado se aplica en el papel soporte una capa formada por pigmentos, aglutinantes y sustancias auxiliares, para lo cual el color, el proceso, los parámetros de regulación la máquina de estucado (figura 11) y el papel soporte tienen que adaptarse con precisión. El número de grupos de aplicación de una máquina de estucado con el secado correspondiente varía según se trate de estucado sencillo, doble o triple, utilizándose los distintos sistemas de aplicación de forma progresiva, según sus ventajas específicas correspondientes (8).

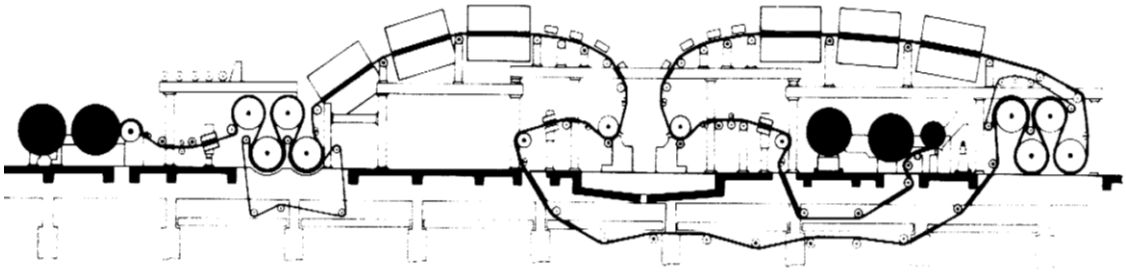


Figura 11 – FUENTE: (20)

## 1.5. MICRO-CRESPADO EN PRENSA “CLUPAK” (PAPELES “SACK KRAFT”)

El saco multipliego de papel es una variedad de envase flexible cuya propiedad más relevante es la resistencia que debe poseer para responder adecuadamente durante toda la cadena de envasado y distribución, permitiendo así una protección óptima para el producto envasado. Fabricados con uno o más pliegos de papel, estos sacos pueden ser utilizados para envasar diversos productos. Normalmente sus capacidades van entre 10 y 50 kg de producto, dependiendo de la densidad específica de éste (12).

En la fabricación de sus sacos, se utiliza papel “sack kraft” extensible, el que asegura una mayor absorción de energía por parte del envase, y, en consecuencia, una mayor resistencia. Esto permite que con papeles de gramajes relativamente bajos, se cumpla

satisfactoriamente con las exigentes condiciones de manipulación a las que son sometidos normalmente estos envases (12).

Además de usar solamente fibras vírgenes de pino radiata para obtener un papel especializado con alta resistencia es muy importante su proceso de fabricación. Mediante el proceso “Clupak”, es posible obtener papeles denominados extensibles, con una mayor elasticidad, lo que permite que los sacos sean capaces de absorber una cantidad mucho mayor de energía sin romperse. El proceso Clupak (figura 12) consiste en generar micro deformaciones en el papel, invisibles a simple vista, que lo proveen de una mayor elongación ante fuerzas externas (12).

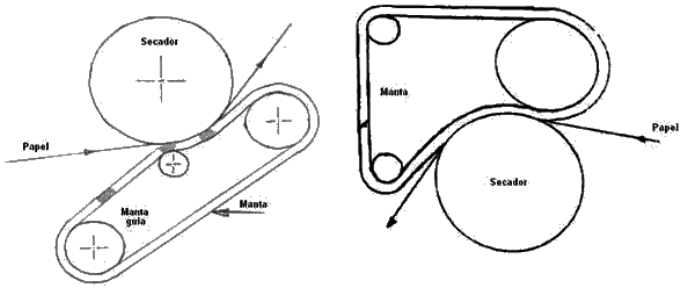



Figura 12 – FUENTE: (9)

Adicionalmente, en los últimos años se ha avanzado en nuevos procesos tecnológicos en la fabricación del papel. El más importante entre ellos, es el proceso de refinación en alta consistencia (figura 13). Con esto se han logrado importantes mejoras en distintos atributos de los productos y en especial en sus propiedades de resistencia, lo que ha permitido la fabricación de papeles de menores gramajes sin disminuir esa característica en los envases (12).

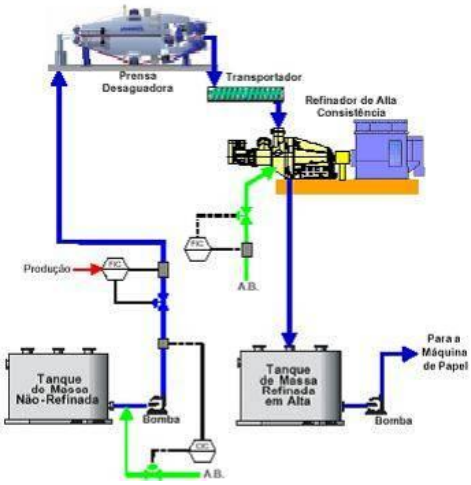



Figura 13 – FUENTE: (22)

## 1.6. CRESPADO DE TISÚ

Se llama papel Tisú a un papel suave y absorbente para uso doméstico y sanitario, que se caracteriza por ser de bajo peso y crepado, es decir, con toda su superficie cubierta de microarrugas, las que le confieren elasticidad, absorción y suavidad. El crepado aumenta la

superficie específica del papel y abre las fibras, permitiendo mayor capacidad de absorción y mayor flexibilidad que las de una hoja de papel corriente (11).

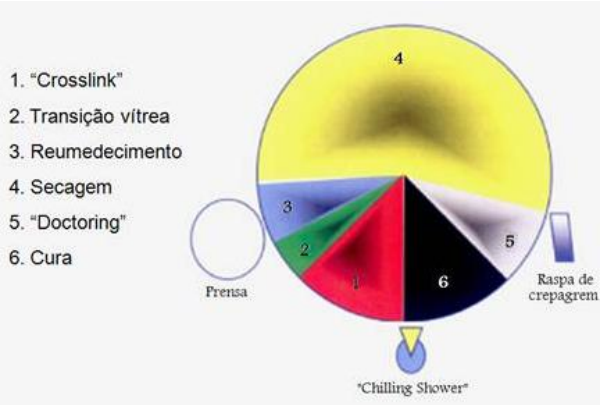



Figura 14 – FUENTE: (27)

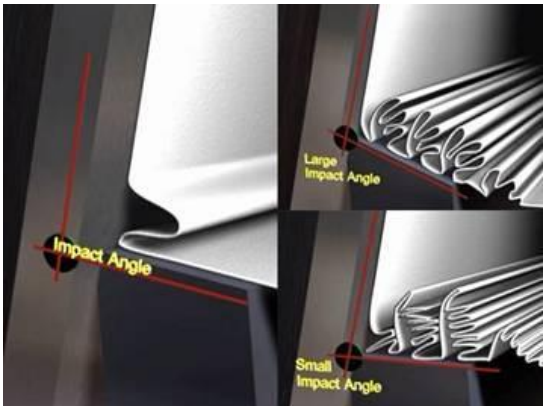



Figura 15: FUENTE: (27)

## 1.7. ALISADO MONOLUCIDO

Los papeles monolúcidos son los que pasan por un gran cilindro que deja el papel terso por la cara en contacto con él. Las máquinas de papel para la fabricación de papeles satinados por una cara se construyen hasta el cilandro satinador iguales que las máquinas planas. El satinado por una cara se efectúa al final de la batería de secadores de la máquina de papel con la prensa fraccionadora, que se compone esencialmente de un cilindro satinador lo más grande posible y de un rodillo elástico de apriete (figura 16); a veces también de dos rodillos, situados el uno al lado del otro, por medio de los cuales el papel se aprieta fuertemente, en toda su anchura, contra la superficie del cilindro, efectuándose el secado final por la alta presión del vapor. Con esto el papel recibe un brillo muy grande de la cara que está en contacto con el cilindro (5).

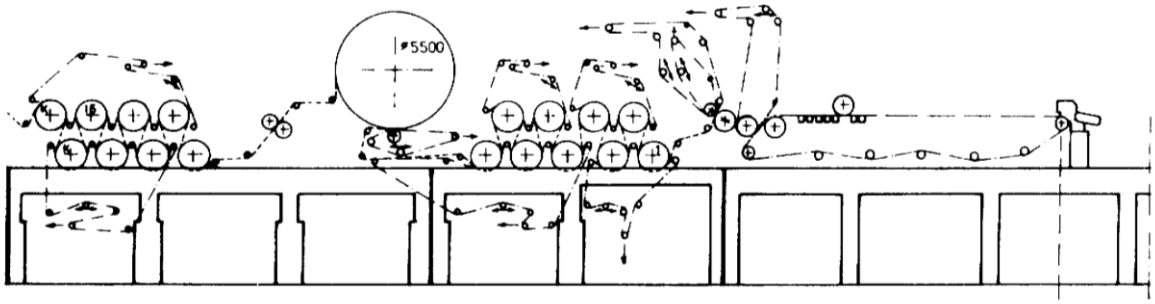



Figura 16 – FUENTE: (20)

## 1.8. CALANDRADO (SUPERCALANDRA)

La tarea de la calandra es conseguir una superficie lisa y brillante, lo que se logra mediante la aplicación de presión y calor al pasar el papel entre los rodillos. Los diferentes tipos de calandras pueden estar integrados en la estucadora o ser operados como instalaciones separadas. Las instalaciones separadas, las llamadas supercalandras, pueden tener hasta 16 rodillos. Estos rodillos pueden presentar diferentes superficies, por ejemplo hay rodillos duros de acero o rodillos elásticos que permiten obtener un satinado determinado (8).

Según el tipo de papel, éste está acabado al salir de la máquina de estucado o tras el satinado en la calandra (8).

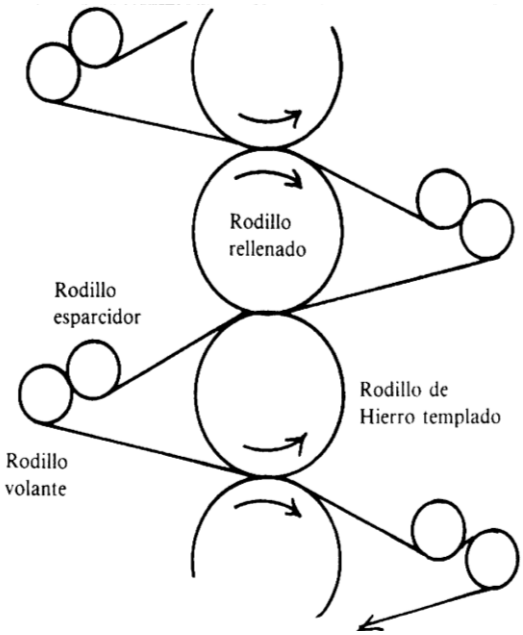



Figura 17 – FUENTE: (3)

Figura 18 – FUENTE: (8)

## 1.9. CARTÓN CORRUGADO

El cartón corrugado es una estructura formada por un nervio central de papel ondulado (Papel Onda), reforzado externamente por dos capas de papel (Papeles “liners” o tapas) pegadas con adhesivo en las crestas de la onda. Es un material liviano, cuya resistencia se basa en el trabajo conjunto y vertical de estas tres láminas de papel.

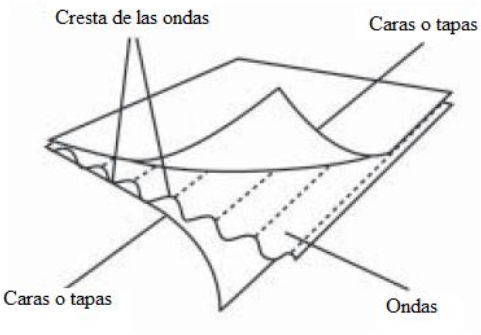



Figura 19 – FUENTE: (24)

Para obtener su mayor resistencia, la onda del cartón corrugado tiene que trabajar en forma vertical, tal como se muestra en el gráfico a continuación. El cartón corrugado pierde su resistencia si la onda sufre aplastamientos o quebraduras producidos por fuerzas externas (24).

## 2. CAJA DE ALIMENTACIÓN (TIPOS Y PRINCÍPIOS BÁSICOS)

Básicamente la caja de la máquina de papel es un aparato que transforma un flujo circular de pasta en un flujo rectangular y la entrega a la tela de la máquina a una velocidad igual o aproximada a la velocidad de la tela. La pasta es librada del agua en la tela para formar un tejido húmedo el cual al final se convertirá en la hoja terminada de papel. La función básica de una caja es verter un flujo de pasta de sección circular para fabricar el papel con una consistencia determinada en un flujo rectangular con una velocidad uniforme y dirección hacia adelante y a través de la máquina mientras mintiendo la dispersión de fibras (3).

La caja es  como un equipo hecho de tres partes separadas que trabajan juntas como un todo. La primera parte de la caja es el sistema de entrada. Esta es la porción de la caja que toma el flujo circular y le distribuye a través del ancho de la máquina de papel. La segunda porción de la caja es la zona de calma o la caja propiamente dicha. En esta porción de la caja se emparejan la corrientes encontradas, la desuniformidad del flujo de la pasta y la dispersión de las fibras dentro de la pasta. También en esta sección de la caja el flujo rectangular es entregado a la regla, a cual es la tercera parte de la caja. La función principal de la regla es entregar la pasta. Todavía uniformemente distribuida a la tela aproximadamente a velocidad de esta (3).

La formación o uniformidad de la hoja de papel terminada depende mucho de la distribución uniforme de las fibras y rellenos que la componen. El diseño de una caja debe suministrar suficiente movimiento a la pasta a través de la caja de manera que se eliminen la sedimentación de la pasta y la floculación o conformación de redes sea minimizada tanto como sea posible. La pasta para la fabricación de papel tiende a pararse cuando fluye a redor de un recodo o seguir un camino curvo. La fibras y rellenos tienen a fluir hacia el lado exterior de la curva. Este es el principio fundamental de un limpiador centrífugo. La separación del agua de los materiales sólidos de la pasta para la fabricación de papel debe evitarse en el diseño de una caja. Una velocidad de flujo despareja saliendo de la caja sobre la tela resultará en variaciones de las propiedades del papel a través de la máquina y por lo tanto la pasta se debe entregar a al tela a una velocidad uniforme. Las turbulencias de grande escala debe evitarse en la caja ya que tales turbulencias aparecen como variaciones en las

propiedades del papel en la hoja terminada. Sin embargo una turbulencia en pequeñas escalas ayudan a la distribución o dispersión de material sólido mantenido en la pasta. Así que experimentamos dificultades en el diseño de las varias partes de la caja. Queremos mantener una turbulencia de pequeña escala y una subsecuente dispersión de las fibras, pero también queremos eliminar las turbulencias en grande escala que ya a menudo se encuentran en la caja (3).

Las suspensiones de fibras y otro constituyentes del papel son extremadamente susceptibles al crecimiento microbiológico. Y generalmente los microbios que crecen en el sistema de fabricación del papel son de la variedad que producen lama. La acumulación de lama en una caja de alimentación puede causar huecos en la hoja terminada y roturas en ella durante el paso por la máquina. Los agregados de fibra que se hace secado en superficies expuestas de la caja y luego se suelta tiene efectos similares. Por consecuente, el diseño de una caja tiene que ser limpio y suave de manera que se minimice la acumulación de fibras y el crecimiento de depósitos microbiológicos (3).

El propósito fundamental del sistema de entrada como se mencionó anteriormente es tomar un flujo circular de pasta y distribuirlo uniformemente a través del ancho de la máquina de papel y entregar este flujo rectangular dentro de la sección de calma de la caja. Para realizar esto se ha usado diferentes medios en el pasado. Es importante que el sistema de entrada a medida que distribuye el flujo uniformemente a través de lo ancho de la caja introduzca el mínimo de corrientes encontradas o de uniformidad de flujo dentro de la caja propiamente dicha (3).

El canal es cónico de manera que la presión de la pasta es uniforme en todas las aberturas de la placa de orificio entregando así un flujo uniforme dentro de la caja a todo lo ancho. Estas dos ilustraciones de cámara de circulación de sistemas de entrada son ilustraciones muy simples. Ha habido muchos diseños diferentes de caja de entrada y posiblemente tanta soluciones a el problema de la caja de alimentación como máquina de papel en operación hoy en día. Sin embargo, es importante pensar en términos de testes por básicos de diseños de cajas (3).

La figura 20 muestra dos tipos de sistemas que podría anunciarse para realizar esta función (3).

La figura 20.a ilustra un tipo de sistema de entrada de ramificaciones múltiples donde el flujo circular es dividido varias veces tanto uniformemente como es posible para distribuirlo a través del ancho de la máquina en un número de flujos a la caja. Una cámara de circulación rectangular cónica se muestra en la figura 20.b. El flujo del "fan pump" entra a la izquierda dentro de un canal cónico.

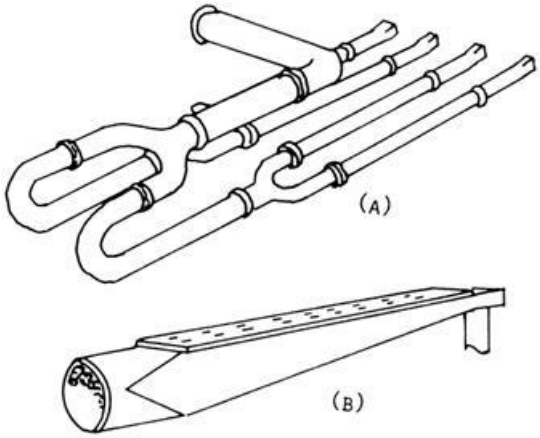



Figura 20 – FUENTE: (3)

La pasta fluye a través de una placa de orificios localizado en la parte superior del canal y dentro de la caja. En esta caja abierta aparecen dos rodillos retificadores, uno está localizado entre último tabique en el lado frontal de la caja. Y el otro está localizado en la entrada a la regla. Un cilindro retificador es un cilindro muy brillante el cual tiene agujeros perforados a través de su superficie. La pasta es forzada a través de los huecos del rodillo retificador el cual está rodando lentamente. Este dispositivo ayuda a emparejar el flujo a través del ancho de la máquina e se ve como un promotor de turbulencia para ayudar a deflocular o dispersar las fibras para la fabricación del papel (3).

El primero está ilustrado en la figura 21. el cual muestra una caja abierta de paso múltiple. El flujo de la caja entra en la esquina superior derecha como se muestra en la figura 2 a través de alguna clase de distribuidor o sistema de entrada. El flujo pasa luego por una serie de tabiques y vertederos a través de la caja propiamente dicha. Ya si afuera a través de la regla la que está colocada sobre los rodillos de pecho como se muestra en el lado izquierdo de la figura (3).

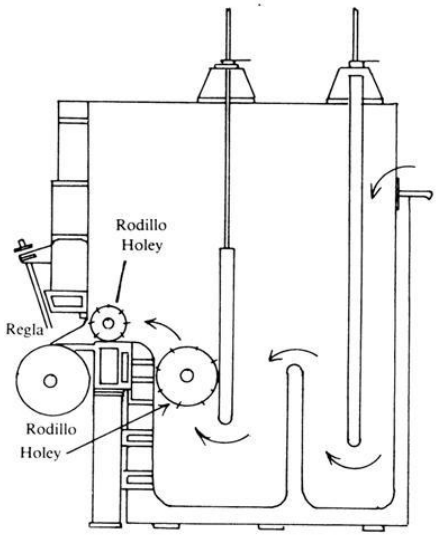



Figura 21 – FUENTE: (3)

Las cajas de entrada abiertas se encuentran en máquinas muy lentas y angostas. Y muy pocas sino algunas están instaladas hoy día. La velocidad de la pasta entregada a la tela depende del nivel de liquido en la caja por una relación de raíz cuadrada. Se doblamos la velocidad de la máquina y así necesitamos doblar la velocidad de la pasta entregada a la tela tenemos que cuadruplicar la altura de la pasta mantenida en la caja mantenida arriba del nivel de la regla. Usted puede ver en esta ilustración que las cajas de entrada tendrían que ser extremadamente altas a medida que aumenta la velocidad de la máquina (3).

Con objeto de mantener la estabilidad de la suspensión fibrosa hasta su fijación sobre la tela, la caja debe iniciar una mini, o mejor, una microturbulencia en el flujo. En las cajas de entrada abiertas (que funcionan con altura geométrica), cuando aumenta la altura de la pasta, va reduciéndose, hasta desaparecer, el fenómeno de miniturbulencia, debido a la inmovilización de las capas superiores de la pasta. Cuando sea posible, es preferible elegir una caja cerrada, siempre que esta altura sobrepase los 400 mm, lo que equivale a una velocidad del orden de 170 m/min, aunque existen cajas antiguas que funcionan abiertas a más de 250 m/min, pero sin que se pueda afirmar que la formación de la hoja sea igual a la que se puede obtener con una caja cerrada (25).

El seguirte paso lógico en la evolución de las cajas fue cubrir la caja abierta y usar presión de aire sobre el líquido para alcanzar la presión requerida para forzar la pasta fuera de la regla y aproximadamente a la velocidad de la máquina. La figura 22 muestra una caja cubierta o confinada por aire con 2 rodillos retificadores. La pasta entra en la caja por la esquina inferior derecha y pasa a través de un rodillo retificador que ayuda a remover el aire de la pasta. El otro rodillo retificador ayuda a mantener la pasta dispersa a medida que pasa a través de la caja. Una serie de duchas lava las acumulaciones de fibras en las superficies expuestas de la caja y ayuda a absorber la espuma que se produce a medida que el aire escapa de la pasta (3).

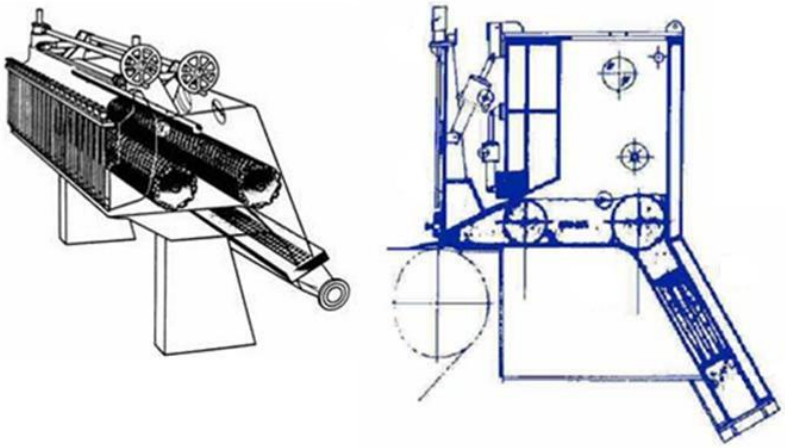


Figura 22 – FUENTE: (22)

Las cajas cerradas con almohada de aire funcionan corretamente con velocidades de las más bajas hasta 800 m/min. Las cajas cerradas sin almohada de aire funcionan bien con velocidades a partir de los 300 m/min hasta las más elevadas (25).

Las microturbulencias de baja frecuencia se obtienen en las cajas abiertas y en algunas cajas cerradas con almohada de aire gracias a una serie de dos o más rodillos perforados que son de difícil explotación (¿?). En efecto, hay tipos de perforaciones que se adaptan mejor a una pasta o mezcla de pastas que a otras; una velocidad de rotación óptima según la velocidad de la máquina, un sentido de rotación sometido a muchas variables, así como un diámetro ligado a múltiples condiciones. Se trata siempre de un compromiso que raramente da un resultado ideal, suficiente en la mayoría de los casos, pero no ideal, lo que hace creer a algunos técnicos papeleros que sería mejor utilizar cajas que empreasen medios estáticos para inicia estas mini o, mejor, microturbulencias. Esto no siempre es cierto, porque se las cajas de entrada equipadas de rodillos perforados permiten una posible variación de caudal del orden de uno a tres en condiciones relativamente buenas, no es lo mismo para los demás sistemas (25).

Existe otro método para iniciar microondas basada en el cambio brusco de la velocidad de entrada del flujo en la caja. Este cambio se obtiene de varias maneras, la más antigua y sencilla es la placa perforada (figura x). El flujo se acelera al pasar a través de agujeros calibrados (cilíndricos, cónicos, con entrada especial, etc.) y a la salida la velocidad se reduce iniciando unos remolinos que son los que producen las microondas. Otro sistema es el formado por una placa más sofisticada en la cual los agujeros forman un nido de abejas (25).

Algunos de estes dispositivos de entrada están construídos por una multitud de tubos que, en ciertos casos, poseen unos escalones para aumentar el efecto de remolino (figura x) (25).

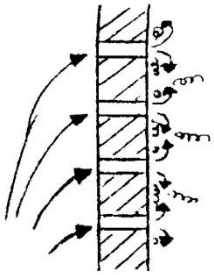


Fig. 4

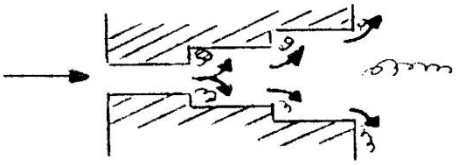


Fig. 5

Es evidente que el fenómeno vibratório no puede existir más que en una gama de velocidad muy estrecha; es decir, que, en general, las cajas de entrada (siempre cerradas), equipadas con dispositivos según este método, no pueden permitir una variación de caudal más que de uno a uno y medio en correctas condiciones (25).

El último método, que no se basa en una pérdida de presión sino en un fenómeno físico de iniciación de microturbulencias, corresponde la aplicación de las leyes de Van der Waals. Este sistema se aplica únicamente a las velocidades más elevadas, pero es teóricamente perfecto porque, según duchas leyes, el fenómeno de microturbulencias se mantiene hasta el infinito, lo que no es el caso de los demás sistemas. La figura x muestra la realización de este sistema (25).

Como conclusión en la definición de esta parte de las cajas de entrada, se debe entender que ningún sistema es universal y que cada uno debe elegirse según el destino de la máquina a donde va a colocarse la caja de entrada (25).

Otro problema es el que plantea la salida del flujo de las cajas. Independientemente del diseño de esta salida, (según figuras x o y) el flujo es siempre divergente. Para limitar este fenómeno pertubador, en las mesas planas se suele alargar el labio inferior de manera que modere la velocidad de la capa inferior del flujo, a fin de reducir la divergencia, pero al mismo tiempo, el flujo no puede se depositado sobre la tela paralelamente a ella (25).

Figuras

Para evitar estos fenómenos existe un tipo de salida de caja que contiene una o varias lenguas dispuestas entre los labios de forma que reduzcan la velocidad de la capa central del flujo (figura x) y lo que hagan converger. Este sistema se alica en las cajas cerradas o hidráulicas, utilizándose especialmente en los dispositivos de formación entre dos telas que necesitan una perfección absoluta en la salida de la caja (25).

Todo lo anterior pone de manifesto la complejidad de la elección del tipo de caja de entrada, y dentro de éste, la del model mejor adaptado. Por eso se suele decir sencillamente que hay cajas para alta velocidad, para papeles delgados o gruesos, para papels cargados o no, para máquinas de múltiple usos o especializadas, etc. (25)

Cada modelo de máquina que existe en el mercado puede ser bueno, pero sólo para muy reducidos casos de aplicación, principalmente para los más sofisticados. Por eso repetimos que para que una caja de entrada funcione bien, además de una buena elección, es necesario que esté bien instaladas; es decir, con una alimentación de pasta perfectmente estable, con el caudal y la presión requeridos, la concentración constante y una regulación de nível o de presión de la almohada de aire perfectamente estable. De la misma manera, la caja debe mantenerse perfectamente limpia a fin de evitar irregularidades longitudinales en la hoja (25).

