

3 A
2ej.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN**

**DISEÑO DE UN FIELTRO PARA LA SECCION DE
PRENSADO DE UNA MAQUINA DE PAPEL**

**MEMORIA DE DESEMPEÑO
PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
QUIMICO
PRESENTA:
JESUS HIPOLITO PEREZ CASTAÑEDA**

ASESOR: O. VICTORIA HERNANDEZ PALACIOS.

260672

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX. 1998

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Dedicatoria

A Albany International México

**I am sure you will not remember everything you learnt during
the training however you should never forget that now you
have new friends who can help you.**

**Thomas Richarson
(Vice president of Albany International)**

**Estoy seguro que no recordaras todo lo que aprendiste durante
el entrenamiento, sin embargo nunca debes olvidar que ahora
tienes nuevos amigos quienes te pueden ayudar.**

**Thomas Richarson
(Vice presidente de Albany International)**

Dedicatoria

A mis padres

y

a mi familia

El éxito consiste en:
"Reír con frecuencia y mucho.
Merecer el respeto de personas inteligentes
y el afecto de los niños,
ganar el reconocimiento de los críticos honestos
y soportar la traición de los falsos amigos;
gozar de la belleza;
descubrir lo positivo de los demás;
hacer un poco mejor al mundo,
dejando detrás de ti a un hijo bueno o un jardín cultivado,
o bien porque ayudaste a un pobre;
saber que no viviste en vano y que gracias a ti
una persona pudo respirar con más tranquilidad.
Esto es haber triunfado".

Bessie Anderson

Agradecimientos

A cada uno de mis maestros,
a mis amigos y a mis jefes
quienes han contribuido
en mi aprendizaje

A mis sinodales:

Q.M. Cecilia González Ibarra
Q. Rafael García Barrera
Q. Antonio García Osornio
Q. Juana Cabrera Hernández

y particularmente a mi asesor

Q. Victoria Hernández Palacios

Índice

1. Introducción.
2. Objetivos.
3. Proceso de Fabricación de una Hoja de Papel.
 - 3.1 Generalidades.
 - 3.2 Composición Química del Papel.
 - 3.3 Fabricación del Papel.
 - 3.3.1 Prensado.
 - 3.3.2 Fieltros.
4. Desempeño Profesional.
 - 4.1 Diseño de un Filtro para la Sección de Prensado de una Máquina de Papel.
 - 4.2 Responsabilidades del Diseñador.
 - 4.3 Etapas en el Desarrollo del Diseño de un Filtro.
 - 4.3.1 Análisis de la Información de la Posición de la Máquina de Papel.

- 4.3.2 Materiales en los fieltros.
 - 4.3.3 Creación del Diseño del Feltro.
 - 4.3.4 Validación del Diseño.
 - 4.4 Servicio Posventa.
 - 4.4.1 Análisis de una Pieza Regresada.
 - 4.4.2 Asistencia Técnica.
 - 4.5 Ejemplo Práctico.
 - 4.5.1 Antecedentes.
 - 4.5.2 Creación del diseño.
 - 4.5.3 Evaluación del diseño.
 - 4.5.4 Nueva creación del diseño.
 - 4.5.5 Evaluación del nuevo diseño.
 - 4.6 Análisis Económico.
 - 5. Discusión - Análisis.
 - 6. Conclusiones.
- Bibliografía.

1. Introducción.

Hoy en día hacemos uso de un sinnúmero de inventos como si se tratara de algo natural. También el papel nos parece cosa dada, puesto que es difícil excluirlo de nuestro mundo; sin embargo, este material sin vida aparente, adquiere un gran significado al considerar que no existe otro cuya importancia fuera y sea tan sobresaliente para la vida moderna. Las aplicaciones y usos del papel y de los productos papeleros son virtualmente ilimitados, y continuamente se están desarrollando nuevos productos o aplicaciones; además de los productos y servicios que suministra, la industria de pulpa y papel proporciona empleo a gran número de personas en forma directa e indirecta, y tiene una gran importancia en la economía de los países.

La industria papelera y la productora de vestiduras para las máquinas de papel han estado siempre dependientes una de otra, pues los desarrollos en las máquinas de papel han sido acompañados con los respectivos desarrollos en los diseños de las vestiduras. Una máquina de papel es una compleja estructura de sistemas hidráulicos, mecánicos, químicos, térmicos y aerodinámicos, es por ello que hoy la máquina más antigua o la más moderna del mundo dispone de vestiduras específicas para las secciones de formación (telas de formación), prensado (fietros) y secado (lonas secadoras).