En todos los casos en que una caja de entrada con almohada de aire funciona próxima a la zona de vacio/presión, surgen problemas de inestabilidad. La velocidad de la máquina debe estar fuera de esta zona, porque, a pesar de las afirmaciones de los constructores, en la práctica, nadie puede asegurar haber obtenido buenos resultadosen esta zona de funcionamento. Los diferentes medios de obtención y de regulación de la almohada de aire se expondrán en un próximo artículo dedicado a los anexos a las máquinas de papel o cartão (25).

A continuación describiremos varios sistemas del funcionamiento de la caja de entrada.

Ante todo hay que recordar que una variación longitudinal de gramaje (ondulaciones transversales) se debe a una variación del nível en la caja (pulsasiones de la almohada de aire o variaciones de caudal a la entrada), que una oscilación de gramaje transversal nace de las pulsaciones a la entrada lateral del coletor de reparto y que una variación transversal fija de gramaje es debida a un mal ajuste de la presión en el colector de reparto o de la abertura del lábio superior (25).

Todos los defectos del papel pueden contemplarse fácilmente viendo las pilas de papel o de cartón después de su paso por la cortadora, cuando se corta una sola bobina a la vez, que es un buen medio de control (¿?). La figura 8 muestra una de estas regularidades (25).

La variación transversal del espesor de las pias refleja las diferencias fijas del gramaje. En el frontal se ven claras y sombreadas que se meven; estas rayas son la imagem de zonas móbiles en la banda de papel, de gramajes diversos o de concentraciones en las cargas diferentes. Examinar el lateral de una pila de 1 m de altura, de un corte de 1 m de largo y de un papel de 100 g/m$^2$ represente aproximadamente la imagem de una banda de 10.000 m de

papel, lo que permite analizar las freqüências de las pulsaciones. Si se trata de una máquina que funciona a una velocidad del orden de 350 m/min, esta pila representa 30 min de produción (25).

Los desarrollos más recientes en el diseño de la caja son los que llamo caja de boquilla o hidráulico. En este tipo de caja no hay amortiguaciones involucradas en el flujo de la pasta. El flujo de la pasta es continuo a través de la caja. La dispersión de la pasta se mantiene exponiéndola a altos niveles de turbulencias en pequeña escala en varios puntos en su paso a través de la caja. La relación cuadrática entre velocidad y presión de la caja para el tipo abierto y confinado por aire ha conducido a este nuevo tipo de caja. La figura 23 muestra un ejemplo de este tipo (3).

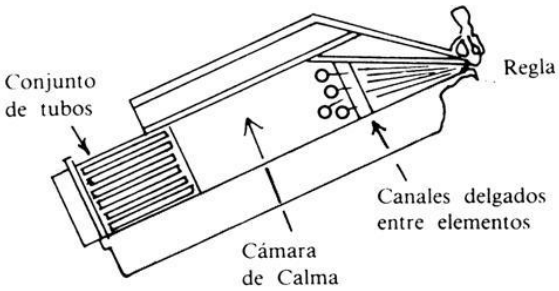



Figura 23 – FUENTE: (3)

La zona de calma o caja de alimentación propiamente dicho tanto se es una caja abierta acofinada por aire o tipo de boquilla sirve para minimizar la corrientes encontradas. Elimina las diferencias de velocidad a través da máquina, da tiempo para que las fibras se distribuyen uniformemente a través de la máquina y entrega la pasta a la regla en la dirección del flujo a través de la regla. La regla es una sección muy importante de la caja. Es esencialmente una ranura o apertura rectangular en frente de la caja que permite a la pasta fluir sobre la tela de “fourdrinier”. Su propósito principal es tomar la pasta que se mueve a una velocidad relativamente lenta en la zona de calma y que está a una presión regularmente alta o cabeza estática y es descargada a la atmósfera a una velocidad muy cerca de la velocidad de la tela de “fourdrinier” (3).

Todo el equipo antes de la regla, el sistema de aproximación y la zona de calma ha sido diseñado para hacer un flujo uniforme a la regla. Este puede ejecutar diferentes funciones al entregar la pasta a la sección de formación de la máquina a una velocidad cercana a la velocidad de la tela. La regla puede ser ajustable a través del ancho de la máquina de manera que el operador pueda compensar desuniformidade menores en el flujo de la regla. Muchos diseños de regla permiten un control del ángulo en el cual el chorro golpea la tela o el punto

que choca el chorro sobre la tela. Otras funciones importante es promover la dispersión adicional de las fibras a medida que la pasta es acelerada a través de la regla y sobre la tela sin criar disturbios a gran escala. Debe ser claramente definido en este momento que la abertura de la regla no tiene efecto sobre el peso base del papel que está siendo producido. Para una velocidad tal en máquina el peso es controlado por la consistencia y rata de flujo de la pasta en la válvula de control principal (3).

A visualizar la regla observamos la relación entre el volumen del flujo de pasta de la caja. La cabeza o presión en la caja y la velocidad que la pasta sale de la caja. La ecuación de Bernoulli es una relación que usa Frequentemente para escribir el flujo de fluidos incompresibles. Esta ecuación puede ser definida como en la ecuación 1 para la figura 5 donde los subscritos 1 y 2 de la ecuación si refieren a los puntos 1 y 2 localizados en el flujo del fluido. “$p_1$” es la presión en el punto 1; “ρ” es la densidad del fluido; “g” es la aceleración de la gravedad; “$z_1$” es altura del punto 1 arriba de algún punto de referencia y “$v_1$” es la magnitud de la velocidad del fluido en punto 1 (3).

La magnitud de 1 y la presión en el punto 1 se entiende fácilmente. El valor “$pgz_1$” es un término de energía potencial. La energía potencial puede transformarse en energía cinética la cual está representada en la ecuación 1 por el término “$v^2$”. Esta relación es una relación ideal y se asume que no hay bomba o turbinas en el canino del flujo entre los puntos 1 y 2. Se asume que hay un flujo estable, que los fluidos son incompresibles y que estamos tratando con fluidos ideales o no viscosos. Ahora, note que las restricciones en el uso de las ecuaciones de flujo de Bernoulli son ciertas en el flujo a través de la regla. Sin embargo, la ecuación puede y ha sido usada muy efectivamente para predecir la relación entre la velocidad del chorro que sale de la regla y la cabeza total o presión más la energía potencial del fluido que entra la regla. Un ejemplo simplificado puede ayudar a ilustrar el uso de esta ecuación. Considere el recipiente mostrado en la figura 24 (3).

$$P_1 + \rho g z_1 + \rho \frac{v_1^2}{2} = P_2 + \rho g z_2 + \rho \frac{v_2^2}{2} \qquad (1)$$

$$\rho g (z_1 - z_2) = \rho g h = \rho \frac{v_2^2}{2} \qquad (2)$$

$$v_2 = \sqrt{2gh} \qquad (3)$$

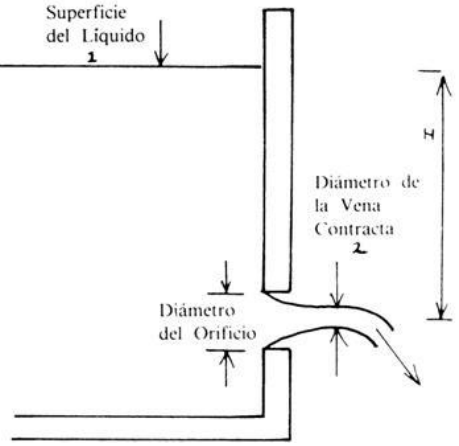


Figura 24 – FUENTE (3)

Contiene un orificio o hueco a una distancia debajo de la superficie libre del fluido del recipiente. A través de este orificio el líquido es libre de escapar del recipiente. Si el nivel del fluido en el tanque es mantenido a una altura constante o se el tanque es muy grande el sistema se puede asumir que esta en una situación de flujo estable. Se tomarmos el punto 1 como la superficie libre del fluido del recipiente y el punto 2 como algún punto del chorro que sale del recipiente, podemos usar la ecuación de Bernoulli para encontrar la relación entre los flujos en los dos puntos (3).

La presión en ambos puntos 1 e 2 será la atmosférica y así los términos presión se cancelan en ambos lados de la ecuación. Si el nivel se mantiene constante en el tanque la velocidad del punto 1 será cero y el termino de la energía cinética se elimina en el lado izquierdo de la ecuación. Adelante de la ecuación notada hay la ecuación 2 en la cual la diferencia de elevación "$z_1 - z_2$" es la altura de la superficie libre arriba del orificio del recipiente "H". Pudiendo arreglar este resultado nos da la ecuación 3 en la cual vemos que $v_2$ (velocidad del chorro del punto 2) es igual a la raíz cuadrada de "2gh" (3).

Esta ecuación es llamada de ecuación de Torricelli. Note que la velocidad del orificio o la velocidad del chorro depende solamente de la altura del fluido del tanque arriba del orificio y de ninguna manera está relacionada con el tamaño o forma de la abertura o de las propiedades del fluido. Así esta relación podría usarse para describir el flujo de un liquido a través de la regla de la caja donde nosotros mantenemos una elevación constante de la pasta. Las relaciones nos indican que se queremos doblar la velocidad del chorro porque está muy blanda la velocidad de la máquina tenemos que aumentar el nivel de la caja cuatro veces a lo que fue la velocidad anterior. Se tenemos una caja presurizada, el termino chiga a ser la cabeza hidrostática sobre la regla más cualquier presión del aire que excede a la atmosférica superpuesta en la superficie de la pasta de la caja. Ahora recordemos que esta relación está algo restringida en el sentido de había varias suposiciones que influyan la ecuación de Bernoulli. Por consiguiente, esta ecuación nos da solamente un relación teórica entre la velocidad de salida de chorro y la cabeza de la caja. Otra dificultad para usar este resultado es que tenemos que definir donde vamos a tomar el punto 2. Generalmente usamos una velocidad para el punto 2 tomada del punto exterior al tanque donde la corriente tiene su mínima área a succionar. Esta área se llama la "vena contracta". La corriente converge fuera

del tanque porque el flujo no puede ajustar las esquinas afiladas del orificio a la alta velocidad de salida (3).

La agudeza del orificio de la regla en la caja varia considerablemente dependiendo de su diseño como se muestra en dos arreglos típicos mostrados en la figura 25 (3).

En la figura 25 vemos dos tipos de reglas: la regla “A” que en un plancha lisa o labio inferior y el labio superior inclinado. La regla “B” es una regla do tipo reto el cual tiene un labio vertical y una plancha lisa. Un tercer tipo de regla es el de boquilla verdadera donde la forma del labio superior es curva de manera que el flujo que sale de la caja resulta con una área de descarga de área seccional aproximadamente igual a la “vena contracta” para una abertura aguda (3).

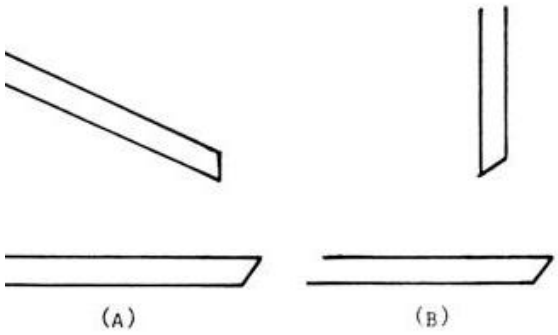



Figura 25 – FUENTE: (3)

En la figura 26 vemos varias relaciones entra las variabais que temas estado analizando (3).

En la ecuación 1, la velocidad “v” tomada en la “vena contracta” del chorro que sale de la caja se ve que es igual a la raíz cuadrada de “2gH”, donde “H” es la cabeza hidrostática total de la pasta medida en la salida de la regla. En la ecuación 2, “$A_v$” es la área seccional del chorro en la “vena contracta” que es igual a “$C_aA_s$”, donde “$C_a$” es un coeficiente e “$A_s$” es la área de la abertura de la regla. El coeficiente “Ca” tiene un valor casi igual a 1,0 para una regla del tipo de boquilla verdadera, tiene un valor entre 0,85 y 0,95 para reglas tales como mostrado en la figura 25A, y un valor entre 0,65 y 0,75 para reglas retas como mostrado en la figura 25B (3).

La rata de flujo volumétrica del fluido saliendo de la regla es igual a “Q” y esta por su vez es igual a el área de la “vena contracta” por la velocidad del chorro en la “vena contracta” con “$A_v v$”. Esto a su vez es igual a “$C_aA_s\sqrt{2gH}$”. Así la ecuación 4 de la figura 26 nos da una relación entre área abierta actual de la regla. La rata de flujo volumétrica a través de él y la cabeza de la caja. Debe recordarse que esto es una relación aproximada y teórica pero ella ilustra el principio general de que el flujo a través de la regla y la velocidad del chorro son proporcionales a la raíz cuadrada de la presión hidrostática de la pasta que entra a la regla. Las velocidades irregulares del flujo a través de la caja resultaran en variaciones en el peso base a

través de la máquina de papel a medida que la hoja es formada sobre la mesa de “fourdrinier” (3).

$$V = \sqrt{2gH} \qquad 1.$$

$$A_v = C_a A_s \qquad 2.$$

$$Q = A_v V \qquad 3.$$

$$Q = C_a A_s \sqrt{2gH} \qquad 4.$$

Figura 26 – FUENTE: (3)

Si el labio de la regla es flexible sea abertura puede ajustarse para reglar el perfil del peso base de la hoja (figura 27). Así una área con un flujo alto puede reducirse si la regla puede ajustarse para hacer la abertura más angosta en esta región. Debido a que el labio de la regla tiene que se hecho relativamente rígido para soportar las grandes presiones que son ejercidas contra el, un ajuste en una localización causará un defecto a lo largo de la regla (3).

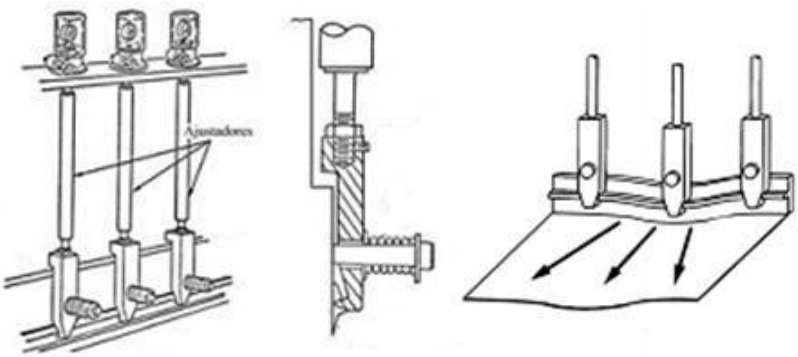



Figura 27 – FUENTE: (22)

Ahora fijemos nuestra atención a algunos otros aspectos del flujo de la pasta a través de la caja de alimentación. Los remolinos en el flujo de la caja que se aproximan de la regla son un problema muy serio. Las turbulencia a pequeña escala lógicamente son necesarias para mantener la dispersión de fibras en la pasta cuando esta es entregada a la tela. Pero, los remolinos en grande escala resultaran en turbulencia del chorro que sale de la regla. Estos defectos en el flujo desde la regla son a menudo acentuados en la tela y aparecen como imperfecciones en la formación de la hoja. Los lomos errantes son generalmente causado por

efectos de olas hacia atrás en la caja misma. Los lomos fijos posiblemente resultan en la regla misma cuando la pasta fluye al redor de una curva o recodo “acusa” una estabilidad que causa los remolinos. Esto también puede suceder en la regla misma, donde la pasta generalmente pasa a redor de alguna clase de curva (3).

La rápida aceleración de la pasta cuando pasa a través de la regla ayuda a romper las redes o floculas en la pasta, las cuales se ha formado más regiones relativamente calmadas en la misma caja. Muchas reglas están equipadas con un punto agudo para introducir turbulencia de fina escala en el punto de descarga lo cual ayuda a romper la floculación. Esto es importante para la formación del papel con una distribución uniforme de fibras. La aceleración también contribuye al alineamiento de fibras en la hoja en el sentido de que la pasta acelerada tiende a rodar las fibras en la dirección de la máquina. Esto contribuirá a la direcionalidade en algunas propiedades de la hoja (3).

Los labios de la regla pueden ajustarse como se muestra en la figura 28 de manera que la trayectoria o ángulo de ataque del chorro sobre la tela pueda cambiarse. Nos referimos al el caso donde el chorro é dirigido contra la tela como una formación por presión. Llamamos el caso donde la pasta é dirigida más en dirección del recogido de la tela como formación por velocidad (3).

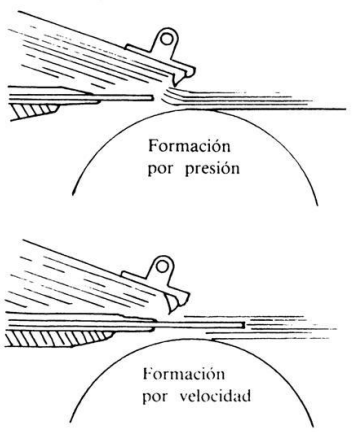



Figura 28 – FUENTE: (3)

Utilizamos formación por presión cuando buscamos una rápida liberación de agua pela pasta particularmente se el chorro puede ser dirigido a un espacio abierto entre la mesa de formación bajo la tela u a un rodillo de pecho abierto tal como en las máquinas para papel sanitario. Cuando estamos haciendo una hoja en la cual queremos una buena formación iniciamos evitar penetración de las fibras dentro de la tela, tratamos de usar formación por velocidad (3).

La trayectoria del chorro de la regla puede controlarse por cualquiera de dos maneras. El método directo es por movimiento físico de toda la regla. Relativamente pocas cajas de entrada proporcionan este movimiento puesto que requiere equipo caro. El método que más se acostumbra para el control de la trayectoria se basa en posicionar los labios de la regla uno con respecto al otro. La figura 29 muestra cómo el ángulo de proyección, β, varía como una función de los parámetros geométricos para una regla típica. Se podrá observar que para

valores de L/b que varían en el rango de 0 a 2.0, resulta un cambio muy grande en el ángulo de proyección. La dimensión L se altera moviendo ya sea la pared frontal de la regla o la placa inferior, de soporte del delantal. Para otros tipos de reglas existen relaciones similares. En general, es deseable que L/b>1.5, de modo que pequeñas variaciones de "a" a lo ancho de la regla no produzcan una variación grande del ángulo de proyección. Si se prefiere un ángulo de proyección diferente de 0º, o sea el ángulo θ, es un buen diseño fijarlo permanentemente en la placa inferior de la regla (4).

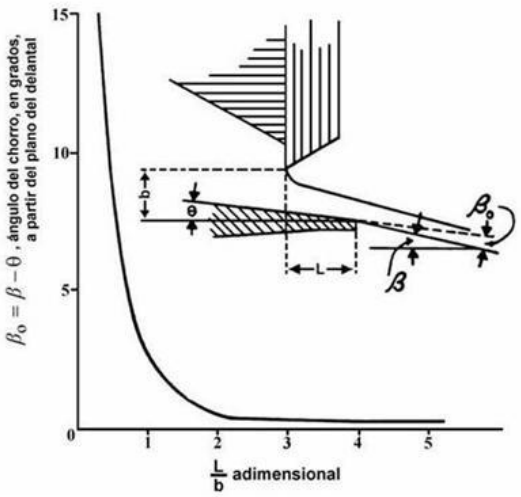



Figura 29 – FUENTE: (4)

La relación velocidad del choro por la velocidad da tela, también llamada relación jato/tela, es un importante medio de control de las propiedades de la hoja, tal como también la formación. La ecuación que define dicha variable de proceso es dada por (1):

$$R_{jt} = \frac{V_j}{V_t} \cong \frac{\sqrt{2gh}}{V_t}$$

Donde:

$V_j$: velocidad del chorro

$V_t$: velocidad de la tela

g: aceleración de la gravedad (9,8 m/s$^2$)

h: presión en la caja de entrada, mCA

Durante su funcionamiento, si la velocidad de flujo es superior a la de la tela, las fibras se dispersarán mejor, pero a la vez se destruirá la calidad de la formación de la hoja. Por el contrário, si la velocidad es inferior, las fibras se orientarán aumentando la relación resistencia longitudinal/resistencia transversal.

La figura 30 muestra un gráfico de la formación (cuanto más grande es el número, peor!) y la rata de la tracción MD por la CD, ambos en función de la relación jato/tela de una máquina de papel piloto (1).

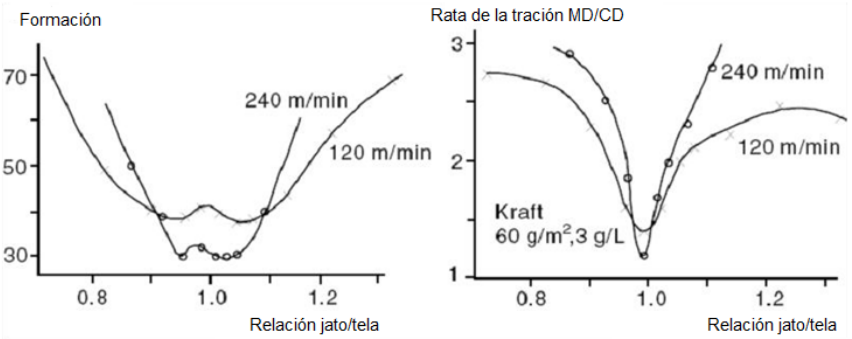



Figura 30 – FUENTE: (22)

Los desarrollos más recientes de caja de entrada son los chamados “headbox” tipo de boquilla en que la pasta llena completamente su interior. Un ejemplo diste tipo se ve en le figura 31. En el caso de esta caja de tipo de boquilla o hidráulica la pasta fluye a través de una entrada y luego a través de un banco de tubos los cuales van de una sección transversal grande a una sección transversal pequeña acelerando así la pasta y rompiendo las redes de flóculos que se haya formado en ella antes de entrar a la caja (3).

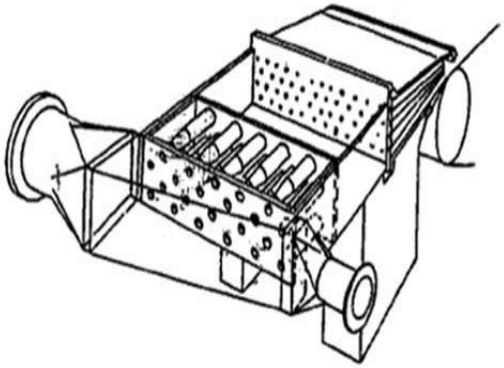


Figura 31 – FUENTE: (22)

El banco de tubos es seguido por una cámara de apaciguamiento la cual permite que se empareje las diferencias de velocidad y desuniformidad. Luego, a pasta fluye a través de una platina perforada dentro de canales delgados entre elementos flexibles los cuales dirigen la pasta a la regla. Los canales delgados son o elementos que alimenta la regla promoved turbulencias de fina escala las cuales ayudan a dispersar las fibras y fomenta una buena formación. Este tipo de caja está sujeta a disturbios de flujo que resultan en las pulsaciones en el sistema de preparación de la pasta. Las pulsaciones de presión del flujo de la pasta a la caja pasan través de él que se muestra con excepciones de peso base en la hoja. Por esta razón,

esto tipo de caja necesita atender a alguna clase de sistema de modulación de pulsación adjunto para abatir estas pulsaciones (3).

El diseño de caja de entrada do tipo boquilla ha avanzado grandemente en los últimos años (figura 32 – Caja Voith con Module Jet-, y 33 – Caja Metso para tres camadas-). A medida que aumenta la velocidad das máquinas e las doble tela están siendo más comunes, la caja de boquilla pasa llega a ser más y más importante. Este tipo de caja se usa para inyectar un chorro entra las dos telas de un formador de tela doble. Sin embargo, este tipo de caja está encontrando grandes aplicaciones en las máquinas "fourdrinier" tradicionales que corren a altas velocidades (3).

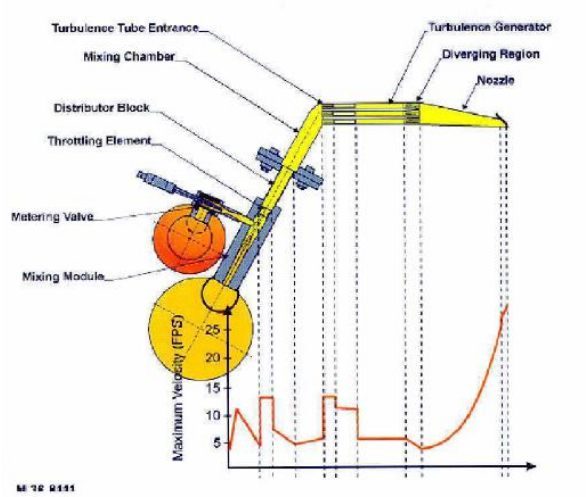



Figura 32 – FUENTE: (22)

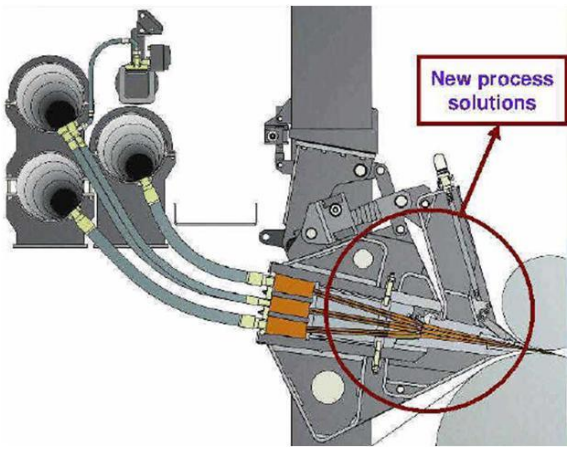



Figura 33 – FUENTE: (22)

La caja que consta del sistema de entrada, la zona de calma y la regla es una paste muy importante de la máquina de papel. Por medio de la caja tratamos de ofrecer a la sección de formación o flujo estable de una pasta uniformemente dispersa y si no tenemos éxito a esto la hoja termina presenta el resultado de nuestro fracaso (3).

## 3. FORMACIÓN DE LA HOJA (MALLA FORMADORA, ELEMENTOS DE DRENAJE, OTROS COMPONENTES).

### 3.1. INTRODUCIÓN

El papel se define como una hoja constituida esencialmente por fibras celulósicas de origen vegetal, afieltradas y entrelazadas. La estructura, o manera de distribuirse, colocarse y entremezclarse las fibras viene dada por el proceso de formación de la hoja. Clásicamente, en la formación de la hoja por vía acuosa a baja consistencia, el órgano de formación recibe un caudal fibroso constante en el tiempo, de características uniformes, preparado por una serie de

tratamientos previos y perfectamente desflocados. A partir de esta entrada, el proceso de formación debe asegurar dos funciones principales: repartir la materia y crear enlaces entre las fibras. En la denominada formación del papel por vía seca, las fibras que previamente se han obtenido por medio de un proceso de desintegración mecánico, son depositadas y posicionadas mediante una combinación de atracción electrostática y/o un chorro de aire comprimido. La consolidación de la hoja se realiza mediante un adhesivo vaporizado en masa u otro tipo de tratamiento químico que mantiene a las fibras en sus posiciones (2).

Otra vía intentada para la formación de papel es el realizado utilizando como vector un disolvente orgánico. Este tipo de formación presenta la ventaja de necesitar menor energía para el secado del papel, dado el menor calor latente de evaporación del disolvente comparado con el del agua. Sin embargo, los enlaces entre fibras son muy pobres o inexistentes, lo que obliga a la utilización de un adhesivo. Otros inconvenientes de este sistema son los relativos a salobridad y coste de los disolventes. Finalmente queda por citar la formación utilizando como vector espuma, método por el que se obtiene una excelente distribución de las fibras así como buenos enlaces entre las mismas, pero que en la actualidad sólo está desarrollado a nivel de laboratorio (2).

## 3.2. CONDICIONES QUE DEBEN CUMPLIR LOS SISTEMAS DE FORMACIÓN

Los sistemas de formación de la hoja deben tender a satisfacer unos objetivos de calidad y economía. Entre los objetivos de calidad cabe destacar (2):

- Distribución uniforme de las fibras en el plano de la hoja y en su espesor;
- Orientación controlada de las fibras;
- Superficie uniforme del papel.

Entre los objetivos económicos (2):

- Eliminación de la mayor cantidad de agua;
- Superficie ocupada por el formador limitada;
- Control preciso de las condiciones operatorias;
- Rentabilidad en relación a los gastos de explotación y las amortizaciones.

Los formadores existentes en l a actualidad cumplen, en mayor o menor medida, los anteriores objetivos (2).

## 3.3. TÉCNICAS DE FORMACIÓN DE LA HOJA

En todos los sistemas de formación que emplean agua como medio de transporte y formación de la hoja, la suspensión fibrosa a baja consistencia se deposita sobre un soporte de formación constituido por una tela tejida con un filamento metálico o sintético con una luz de malla del mismo orden que la longitud de la fibra utilizada. Atendiendo a la posibilidad de regular la viscosidad del chorro de la suspensión fibrosa en relación con la velocidad del soporte de filtración, cabe hacer una clasificación de las unidades de formación con chorros libres y por formación sumergida. Entre las primeras se tienen las mesas planas (velocidad del chorro sensiblemente igual a la de la tela) y las máquinas de doble tela (velocidad del chorro dependiente de la presión utilizada en la cuña de formación). Las unidades de formación sumergida comprenden a las formas redondas (2).

Puede hacerse otra clasificación atendiendo a la continuidad o discontinuidad de la presión motriz de filtración. En este caso las mesas planas serían unidades de formación por pulsación de presión (figura 34), mientras que las máquinas de doble tela y las formas redondas son unidades de formación con presión de filtración continua (2).

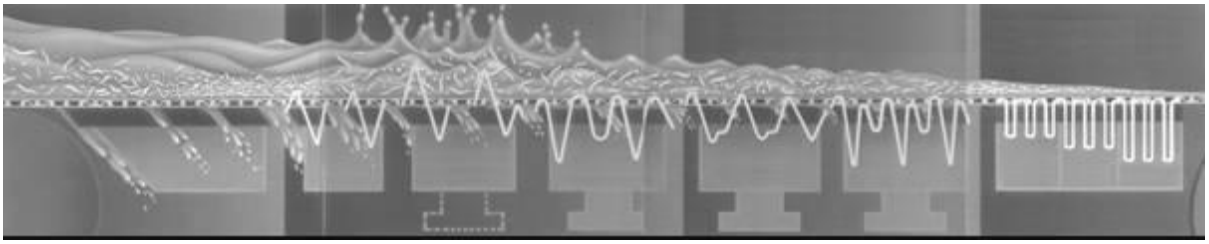


Figura 34 – FUENTE: (22)

## 3.4. PRINCIPIO DE LA FORMACIÓN DE LA HOJA POR VIA HÚMEDA

El proceso de formación y estructuración de la hoja de papel puede ser considerada como un conjunto de tres procesos fluidodinámicos: drenaje, orientación y turbulencia (figura 35) (2).

Figura 35 – FUENTE: (2)

En todos los sistemas de formación de la hoja existentes los tres procesos suceden simultáneamente, en general no están uniformemente distribuidos en el tiempo y en el espacio, y no son independientes entre sí. La deposición de las fibras debido al drenaje a través del soporte de filtración puede explicarse según dos mecanismos: filtración o espesamiento (figura 36). El primero tiene lugar cuando las fibras en suspensión son móviles o susceptibles de moverse independientemente unas respecto de las otras, quedando la suspensión a una consistencia prácticamente constante. El espesamiento tiene lugar cuando las fibras en suspensión están inmovilizadas formando una red coherente, de tal forma que la consistencia de la suspensión disminuye regularmente al alejarse de la tela produciéndose, por tanto, un compactamiento en sentido inverso (2).

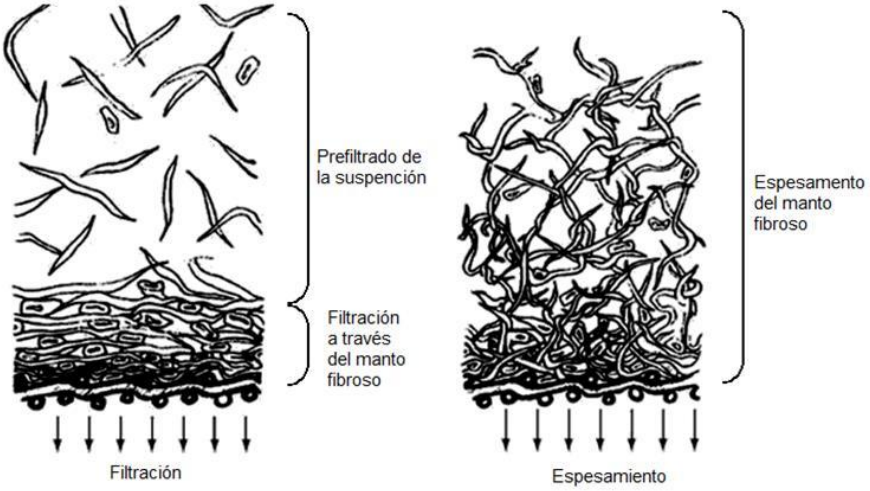



Figura 36 – FUENTE: (2)

La retención de las fibras se realiza por interceptación mecánica, apoyándose inicialmente el los extremos de las aberturas de las mallas de la tela de formación y posteriormente sobre las fibras ya depositadas. Los elementos finos y cargas no pueden ser retenidos por este mecanismo, y se fijan sobre las fibras mediante fuerzas de adhesión coloidal, jugando en esta fase del proceso de formación un importante papel las fuerzas químicas de superficie que regulan los procesos de coagulación-floculación (2).

El mecanismo de retención de fibras por interceptación mecánica explica la no uniformidad en la composición según el espesor, con fibras más largas en la superficie del papel en contacto con el soporte de formación. Otra consecuencia importante de la filtración

es el compactamiento del manto fibroso. Este compactamiento se manifiesta como reacción opuesta por las fibras al flujo de drenaje, por lo que su mayor valor lo alcanza en las proximidades de la tela. Debido al compactamiento del manto fibroso disminuye la porosidad de éste, aumentando la resistencia a la filtración (2).

La orientación de las fibras es función de la relación de velocidades existente entre el soporte sólido de formación y el flujo de suspensión fibrosa que llega al formador. Debido a ello existen, en general, unos esfuerzos de cizalladura orientada a causa de los cuales las fibras presentan una clara tendencia a disponerse paralelamente al sentido marcha. La formación de la hoja, al realizarse preferentemente por un mecanismo de filtración, se lleva a cabo por deposición de capas sucesivas de fibras a partir del suporte de formación, permaneciendo el resto de la suspensión a una consistencia próxima a la de salida de la caja de entrada. Existe, por tanto, en esta suspensión fibrosa gran riesgo de floculación y para evitar la tendencia a la agregación de las fibras se hace necesaria la presencia de una turbulencia de pequeña escala. La escala de la turbulencia no puede ser muy grande, pues sino se podrían causar diferencias de gramaje del papel (2).

## 3.5. FORMACIÓN DE LA HOJA EN LA MESA PLANA

La mesa plana fue inventada por L. N. Robert en 1799, siendo realizada la primera máquina industrial en 1804 en Inglaterra por los hermanos Fourdrinier. En este tipo de formadores un chorro de suspensión fibrosa a una baja consistencia (0,2 ÷ 1,2 %) que proviene de la caja de entrada, se deposita sobre un soporte sólido de filtración consistente en una tela tejida con filamentos sintéticos (en otros tiempos, metálicos), y una luz de malla de mismo orden que la longitud de la fibra. El soporte de filtración, en forma de banda sinfín, se desplaza por encima de una serie de órganos deprimógenos, de tal manera que al ir eliminándose agua de la suspensión fibrosa se obtenga una estructura formada por as fibras entrelazadas, compactadas y con un grado de sequedad que permita su transferencia a las prensas. En la mesa plana se consigue eliminar más de 90 % del agua de la suspensión fibrosa que abandona la caja de entrada, quedando la hoja a una sequedad del 18 ÷ 25 % (2).

La mesa plana comprende dos zonas: en la primera, situada en la parte próxima a la caja de entrada, se realiza la formación de la hoja propiamente dicha; y en la segunda, a partir de la línea de agua, se aumenta la sequedad de la hoja ya formada (2).

En la mesa plana la presión motriz necesaria para provocar la filtración se produce de manera discontinua al pasar la tela por encima de los elementos de formación. En la primera parte de la zona de formación los elementos utilizados, rodillos desgotadores y foils, generan una depresión que es una función de la velocidad de la máquina. Sin embargo, a partir de una cierta sequedad (del orden del 3 %), el aumento de la resistencia a la filtración de la hoja en formación hace necesario la utilización de órganos deprimógenos conectados a una fuente de vacío (cajas húmedas y primeras cajas de vacío)(2).

Los mecanismos generales de la formación de la hoja descritos en los aparatos precedentes son aplicables al caso de la formación en mesa plana, aunque se deban remarcar algunas particularidades: la distribución de los elementos finos en el espesor de la hoja es creciente hacia el lado superior, presentando el lado tela un bajo contenido en dichos elementos debido a la acción de lavado de los rodillos desgotadores (2).

Otra consecuencia de la filtración unidireccional es el compactamiento del manto fibroso. Se manifestó como reacción opuesta por las fibras al flujo de drenaje, por lo que su mayor valor lo alcanza en el lado tela, y va disminuyendo hacia el lado superior. Como consecuencia la hoja presentará una disimetría de porosidad, con una cara tela más cerrada que el lado superior (2).

La orientación de las fibras es función de la relación de velocidades entre la tela y el chorro de salida de la caja de entrada, existiendo unos esfuerzos de cizalladura orientada a causa de los cuales las fibras presentan una clara tendencia a disponerse paralelamente al sentido marcha. Esta tendencia es más acusada en las capas de la hoja más próximas a la tela, tal como se puede observar en la figura 37, en la que la magnitud del radio vector indica el número de fibras orientadas en ducha dirección (2).

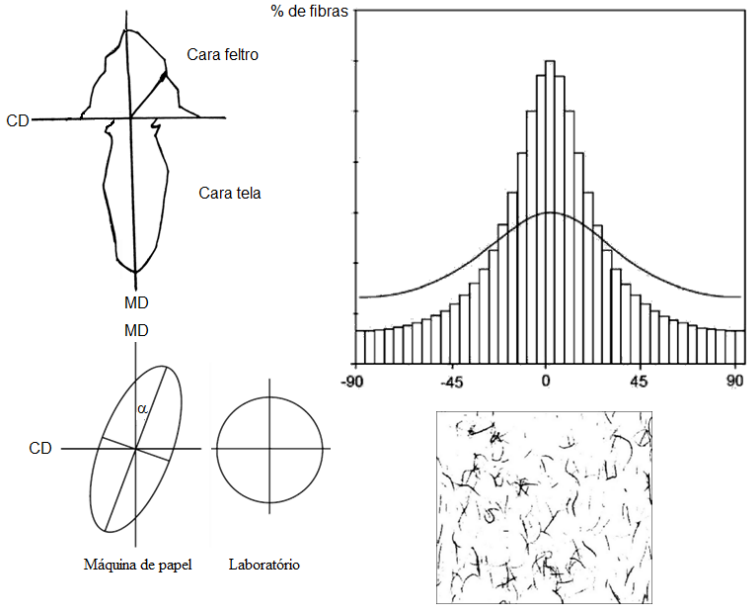



Figura 37 – FUENTE: (2)(22)

En muchos casos se desea que las fibras estén orientadas en todas las direcciones, por lo que debe paliarse el efecto anterior; esto se consigue parcialmente con el traqueo, en máquinas lentas, y variando la velocidad entre el chorro y la tela, haciendo que la velocidad de aquel sea entre 0 y 5 % inferior a la de ésta (2).

Debido a que la formación de la hoja en la mesa plana se realiza desde el lado tela al lado superior por deposición de capas sucesivas, las fibras del lado superior tienen mayor tendencia a flocular, debido a que al permanecer más tiempo en suspensión desaparecerá la agitación interna (turbulencia de pequeña escala) originada en la caja de entrada. Como consecuencia, la formación será peor (más floculada) en el lado superior. Este defecto puede reducirse mediante los efectos secundarios debidos a rodillos desgotadores y “foils”, así como la utilización del desgotador o rodillo “dandy” (2).

## 3.6. ESQUEMA DE LA MESA PLANA

En la figura 38 se muestra, de manera esquemática, una mesa plana. En la parte superior se observan unos elementos de formación, escurrido y mejora de la formación, guiado y mantenimiento de tensión de la tela (2).

En esta parte de la máquina de papel, la hoja se forma y se desgota al mismo tiempo hasta alcanzar una sequedad de alrededor de 20%, llegando, incluso, en algunos casos, al 26%, todo esto para una salida del flujo de la caja de entrada que puede oscikar entre 0,3 y1% por término médio (25).

Las características hidráulicas del flujo que sale de la caja de entrada en perfectas condiciones no deben verse afectada por posibles defectos en los elementos de la parte de la mesa en la que va a formarse la hoja.

En los siguientes apartados se pasará a estudiar las funciones de los mismos (2).

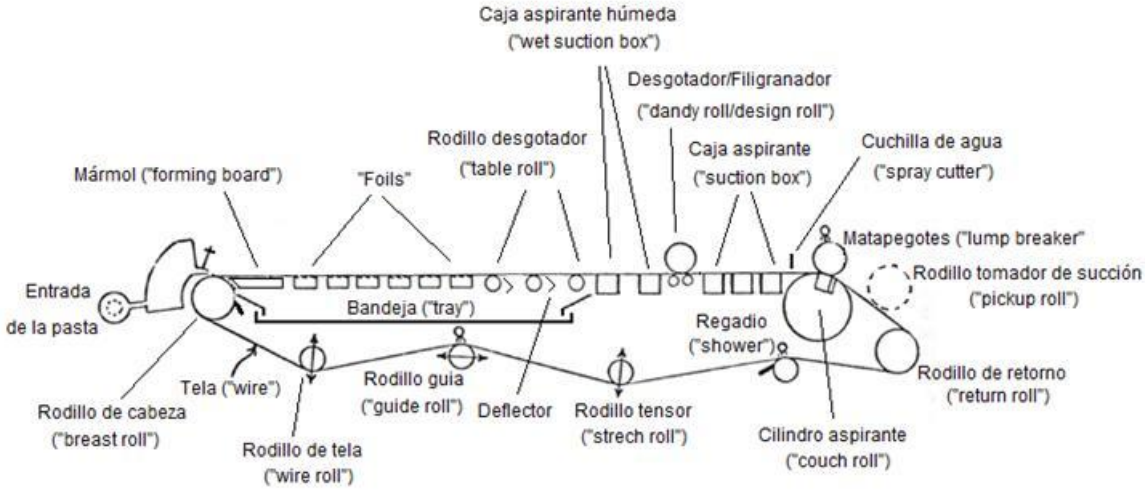



Figura 38 – FUENTE: (22)

En primero lugar, la tela debe tener una velocidad absolutamente constante, lo que descarta cualquier deslizamento. Por eso hay que respetar las seguientes condicines (25):

- La longitud del arco de recubrimiento del rodillo de arraste debe ser máxima y se debe usar un revestimiento de alto coeficiente de fricción se es preciso (altas velocidades). A veces el cilindro aspirante es tambiém de arrastre.
- La tensión de la tela ha de ser respectada para obtener una adherencia suficiente. En general se aplican en torno de 5 kg/cm lineal para las telas sintéticas (valores medidos en funcionamento, variablessegún la finura de la mallas de las telas).

Para mantenerse correctamente en su sitio, la guia de tela debe tener un recorrido mínimo total de 50 mm para cada metro de anchura de tela, preferentemente esta guía será automática porque una tela no puede perdonar un fallo humano (25).

Los diámetros de los diferentes rodillos crecen con la anchura de la tela y la velocidad de la máquina, pero siempre es mejor la utilización de rodillos de diámetro mayor.

Volvamos al esquema de la figura 38. El número de rodillos de retorno de tela debe ser el mínimo pero con una distancia entre sí del orden de 2 a 3 metros, como máximo, según la anchura de la tela (25).

También el número de regadíos debe ser el mínimo, pero han de tener una eficacia total. Normalmente los regadíos que se necesitan son (25):

- Um regadío a baja presión para limpiar el rodillo de arrastre;
- Un regadío para separar la hoja, situado inmediatamente después del rodillo de arrastre y con chorros abanicos de baja presión, en el interior de la tela;
- En las máquinas anchas, dos regadíos estrechos para separar los bordes de la hoja, que permitan interrompir el funcionamiento del indicado en el apartado anterior cuando no se necesita;
- Un regadío a alta presión, con chorros de agujas, oscilante, situado después del primer rodillo de retorno da tela (figura x);
- A veces un último regadío a baja presión con chorros en abanico antes del segundo rodillo de retorno, situado según se indica en la figura 11.

Es decir, un total de cuatro regadíos que suelen ser suficientes en la mayoría de los casos. A veces, cuando se trata de papeles que ensucian demasiado la tela a causa de las impurezas contenidas en la materia prima (tinta, pez, alquitrán, etc.), se puede precisar la instalación de un regadío alimentado con vapor (situado entre los dos últimos regadíos citados) con un funcionamento intermitente (25).

Por las mismas razones, se puede añadir un regadío a baja presión para limpiar el rodillo cabecero, auque ya se sabe que éste produce algunas proyecciones de agua debajo del flujo de pasta que sale de la caja de entrada, perjudicando de este modo la buena formación de la hoja (25).

### 3.6.1. Rodillo de cabeza o cabecero

El primer elemento que se encuentra es el rodillo cabecero, que tiene que ser geométricamente perfecto y girar de manera perfectamente circular; en el caso contrário, las características del flujo de salida de la caja de entrada se verían alteradas; dicho flujo debe tomar contacto con la tela después del rodillo cabecero según figura x, a fin de no someterlo a una aspiración brutal producida por la rotación del rodillo. Deberá estar equipado con una rasqueta para eliminar el agua que arrasta (25).

Este rodillo, situado debajo de la regla de la caja de entrada (figura 39) y al principio de la mesa, está encargado de cambiar de dirección la tela en su retorno y mantenerla en posición respecto al labio. Debido a la presión que ejerce sobre la tela, y a que una curvatura excesiva

podría dañar la tela, el diámetro del rodillo de cabeza es elevado (60÷100 cm). La superficie del cilindro suele ser de bronce. Algunos cilindros cabeceros van equipados con una rasqueta y un regadío para mantener limpia su superficie y evitar que la deposición de fibras u otras incrustaciones produzcan deformaciones sobre la tela. También se suele colocar otro regadío debajo de la caja, con el objeto de expulsar el aire que pueda estar retenido por la malla de la tela y que retardaría el desgote (2).

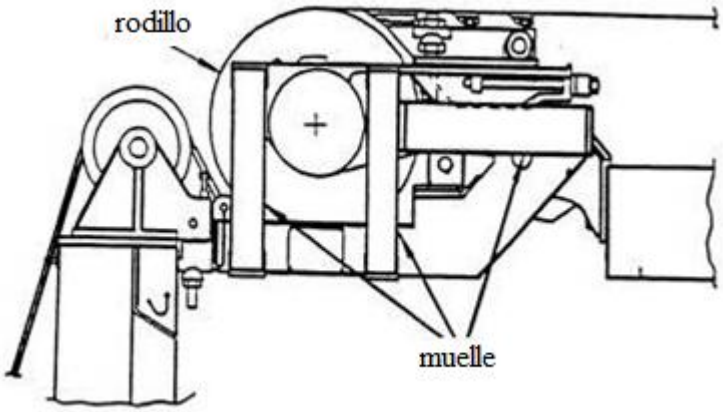



Figura 39 – FUENTE: (2)

En el caso de algunas máquinas rápidas de fabricación de tisú, el cilindro de cabeza es del tipo aspirante, por lo que, prácticamente, toda la eliminación del agua de la mesa se efectúa en este punto (2).

### 3.6.2. Mármol

Inmediatamente después del rodillo cabecero se suele encontrar el mármol, el cual, a veces (al menos en las máquinas antiguas), presenta una superfície lisa, superfície que permite el que se homogenice un flujo de pasta en malas condiciones, corrigiendo en parte sus defectos (25).

En la actualidad suelen encontrarse con mayor frecuencia mármoles abiertos y de diversos dibujos según se desea una formación de la hoja más o menos rápida. En la figura x se muestran las diversas posibilidades de instalación con una velocidad creciente. El caso A se utiliza en la práctica junto con el mecanismo de traqueo para reforzar la acción de reparto de la pasta. En los casos B y C se recomienda usar el traqueo (25).

Figuras

Este elemento, colocado a continuación del rodillo de cabeza, tiene por objeto retardar el degoste en los primeros centímetros de la mesa para poder obtener una mejor formación de

la hoja. El mármol (figura 40) está realizado en un material de elevada dureza, y presenta una cara lisa, de unos 30 a 50 cm, situada muy cerca de la tela y paralela a ésta. El posicionamiento es delicado, puesto que si está muy alto habrá mayor rozamiento con la tela y desgaste de la misma, y si no guarda un buen paralelismo puede actuar como un “foil” eliminando gran cantidad de agua y perturbando la formación (2).

Algunos tipos de mármol están formados por listones perpendiculares al sentido marcha, y otros (“forming box”) son del tipo caja húmeda, pudiéndose hacer un pequeño desgote (vacíos del orden de 10 ÷ 15 cmCA (2).

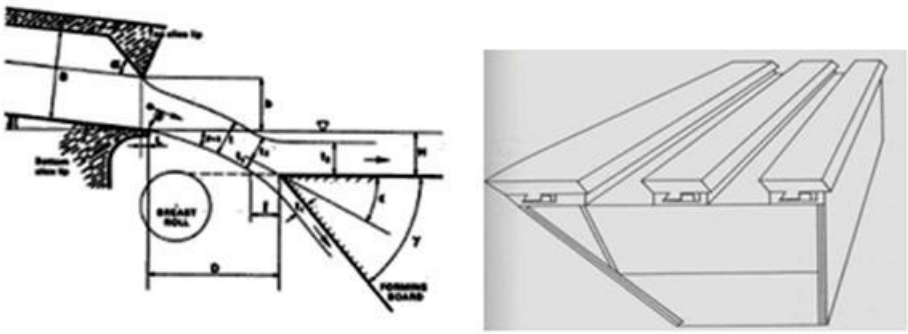


Figura 40 – FUENTE: (22)

### 3.6.3. Rodillos desgotadores

Hoy día los rodillos desgotadores no se emplean más que en las máquinas antiguas de papel y en las máquinas de cartón grueso. A partir de una velocidad de 100 m/min pueden ser remplazados por “foils” (25).

El principal inconveniente del rodillodesgotador está esquematizado en la figura x. Antes de él existe una zona de sobrepresión que produce proyecciones verticales tanto más importantes cuanto más elevada sea la velocidad de la máquina, lo que destruye la formación de la hoja. Para corregir esto es necesario el traqueo de la primera zona de formación, con una frecuencia y una alplitud pequeñas para las fibras largas y grandes para las fibras cortas (25).

Los rodillos desgotadores de pequeño diámetro son más eficazes que los de diámetro mayor. El recubrimiento de ebonita también es más eficaz que el de cobre. Se han construído rodillos ranurados, recubiertos de una tela, etc., para tentar controlar el desgostaje (25).

A causa de las proyecciones por debajo de la tela, es imprescindible añadir unos deflectores entre los primeros rodillos (25).

Los rodillos desgoradores son unos cilindros metálicos huecos, a veces recubiertos, que giran arrastrados por la tela y sirven para mantener a ésta en posición, a la vez que crean una

depresión debajo de la tela. La depresión es generada por la formación de una cuña de agua entre la tela y el rodillo, en la parte posterior de éste (figura 41), por lo que, de acuerdo con la teoría de la filtración, se tendrá entre la superficie libre de la suspensión fibrosa (a presión atmosférica) y la superficie inferior de la tela una presión motriz de filtración que originará el desgote de la hoja en formación (2).

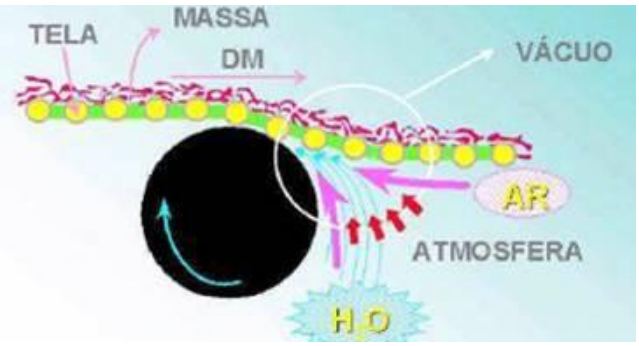



Figura 41 – FUENTE: (22)

La figura 42 muestra los deflectores que son usados para evitar el retorno de el agua hacia la tela formadora y que puede originar problemas en la formación (2).

Figura 42 – FUENTE: (22)

### 3.6.4. "Foils"

En la actualidad, incluso para gramages por encima de los 200 g/m$^2$, los rodillos desgotadores de acción dinámica son reemplazados por dispositivos estáticos. Según la velocidad de la máquina, el tipo de papel producido, etc., se emplean "dedos" de desgotaje, "foils", cajas húmedas con o sen vacío o cajas de "foils" con o sen vacío (25).

Los "dedos" de desgotaje son, de hecho, unos listones de secciones retangular, en general de poliímero de alto peso molecular; algunas veces, al menos para las máquinas rápidas, llevan un recubrimento de cerámica (25).

La figura x muestra estos dispositivos, los cuales, en realidad tienen como principal objetivo efectuar un desgotaje pequeño a fin de permitir una mejor formación de la hoja.

Figura x

Cuando se necesita un número importante de estos "dedos", se pueden agrupar en cajas que se llaman húmedas porque pueden hacer una retención de agua, que permite retrasar la

formación, o bien acelerarla sometiendo la caja a un vacío estático débil (h en el croquis de la figura 17) (25).

Los “foils” son también listones y están hechos de la misma materia que los “dedos” de desgotaje, pero con un perfil muy característico (figura 18). El borde delantero que tiene un ángulo agudo, tiene como misión atraer el agua en suspensión que está debajo de la tela a fin de eliminarla. Detrás del listón, el talón forma un ángulo α con la tela, que puede variar (según la velocidad de la máquina, la cantidad de agua que hay que eliminar, el tipo de papel, etc.), entre 0 y 4º. Este ángulo realiza una aspiración debida al vácio que se produce debajo de la tela con su movimiento. El agua de la hoja se desplaza desde arriba debajo de la tela, y se elimina al encontrarse con el borde delantero del “foil” seguiente (25).

Igual que para los “dedos” de desgotaje, los “foils” pueden agruparse en cajas de desgotaje libre, cerradas con poco vacío (figura 17B) o cerradas con vacío obtenido mediante un ventilador (máximo: 0,5/0,5 mCA) (25).