Refiriéndose específicamente a la sección de prensado, los fietros guían y soportan la hoja, permiten la remoción de agua a través de prensado y de succión, además puede actuar como una banda de transmisión y dependiendo de los requerimientos particulares de la hoja también incide en su acabado; como son tantas las funciones que un fieltro debe desempeñar, es muy importante que su diseño y su manufactura cumpla con ciertos requerimientos específicos de la máquina de papel, de otra manera el fabricante de papel puede sufrir las consecuencias por un producto

de inferior calidad, tales como vida más corta del fieltro, baja velocidad de la máquina, papel con problemas de calidad y una baja eficiencia como resultado de una baja producción y altos costos operativos.

Esta memoria se encuentra dividida en dos secciones, la primera presenta una descripción de las características y composición química del papel así como una breve explicación de los procesos de fabricación, la segunda muestra una visión general detallada sobre las actividades de un diseñador para crear el diseño de un fieltro.

En el texto se han introducido cierto número de términos técnicos perfectamente entendibles en la industria del papel, pero para quien no tiene relación se ha optado por dar su definición o interpretación como una nota de pie de página.

2. Objetivos.

1. Describir el desempeño profesional de un egresado de la carrera de Química, como diseñador de filtros para la sección de prensado para máquinas de papel, en una compañía proveedora de la industria del papel.
2. Analizar las etapas en el desarrollo del diseño de un filtro, resaltando la importancia de cumplir con los requisitos de calidad, eficiencia y economía, que respondan a las necesidades del desarrollo tecnológico en la industria del papel.
3. Presentar los aspectos de la química que inciden en el proceso de fabricación de múltiples tipos de papel.

3. Descripción del Proceso de Fabricación de una Hoja de Papel.

3.1 Generalidades.

Desde que el arte de la verdadera fabricación del papel tuvo su origen en China, hasta hoy que se utilizan sofisticados tipos de máquinas que alcanzan altas velocidades, continua siendo válido el mismo principio para fabricar la hoja de papel. Las fibras refinadas de celulosa suspendidas en agua pasan por una malla donde se realiza el drenado y se forma la hoja de papel, se presan para continuar eliminando agua por medios mecánicos y las fibras de celulosa se unen entre sí formando una red, a continuación la hoja se seca mediante la aplicación de temperatura. Hoy, la máquina más moderna del mundo aún continua disponiendo de las tres etapas de fabricación: formación, prensado y secado.

Aún cuando una hoja de papel puede hacerse por una simple conglomeración, carecería de interés comercial a causa de su poca resistencia, tal vez solo serviría como papel secante; este defecto se puede corregir mediante un buen entrelazamiento de las fibras por trabajo mecánico en presencia de agua o por adición de sustancias tales como el almidón, resinas o materiales adhesivos similares. El trabajo mecánico en húmedo comunicado a las fibras por refinación^a y demás tratamientos mecánicos, favorece la gelatinización de las superficies de las fibras, de forma que éstas al conglomerarse y secarse, quedarán unidas con cierta resistencia. Por lo tanto una hoja de papel es una estructura más o menos compleja de fibras y sustancias interfibras, donde existen fenómenos de resistencia, elasticidad, compresión, dilatación, etc. El fabricante de papel ha de saber jugar con los elementos de que dispone (tipos de pasta, refinamiento de las fibras y

^a Refinación : Es un proceso mecánico en el cual las fibras son sometidas para desarrollar sus propiedades, modificándose a una forma optima para los requerimientos específicos de un tipo de papel. con frecuencia en este proceso se reduce la longitud de la fibra por corte.