A pesar de que los “foils” pueden utilizarse a partir de las velocidades más bajas, se admite una equivalencia de eficacia con los rodillos desgostadores alredor de los 100 m/min. Se puede decir que por encima de esta velocidad, si la capacidad de desgotaje de un rodillo desgotador crece igual que el quadrado de la velocidad, la de un “foil”, sin embargo, crece linearmente. Con los rodillos desgotadores convencionales la formación de la hoja empeora cuando sube la velocida, y, al contrario, mejora con la utilización de “foil”. Debemos añadir en el espacio disponible entre dos rodillos desgorares, se pueden situar 3 ó 4 “foils”, lo que aumenta el rendimiento de cada metro de longitud de tela (25).

Los foils  son unas piezas, generalmente de plástico, que se colocan en la parte inferior de la tela. Tienen un ligero ángulo de descenso que al contacto con la malla generan un cierto vacío (6) (figura 43).

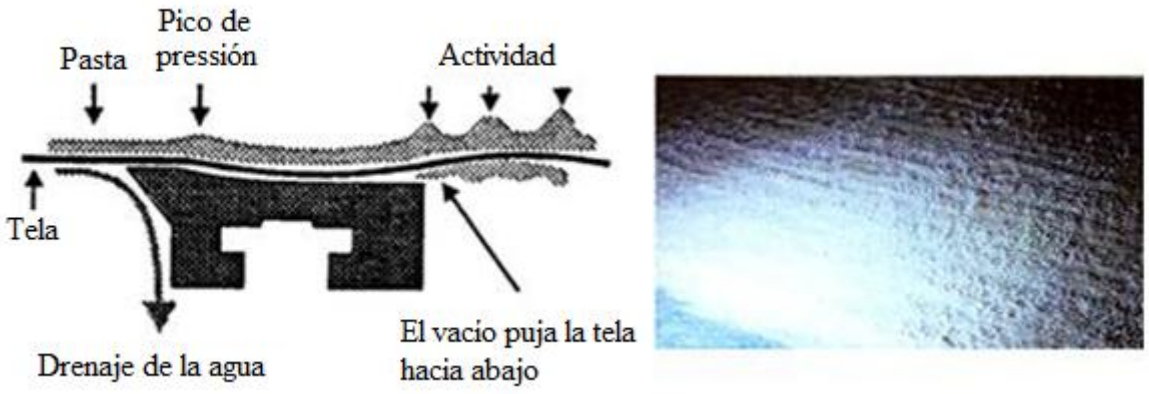



Figura 43 – FUENTE: (22)

Debe también indicarse que a medida que la consistencia de la hoja aumenta, el ángulo del “foil” deberá disminuir, si se quiere obtener el máximo desgote en cada elemento. Por otra parte, existe una relación lineal entre el ángulo del “foil” y su longitud, de tal manera que mayores longitudes requieren menores ángulos para proporcionar el mismo desgote (2).

Por la experiencia se deduce, que los “foils” eliminan menos finos e cargas que los rodillos desgotadores, disminuyendo el efecto “doble cara”. Por otra parte, aunque la cuantidad de agua eliminada por un “foil” sea menor, como el espacio ocupado también lo es, se pueden disponer más “foils” por unidad de longitud, por lo que la cantidad agua desgotada será mayor – por ejemplo, a 600 m/min la depresión media en un rodillo desgotador es de ≈ 2,5 mCA frente a ≈ 1,25 m c.a. en un “foil”, y la cantidad de agua eliminada por unidad de tiempo y unidad de superficie en un “foil” aproximadamente la mitad que en un rodillo desgotador-. Además la tela estará mejor sostenida, y como la depresión será más débil la importancia de los efectos secundarios será menor (2).

Algunos tipos de “foils” llevan un dispositivo para variar el ángulo de inclinación con respecto a la tela, y en consecuencia se puede modificar la cantidad de agua desgotada, aunque son de difícil reglaje, suele ser más común tener varios juegos de “foils” de diferente ángulo y sustituirlos en caso de que así lo requiera el cambio de fabricación.

Los “foils” pueden disponerse individualmente o en cajas equipadas son varias unidades, estos últimos presentan una mayor facilidad de alineamiento con a tela. Dada que la depresión generada por los “foils” depende de la velocidad de la máquina, a velocidades inferiores a 100 m/min la acción de desgote es muy pequeña. Una posible manera para incrementar su acción es la creación de un vacío suplementario ( ver “vacufoils”) (2).

### 3.6.5. **Cajas aspirantes húmedas**

El ángulo que forman las láminas con la tela es elevado (del orden de 45 a 60º), para actuar como rasquetas por la parte anterior, pero no crear ninguna depresión de tipo dinámico en la parte posterior (2).

Las cajas aspirantes húmedas (figura 44) son órganos de formación y desgote formados por una caja estanca cuya superficie superior presenta unas aberturas en forma de ranura, por las que se comunica la depresión de filtración al soporte de formación. El material empleado en el revestimiento de la superficie superior suele ser de tipo sintético (polietilenos de alta densidad molecular, fenoles estratificados, etc.) o cerámico (2).

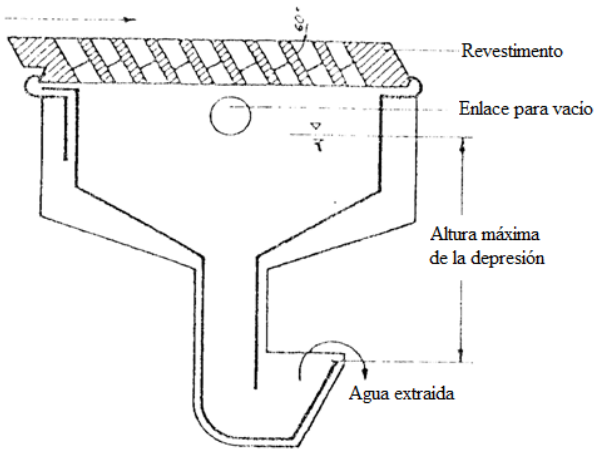



Figura 44 – FUENTE: (2)

Estos elementos realizan el desgote mediante una ligera depresión obtenida por columna barométrica y conexión eventual a una fuente de vacío, por lo que las cajas aspirantes húmedas son unos órganos de formación en los que, contrariamente a los rodillos desgotadores y “foils”, el desgote es independiente de la velocidad de la máquina; diferenciándose de las cajas aspirantes clásicas, en que no son órganos de escurrido, pues durante su funcionamiento aún existe continuidad de la fase líquida en el manto fibroso (están ubicadas antes de la línea seca). Debido a continuidad de la fase líquida, las entradas de aire son débiles, por lo que son suficientes órganos de bajo caudal para eliminarlo (2).

### 3.6.6. “Vacufoils”

Un tipo particular de cajas húmedas lo constituyen los “vacufoils” (figura 45), en los que la superficie superior ha sido sustituida por una serie de “foils” provistos de unas juntas en sus extremos para la obtención de un conjunto estanco. En estos órganos se superpone a la depresión constante originada por el vacío unas pulsaciones de presión creadas por el “foil”, función de la velocidad de la máquina y de la distancia entre láminas (2).

Figura 45 – FUENTE: (22)

Este tipo de órgano deprimógeno se coloca en la parte final de la zona de formación de la hoja, en las proximidades de las cajas aspirantes, y con ellos se consigue amortiguar notablemente el efecto de obturación presentado por pastas refinad. Los valores de la depresión constante son del mismo orden que las empleadas en las cajas húmedas (2).

### 3.6.7. Cajas aspirantes

A continuación de estos dispositivos, cuando la sequedad alcanza del 2,5 a 4%, se encuentran las cajas aspirantes: su número se define según el grado Shopper de la pasta, la velocidad de la máquina y el gramaje de la hoja de papel o de cartón. Cuanto más elevados sean estés factores, mayor será el número de cajas aspirantes (25).

Para una eficacia óptima, se demuestra que, según las condiciones de funcionamiento, el limite de la anchura de las cajas oscilará entre 240 y 300 mm, porque por encima de estos valores, la caja no tiene más eficacia y, lo que es peor, actúa atascando la hoja y haciendo difícil, si no imposible, el trabajo de las siguientes cajas. Este fenómeno de atascamiento de la hoja puede manifestarse también cuando el vacio es demasiado elevado en la primera caja o cuando las cajas está juntas (25).

La figura 46 muestra la disposición normal de las cajas aspirantes. Hay que recordar que la capa de fibras que está encima de la tela tiene un comportamiento semejante al de una esponja (25).

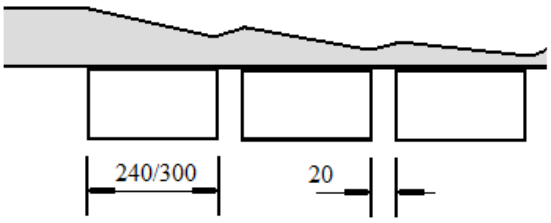



Figura 46 – FUENTE: (25)

La primera caja, debido a la aspiración, exprime la hoja por su parte inferior, pero el agua de la parte superior no puede desplazarse hacia la parte inferior a causa de la obturación por las fibras comprimidas. En el espacio entre las cajas, tanto en la hoja liberada como en la esponja, el agua se reparte en su espesor y el mecanismo puede reproducirse después de la caja siguiente (25).

Por las razones relacionadas al nivel de drenaje, el vacío ha de ser progresivo entre la primera y la última caja con los valores orientativos siguientes (25):

- Papeles delgados: de 0,1 mCA hasta 0,8 mCA como máximo;
- Papeles para envolver: de 0,15 mCA hasta 1 mCA como máximo.
- Papeles de impresión y escritura de 0,3 mCA hasta 3 mCA;
- Cartoncillo-cartón: de 0,5 mCA hasta 4 mCA como máximo.

Para obtener una perfecta regularidad de la aspiración en el sentido, lo que condiciona la regularidad de la humedad, las cajas deben estar construidas con un sección bastante amplia; es decir, la altura de la caja no debe ser inferior, como mínimo, al 1/20 de la anchura de la tela. En las máquinas anchas las cajas pueden construirse con una altura variable, o con una salida a ambos lados de la máquina. Además, en el interior de la caja no deben existir obstáculos como los antiguos dispositivos de modificación de formato que ensucian los bordes de la tela de lo que resulta un borde húmedo de la banda de papel (figura 47) (25).

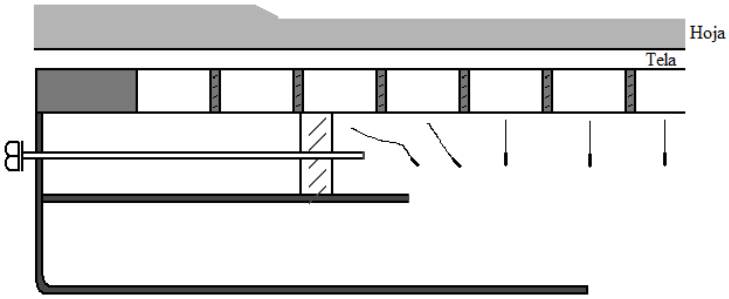
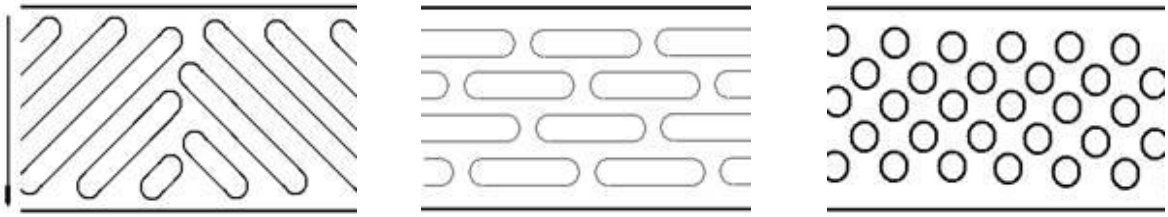



Figura 47 – FUENTE: (25)

Antiguamente el revestimiento de las cajas estaba constituido por listones porque cuando comenzó la aplicación de las cajas aspirante, el vacio era muy débil. Actualmente, todo es diferente y hay que excluir este tipo de revestimiento y emplear placas perforadas de diferente tipo según las necesidades y que no dañen las telas, especialmente las de plástico. El mejor diseño es el que se muestra en la figura 48a porque permite un leve alargamiento de la tela, una superficie perforada máxima y una superposición de las perforaciones, condición imprescindible para evitar las líneas húmedas. La figura 48b muestra otro diseño también

eficaz pero que no alarga las telas. La figura 48c corresponde a una placa perforada con agujeros cilíndricos; aunque también es válida, es menos eficaz que los otros dos sistemas de perforación (25). La figura 48d muestra un diseño más actual de estas cajas (25).



a b c

Figura 48 – FUENTE: (25)

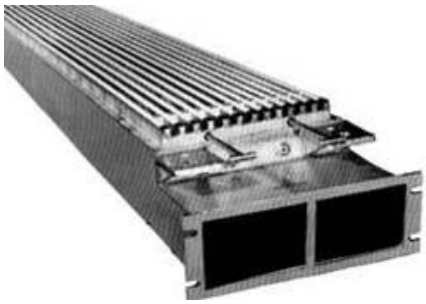


Figura 48d – FUENTE: (26)

### 3.6.8. Cilindro aspirante

El cilindro aspirante es un cilindro hueco, de superficie perforada, en cuyo interior se encuentran alojadas una o dos cajas aspirantes (figura 49) y que colocado al final de la mesa de fabricación cumple un doble cometido: la eliminación del agua residual y la conducción de la tela. Ambos efectos son debidos a la aspiración que ejercen sobre la tela, a través de los agujeros de la camisa, las cajas aspirantes interiores, lográndose evitar deslizamientos entre la tela y el cilindro, a al vez que se obtiene un notable aumento en la sequedad de la hoja, que pasa de un 10 ÷ 18 % (salida de cajas aspirantes) al 18 ÷ 25 % (2).

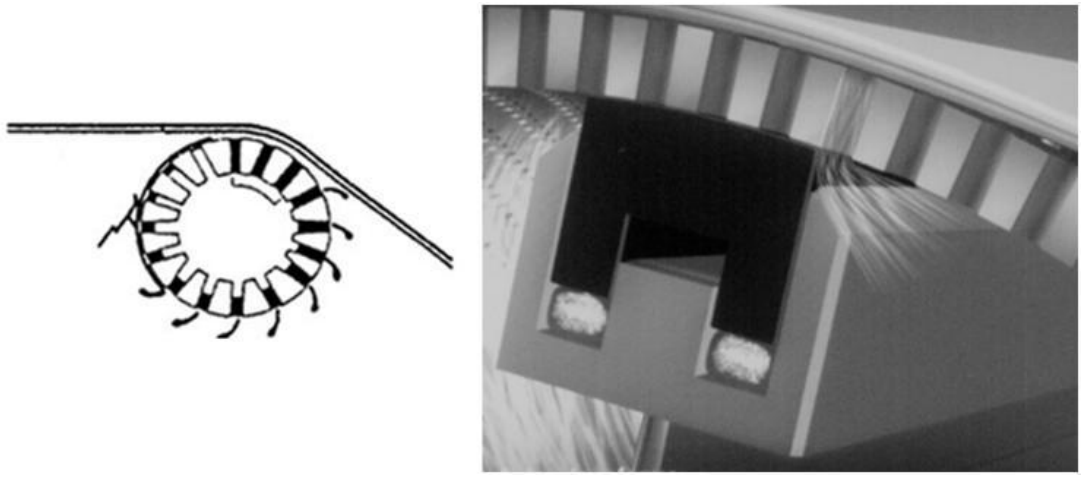


Figura 49 – FUENTE: (22)(26)

El diámetro de los cilindros aspirantes varia entre 50 y 150 cm; la camisa suele ser de bronce en mesas estrechas y de acero inoxidable en anchas, de un espesor de 3 a 5 mm, agujeros de 6 a 8 mm de diámetro y una superficie perforada del 20 ÷ 25 % de la total. En el interior del cilindro se encuentran las cajas aspirantes, asegurándose la estanqueidad entre la caja y la camisa mediante unas reglas fijas o flotantes fabricadas con un material resistente al desgaste pero que no dañe al cilindro y que además tenga un bajo coeficiente de rozamiento, para evitar pérdidas de energía. También en el interior del cilindro suele haber un regadío para lubrificar las reglas de cierre de las cajas contra el cilindro (2).

Al pasar los agujeros de la camias desde una zona sometida a depresión a la presión atmosférica, existe una rápida entrada de aire a ellos, lo que se traduce en un silbido característico. Para paliarlo se instalan, a la salida de las cajas, unos silenciadores que permiten una entrada gradual de aire en los agujeros; con el mismo fin la distribución de los agujeros se hace de manera tal que el número de ellos que pasa por el punto crítico sea uniforme en el tiempo (2).

El mecanismo de extracción de agua es similar al de las cajas aspirantes, aplicándose un vacío que puede llegar desde los 6,5 a los 8,5 mCA. En el caso de estar equipado con dos cajas el vacío en la primera caja suele ser más débil, del orden de 3 ÷ 5 mCA, y tiene por objeto eliminar el aire de los agujeros del cilindro y adherir la hoja de papel para que sea más eficiente el trabajo de la segunda caja (2).

En las máquinas antiguas, que no disponían de cilindro aspirante, el final de la máquina estaba equipado con un manchón, o prensa húmeda, consistente en un cilindro inferior liso, situado bajo la tela, y otro superior, recubierto de un fieltro o goma blanda, que escurría la

hoja preparándola para la transferencia a prensas. En la actualidad, algunas mesas van equipadas con una prensa de goma (mata pegotes) que en ciertos casos dispone de un fieltro. Esta prensa se apoya sobre el cilindro aspirante, a la altura del primer borde de la caja aspirante, ejerciendo una ligera presión sobre la hoja que aumenta la eficacia del cilindro aspirante, consolidando la hoja y eliminando los posibles grumos de fibras existentes que podrían provocar roturas en la transferencia de la hoja y en las prensas (2).

### 3.6.9. Manchón y cilindro aspirante

El último elemento de las mesas es, según el caso, el manchón o el cilindro aspirante. En este apartado, concederemos particular importancia a la prensa manchón de versión moderna, ya que es un sistema que permite ahorrar la gran cantidad de energía consumida para producir el vacío en los cilindros aspirantes, en mucho más casos de los que suponen los técnicos papeleros y, desgraciadamente, los constructores de máquinas (25).

En la figura 24 se representa el esquema de un manchón clásico, el cual se componía de un cilindro de arrastre con un recubrimiento de cobre, de un cilindro manchón recubierto de un fieltro de lana de gran espesor (encargado de retener el agua contenida en la hoja de papel) de un cilindro (con guarniciones de caucho) para eliminar el agua y de un cepillo para limpiar el fieltro (25).

Este sistema tenía hasta los 50 m/min una eficacia equivalente al cilindro aspirante, pero originaba, al mismo tiempo, importantes problemas de desgaste y de cambio del manchón de lana (25).

Esta disposición se ha modificado reemplazando el recubrimento del cilindro de arrastre por ebonita y el del manchón por caucho de 35º Sh A de dureza, de calidad “peeler” (figura 25). La aplicación de este sistema fue posible principalmente a partir de la aparición de las telas plásticas. El desgotaje se realiza por debajo de la tela en lugar de por encima, como en el caso anterior. Siempre con eficacia igual a la de un cilindro aspirante permite aumentar la velocidad hasta los 100 m/min para los papeles de menos de 80 g/m$^2$ y hasta 60 m/min para los restantes.

Figura 25

Con objeto de mejorar el rendimiento del conjunto, y en caso de que los papeles puedan tolerar una ligera marca, el rodillo de arrastre va ranurado, lo que permite aumentar la velocidad hasta los 150 m/min y 100 m/min respectivamente.

Finalmente, el cilindro superior fue rodeado con un circuito de fieltro moderno (ver figura 26), que posibilitaba un desgotaje por debajo y por encima de la tela. El cilindro de arrastre según los casos, puede o no estar ranurado. Esto aumentó nuevamente el rendimiento del sistema, retrasando la necesidad de la utilización del cilindro aspirante.

## 3.7. TECNICAS COMPLEMENTARIAS PARA MEJORAR LA FORMACIÓN DE LA HOJA

### 3.7.1. Traqueo

El traqueo es un movimiento pulsatório, en dirección transversal a la dirección de fabricación, que se imprime a la primera parte de la mesa plana con el objeto de asegurar un reparto y orientación de fibras más homogéneo, así como provocar una agitación interna en la hoja para evitar la floculación. En la figura 50 se muestra el dispositivo responsable por lo traqueo (2).

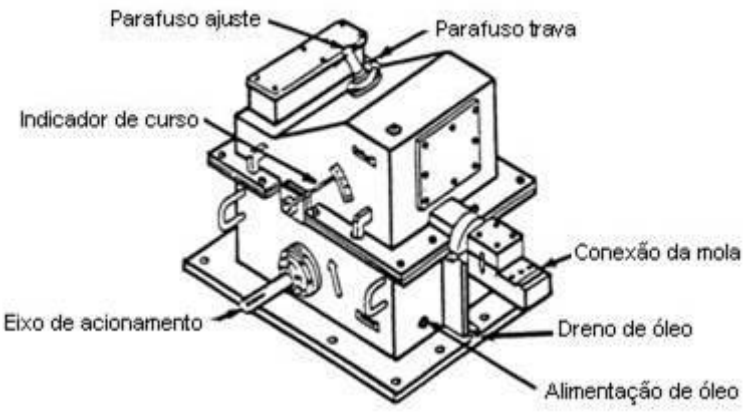



Figura 50 – FUENTE: (22)

El traqueo tiene su origen en el movimiento lateral que imprimían a la forma de fabricación los operarios de la fabricación a mano, y requiere, para su efectividad, que la suspensión fibrosa sobre la que actúa está diluida, así como un cierto tiempo de actuación. El parámetro que caracteriza el traqueo es (2):

$$T = f^2.\lambda/v$$

Siendo:

f: frecuencia del traqueo ($min^{-1}$)

λ: amplitud (m)

v: velocidad de la máquina (m/min)

En el caso de estar este parámetro comprendido entre 2,5 y 7,5 el traqueo tiene tendencia a mejorar la formación de la hoja; en el caso de que sea superior a 7,5 no tiene ninguna influencia y si es inferior a 2,5 es prejudicial a la formación (figura 51). Debido a ello el traqueo sólo se utiliza en máquinas lentas (2).

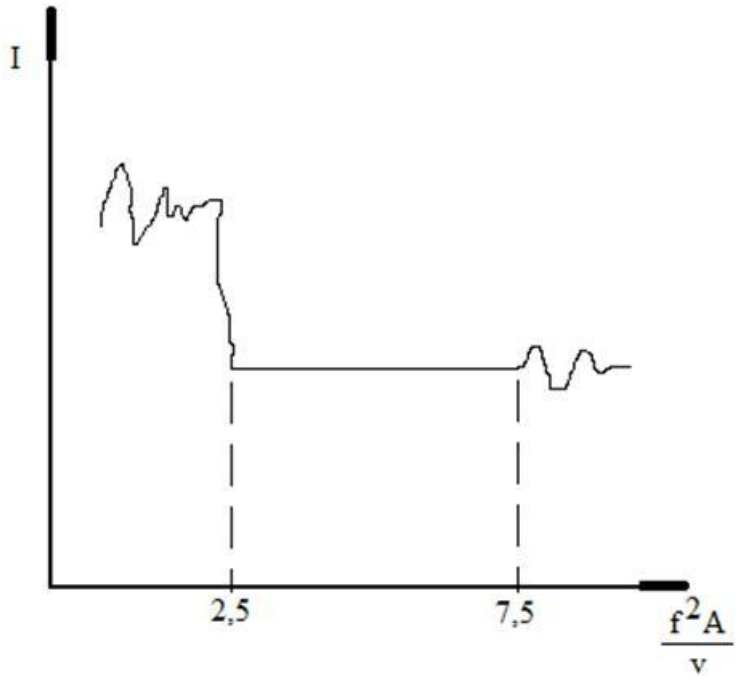



Figura 51 – FUENTE (2)

Además del traqueo también se utilizan otros métodos para provocar agitación interna dentro de la hoja, y de esta manera evitar la floculación. Así se han utilizado reglas de caja de entrada con el borde inferior en diente de sierra (≈1 mm) para crear pequeñas ondulaciones que se amplifican en los rodillos desgotadores y "foils". En máquinas rápidas (≈400 m/min) se pueden colocar, a la altura del mármol, un regadío de alta presión (6 ÷ 7 bar) y chorros muy finos para mantener un nivel de agitación interno de la hoja importante (2).

### 3.7.2. Rodillos desgotador e filigranador

El rodillo desgotador ("dandy roll") (figura 52) es un cilindro cuya superficie lateral está formada por una tela metálica fina, que colocado sobre la hoja en formación mejora la

formación y superficie del lado superior de la hoja, y en caso de tener un dibujo deja una marca de agua en el papel (filigrana)(2).

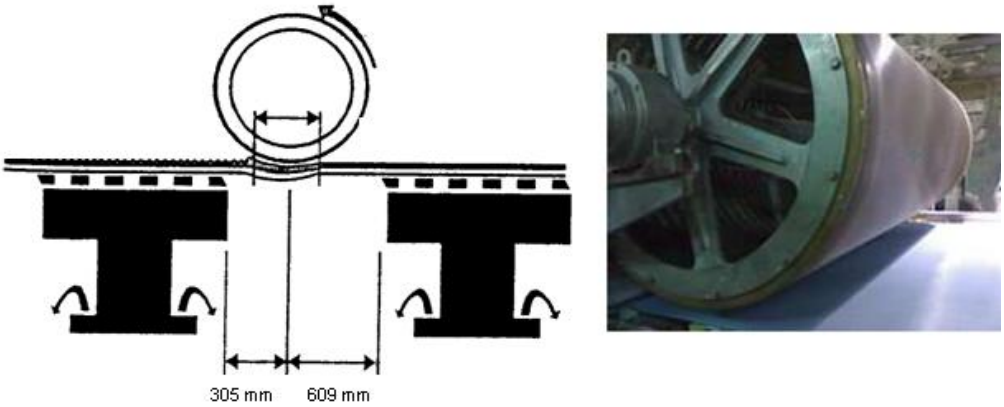



Figura 52 – FUENTE: (22)(9)

El rodillo desgotador imprime un movimiento a la suspensión fibrosa aún existente en la hoja en formación, que hace que sus fibras defloculen, proporcionando una estructura más regular a la cara superior, mejorando la distribución de las cargas en la hoja y consolidando y comprimiendo la hoja, lo que favorece la acción de las cajas aspirantes posteriores (2).

Tal como se desprende de la evolución de la presión en un rodillo desgotador (figura 53 el agua penetra en el interior del cilindro por la parte anterior de éste y después es inyectada en la hoja, provocando una agitación que permite la defloculación. La posición del rodillo desgotador es antes de la línea de agua, cuando está aproximadamente a un 4 ÷ 6 % de sequedad (tras la primera – papeles finos – o segunda – papeles gruesos – caja aspirante) (2).

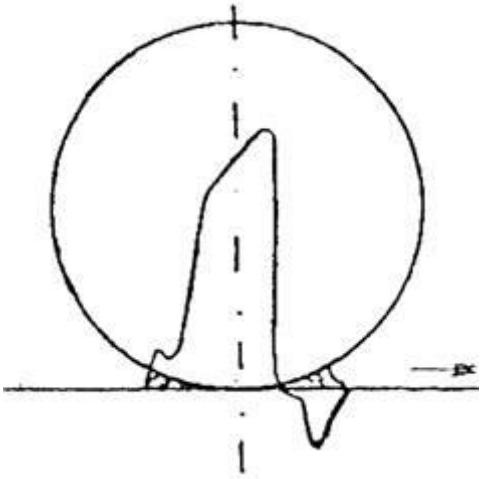


Figura 53 – FUENTE: (2)

La humedad de la hoja es sumamente importante, pues si está demasiado húmeda el desgotador penetrará demasiado y estropeará la formación de la hoja (“marcas de dandy”), por el contrario, si está demasiado seca el desgotador no provocará ningún efecto, pudiendo incluso provocar la rotura de la hoja (2).

La hoja se forma en la tela de la máquina de papel, que se encuentra constantemente en una evolución entre la filtración y la defloculación. La sección de tela puede presentar

diferentes variantes constructivas. La construcción más tradicional y conocida es la máquina de mesa plana. Es el sistema más universal, que ofrece una gran flexibilidad en cuanto al gramaje y a las propiedades de la hoja. No obstante, estas máquinas tienen un límite de rendimiento, por lo que surge la cuestión de cómo aumentar la potencia del desgote (2).

### 3.7.3. Formadores híbridos

Un formador híbrido es el resultado de colocar una tela superior a una estructura básica de una mesa plana (existente o no), de tal manera que parte de la formación de la hoja se realice sobre esta tela superior. Es un sistema que elimina el agua de la suspensión mediante una tela superior y unas cajas de succión, de manera que el desgote de la banda de papel puede realizarse tanto hacia abajo como hacia arriba. La ventaja de este sistema es el reducido tiempo de desgote gracias a lo cual aumenta la productividad, al tiempo que disminuye la desigualdad de caras del papel (2).

Desde el punto de vista de la velocidad, este tipo de formador presenta el mismo límite que las mesas planas pero puede permitir la mejora de algunos aspectos de éstas, tales como el incremento de la producción, mejora de la formación de la hoja y reducción del efecto doble cara y normalmente provocan una reducción de la energía necesaria para el accionamiento – entre el 5 y 30 % -, por que suelen utilizarse en las reformas de las máquinas equipadas con mesa plana (2).

Comparadas con las mesas planas, los formadores híbridos proporcionan una mejor formación en todos los rangos de consistencia – se puede utilizar una mejor consistencia en cabeza de máquina debido a que en este tipo de formador se incrementa el desgote (2).

Figura 54 – FUENTE: (22)

### 3.7.4. “Gapformer”

Los llamados Gapformer (figura 55) constituyen la solución más reciente adaptada a las máquinas de papel modernas y rápidas. En estos sistemas drenadores, el agua se elimina simultáneamente por los dos lados ya que la suspensión se inyecta directamente desde la caja de entrada entre dos telas. Tras abandonar el alimentador el material es inmovilizado en pocas

milésimas de segundo, después de lo cual ya no se puede modificar la estructura de la hoja mediante otros sistemas. La tira de fibras se congela tal y como sale del alimentador, lo que requiere que tanto éste como la sección fija de la instalación sean de gran calidad (2).

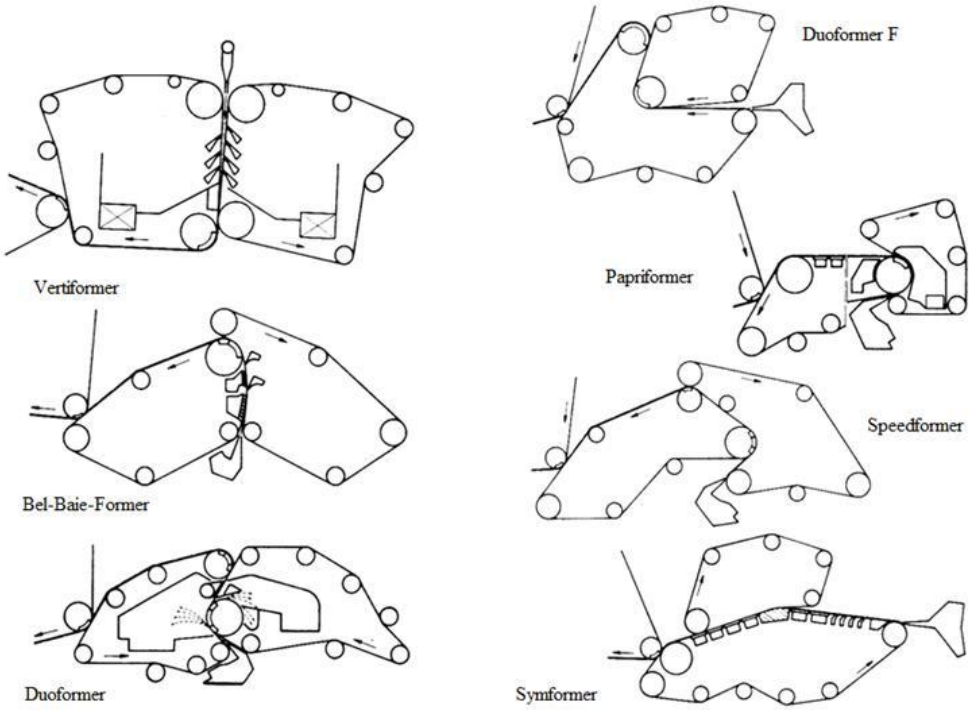



Figura 55 – FUENTE: (20)

## 4. SECCIÓN DE PRENSAS (TEORIA Y TIPOS). FELTROS HUMEDOS

### 4.1. INTRODUCIÓN

Después de la formación en la que se determinan las principales características del papel, el proceso de desgote tiene que continuar. En esta fase el nivel de secado sólo se puede aumentar mediante presión mecánica ejercida en dirección perpendicular a la superficie de la hoja. En la sección de prensa la tira de papel pasa entre varios rodillos de presiones determinadas. El agua que así se elimina del papel es absorbida mediante fieltros de los “nips” de prensado, para después ser evacuada (2).

En los últimos años se han desarrollado, además de las prensas de rodillo, las prensas de zapata. Se trata de sistemas de prensa en los que se ha sustituido uno de los rodillos por un empujador hidráulico, que permite obtener un nip más amplio y posibilita un prensado aún más eficaz (2).

La compresión de los mecanismos puestos en juego durante el prensado de la hoja de papel es relativamente reciente e tiene por origen los trabajos de Wahlström. Hay que señalar cuan fructuoso ha sido este análisis de los fenómenos fundamentales, aunque es esencialmente cualitativo, ya que es el origen de los desarrollos espectaculares en la sección de prensas y de las vestidura húmedas en el curso de las últimas décadas (2).

### 4.1.1. Fases de prensado

El funcionamiento del prensado puede ser descrito de la siguiente manera, donde se distinguen cuatro fases (figura 56)(2):

**Fase 1**

La hoja y el fieltro entran en la zona de presión donde la presión crece desde el comienzo del "nip" hasta su posición media. Al no estar las estructuras porosas húmedas saturadas, la presión total está equilibrada únicamente por la reacción de las matrices sólidas. El aire es eliminado progresivamente de la hoja y del fieltro. La transferencia del agua entre la hoja y el fieltro no puede ser producto más que de un arrastre por el aire y resulta prácticamente nula (2).

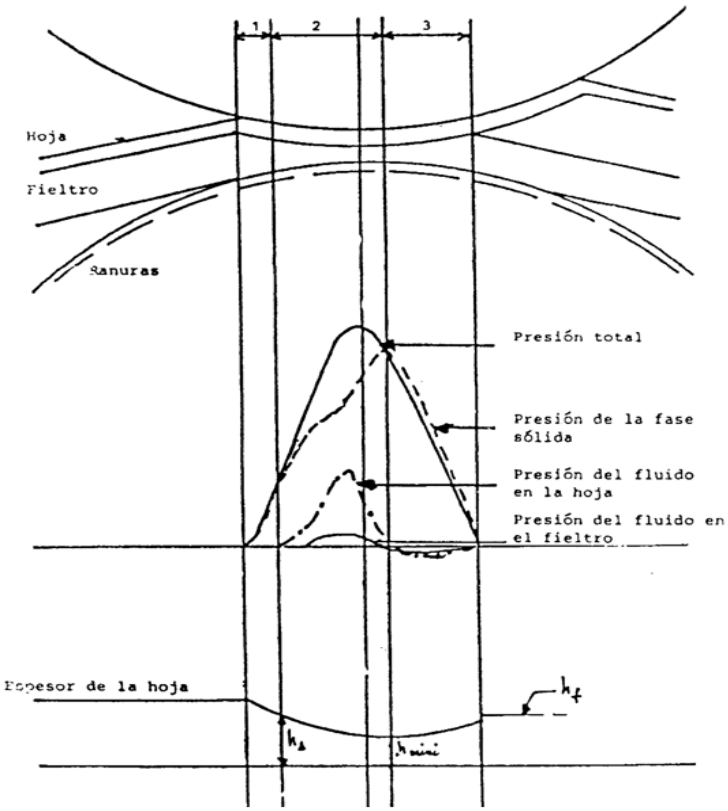



Figura 56 –FUENTE: (2)

Siendo la hoja más compresible que el fieltro y más húmeda, alcanzará rápidamente la saturación (2).

**Fase 2**

Al estar la hoja, ahora, saturada, aparece una presión hidráulica que provoca un flujo del agua de la hoja hacia el fieltro. La presión en la fase líquida es máxima sobre la superficie del cilindro de presión, mientras que la presión soportada por la matriz fibrosa sólida es máxima

en la interface hoja-fieltro. La permeabilidad de la estructura porosa está reducida a la interface hoja-fieltro, lo que puede ser un factor importante de limitación del prensado con pastas refinadas u hojas gruesas. Cuando el aporte de agua de la hoja hacia el fieltro es suficiente, el fieltro se satura a su vez y aparece una presión hidráulica en el fieltro provocando un flujo hacia la estructura alveolar dispuesta bajo el fieltro. Esta presión permanece débil al tener el fieltro una permeabilidad elevada en relación a la hoja. Al ser la estructura alveolar, prácticamente incompresible la presión dela agua es nula a condición de que la capacidad de los alveolos sea suficiente (2).

Cuando la presión total soportada por la estructura fibrosa describe así como la presión de la fase fluida, la presión soportada por la fase sólida continúa creciendo. El flujo del agua de la hoja hacia el fieltro se prosigue por que subsiste una presión en el fluido. En un momento, la presión de la fase líquida se anula, la fase sólida soporta la totalidad de la presión aplicada, la hoja tiene grosor mínimo y la sequedad máxima (2).

**Fase 3**

El papel y el fieltro se descomprimen. Hay absorción de aire por el fieltro y la hoja pero, también, remojado de la hoja por el fieltro. En efecto, la estructura capilar de la hoja es más fina que la del fieltro, que por otra parte, se descomprime más rápidamente y se produce un transporte de agua por capilaridad del fieltro hacia la hoja. En el momento de la separación del fieltro y de la hoja la rotura de la película de agua presente entre las dos estructuras aumentará aún ligeramente la humedad de la hoja (2).

El remojado de la hoja es esencialmente un fenómeno de superficie extremamente rápido (duración inferior a 0,5 ms). Es independiente del tiempo y del gramaje. Este remojado puede alcanzar 35 $g/m^2$ lo que para papeles de débil gramaje, es de una gran importancia. El remojado disminuye generalmente cuando el tiempo de servicio del fieltro aumenta (2).

## 4.2. TIPOS DE PRENSAS

### 4.2.1. Cilindro de presión

El cilindro de presión (figura 57) está constituido por un material duro, como el granito, o de una camisa de acero revestida con un componente duro de elastómeros tales como (2):

- Stonite, de 0 a 5 P&J, 12, 15 mm y una carga lineal máxima 80 kg/cm para pastas con fibras largas y poco contenido de cargas. La stonite es menos lisa que el granito y puede producir dificultades en el despegue de la hoja;
- Microrok de 0 a 3 P&J y carga lineal máxima 120 kg/cm, para pastas de fibras cortas con cargas y papeles finos, salvo papel de fumar y condensador. El microrok da menos repelado que la stonite;
- Peeler de 20 a 60 P&J y carga lineal de 50 kg/cm, para pastas de fibras largas poco cargadas (papel de fumar y suporte de carbón);
- Black Velvet: de 30 a 50 P&J mismo empleo que el tipo Peeler, pero dando menos repelado sobre papeles “kraft”;
- Sto Roc de 0 a 5 P&J, empleado para pasta mecánica e papelote.

La limpieza de los cilindros de presión se realiza mediante rasquetas oscilantes. Cuando el recubrimiento es duro las rasquetas son de acero inoxidable. El ángulo de la rasqueta con la tangente en el punto de contacto es de 25º y la carga lineal de aplicación de 80 a 100 g/cm (no debe exceder de 360 g/cm). Para revestimientos más blandos se utilizan rasquetas de materiales estratificados. El ángulo de ataque debe ser inferior a 20º y la carga lineal del orden de 80 g/cm (2).

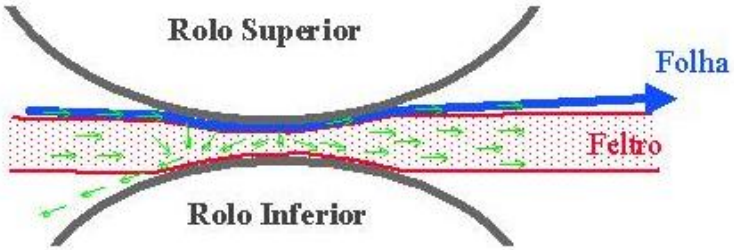



Figura 57 – FUENTE: (22)

### 4.2.2. Prensas aspirantes

El cilindro portador es análogo a un aspirante y equipado con una caja aspirante en la zona de prensado (figura 58). Las perforaciones de la camisa del cilindro portador sirven

como alveolos para permitir la evacuación del agua y para reducir la distancia de recorrido por el agua en una relación de 1/3 a ¼. El vacío tiene como misión esencial (2):

- Eliminar es aire entre la hoja y el fieltro;
- Mantener el agua en estado de neblina en los alveolos;
- Evitar el remojado del fieltro mientras esté en la zona de presión;
- Compensar parcialmente la presión hidráulica aparecida en el fieltro.

La potencia tomada por la bomba de vacío es relativamente importante, puesto que los alveolos de la prensa deben ser vaciados de aire permanentemente. En el caso del dispositivo "air bleed" esta potencia es acrecentada por los caudales de aire que atraviesan el fieltro antes y después de la zona de presión (2).

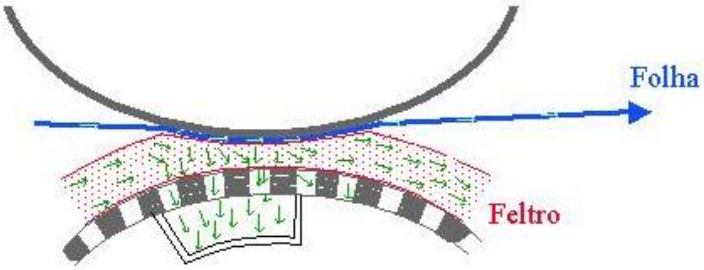



Figura 58 – FUENTE: (2)

La camisa del cilindro aspirante es metálica, revestida de caucho y perforada por agujeros dispuestos según una espiral de paso pequeño. El diámetro de las perforaciones varía entre 3 a 5 mm y la fracción de vacío de 24 a 29 % en la primera prensa y 11 a 22 % en las otras. La distancia máxima entre cualquier punto de la superficie y la periferia de una perforación es del orden de 4 mm. Las camisas metálicas son de bronce centrifugado cuando la carga lineal no sobrepasa los 50 kg/cm y si la superficie abierta es inferior al 20 %. Cuando las cargas lineares son más elevadas o la superficie abierta es superior al 20 %, la camisa es de acero inoxidable. El revestimiento de caucho tiene un espesor de unos 2,5 cm y su dureza varía de 30 a 35 P&J. Puede soportar las cargas lineales hasta 80 kg/cm. Las desviaciones de dureza no deben exceder de 2,5 P&J (≈ 1 Shore) (2).

El cajón aspirante, análogo al de un cilindro aspirante, es de 12 a 25 cm y los vacíos aplicados están comprendidos entre 380 y 600 mm de Hg. Los cilindros de las prensas aspirantes, como los cilindros aspirantes de la mesa plana son, a menudo, generadores de ruidos a elevados frecuencias. Desde hace algún tiempo existe gran preocupación por este problema dentro del marco de mejora del medio ambiente. Este ruido puede ser reducido adoptando una disposición de las perforaciones tal que las vibraciones del aire al penetrar en

las perforaciones se destruyan en la dirección perpendicular al eje de la máquina, en la cual se encuentra el personal (2).

La segunda medida que puede ser tomada consiste en emplear juntas entre el cajón de vacío y la camisa limitando la velocidad de la penetración del aire en las perforaciones, mientras que ello sea posible de conjugar con las funciones del cilindro (2).

### 4.2.3. Prensado con doble fieltro

En el caso de hojas controladas por el flujo es lógico inclinarse por esta técnica que aumenta la superficie receptora y acorta la distancia que debe recorrer el agua, además de permitir el incremento de la carga lineal sin riesgo de aplastamiento. La carga lineal es elevada (puede alcanzar los 250 kN/m) empleándose recubrimientos blandos (dureza total de unos 18 P&J), lo que se manifiesta en una ampliación de la zona de prensado. Se han reportado ganancias del 2 ÷ 4 % e incluso superiores en reformas en las que se incorporan dobles fieltros (figura 59) (2).

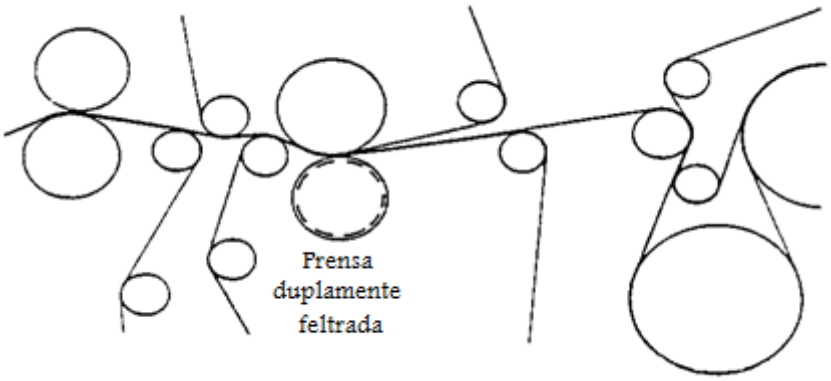



Figura 59 – FUENTE: (22)

### 4.2.4. Prensas de agujeros ciegos (“Blind Drilled Press”)

En este tipo de prensa el cilindro portador está recubierto de un revestimiento de 25 mm de caucho, perforado con agujeros ciegos de desigual profundidad. Los valores siguientes pueden ser considerados como característicos (2):

- dureza del revestimiento 18 P&J (de 0 a 30 P&J);
- superficie abierta, 20 %;
- diámetro de los agujeros, 2,5 mm;
- profundidad de los agujeros, 9,5 a 12,5 mm;
- distancia media de un punto de la superficie a las perforaciones, 0,8 mm.

Este tipo de prensa (figura 60) ha sido utilizada hace mucho tiempo como prensa caliente o como prensa compresora sobre cilindro friccionador, pero no ha sido hasta hace algunos anos comparada a las prensas ranhuradas. Este tipo de prensa no necesita cilindro portador particularmente duro, lo que permite guardar una zona de presión relativamente ancha, interesante para los papeles de gramaje alto (papel para ondular, por ejemplo). La capacidad de los alveolos llega a ser cinco veces mayor que las ranuras de una prensa ranhurada clásica, lo que permite rectificar varias veces la prensa antes de rehacer el revestimiento (2).

El agua se extrae de las perforaciones con una simple rasqueta cuando la velocidad es inferior a 300 m/min. La fuerza centrífuga realiza la extracción de los agujeros. Por debajo de los 200 m/min conviene facilitar la extracción por un chorro de aire a gran velocidad, a razón de 5 $m^3$/min y por metro de anchura bajo una presión de un metro de columna de agua. Dichos rodillos han sido utilizados también con éxito en máquinas de papel prensa con toma automática delante de un cilindro aspirante que permite extraer así el agua a través del fieltro tomador (figura 4), (70 l/min periódico a 600 m/min carga lineal 30 kg/cm) (2).

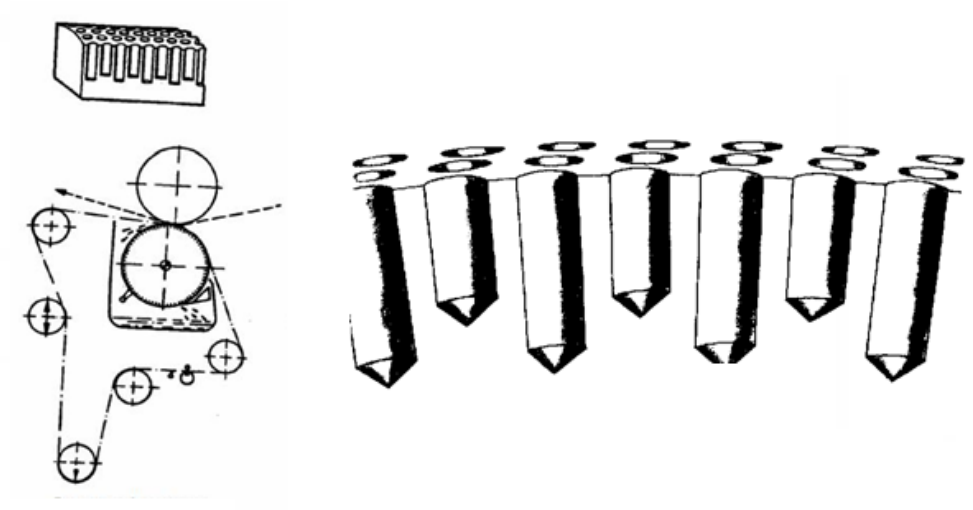


Figura 60 – FUENTE: (22)

### 4.2.5. Prensa ranhurada

En este tipo de prensa (figura 61) los alveolos están constituidos por ranuras hechas en el cilindro portador. La patente inicial (Venta Nip Beloit) menciona las dimensiones siguientes (2):

- anchura, de 0,01 a 0,03 pulgadas, o sea, 0,25 a 0,75 mm;

- profundidad, 10 veces la anchura;
- distancia entre las ranuras, de 3 a 20 veces la anchura;

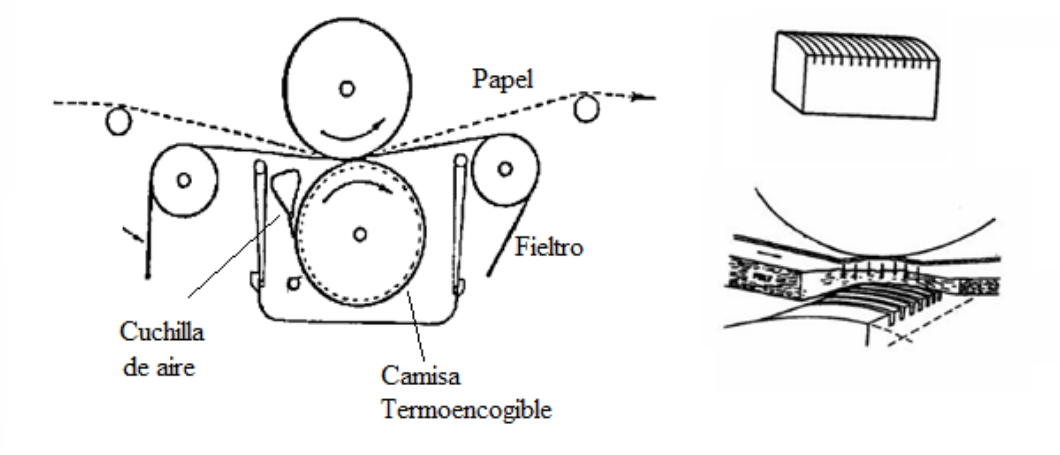



Figura 61 – FUENTE: (22)

Las características más corrientes son (2):

- anchura de las ranuras, 0,5 mm;
- Profundidad de las ranuras, 2,5 mm;
- número de ranuras por pulgada, 8.

Los volúmenes de recepción así definidos corresponden a capacidad de extracción del orden de 400 g/m$^2$. Prácticamente, teniendo en cuenta la colmatación de las ranuras y el agua no eliminada se puede considerar una capacidad de extracción del orden de 200 g/m$^2$. Las ranuras en los revestimientos de caucho no pueden alcanzar dimensiones superiores sin que el revestimiento no este sometido a esfuerzos demasiado importantes (2).

El aumento de la anchura de las ranuras conduce, por otra parte, a un aumento de la longitud de las superficies llenas (ranuras de 1 mm sobre Aqua Mate 3 a 7 P&J anchura de las superficies llenas, 4 mm) lo que hace aparecer, muy a menudo, un marcado comparable en su principio al “Shadow Marking” (2).

Estos revestimientos de caucho resultan frágiles aunque hayan sido realizados progresos importantes (Aquea Mate II – 5 P&J). Cada ratificación reduce el volumen de recepción del agua y prácticamente después de dos rectificaciones las ranuras deben ser rehechas. La deformación de las ranuras en la zona de presión conduce a menudo a un desgaste rápido de los fieltros. El bombeo de los cilindros debe ser, también, cuidadosamente determinado para evitar una deformación de las ranuras. Para paliar estos inconvenientes de las prensas ranhuradas, revestidas de caucho se han desarrollado recientemente prensas de contactos duros. El rodillo de presión está constituido, por ejemplo, por un rodillo de granito y el rodillo

motor, de bombeo variable, está revestido en acero inoxidable. Al no ser deformables las ranuras, se puede aumentar el volumen de recepción (2).

Un rodillo recubierto de caucho en el cual las ranuras sean de 0,5 mm de ancho y estén separadas entre sí, 2,7 mm, tendrá una superficie abierta del 18 %, mientras que un rodillo duro con ranuras de 1 mm de ancho y distanciadas 2 mm tienen una superficie abierta del 30 %. La sequedad de la hoja y el perfil de sequedad son netamente mejoradas, las rectificaciones y el recauchutado no son necesarios, y las ranuras se mantienen más fácilmente limpias (2).

El fieltro, a la entrada de la zona de prensado debe atacar el cilindro de presión con un ángulo de 10 a 15º (figura 62) de tal manera que se eviten toda aparición de pliegues. Por otra parte, durante el embarque de la hoja, la prensa está automáticamente descargada. El fieltro debe tener una regularidad de espesor perfecto (2).

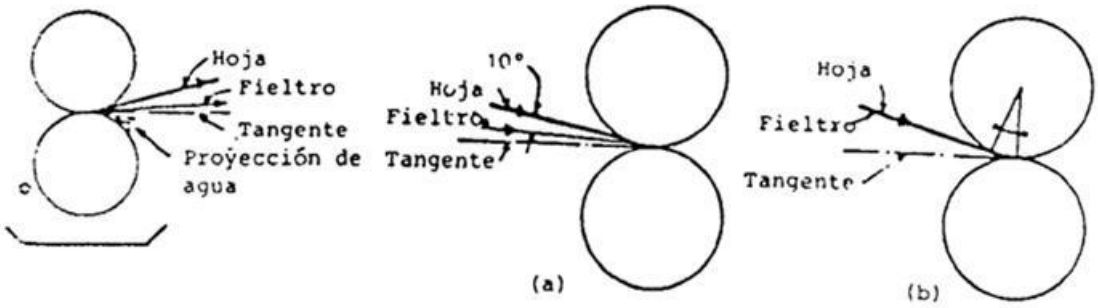



Figura 62 – FUENTE: (2)

La eliminación de agua de las ranuras y su limpieza ha necesitado numerosas puestas a punto. Inicialmente, se utilizaron rasquetas y órganos de aspiración en máquinas lentas. Todos estos sistemas demandaban un reglaje preciso y gastaban más o menos los revestimientos. Se utilizaron, entonces, regadíos dando chorros en abanico, complementados, a partir de 750 m/min, por rasquetas a fin de eliminar el agua restante sobre el rodillo de la prensa. En otras realizaciones se utiliza un cepillo (2).