condiciones de operación de las máquinas) para obtener una hoja de papel que satisfaga las exigencias de cada uno de sus clientes. Dentro de la variedad de pastas, hay que saber elegir aquellas que puedan aportar las características deseadas dentro de un precio admisible. La selección de una pasta y el trabajo previo que se le aplique en la refinación es fundamental para la obtención de las propiedades que se buscan. Pueden mejorarse ciertas propiedades del papel mediante tratamientos químicos, éstos pueden efectuarse adicionando los productos químicos unas veces a la pasta en suspensión, otras a la hoja húmeda y otras a la hoja seca. También pueden mejorarse otras características de la hoja de papel mediante procesos mecánicos, tales como el crepado^a y el calandrado^b. Las características de la hoja de papel son también producto de la forma como haya operado la máquina de papel; por ejemplo: en la zona de formación, los factores a considerar son la velocidad de paso de la pasta en suspensión sobre la malla (tela de formación), la rapidez de desgote^c y otros; en la zona de prensado se debe considerar la presión a que se somete el papel, la remoción de agua durante el prensado, y en la zona de secado las características también se ven afectadas por la temperatura y rapidez con que el papel es secado. Aún después de salir el papel de la máquina, todavía puede sufrir otra operación más que repercute en las propiedades o características finales. Cada propiedad de un papel dependerá de algún detalle del mismo; así, de la estructura de la hoja dependerán las propiedades mecánicas, de la superficie dependerá la textura y el brillo. En resumen, podemos afirmar que en una hoja de papel es posible crear una amplia variedad de atributos, que le permitan cumplir con los requerimientos de su uso. (1) (5)

En la manufactura de cualquier papel, hay dos grandes conjuntos de procesos, uno corresponde a la obtención de la pulpa, y el otro a la fabricación del papel. Los procesos de obtención de la pulpa están dirigidos a transformar las fibras de la materia prima en una pulpa. En cuanto a la fabricación del papel, se hace uso de

^a Crepado : Formación de microondulaciones paralelas, en la dirección transversal del papel, produciendo un papel más suave y extensible.

^b Calandrado : Es el alisado de la superficie para proporcionar brillo y lisura.

^c Desgote : Término usado para referirse al paso del agua a través de una tela de formación o fieltro, o sea, la remoción de agua de la pasta u hoja de papel.

diferentes pulpas y aditivos, además de sofisticados tipos de máquinas para formar la hoja de papel. Los objetivos en la preparación de la pasta son combinar de manera continua y uniforme las materias primas fibrosas (pulpas) y los componentes no fibrosos (aditivos) para preparar la pasta a partir de la que se hará el papel. Sabemos que la tecnología ha evolucionado rápidamente en la última década al igual que lo concerniente a diseños de máquinas y métodos de manufactura, permitiendo que cada una de las grandes compañías productoras de papel tengan su exclusiva forma de producción. El énfasis en el desarrollo ha permitido tener máquinas operando a alta velocidad en forma eficiente.

Aunque se utiliza una tecnología común en todas las operaciones de la fabricación del papel, hay también técnicas específicas para la fabricación de cada uno de los diferentes papeles. El número de calidades producidas es tan grande que se requeriría una enciclopedia para detallar las especificaciones y métodos de fabricación de cada tipo de papel. En la edición de 1986, Post's Pulp and Paper enumera 450 productos específicos. Un particular tipo de papel es típicamente identificado en uno o más de las tres siguientes formas:

- + Uso final del papel
- + Materia prima utilizada en la fabricación del papel
- + Tipo de maquinaria utilizada

Algunos de los tipos de papel más comunes se definen en las Tablas 1, 2 y 3. (4)

Tabla 1. CALIDADES DE IMPRESIÓN	
Prensa o periódico	Papel usado en la impresión de periódicos.
Catálogo	Básicamente papel periódico de bajo gramaje.
Hueco grabado	Usualmente referido a hojas del tipo de papel periódico no recubierto, pero con mejor acabado.
Revista	Papeles recubiertos para revistas.
Moneda, Documento	Papel permanente de alta calidad.
Biblia	Papel de bajo gramaje, con alto contenido de minerales.
Registro, Bond	Papel de alta calidad usado para cartas y archivo.
Papel para útiles de escritorio	Papel relativamente blando y voluminoso con buen aspecto.

Tabla 2. CALIDADES INDUSTRIALES	
Sacos	Papel de alta resistencia.
Liner	Cartón de bajo gramaje comúnmente utilizado en las caras exteriores de las cajas de cartón corrugado. También usado como papel de embalaje.
Corrugado	Usado para las capas onduladas interiores de las cajas de cartón corrugado.
Para manualidades	Básicamente una hoja de papel tipo periódico de mayor gramaje, típicamente usado para recortables en los jardines de niños y trabajos manuales.
Resistente a las grasas	Papel denso, no poroso.
Cristal	Producido a partir de papel resistente a las grasas, humedeciéndolo y sometándolo a altas presiones durante el calandrado. Esta hoja de papel, brillante y transparente, se usa para embalajes protectores especiales, y se convierte en papel parafinado.