En máquinas de gran velocidad la fuerza centrífuga puede parcialmente extraer el agua, pero la tensión superficial limita esta extracción (2).

## 4.3. FUNDAMENTOS DE LOS NUEVOS CONCEPTOS DE PRENSADO

La operación de prensado puede ser considerada, desde el punto de vista de su implantación en la línea de fabricación, como una extensión del proceso de eliminación de

agua comenzada en el formador y, de hecho, la búsqueda de una mayor sequedad a la entrada de la sequería es uno de los objetivos permanentes de los papeleros. Este objetivo prioritario comparte hegemonía principalmente con otro: la consolidación de la hoja, y, según los requerimientos del tipo de papel, otros efectos que afectan a la hoja (lisura, disminución de la mano) o a la maquinabilidad (incremento de la resistencia de la hoja húmeda) estas consideraciones obligan a indicar una cosa aparentemente obvia: no tienen porque ser válidos de manera universal todos los sistemas que eliminen agua de manera económicamente eficiente (2).

La eliminación del agua de la hoja húmeda (material poroso y compresible) durante el prensado se realiza al entrar ésta, conjuntamente con un fieltro (también material poroso, compresible y húmedo) entre las superficies "indeformables" y convergentes de la prensa (zona de prensado –"nip"-), lo que hace que se origine la saturación del material poroso y la correspondiente aparición de un gradiente de presión hidráulica. Para la realización práctica de la compresión se ejerce una fuerza externa, fácilmente medible, y a partir de ésta elaboramos una serie de conceptos. El primero, la carga lineal ($c_1$), se obtiene dividiendo dicha fuerza por la longitud de la banda en sentido transversal. Más difícil es la obtención de la presión en cada punto de la zona de prensado, que en el caso de prensas cilíndricas puede asimilarse, de manera teóricamente simplificada, a una ley senoidal o parabólica, por lo que la presión máxima queda (2):

$$P_{máx} = \pi \cdot P_{med}/2 \text{ (ley senoidal)}$$

$$P_{máx} = 3 \cdot P_{med}/2 \text{ (ley parabólica)}$$

Siendo que la presión media igual a la carga lineal dividida por la anchura de la zona de prensado (2b)(2):

$$P_{med} = c_1/2b$$

Teniendo en cuenta el distinto comportamiento frente a la compresibilidad de las diferentes matrices porosas húmedas (particularmente en el caso de los fieltros, por su mayor espesor) y la deformación de los revestimientos de las prensas, de acuerdo con la dureza del mismo y de su respuesta en comportamiento dinámico, se pueden llegar a tener diferentes anchuras de la zona de prensado para una carga lineal dada y, por tanto, deferentes formas de aplicar la presión (2).

En la figura 63 se muestra un ejemplo de la evolución de la presión obtenida en una prensa aplicando la misma carga lineal en el caso de utilizar un revestimiento duro (0 ÷ 2 P&J), u otro blando (20 ÷ 25 P&J). La presión total ejercida en la zona de prensado será equilibrada en las dos matrices porosas (hoja y fieltro) por las presiones hidrodinámicas y las correspondientes a las deformaciones de las mismas (2).

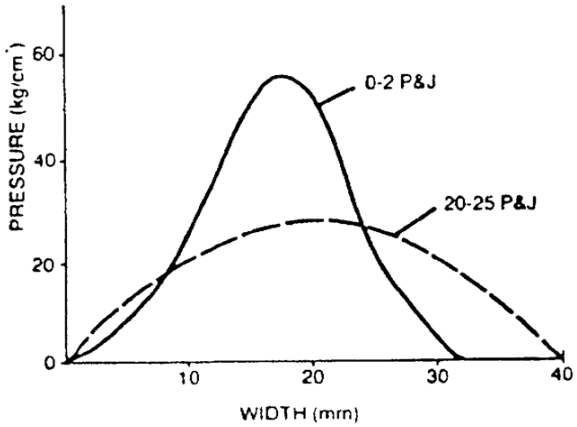



Figura 63 – FUENTE: (2)

Las presiones hidrodinámicas dependerán, fundamentalmente, de la ley que rige el desplazamiento del fluido en el material poroso, así como de su permeabilidad en estado húmedo y bajo compresión, y de la velocidad del fluido en el mismo. Las presiones mecánicas serán función del comportamiento a la compresibilidad de las matrices sólidas húmedas. En la figura 64 se da una idea del reparto de ambas presiones en un punto determinado de la zona de prensado (2).

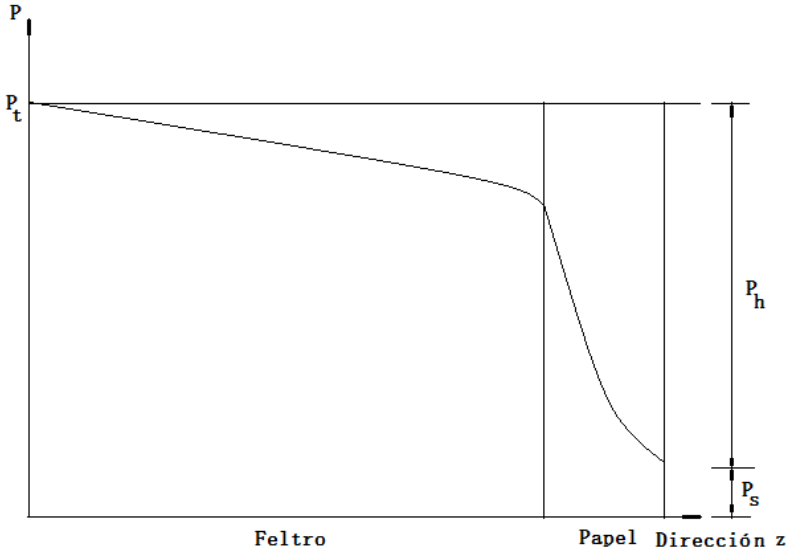



Figura 64 – FUENTE: (2)

### 4.3.1. Prensas de cilindros de gran diámetro

Estas prensas (figura 65) catalogadas como “High Impulse”, se caracterizan por tener unos rodillos de mayor diámetro que las convencionales (normalmente entre 1,3 y 2 m),

aplicación de elevadas cargas lineares (entre 200 y 350 kN/m), aunque en algún caso se aplican 450), recubrimientos del orden de 16 P&J y zonas de prensado entre 6,5 y 10 cm (2).

El gran tamaño de las prensas puede quedar reflejado en el dato de que el peso del cilindro ejerce una carga lineal de 60 kN/m, lo que da una idea das exigencias mecánicas y estructurales necesarias en una sección de prensas de este tipo. Otro problema a resolver fue la consecución de un fieltro que asocie resistencia a la compresión con una gran capacidad de transporte de agua, lo que parece conseguirse con fieltros combinados formados por tejidos soportes dobles y triples de diferentes tipos de hilo o filamento, con la parte inferior que asegure mayor volumen de vacío y más resistencia a la compactación, y la superior que pueda proporcionar una mejor distribución de presión –el incremento de masa del tejido soporte merma la de napa agujada para un gramaje final dado, lo que incrementa el riesgo de marcado-(2).

La primera aplicación – High Press de KMW - se realizó en una fábrica de papel para ondular de 110 ÷ 150 g/m$^2$, obteniéndose incrementos de sequedad, velocidad y propiedades de la hoja. Posteriormente se han ido incorporando otros fabricantes de equipo –Long Nip Press de Tapella, Intensa Press de Escher Wyss, Overpress-HL de Over Meccanica, y las de Carcano y Voith- instalando sus prensas en fábricas de “liner”, para ondular, sacos, cartón multicapa y pasta (2).

El campo de aplicación es el de los papeles en los que el prensado está regido por el flujo, por lo que este tipo de prensado va asociado al doble fieltro. Entre las ventajas obtenidas respecto a prensas convencionales se destacan el incremento del agua eliminada y la posibilidad de aplicar mayores cargas lineares sin riesgo de aplastamientos (2).

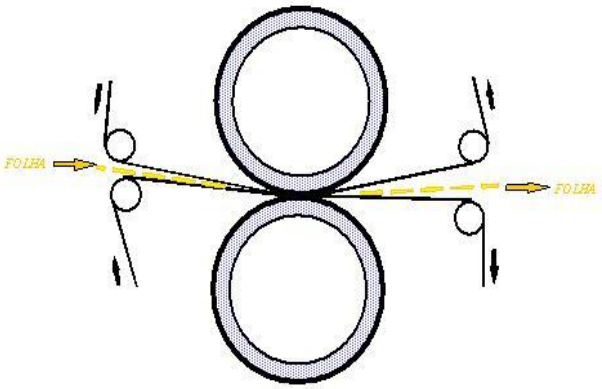



Figura 65 – FUENTE: (22)

### 4.3.2. Prensa de zapata

Este tipo de prensa suele clasificarse como “Wide-nip”. La extensa zona de prensado (hasta 25 cm) se consigue poniendo en contacto un cilindro de gran diámetro con una zapata

recubierta de una mantilla deformable, aplicando altas cargas lineares (en un rango de 750 ÷ 1050 kN/m (2).

La primera aplicación ("Extended Nip Press" de Beloit – figura 66 ) tuvo lugar en una tercera posición en 1980, obteniendo-se una mejora de 12 puntos (47% de sequedad a la entrada de sequería) además de ventajas energéticas y en el índice de estallido (2).

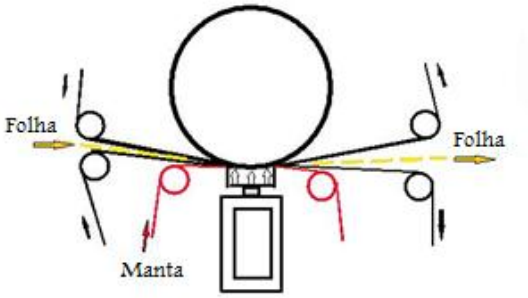



Figura 66 – FUENTE: (22)

Otras realizaciones posteriores son la Flexonip de Voith (figura 66) y la Intensa S de Escher Wyss (figura 67), en la que la correa de elastómero que desliza sobre la zapata hidráulica es una camisa de un cilindro, a las que se han sumado la Sym-belt de Valmet-KMW y la LNP-S de Tampella; estando instaladas, como en el caso anterior en fábricas de liner, para ondular, cartón multicapa y pasta (2).

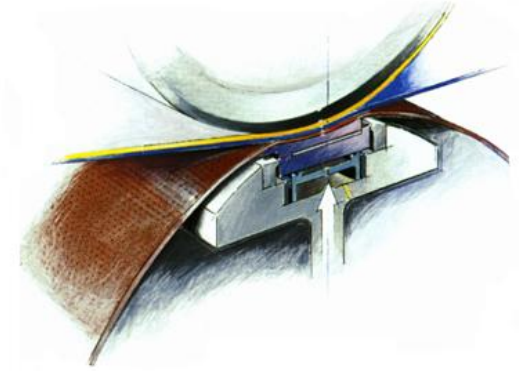


Figura 67 – FUENTE: (22)

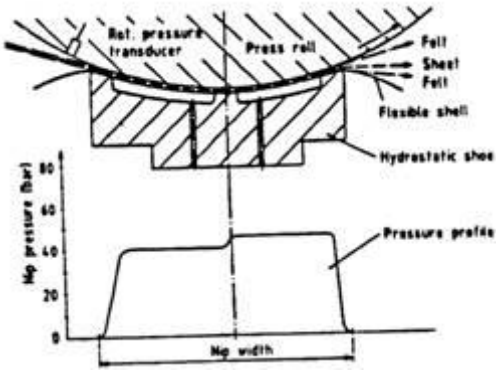



Figura 68 – FUENTE: (2)

En la figura 69 se comparan los perfiles de presión en la zona de prensado para una prensa de cilindros de gran diámetro y de dos prensas de zapata de dos longitudes distintas, constatándose la diferencia en el concepto de prensado. En la figura 70 se dan los rangos de aplicación de las diferentes prensas utilizadas en últimos tiempos (2).

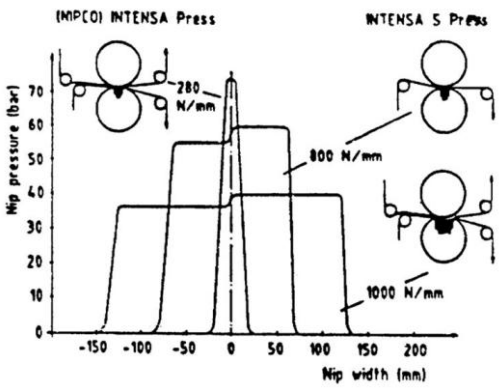



Figura 69 – FUENTE: (2)

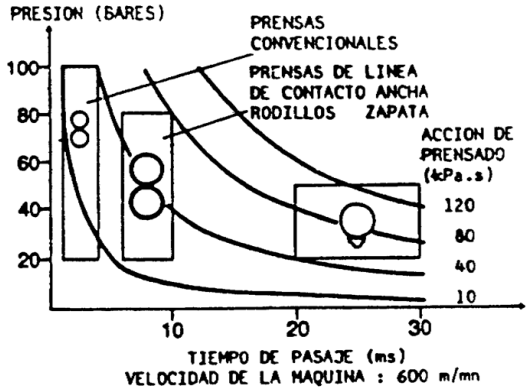



Figura 70 – FUENTE: (2)

## 5. SECCIÓN SECA (TEORIA Y TIPOS). EVAPORACIÓN Y EXTRACCIÓN DE VAPOR

### 5.1. INTRODUCCIÓN

Tras prensar el papel, proceso con el cual se pueden conseguir grados de secado de un máximo de 50-55%, el agua restante debe eliminarse del papel mediante evaporación. El método más extendido es el secado por contacto con cilindros calentados a vapor. En este método la energía calorífica se transmite mediante el contacto directo entre las paredes exteriores de los cilindros secadores y la superficie del papel. La sección seca consta de una serie de cilindros secadores por los cuales la banda de papel transita alternadamente con la cara superior y con la cara inferior (figura 71) (3).

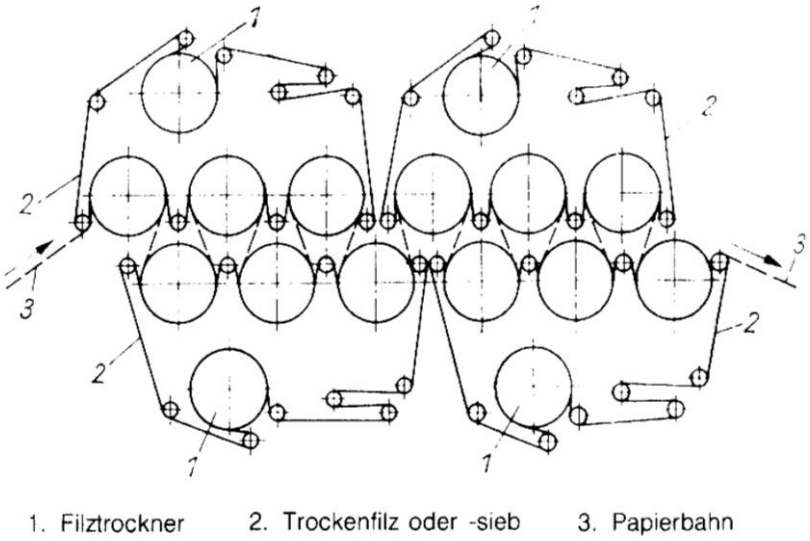



Figura 71 – FUENTE: (20)

El secado se produce en varias fases, empezando con un breve fase de calentamiento, en la que sólo se transmite calor al papel sin producirse evaporación alguna. Le sigue la evaporación principal, en la que el papel mojado desprende la humedad en la superficie mediante vaporización. En la tercera fase con la superficie ya prácticamente seca, la transferencia de calor debe realizarse a través de papel seco a fin de activar la evaporación en el interior del papel (3).

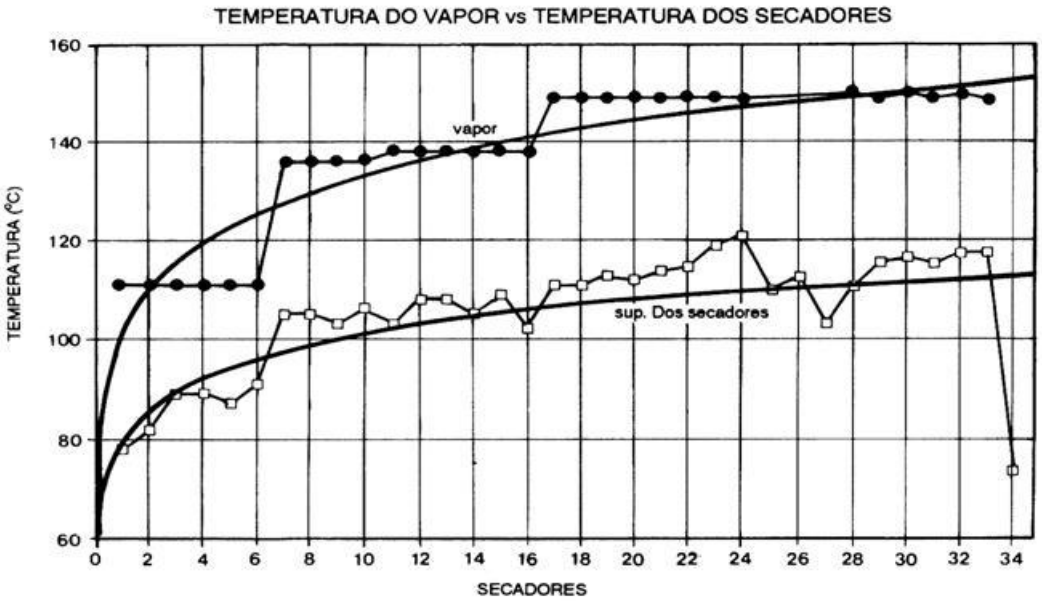



Figura 72 – FUENTE: (22)

La sequería es el proceso final de remoción de agua del papel. En el lado húmedo, el agua que contiene la hoja es parcialmente removido en el “Fourdrinier” y luego en las prensas, para entrar a la sequería con un contenido aproximado del 60 % de agua. A partir de esta humedad no hay más remedio que recurrir al secado por evaporación para seguir extrayendo el agua. La hoja de papel saldría finalmente de la sequería con una humedad (contenido de agua) del 4 al 6 %. La sequería habrá evaporado al redor de 3 kg de agua por cada 1 kg de papel fabricado, siendo el proceso más costoso de remoción (10 veces superior al proceso de secados en las prensas) (3).

El agua que es evaporada en una hoja de papel pasa al aire que lo rodea y queda en forma de vapor en los al redores del secador y debe ser removida con extractores de aire o de lo contrario se condensará (o sea se reconvertirá en agua) para volver a caer sobre el papel, los conos secadores y la estructura de la máquina. Eventualmente la falta de remoción del aire saturado reducirá la capacidad de secado (3).

Los objetivos de secado por evaporación en la sequería pueden resumirse así (3):

1. Remover agua de la hoja de papel hasta el valor final deseado de humedad;
2. Remover el agua al más bajo costo posible;
3. Lograr un perfil uniforme de secado a todo lo ancho de la hoja;
4. Remover el agua sin deteriorar las propiedades de la hoja;
5. Contribuir al proceso de curado (encolantes) durante el secado.

## 5.2. TRANSFERENCIA DE CALOR Y MASA

En esta parte vamos analizar los principales fundamentos de la transferencia de calor y transferencia de masa. Ambos temas son fundamentales para el proceso de secado de papel. Normalmente la hoja de papel sale de sección de prensas con aproximadamente un 40 % de sólidos o 60 % de humedad. Y es secada en la sesión de secadores a aproximadamente 95 % de sólidos o 5 % de humedad. Una pequeña manipulación de estos números nos muestra que aproximadamente 1,5 lb de agua es eliminada de la hoja durante el secado por lb de papel producido (3).

Aunque que menos agua se elimina en la sección de secadores que en la sección de prensas o que en la sección de formación de la máquina de papel, grandes cantidades de agua todavía deben ser eliminadas de la hoja por el costoso medio de la evaporación. Una mirada en el diagrama para una máquina característica como el ejemplo de la figura 3 del capitulo 1 nos muestra que al menos la mitad de longitud total de la máquina la constituyen la sección de secadores (3).

El secado es un proceso importante en que la aplicación de calor para evaporar la humedad final de la hoja es también necesario para formación de ligaduras que mantienen junta la hoja. Algunas de las propiedades de la hoja de papel terminada son influenciadas en una gran extensión por lo que sucede en la sección de secadores. El secado con múltiple cilindros es el medio más común para secar papel en máquina de papel. Además de examinar la transferencia de calor e de masa en relación con el secado con múltiple cilindros, examinaremos otros medios para secar la hoja húmeda (3).

La transferencia de calor involucra el flujo de energía térmica desde un lugar a alta temperatura a otro lugar de temperatura más baja. La diferencia de temperatura entre las dos localidades es la fuerza conductora para la transferencia de calor. En la transferencia de masa tratamos con el flujo de masa o moléculas desde una localidad de alta concentración o potencial químico a una localidad de concentración o potencial más bajo. La transferencia de

calor está involucrada ya que necesitamos ministrar calor al papel húmedo de manera que se puede evaporar el agua que contiene (3).

La transferencia de masa está involucrada en el sentido de que el agua líquida fluye a un punto en la estructura de la hoja donde puede ser evaporada y el flujo de vapor de agua desde el punto de saturación al punto donde puede ser liberado de la hoja. La transferencia de masa también es involucrada en el flujo de vapor del agua desde la superficie de la hoja hacia la amuestra que la rodea e la remoción de esta humedad e de la cercanía de la hoja. Pero primero debemos decir algo acerca de la naturaleza de el agua que está contenida en la hoja húmeda de papel, cuando entra a la sección de secadores. Me gusta pensar en términos de cuatro diferentes clases de agua en la hoja húmeda de papel: agua libre, agua absorbida, agua chupada (embebida) y agua confinada. El agua libre es aquella agua que está asociada más que todo con otra agua y no está muy estrechamente asociada con la estructura de la fibra de la hoja húmeda (3).

En el prensado de la hoja antes de ir a los secadores probablemente tenemos poco agua libre en la estructura de la hoja. El agua libre seria aquella que podríamos eliminar de la hoja aplicando fuerzas mecánicas a través de la hoja. El agua absorbida es aquella que es mantenida en la hoja en las intersecciones de las fibras y sobre la superficie de las fibras, principalmente pelas fuerzas de tensión superficial. El agua chupada es aquella que es mantenida dentro de los lúmenes de la fibra y dentro de la estructura de las paredes de las células sueltas de fibra. El agua confinada es el agua que está químicamente confinada a través de ligaduras tipo hidrógeno, a la estructura celulósica de las fibras de pulpa. La facilidad de remoción de estas cuatro clases de agua de la hoja de papel disminuye en el orden en las hacen descritos (3).

El agua libre debe ser relativamente fácil de eliminar. Al eliminar el agua absorbida tenemos que vencer las fuerzas de tensión superficial que la sostienen en la estructura de la hoja. El agua chupada tiene que ser eliminada de la estructura de la pared de la célula in el interior de la fibra de pulpa y esto puede requerir más esfuerzo que la remoción de el agua absorbida de la superficie fibra. El agua confinada es la única más difícil de remover ya que tiene que romper las ligaduras de hidrógeno químico. Tenemos que hacer otro comentario a cerca del agua y del papel. Es el de que el papel es un medio higroscópico; es un material que recogerá agua de la atmósfera (3).

Al humedades y temperaturas normales aproximadamente 5 % de masa de una hoja de papel es agua. La cantidad de agua dentro de una hoja estará en equilibrio dependiendo de la

humedad del aire que rodea la hoja. Si se permite suficiente tiempo para que se establezca el equilibrio. Se secar una hoja de papel más allá de el punto de equilibrio la hoja recogerá agua de nuevo de la atmósfera por un período de tiempo. Ahora tenemos como novedad los procesos de transferencia de calor y transferencia de masa. Ideamos si podemos obtener un entendimiento básico de ellos. La transferencia de calor y flujo de calor de localidades de alta temperatura al localidades de temperaturas más baja es probablemente más fácil de visualizar y entender de los dos fenómenos. Por consiguiente discutiremos este primero (3).

La energía térmica puede ser transferida de un lugar a otro por tres mecanismos diferentes: conducción, difusión libre o forzada, y radiación. El mecanismo de conducción concherva el movimiento de via térmica de una localización a otra dedido al mayor excitamiento mecanico de moleculas donde hay temperaturas más altas. Mientras la más excitadas está las moléculas de la región más caliente interactuarán con las moléculas adyacentes de una región más fria pasando energía a ellas. Esta moléculas interactuando con aquellas de la región aún más fria transmitirán las sus energías. Así habrá un flujomento de energía térmica desde la localidad donde las moléculas está más agitadas a la localidad donde ellas están menos agitadas cuando ocurre la conducción. Para que la energia térmica fluya por medio de la conduccíon las localidades tienen que estar fisicamente conectadas por un medio sólido o un fluido. Las moléculas y atomos son necesarios para el flujo de energia térmica por conducción (3).

El mecanismo de difusión de la transferencia de calor comprende el flujo de un fluido caliente e desde una localización caliente a una localización más fría. La energía térmica se mueve de un lugar a otro debido a que el contenido térmico del fluido se mueve con él. Piense en términos de una superficie caliente rodeada de aire tal como una estufa en el centro do cuarto. La superficie de esta estufa está caliente e el aire adyacente a la superficie caliente tiende a volverse caliente debido a la conducción de la superficie caliente hace al el aire. A medida que el aire ser calienta cerca de la estufa su densidad disminuye e trata de elevarse. A medida que el aire caliente se eleva el aire frio fluirá dentro de la región que ocupaba el aire caliente. Este aire frio se ha su vez calentado y se alejará a la superficie caliente. Este continuo movimiento e calentamiento de aire es un ejemplo de la difusión libre. Se colocamos un ventilador detrás de la estufa y soplar el aire a través de la superficie caliente tendríamos un ejemplo de difusión forzada (3).

El mecanismo de radiación para la transferencia de calor, la energía térmica se mueva de una superficie caliente a una superficie más fría. Debido a que la superficie caliente emite

radiación electromagnética. La luz es un ejemplo de radiación electromagnética como lo son las ondas de radio y radios-x. Cuando la superficie más fría absorbe radiación, la energía radiante se convierte en energía térmica. La energía que recibimos del sol chiga a nosotros por medio de mecanismo de transferencia de calor por radiación. La mayor parte de la energía térmica que se transmite desde el fuego hacia las paredes de una estufa se transfiere por medio de radiación.

El calor es transferido a través de las paredes de la estufa por conducción y desprendido de la estufa tanto por difusión como por radiación. La radiación es la razón por la que su espalda se calienta cuando permanece cerca de una estufa. Mientras que frente suyo que no está en la visual de la superficie de la estufa puede parecer frio. Para entender mejor la conducción demos una mirada a la figura 72 (3).