Tabla 3. TISSUE	
Sanitario	Esta clasificación incluye papeles faciales e higiénicos, productos sanitarios, y manteles. Las características principales son la suavidad y la absorbencia.
Condensador	Papel de buena formación y bajo gramaje, usado como dieléctrico en los condensadores. Básicamente el mismo producto se usa como materia prima para el papel carbón y para bolsitas de té.
Toallas	Papel crepado absorbente. Absorción rápida y gran retención de agua son los principales requisitos. A veces tratados con resinas de resistencia en húmedo para evitar la desintegración en húmedo.
Para envolver	Esta designación cubre una variedad de papeles tissue hechos para embalaje y empaque de objetos. Los requerimientos generales son la resistencia, buena formación, y limpieza.

3.2 Composición Química del Papel.

Para obtener una hoja de papel con ciertas características específicas que satisfagan los requerimientos de su uso, se deben considerar las variedades de pastas, la proporción de cada tipo de pulpa en la mezcla, los procesos mecánicos, productos químicos adicionados y condiciones de operación de las máquinas de papel.

La pulpa, como comúnmente se le llama al material fibroso, se prepara mediante procesos mecánicos, térmicos, químicos, o por combinaciones de éstos. Las fibras pueden ser extraídas de casi todas las plantas vasculares que se encuentran en la naturaleza, sin embargo debe obtenerse un alto rendimiento en fibras para que la planta pueda considerarse, ejemplo de éstas son: madera, arroz, esparto, trigo, cebada, bagazo de caña de azúcar, bambúes, lino, yute, cáñamo y algodón; otra fuente de fibras es el papel reciclado, conocidas como fibras secundarias, definidas como cualquier material fibroso que ha sufrido un proceso de manufactura y son recicladas como materia prima para la manufactura de otro producto.

Las células de las plantas se distinguen de las células animales por la presencia de verdaderas paredes celulares que contienen polisacáridos como material estructural de mayor importancia, siendo la celulosa el componente estructural de mayor interés, existiendo en las paredes celulares en forma de fibras largas y filamentosas (microfibrilas), en su estado nativo se encuentran envueltas en una matriz de material no fibroso, (principalmente lignina, pero también hemicelulosas, resinas y compuestos de bajo peso molecular llamados extractivos). Los procesos químicos y mecánicos liberan las fibras de la matriz de lignina y las dejan con un grado de pureza en función de las propiedades de uso finales.

La fórmula empírica de la celulosa es $(C_6H_{10}O_5)_n$, el grado de polimerización o valor de n varía con las diferentes fuentes de obtención de la celulosa y los métodos de aislamiento. La estructura de la celulosa (figura 1) está constituida por

una unidad repetitiva conocida como celobiosa, ésta a su vez consiste de dos unidades consecutivas de anhidroglucosa. (1)

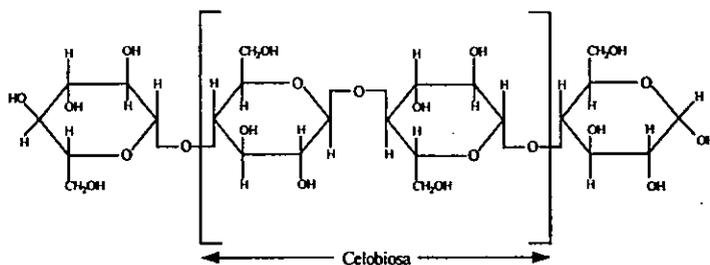


Figura 1. Celulosa

En contraste con la celulosa, que es un polímero sólo de glucosa, las hemicelulosas son polímeros de cinco azúcares diferentes:

Hexosas: glucosa, manosa, galactosa

Pentosas: xilosa y arabinosa

Estructuralmente, las hemicelulosas difieren de la celulosa en que son ramificadas y tienen un peso molecular mucho más bajo, además su proporción y tipo de polisacárido difiere según la especie vegetal. Durante el tratamiento químico de la madera para producir pulpa, las cantidades, localizaciones y estructuras de las diversas hemicelulosas cambian considerablemente. Comparativamente con la celulosa, las hemicelulosas son fácilmente degradadas y disueltas, por lo que su porcentaje es siempre menor en la pulpa que en la madera original. (1)(2)(5)

Las fibras de celulosa son el componente principal de la hoja en todos los papeles convencionales y determina en gran parte su estructura; pero hay muchos más materiales que se agregan, por lo que es raro encontrar un papel que esté formado únicamente por fibras de celulosa. Los aditivos se utilizan como ayudas en el proceso, tales como los antiespumantes, los agentes de retención, los microbicidas, y algunos otros para mejorar ciertas propiedades del papel por lo que aparecen en la hoja terminada. Estos materiales no fibrosos pueden adicionarse unas veces a la pasta en suspensión, otras a la hoja directamente. La tabla 4 (1) muestra un resumen de aditivos usados.

Tabla 4. ADITIVOS

Aditivo	Aplicación	Lugar
Ácidos y bases.	Control del pH.	Pasta en suspensión.
Alúmina.	Controla pH, fija aditivos sobre las fibras, mejora la retención.	Pasta en suspensión.
Agentes de encolado (resinas).	Controla penetración de líquidos.	Pasta en suspensión.
Adhesivos de resistencia en seco (almidones, gomas).	Mejorar reventamiento y tracción en la hoja, comunica rigidez y resistencia a la tensión.	Pasta en suspensión.
Resinas de resistencia en húmedo	Comunicar resistencia en húmedo a calidades tales como toallas y papeles de embalaje.	Pasta en suspensión.
Cargas (caolín, talco, carbonatos)	Mejorar propiedades físicas, ópticas y de impresión.	Pasta en suspensión.
Materias colorantes (colorantes, pigmentos)	Impartir el color deseado	Pasta en suspensión
Agentes de retención.	Mejora retención de finos y cargas.	Pasta en suspensión.
Defloculantes de fibras	Mejora la formación de la hoja.	Pasta en suspensión
Antiespumantes	Mejora desgote y formación de la hoja.	Pasta en suspensión.
Ayudantes de desgote	Incrementar la eliminación de agua en la tela.	Pasta en suspensión
Blanqueadores ópticos	Mejora la blancura aparente	Pasta en suspensión.
Aditivos para el control de pitch	Prevenir el depósito y acumulación de pitch. ^a	Pasta en suspensión.
Biocidas.	Controla el crecimiento de limos y otros organismos.	Pasta en suspensión.
Aditivos especiales.	Incluye inhibidores de corrosión, productos antiempañamiento, retardadores de llama, etc.	Pasta en suspensión.
Almidón	Obtener un papel con resistencia a la penetración por soluciones acuosas.	Hoja seca
Recubrimiento (caolín o carbonato de calcio o sulfato de bario o silicatos sintéticos o dióxido de titanio mezclado con adhesivos y otros aditivos)	Proporciona una superficie lisa y uniforme para la impresión	Hoja seca

3.3 Fabricación del Papel.

La máquina de papel es en esencia, un gigante sistema de remoción de agua, en donde la mayor cantidad se elimina en la zona de formación, entrando con una

^a Pitch : Material resinoso presente en la madera que es retenido en los sistemas de fabricación de pulpas y papel formando depósitos insolubles.

consistencia^a de 0.2 a 1.5% y saliendo entre el 18 y el 25%. En la zona de prensado la hoja alcanza una consistencia de 36 al 44%. En la sección de secado la consistencia llega comúnmente de 92 a 96%. Durante los últimos 150 años se ha ideado un gran número de diversas máquinas de papel para llevar a cabo la operación de formar la hoja, todas ellas se han derivado de dos sistemas básicos.

Históricamente, el primero de ellos fue inventado por L. Robert en 1799, aunque dicho sistema requirió el desarrollo ulterior efectuado por L. Didot, B. Donkin y J. Gamble, antes de que llegara a tener éxito comercial. Actualmente este sistema se conoce como máquina fourdrinier de papel, nombre que recibió después de que los hermanos Fourdrinier, Henry y Sealy, compraron los intereses de la patente de Didot y Gamble en 1804, y luego promovieron su posterior aplicación y desarrollo. Desde entonces, muchas nuevas e importantes adiciones se han hecho a los conceptos originales, las cuales han dado como resultado aumentos significativos en el tamaño y velocidad de las máquinas. La máquina fourdrinier o máquina de mesa plana como también se le conoce, ha sido adaptada con todo éxito para la elaboración de un amplio rango de papeles y de cartones ligeros. El segundo sistema fue desarrollado en 1809 por J. Dickinson y se ha llegado a conocer como el proceso de la máquina de cilindros o multicilindros o de cubas. Este sistema también ha sufrido modificaciones y desarrollos, y debido a la naturaleza compacta de la cuba del cilindro, con todo éxito se han combinado unidades múltiples en máquinas diseñadas para la fabricación de papeles y cartones multicapas. Las etapas del proceso de fabricación de papel que siguen a la sección de formación de la hoja, son comunes en ambos sistemas y consisten en la eliminación del agua residual en la hoja formada, primeramente por medio de un prensado húmedo y luego mediante secado. (1) (6)