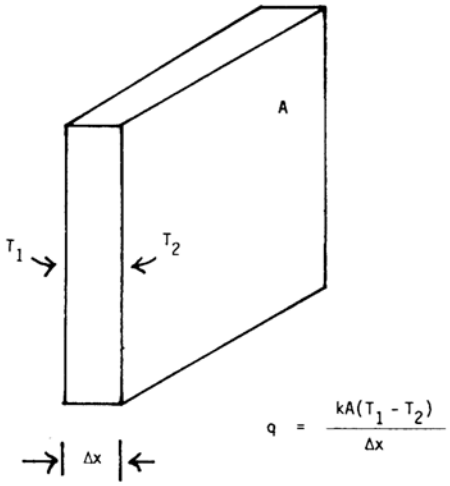



Figura 72 – FUENTE: (2)

En esta figura tenemos una lámina cuya área es “A”. La cara del lado izquierdo de la lámina se mantiene a temperatura “$T_1$” a cual es mayor que “$T_2$”. La temperatura a cual se mantiene la superficie del lado derecho de la lámina. En el resto de la lámina es “Δx”. La rata de flujo de calor a través de la lámina desde la superficie caliente a la superficie fría es dada por la ecuación: $Q = kA(T_1 – T_2)/\Delta x$. como se muestra en la figura 1, “k” es la conductividad térmica del material de cual está construida la lámina. Materiales diferentes tienen conductividades térmicas diferentes. Por ejemplo, la plata es un conductor térmico muy bueno y tiene una alta conductividad. Mientras que la espuma de caucho tiene una conductividad térmica relativamente baja. De manera que materiales diferentes permitirán que diferentes cantidades de calor pasen a través de lámina similares. Se aumentamos la área “A” podemos aumentamos el flujo de calor de un lado a otro Se aumentamos la diferencia de temperatura de los dos lados de la lámina, podemos aumentar el flujo de calor a través de ella. Se hacemos más delgada la lámina el flujo de calor aumentará a través de la lámina. Estos son factores muy importantes en la conducción. Ahora veremos el efecto de la transferencia de calor por difusión. Usaremos las láminas de la figura 1 para separar dos volúmenes de aire tales que la temperatura lejos de la platina en el lado izquierdo es “Ti” y la temperatura del aire lejos de la lámina al lado derecho es “$T_0$” como se muestra en la figura 73 (3).

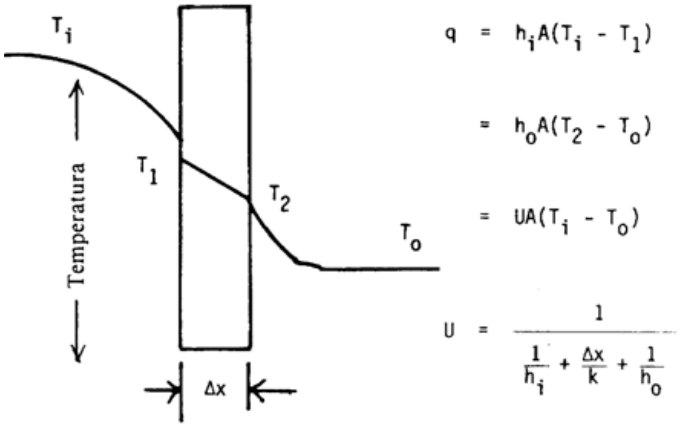



Figura 73 – FUENTE: (2)

Las temperaturas dentro y fuera de la superficie de la lámina serán chamadas normalmente "$T_1$" y "$T_2$". La rata de flujo de calor desde aire interior a la superficie de la lámina es dada por una ecuación empírica (3):

$$Q = h_i\ A(T_i - T_1)$$

Donde "h" es un coeficiente de transferencia de calor individual. El flujo de calor lejos de la lámina a lado derecho es igual a $Q = h_0A(T_2 - T_0)$. Hemos visto ya una ecuación para el flujo de calor a través de la lámina. Si el proceso completo de transferencia de calor desde un volumen de aire a otro es un proceso "estable" y uniforme decidiremos a cálculo algunas operaciones matemáticas para obtener la ecuación $Q = UA(T_i - T_0)$ tenemos una relación para la rata de flujo de calor a través de la lámina, la cual tiene en ella las dos temperaturas del aire. "U" es un coeficiente total de transferencia de calor y es igual la cantidad dada de la figura 2. El término Δx/k se puede decir que es la resistencia de conducción al flujo de calor. Esta resistencia conductiva aumenta con el grueso y disminuye al aumentar la conductividad. Se la lámina estuviera hecha demás de una capa tendríamos un término "Δx/k" para cada capa. Los términos "1/h" en la expresión para "U" también representa resistencias para el flujo térmico. Y hay uno para cada superficie de transferencia de calor. Las matemáticas para la transmisión de energía térmica por mecanismo de radiación son más erradas (3).

Pero podemos todavía pensar en términos de la rata de flujo de calor como que es proporcional al coeficiente de transferencia de calor, una área e una diferencia de temperatura. Ahora, tornemos nuestra atención brevemente a la transferencia de masa. Como mencioné anteriormente la transferencia de masa comprende el flujo de moléculas de una región de alta concentración a una región de baja concentración. La relación para la transferencia de masa

de vapor de agua lejos de una superficie de una hoja de papel hacia el aire que la rodea puede representarse por la ecuación abajo (3):

$$N = mA\Delta P$$

Donde:

N es la rata de trasferencia de masa libre de agua eliminada por hola;

“m” es el coeficiente de transferencia de masa, similar a los coeficientes de transferencia de calor discutidos anteriormente. Es un coeficiente empírico;

“A” es la área de contacto entra la superficie de la hoja y aire;

“ΔP” es la fuerza conductora para el flujo de moléculas de agua;

En esta representación particular ΔP es igual a la presión de vapor de agua en la superficie de la hoja menos la presión parcial del agua en el aire que la rodea. La presión del vapor de agua en la superficie de la hoja depende de la temperatura y disponibilidad de agua en la superficie. La presión parcial del vapor de agua en el aire es una función de la concentración de agua en el aire. Podaríamos pensar normalmente como una medida de la humedades del aire. El coeficiente de transferencia de masa dependerá de la velocidad del aire cerca de la superficie de la hoja. A las temperaturas de secado usadas para la hoja de papel, pequeños aumentos en la temperatura de la hoja aumentará grandemente la presión de vapor de agua en la superficie de la hoja. Una humedad baja del aire que rodea la hoja provocará la remoción del vapor de agua desde él. Una alta velocidad del aire que pasa sobre la hoja también fomentara la remoción del vapor de agua. Ahora concentremos nuestra atención en la rata de secado del papel como se muestra en la figura 74 (3).

En esta figura se ha trazado dos cantidades diferentes contra el tiempo de secado o posición a lo largo de la sección de secadores para una hoja de papel. El la curva superior el contenido de humedad de la hoja es dibujado contra la posición. En la curva inferior la rata de remoción del agua es dibujada contra la posición. Asumamos que introducimos una cuantidad constante de energía térmica o BTU. Dentro de la hoja por medio de transferencia de calor. Toma aproximadamente 1000 BTU evaporado en una libra de agua en el estado líquido. Este calor latente de vaporización para el agua es removido de la hoja cuando el vapor de agua escapa de ella (3).

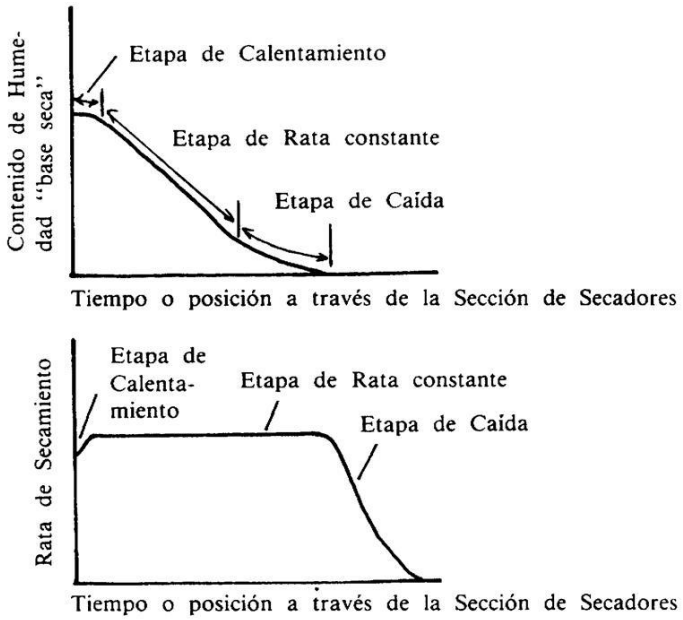



Figura 74 – FUENTE: (3)

Durante las primeras etapas de secado a medida que proveemos una rata constante de calor no estamos evaporando mucha agua sino que estamos calentando la hoja y el agua a una temperatura donde puede ocurrir cantidades apreciables de evaporación. Alcanzarnos un punto donde la rata de entrada de calor constante es balanceada por la pérdida de calor de la hoja por evaporación. Así podemos ver que hay una región de calentamiento donde su ministro de calor excede las perdidas por evaporación seguida por un periodo relativamente largo de rata de secado constante donde su ministro de calor está casi balanceado pela perdida de calor por medio de la evaporación. Finalmente, la hoja alcanza a una sequedad donde el agua que contiene chiga a ser más y más difícil de eliminar (3).

Cuando empezamos a eliminar el agua chupada y aún el agua químicamente ligada chiga a ser extremadamente difícil remover esta agua e tiene que suministrar más energía. En este punto la rata de secado cae ya que se necesita más calor para eliminar una cantidad dada de agua. Así visualizamos cualquier proceso de secado, particularmente el proceso de secado del papel con un estado compuesto de tres etapas separadas: calentamiento, rata constante e rata de disminución. Resumiendo, cuando se seca una hoja de papel el calor es suministrado a la hoja a través da transferencia de calor para evaporar el agua líquida contenida en ella. El calor se elimina de la hoja como el calor latente de vaporización debido a la transferencia de masa del vapor de agua de la hoja. El balance entre estos dos procesos y la dificultad para

liberar el agua de la estructura del papel influye sobre la rata de secado. Ahora, retornemos nuestra atención al proceso de trasferencia de calor implicado en el secado del papel.

Examinemos la figura 75, la cual muestra la distribución de temperatura a través de cilindro de secado e ilustra las varias resistencias al flujo de calor encontrada cuando se usa para vapor para suministrar el calor necesario para el secado del papel (3).

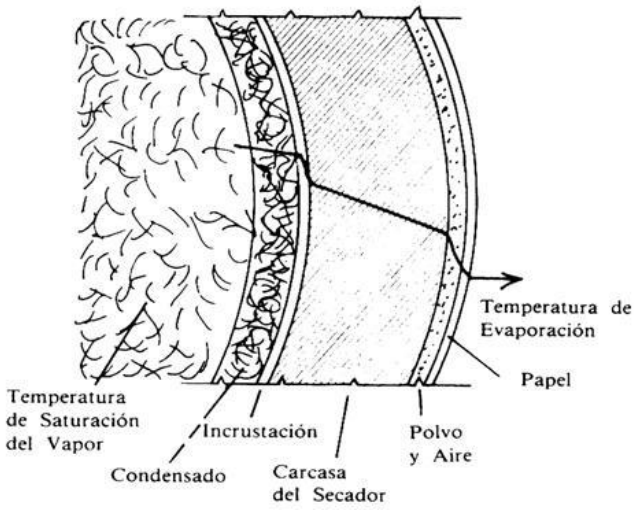



Figura 75 – FUENTE: (3)

En el interior del cilindro secador está lleno con vapor saturado. Cuando este vapor se condensa, pierde su calor de vaporización el cual está entonces disponible para la transferencia de calor por medio del cilindro secador dentro de la hoja de papel. Se muestra dos capas entre el vapor saturado y el casco mismo de secador. Una es una película de condensado o capa que ofrecerá resistencia al flujo de calor hacia el casco del secador. Hablaremos más acerca de esta capa de condensado dentro de un momento. La otra capa entre el vapor y el casco del secador es una capa de incrustaciones. Aún que haya un esfuerzo considerable para suministrar agua limpia de la caldera, todavía habrá tendencia a depositarse una pequeña cantidad de incrustaciones en el interior del casca del secador. Esta incrustación es un aislante muy bueno y habrá una cantidad regular de resistencia al flujo de transferencia de calor a través de la incrustación. El casco mismo del secador se muestra como una capa relativamente gruesa. Generalmente los secadores están fabricados de hierro fundido y tiene una conductividad bastante buena. Por consiguiente el casco “hace” solo una moderada resistencia al flujo de calor (3).

Todas las resistencias al flujo de calor son representadas en la superficie exterior del cilindro secador. Una es una película de polvo y aire e la otra es el papel que estamos secando. Las películas o capas delgadas de aire son muy buenos aisladores e en tanto que aire no pueda mover sin si ministrar un medio de difusión. Para la transferencia de calor la película de aire aislará el casco del secador. La película de aire entre el cilindro secador y el papel puede ser una resistencia importante para el flujo de calor y de vapor hacia el papel.

Usamos fieltros secadores para ayudar a minimizar esta resistencia pero hablaremos de esto más tarde. Primero consideraremos el condensado en el interior de la superficie del secador (3).

Cuando el vapor se condensa en el secador, forma en la superficie interior una película de liquido. Este vapor condensado tenderá a recogerse en el casco del secador deslizando desde hacia abajo de la superficie formando una piscina o charco en el fondo del secador. Es necesario remover el vapor condensado continuamente del casco del secador para continuar el secado del papel. Por consiguiente se instalan sifones dentro de los secadores. Y los sifones pueden ser estacionarios o rotatorios y hay un número diferente de diseños. Cada uno ofreciendo sus propias ventajas e desventajas especiales. Evitaremos una descripción detallada de los sifones y examinaremos mas estrechamente la capa de condensado. Se el secado está girando con una velocidad relativamente lenta, el condensado formará una película muy delgada en la mayor parte da superficie interna del secador excepto donde existe el charco como se muestra en la figura 76 (3).

A medida que aumenta la velocidad de rotación para una cantidad dada de condensado del secador el charco será empurado hacia arriba y el secador será neutralizado desde el fondo del secador. Y se si aumenta la velocidad a un nivel suficientemente alto el charco será arrastrado hacia arriba del secador a un punto donde caerá sobre si mismo en un “rodio de gotitas” con movimiento rotatorio del condensado. Esta condición es feralmente llamada cascada y es un alto consumidor de energía mecánica del cilindro secador. A velocidades de rotación del secador suficientemente altas el condensado será jugado con fuerza por la acción centrífuga de manera que forma un anillo continuo al redor da superficie interna cilíndrica del secador. Esta condición se conoce como marginamiento y existe en la mayoría de las máquinas de alta velocidad. El deslocamento del condensado en la condición de marginamiento es tal que tenderá a disminuir durante el viaje hacia arriba e aumentar durante el viaje hacia abajo. Este deslocamiento de arriba y para abajo fomenta la transferencia de calor (3).

Se recuerda nuestra discusión de los fundamentos de la transferencia de calor, recordará que el grueso de la capa a través del cual se conduce el calor es muy importante. Mientras más gruesa sea la capa más alta será la resistencia al flujo del calor y mientras más delgada sea la capa más conductiva será. Esto también es cierto para una capa de condensado en una condición de marginamiento. Debemos mantener esta capa tan delgada como sea posible para

disminuir la resistencia al flujo de calor del vapor hacia el papel. Una buena selección, diseño y colocación de los sifones es extremamente importante para alcanzar esta meta (3).

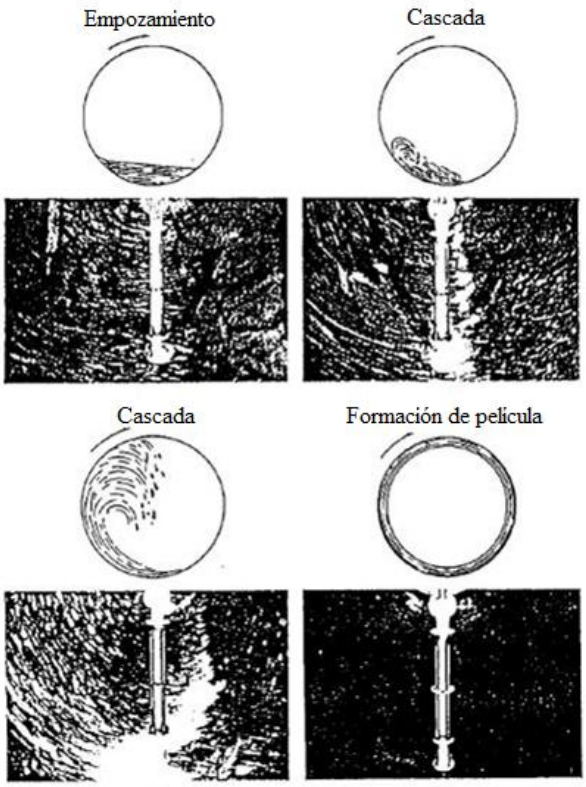



Figura 76 – FUENTE: (22)

El casco del secador aún que relativamente grueso cuando comparada con otras capas ofreciendo una resistencia al flujo de calor a cual es posiblemente del misma orden de magnitud que la resistencias debidas a las capas de condensado e incrustaciones. Una película de aire de la hoja de papel y el cilindro secador ofrecerá resistencia al flujo de calor. Nosotros minimizamos esta resistencia usando un fieltro secador para sostener la hoja firmemente contra la superficie del secador. Esto nos conduce naturalmente a una discusión de lo que sucede cuando la hoja pasa sobre el cilindro secador y en la operación de secamiento con múltiple cilindros. Echemos una virada a la figura 77 la cual muestra el ciclo de operación (3).

Así como dividimos la operación de prensado en cuatro fases dividiremos la operación de secado en cuatro fases como se indica en la figura 77 (3).

Esta figura muestra un fieltro e una hoja vía arrastre sobre el secador superior de una sección de secadores. Durante la fase 1 la hoja hace contacto con el secador. Pero la temperatura de la hoja aumenta solamente muy poco. Debido a que la hoja no está bien en contacto contra la superficie del secador. Al final de la fase 1 el fieltro hace contacto con la superficie de la hoja exprimiendo el aire entre la hoja y la superficie del secador y está sosteniente firmemente la hoja sobre la superficie del cilindro secador (3).

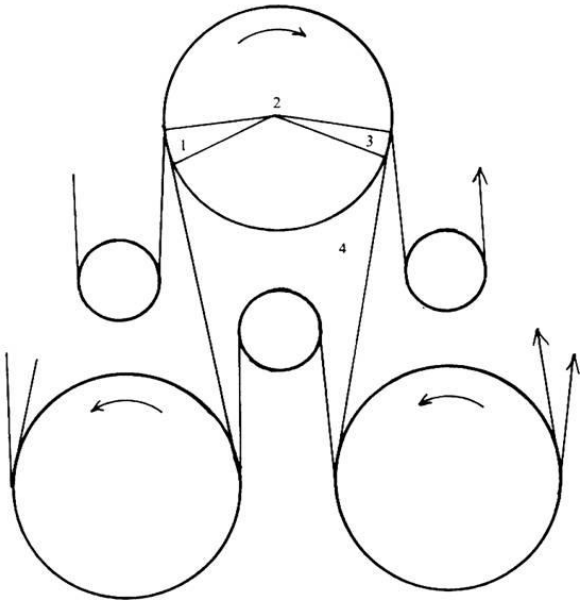


Figura 77 – FUENTE: (3)

La temperatura de la hoja empezará a subir rápidamente debido que ahora está en estrecho contacto con la superficie y la transferencia de calor no es estampada por una capa de grueso aire entre la hoja y el secador. Ningún vapor de agua puede abandonar el papel el la superficie de separación entre el cilindro y el papel. Cualquier vapor de agua creado en este punto durante la fase 2 debe pasar hacia afuera a través de la hoja y hacia el fieltro (3).

A medida que el vapor de agua pasa hacia afuera puede recondensarse ya que es enfriado pela agua más fría e por la estructura de la hoja. Se si condensa soltará calor de vaporización el cual se calentará al punto de recondensación y posiblemente reevapora algo de agua. Así hay un movimiento neto de vapor de agua hacia afuera a través de la hoja y posiblemente dentro o a través del fieltro secador durante la fase 2. Al comienzo de la fase 3 el fieltro deja la hoja y la superficie caliente que estaba adyacente al fieltro está ahora expuesta en la atmósfera. Ella se resfría rápidamente a medida que se evapora el agua de ella en espacio de aire dentro de la hoja (3).

Al comienzo de la fase 4 la hoja sale del secador y ambas superficies de ella son expuestas a la atmósfera. La superficie que había estado en contacto con el cilindro caliente está extremadamente caliente y puede ocurrir una gran cantidad de evaporación desde esta superficie de la hoja. Hay dos maneras pelas cuales el vapor de agua puede escapar de la hoja. El vapor del agua puede escapar durante la fase 2 a través o dentro del fieltro secador o puede escapar al aire durante el paso a través de la arrastre entre cilindros secadores durante las fases 3 y 4. La proporción del agua eliminada de la hoja durante la fase 2 encuentra aquella eliminada de las fases 3 y 4 dependerá en una gran medida de las propiedades del fieltro

secador. Los fieltros secadores antiguos eran bastante pesados e hecho de lana, lana-asbesto, algodón o tejidos de asbesto-algodón. Ellos eran relativamente impermeables al flujo del valor de agua. Cuando se usaba este tipo del fieltro la mayoría del agua eliminada de la hoja se perdía en el arrastre entre los cilindros secadores (3).

Desarrollos más recientes ha producidos fieltros secadores hecho de fibras sintéticas los cuales parecen tamices más que fieltros gruesos. El fieltro secador del tipo tamiz permite la penetración del agua a través del fieltro durante la fase 2 y la proporción del agua eliminada en las varias etapas del secado con múltiples cilindros ha cambiado con la llegada de estés fieltros secadores de nuevo tipo de tamiz. Demos otra mirada a la figura 7. En el centro de esta figura mostramos un cilindro superior secador. Localizado inmediatamente debajo de el está un rodillo retornado de fieltro para la corrida del fieltro inferior. El área encerrada por el cilindro secador la hoja que corre del cilindro inferior izquierdo hacia el cilindro superior, la hoja que va desde el cilindro superior hasta cilindro inferior al lado derecho y el fieltro del secador inferior es conocida como el bolsillo o cavidad del secador (3).

Cuando usted camina por una sección de secadores verá que las cavidades del secador inferior alterna con las cavidades del secador superior. El agua se está evaporando de la hoja se evapora en esas cuantidades. Ahora recuerde que lo que dijimos de que el secador es una combinación de transferencia de calor y transferencia de masa. Tenemos que suministrar calor a la hoja para evaporar el agua pero también tenemos que eliminar el agua de la hoja y levarla a lejos. Se no purgamos el aire húmedo de las cavidades limitaremos severamente la habilidad de transferencia de masa para transportar el agua lejos de la hoja. A medida que las humedades de las cavidades se acumula, la fuerza conductora para la transferencia de masa desde la hoja dentro del aire disminuye. Antiguamente, con máquinas más agostas y lentas esto lo representaba un problema severo como los hay hoy en día. A medidas que las máquinas se presentan más anchas y rápidas, esto se ha convertido en un problema relativamente difícil (3).

Muchas máquinas tienen ahora rodillos retornadores de fieltro que son huecos e perforados de manera que se pueda soplar aire seco y caliente a través de rodillos retornadores de fieltro y el fieltro secador en las cavidades forzando hacia afora el aire húmedo y remplazándolo con aire seco y caliente para mejorar la transferencia de masa. Hay otros medios que podríamos usar para introducir aire fresco en del interior de la cavidad. Podríamos soplarlo desde un lado de la máquina o podríamos insertar un tubo con boquillas dentro de la cavidad a través del cual introducimos aire caliente. Otro mecanismo para la ventilación de

cavidades ha sido experimentado con el desarrollo del fieltro secador del tipo tela abierta o tamiz (3).

Este comprende un fenómeno conocido como bombeo de aire. Este fenómeno se analiza en una das referencias dadas para este capitulo en la guía de estudio. En los tiempos antiguos el aire húmedo criado por el secado del papel se permitía que subía al centro de la sala de máquinas para ser extraído por medio de ventiladores de extracción. Hoy día con las crecientes velocidades y anchos de máquinas y con los costos de energía en constante aumento estamos encontrando que es el más y más importante a ser mejor curso del aire del secadores. Las secciones de secadores están siendo totalmente encerradas con capotas aisladas. La cantidad y calidad de aire fresco admitido a la sección de secadores está siendo controlada estrechamente. Se estarán así dispuestos para recuperar tanta energía cuanto sea posible del aire húmedo y caliente que sale de la sección de secadores. Hasta aquí hemos estado hablando principalmente del secado en múltiples cilindros del papel. O resultado muy importante del secado con varios cilindros es la diferencia entre las propiedades en dirección de la máquina y en dirección a través de la máquina, particularmente a la resistencia a la tracción (3).

Cuando la hoja es salada a través de la sección de secadores tiende a encogerse a medida que se seca más y más. Debido a este encogimiento la hoja está bajo una cantidad apreciable de tracción en dirección de la máquina durante el secado. Estas tensiones en dirección de la máquina durante el secado hace con que en esta dirección tenga una resistencia final más alta y en dirección a través de la máquina. La hoja tiene más elasticidad en dirección a través de máquina al que tendrá una tensión más baja. Estas propiedades están directamente relacionadas a las tensiones que son fijadas en la hoja cuando esta se seca. La hoja de papel que se va a secar por medio de múltiples cilindros debe ser lo suficientemente fuerte para soportar el arrastre entre los cilindros secadores durante el secado. En algunos tipos de producción de papel, por ejemplo, papeles sanitarios la hoja que va a través de la sección de secado puede no ser lo suficientemente fuerte para esto. En este caso podemos usar un secador “Yankee” como se muestra en la figura 78 (3).

Podemos también usar un cilindro “Yankee” se estamos haciendo una hoja de papel satinado o glaseada. Está seria una hoja que tendría una superficie lustrosa sobre un lado la cual le fue impartida durante el proceso de secado. Las hojas crespadas también son hechas se usando secadores “Yankee”. Lo secador “Yankee” son generalmente grandes cilindros de

orden de 10 a 14 pies de diámetro. La hoja de papel es presionada contra el cilindro secador y mantenida en su lugar por medio de un fieltro (3).

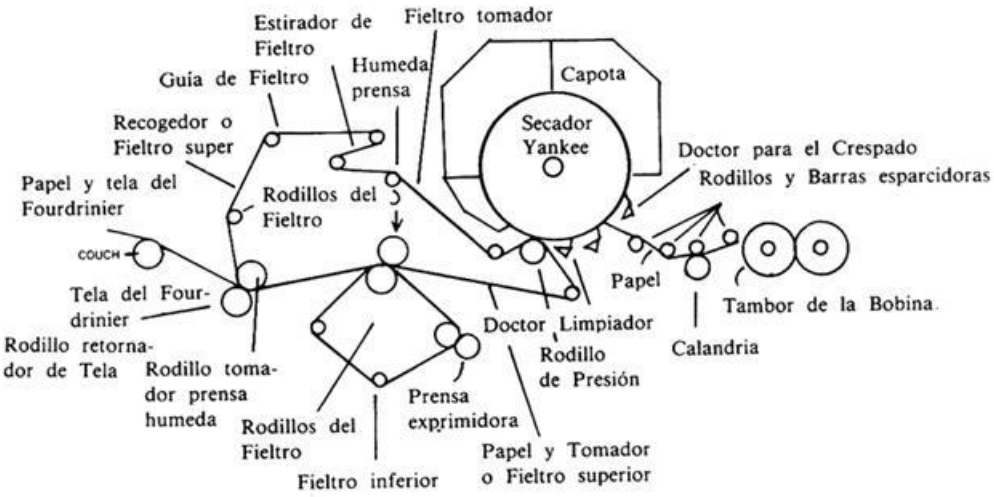



Figura 78 – FUENTE: (3)

El fieltro confina la hoja a la superficie del cilindro secador de manera que no puede encorrearse durante el secado. Se la hoja é sostenida muy apretadamente a un secador con superficie altamente brillante la cara de la hoja que estaba en contacto con el secador tendrá una apariencia brillante e suave (3).

Debido al tamaño del secador “Yankee” su construcción tiene que ser bastante fuerte para soportar las presiones de vapor interno y el grueso del casco de un cilindro “Yankee” está que el casco o mismo comienza a hacer una resistencia significante al flujo de calor (3).

Figura 79 – FUENTE: (22)

Este no es el caso en el secado con múltiple cilindro. Se si permite que una hoja de papel se secar en el aire sin estar sujeta a tracción o se no está restringida por un fieltro como en el cilindro múltiple y en el secado con el “Yankee” la hoja tendería a encorrearse más en ciertas áreas pequeñas que en otras. Este encogimiento se relaciona muy estrechamente con la estructura de la fibra de la hoja (3).

La hoja secada al aire tendría una apariencia arrugada o áspera. La apariencia de un papel que “desenrolla” es un ejemplo de esto. Algunas veces esta es una propiedad deseable y por consiguiente algunos grados de papel son secado al aire. Las hojas son raladas a través de grandes recipientes entre los cuales se hace pasar aire caliente sobre ellas con transferencia de

calor dentro de ellas por difusión desde el aire caliente a la hoja. La remoción de humedad de la hoja en esta situación es también un tipo de proceso de transferencia de masa por difusión. Solo se aplica la tensión suficiente a la hoja durante el secado por aire para hacer que pase a través de la sección de secado (3).

La hoja puede ser pasada sobre una serie de rodillos para suministrar el tiempo requerido en el "horno" secador, podrá ser apoyada por "foils" de aire, chorros de aire que hacen impactos en uno o ambos lados de la hoja soportándola durante su viaje a través del secador (3).

Podemos también usar aire caliente para secar hojas de papel de otras maneras. Uno seria con choque de aire secador donde la hoja es pasada sobre un cilindro grande y chorro de aire caliente son dirigidos a la superficie de la hoja sobre un cilindro poroso y someter la superficie de la hoja lejos de cilindro poroso a chorros de aire caliente de manera que el aire pasa a través de la hoja dentro del cilindro. Esto es chamado secado continuo (figura 80) (3).

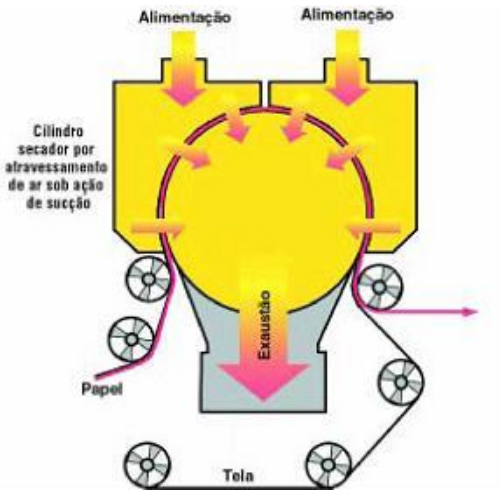


Figura 80 – FUENTE: (22)

A menudo las máquinas de papel son severamente limitadas en sus velocidades de operación por la capacidad de secado. Podemos agregar sistemas de secado auxiliares a estas máquinas para mejorar el secado. El secado auxiliar se podría lograr agregando un cilindro grande para secado por choque de aire o podría consistir en agregar calentadores en varios lugares de la sección de secado para poner energía radiante en la hoja. Esta energía radiante podría ser radiación infrahoja de quemadores de gas (figura 81) o elementos de calentamiento eléctrico o podría ser energía por microondas (3).

En del caso de secado por microondas, usamos microondas para excitar las moléculas de agua en la hoja. Este excitación de las moléculas de agua causa que la hoja se caliente a igual que se calienta la comida en horno microondas. Cualquier método auxiliar de secado por aire que nosotros hagamos en una hoja será más costoso que el secado que se hace usando vapor dentro de un cilindro. El costo de eliminar agua de la hoja por chorro de aire es posiblemente el doble del costo de eliminar la misma libra por medio de vapor. El costo de un secado completo puede ser tres veces el de un secador con vapor. El secado por medio de

rayos infrarrojos puede ser cuatro veces más costoso, y el secamiento por microondas es el más costoso cerca de diez veces el costo de secado con vapor. Así que hay posiblemente un ponto de disminución de retorno en las mejoras y velocidad de la máquina a la agregar sistemas auxiliares de secado (3).

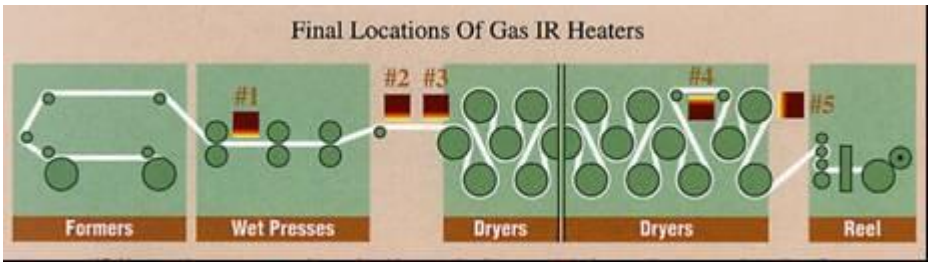



Figura 81 – FUENTE: (22)

## 6. LISAS

### 6.1. LISAS DE ACERO

La operación más común, denominada alisado en máquina (o simplemente alisado), es el paso del papel a través de una o más zonas de prensado formadas por un conjunto de rodillos de acero, realizándose esta operación siempre en máquina. Los principales objetivos del alisado son reducir el espesor de la hoja hasta un nivel deseado, igualar las variaciones de espesor (para ayudar a la formación de una buena bobina, en el caso de la lisa de final de máquina), e impartir las propiedades de superficie deseables, principalmente lisura, las marcas de tela y fieltro se eliminan notablemente durante el alisado (2).

La ubicación de las lisas en la máquina de papel suele ser entre las prensas y el primer secador (prensa “offset” para eliminar las marcas de superficie), antes de los baños en la sequería (lisa intermedia para regular el espesor de la hoja y, la posición más normal, como lisa de final de máquina antes de la enrolladora (2).

Aunque existen diferentes disposiciones y configuraciones, las lisas suelen constar de 2 a 10 rodillos dispuestos, uno sobre otro, en posición vertical (figura 82)(2).

El rodillo inferior es normalmente más ancho que los otros rodillos, y puede tener un bombeo para compensar la flexión; a menudo, la mayoría de las fibras actuales utilizan un rodillo de bombeo variable inferior, puede ser de diámetro intermedio, y también puede tener bombeo. Cualquiera de lo dos rodillos anteriores pueden estar accionados el resto gira por fricción (2).

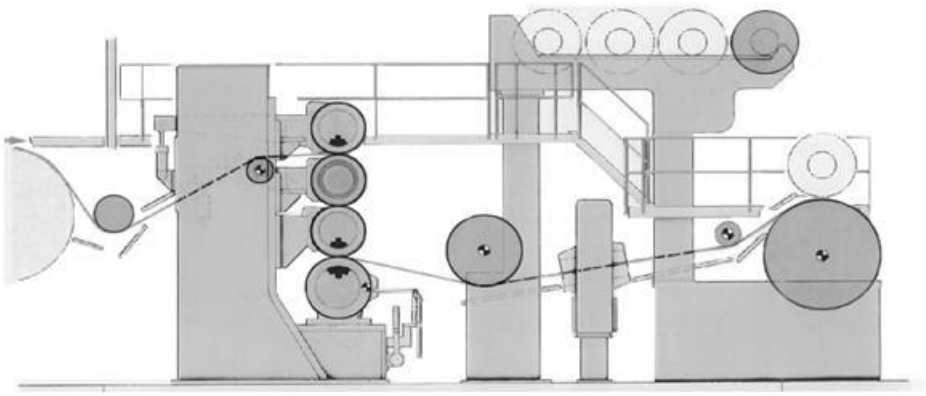


Figura 82 – FUENTE: (16)

El espesor y la lisura de la hoja es función de (2):

- Número de pasos (“nips”);
- Presión total y máxima aplicada;
- Velocidad a que atraviesa cada paso;
- Humedad de la hoja entrante en la lisa;
- Temperatura durante el alisado.

La reducción del espesor de la hoja y la lisura alcanzada durante el alisado están interrelacionados, y son ambos función de la presión en la zona de prensado, tiempo de retención, y número de zonas de prensado. La presión de la zona de prensado y el tiempo de retención son, por este orden, dependientes del diámetro del rodillo y de cantidad de carga. Generalmente, hay una posibilidad limitada de control independiente de espesor y lisura; sin embargo, se sabe que las mayores temperaturas tienen un efecto algo desproporcionado en la lisura, como se ilustra en la figura 83. Por supuesto, la lisura alcanzada en cualquier operación de alisado también depende del acabado de los rodillos (2).

Las tendencias actuales para las lisas de final de máquina son: reemplazar un gran número de pasos por pocos pasos a presión elevada, control del bombeo mediante rodillos antiflexion y usar sistemas de recirculación de agua para el control de la temperatura (2).

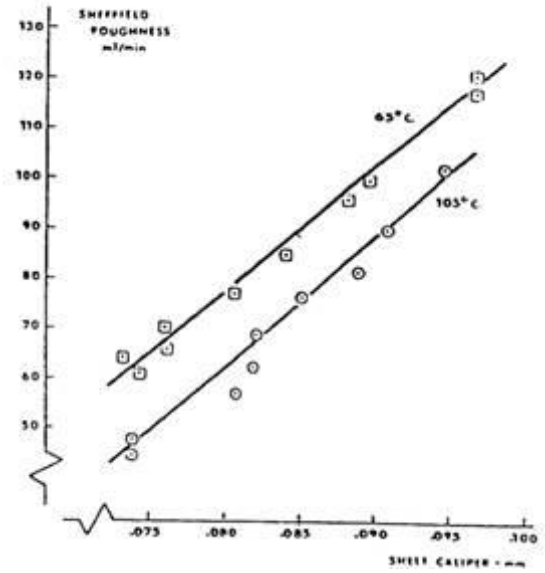



Figura 83 – FUENTE: (2)

Debido a que un papel húmedo es más fácilmente alisado que uno seco, a menudo se humedece la hoja antes de entrar en la lisa de final de máquina mediante una humectadora o una caja de agua, también el paso por los cilindros enfriadores ayuda al alisado. En general, el incremento de la humedad asegura una eliminación de la electricidad estática. La humedad del papel al entrar en la lisa está comprendida, normalmente, entre el 6 y 10% (óptimo 7÷8,5%). Una falta de humedad desfavorece al alisado y puede provocar arrugas, un exceso puede producir un ennegrecimiento del papel (plúmbeo) (2).

La temperatura es una importante variable en el alisado, y la mayoría de las modernas lisas utilizan uno o dos rodillos con temperatura controlada. Hasta hace poco, el método principal de calentamiento del rodillo utilizaba vapor aplicado a través de una perforación central. Este método tiene limitaciones respecto al nivel y uniformidad de calentamiento. Los diseños modernos utilizan agua caliente a través de una configuración de taladrado más sofisticada (2).

Para controlar o perfil de la hoja se puede suministrar aire de resfriamiento a uno o dos rodillos de la lisa mediante un repartidor de chorros regulados individualmente a lo ancho de la máquina (figura 84). El aire frio disipa el calor producido por el rozamiento en las zonas más altas de los rodillos; estas zonas se contraen ligeramente produciendo un contorno del rodillo más uniforme. Algunas lisas también utilizan chorros de aire caliente o zapatas de rozamiento aplicados externamente para expandir las zonas más bajas (2).

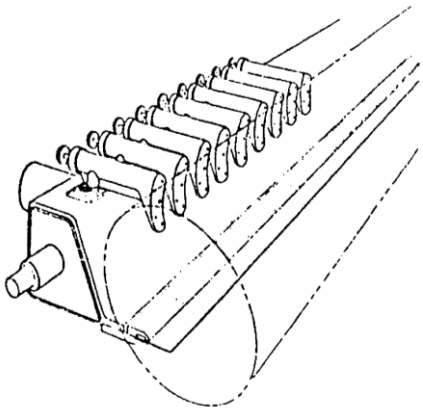


Figura 84 – FUENTE: (2)

Las contracciones y expansiones son muy pequeñas, pero lo suficiente para alterar el perfil de espesor de la hoja que pasa por la lisa (2).

## 6.2. LISAS DE CONTACTOS BLANDOS (“GLOSS CALENDER”)

En este caso, el papel pasa a través de una o más zonas de prensado formadas por un rodillo relativamente blando (recubrimiento de elastómero de unos 15 mm de espesor) y un rodillo metálico muy liso. La “soft calender” (figura 85) es un ejemplo de este tipo de equipo (2).

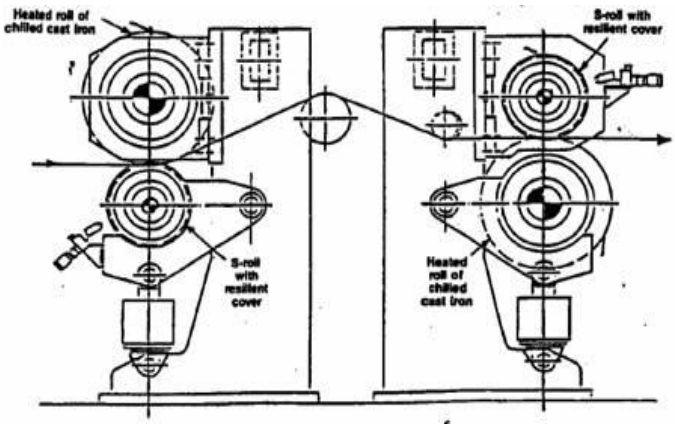



Figura 85 – FUENTE: (22)

En función de la temperatura de los cilindros puede darse un acabado mate o brillante al papel. Para el acabado mate la temperatura del cilindro metálico es de aproximadamente unos 60ºC y la del cilindro recubierto de elastómero de unos 30ºC. Para acabados brillantes similares a los de la calandra se utilizan temperaturas superiores (diferencias entre rodillos ≥100ºC) que corresponden a temperaturas de los rodillos metálicos de 100÷130 ºC – e incluso 180 ºC – y de los cilindros de elastómero menores de 80÷90 ºC, incrementandose el brillo al aumentar la carga lineal (125÷250 kN/m) y disminuir la velocidad (2).

## 7. “POPE"

Al final de la máquina el papel es enrollado sobre ejes de acero, los llamados tambores. La mayoría de máquinas utilizan enrolladoras “Pope” (figura 86). La enrolladora es empujada contra el gran tambor-soporte, arrollando el papel con vueltas uniformes a una velocidad periférica constante. Dentro de la máquina de papel se encuentran, fijados en determinadas posiciones, dispositivos de medición que continuamente miden y controlan parámetros de calidad seleccionados. Entre éstos se encuentran: gramaje, contenido de humedad y cenizas, blancura y opacidad (2).

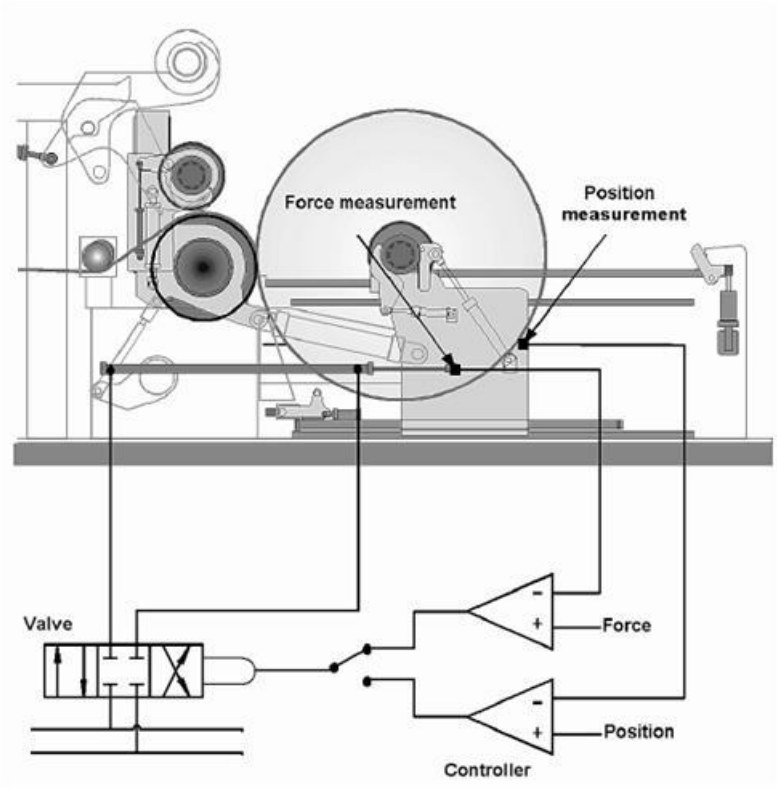



Figura 86 – FUENTE: (16)

## 8. RECUPERACIÓN DE AGUAS Y FIBRAS

El água constituye un elemento vital en la indústria papelera. No se trata propriamente de una materia prima, ya que su presencia en el producto final es mínima, sino más bien de un instrumento, de una herramienta multiuso en el processo papelero desde su ampleo para diluición de la pasta en el pulper, hasta su función como agente de limpieza de telas y fieltros. Este instrumento ha sido menospreciado mientras el agua fresca era abudante y gratos y el vertido del agua sobrante no presentaba problema para la empresa. Sin embargo hoy la situación ha cambiado y es evidente la conveniencia de evitar los vertidos al máximo para reducir paralelamente el empleo de agua fresca. Esto presenta ventajas considerables, tanto desde el punto de vista ecológico como económico.

Hay muchas tecnologias de recuperación de fibras y agua, pero vamos destacar el tratamiento físico-químico de clarificación del agua y separación de sólidos. De entre los diferentes sistemas que incluyen la decantación y filtración, nuestra enfase será para la floración con aire disuelto. Este sistema consiste resumidamente en, previa la floculación química de los sólidos en suspensión y la producción de aire disuelto en el agua a presión, liberar esta aire en forma de microburbujas que, adhiriéndose a los flóculos, los hace flotar a

la superfície, de dosnde son recogidos para su recuperación o evacuación. Algunas de las razones de esta elección son las siguientes:

- La materia prima fundamental de la fabricación de papel es la fibra celulósica, que suspendida en agua aireada es en principio tendente a la fotación;
- El proceso de flotación es muchísimo más rápido que la decantación, por lo que el tiempo de retención es mínimo y por tanto las instalaciones son mucho menores y más ligera;
- La filtración, para retener los finos y dar una cierta garantía de clarificación del agua necesita la formación de una precapa. Por otro lado, el contenido en las aguas de cargas minerales empleadas en la fabrcación de la mayoria de los papeles, reduce sustancialmente el rendimiento de los filtros. La flotación carece de estes problemas.

El único y gran inconveniente de la fotación, que frenó su aplicación en el pasado, fue el elevado costo de producción del aire disuelto. Sin embargo, actualmente se ha logrado, mediante el diseño de nuevos sistemas, aparatos e instalaciones, situar el costo gobal funcional de los aparatos de flotación por debajo de los correspondientes a la decantación y a la filtación en las aplicaciones típicas del processo papelero.

En la figura 87 es presentado el apararo “Supercell” de la empresa Krofta. Este aparato clarificador ha sido diseñado para aprovechar al máximo las ventajas ofrecidas por los principios de la fotación con aire disuelto. Teniendo en cuenta la rapidez del proceso de flotación, se utiliza un tanque de poca profundidad de agua (40 cm), consiguiendo simultaneamente un mínimo tiempo de retenciín entre entrada y salida (3 min) y un reducido peso específico del aparato en funcionamiento (600 kg/m$^2$).

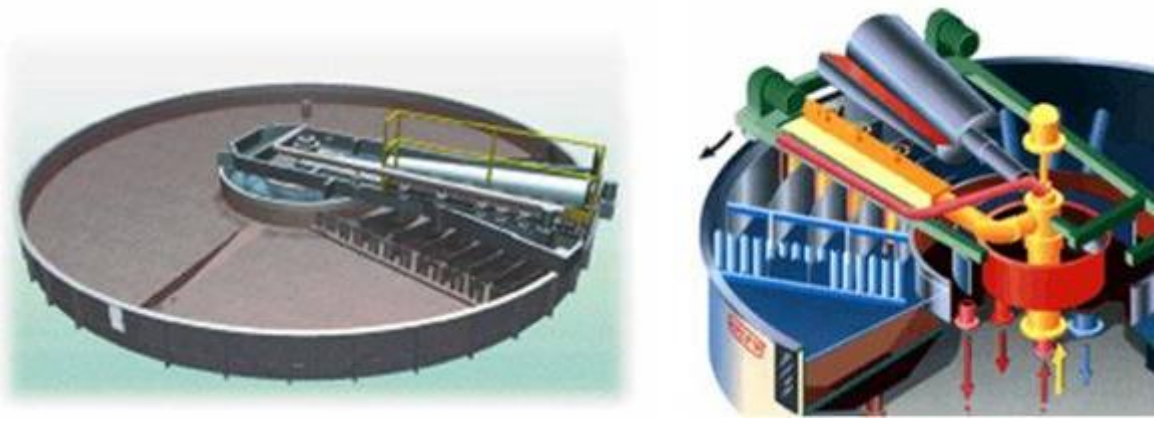


Figura 87 – FUENTE: (22)

Esto permite por un lado reintegrar los sólidos al proceso en poco tiempo, impediendo su degradación, y por otro lado construir un equipo ligero y de reducidas dimensiones, que

posibilita la prefabricación, la utilización de acero inoxidable en su construción y la ubicación del equipo en pequeños espacios vedados para otros sistemas. Se trata de un aparato de planta circular, según puede verse más detalles en la figura 88, que recibe el agua a tratar por el centro de su parte inferior, de donde pasa a un distribuidor radial situado en un carro giratorio. Este se mueve en sentido inverso al de la salida del agua al tanque al tanque de flotación, de forma que la velocidad resultante tienda a ser "cero", es decir, el agua es, por así decirlo, "depositada" en el tanque de flotación.

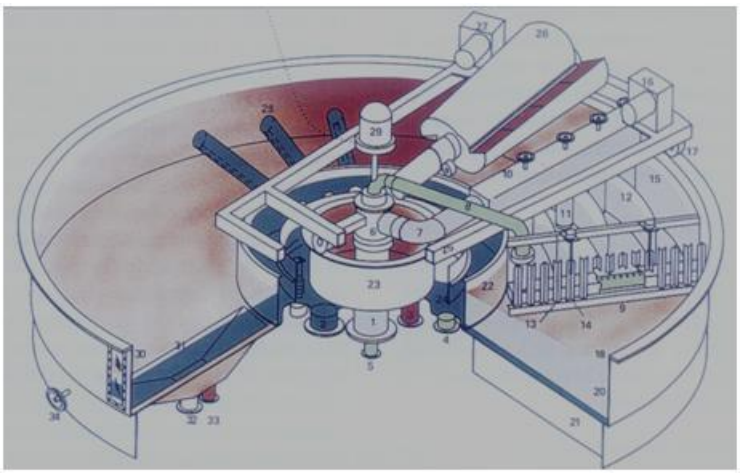


Figura 88 –FUENTE:(28)

El agua a tratar ha sido previamente floculada químicamente y se le ha incorporado el agua presurizada con aire disuelto. En el momento de entrar al tanque de flotación, el aire disuelto se libera en forma de microburbujas, que se adhieren a los flóculos y, favorecido el proceso por la ausencia de turbulencias debido a la velocidad "cero", se produce la flotación de los flóculos a la superfície, dejando el agua clarificada en la parte inferior, de donde, pasando por un anillo interior del tanque, es evacuada.

Los sólidos flotados son recogidos por una cuchara rotativa situada radialmente sobre el carro giratorio, que los vierte a la parte central del tanque, de donde son evacuados o reciclados.

**BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS (Internet: marzo y abril/2009)**


(1) CAMPOS, E.S. Curso de fabricação de celulose e papel. "In company": Bracelpa. Apostila ABTCP, 2009.

(2) LÓPEZ, A.L.T., Tecnología del Papel (apuntes de curso). Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Terrassa, s.d.

(3) __. Fundamentos de operación de máquinas de papel (guía de estudio). TAPPI, s.d.

(4) LIBBY, C.E. Ciencia y tecnologia sobre pulpa y papel. Tomo II: papel, McGraw-Hill Book Company, New York, 1977.

(5) KEIM, K. El papel, 1966.

(6) http://www.arquitectuba.com.ar/diccionario-arquitectura-construccion/papel/

(7) www.sappi.com

(8) http://www.ihobe.es

(9) www.infomipyme.com/Docs/NI/Offline/Procesos%20Productivos%20del%20Papel.pdf

(10) http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/EnciclopediaOIT/tomo3/72.pdf

(11) http://www.papelnet.cl/papel_tissue/papel_tissue.htm

(12) http://www.papelnet.cl/productos_papel/hace_multipliego.htm

(13) http://www.papelnet.cl/carton_corrugado/carton_corrugado.htm

(14) http://www.papelnet.cl/ayuda/glosario_p.htm

(15) PAULAPURO, H., et alli, Papermaking Part 2, Drying. 1º ed. Helsinki, Finland, Finnish Paper Engineers' Association and TAPPI, 2000. 498 p.

(16) PAULAPURO, H., et alli, Papermaking Part 1, Stock Preparation and Wet End. 1º ed. Helsinki, Finland, Finnish Paper Engineers' Association and TAPPI, 2000. 466 p.

(17) BRITT, K.W., Handbook of pulp and paper technology. 2ª ed. New York, USA, Van Nostrand Reinholf, 1970. 723 p.

(18) CASALS, R. Características del papel. Barcelona, Howson - Algraphy, [s.d.]. 174 p.

(19) CAMPOS, E.S. Curso básico de fabricação de papel tissue. "In company": Santher Bragança Paulista. Apostila ABTCP, 2008.

(20) VERLAG, Dr. C. H. Papiermacher Taschenbuch. Heilderberg, 1989.

(21) __.El proceso de fabricación de papel. El Papel 128, Octubre 2006, pg. 78-81.

(22) CAMPOS, E. S. Curso de fabricação de papel. "In company": Adamas. Apostila ABTCP, 2008.

(23) __.Curso de fabricação de papel tissue. Hércules, 2007.

(24) http://www.papermarket.cl/papermarket/site/pags/20031202003835.html

(25) BONNET, J. Problemas em la parte húmeda de las máquinas de papel o de cartón. Investigación y técnica del papel. Madrid, s.d.

(26) http://www.perfectfit.voithpaper.com

(27) www.kroftaengineering.com

(28) ALBISU, J. Mª; ALBISU, R. El tratamiento de aguas en la industria papelera. Krofta Ibérica. El Papel, Febrero/Marzo, 1993.