Anteriormente se mencionó que en la manufactura de cualquier papel, hay dos grandes conjuntos de procesos, uno que corresponde a la obtención de la pulpa, y el otro a la fabricación del papel. La figura 2 esquematiza estos dos conjuntos de

^a Consistencia : Porcentaje de pasta en una mezcla de agua y pasta. Peso de pasta entre el peso total de la mezcla agua-pasta expresado en porcentaje.

procesos, ubicando a la máquina de papel como el proceso final, aunque realmente hay procesos posteriores que efectúan el acabado final de la hoja tal como es requerida por el usuario.

La evolución de la máquina de mesa plana o fourdrinier ha sido más importante que la realizada en la máquina de multicilindros, por ser considerada un diseño básico adaptable a un amplio rango de tipos de papel, por lo que ha tenido más frecuentes e importantes modificaciones, desarrollos y adición de operaciones auxiliares en una evolución continua para crear las diferentes configuraciones de las actuales máquinas de papel, muchas de ellas muy específicas para tipos y calidades especiales de papel. Ha continuación se describen brevemente los componentes básicos en ésta, que intervienen en el proceso de fabricación del papel.

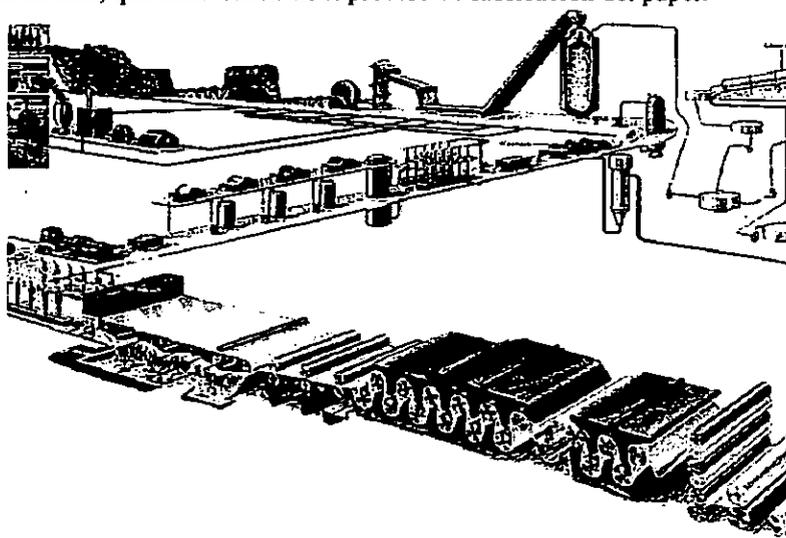


Figura 2. Fabricación del Papel

1. Circuito de cabeza de máquina.

El término "circuito de cabeza de máquina" se refiere específicamente al circuito de la bomba de dilución en el que la mezcla de pulpa es medida, diluida, mezclada con los aditivos necesarios, y finalmente sometida a depuración por

tamaño y densidad antes de ser descargada sobre la tela de formación de la máquina de papel. El circuito de cabeza de máquina se extiende desde la tina de máquina hasta el labio^a de la caja de entrada. La caja de entrada es una parte del circuito de cabeza de máquina, aunque es también una parte de la máquina de papel. (1) (3)

2. Caja de entrada.

La función de la caja de entrada es tomar la pulpa suministrada por la bomba de dilución y transformar el flujo que circula por la tubería en un flujo uniforme, rectangular del mismo ancho que la máquina de papel, y con una velocidad uniforme en dirección máquina. Dado que la formación^b y uniformidad del papel final dependen de una dispersión uniforme de las fibras y las cargas^c, el diseño y funcionamiento del sistema de la caja de entrada es absolutamente crítico para el éxito del sistema de fabricación de papel. Los objetivos primordiales del sistema de la caja de entrada son los siguientes:

- + Extender la pulpa de manera uniforme a lo ancho de la máquina.
- + Igualar corrientes y las variaciones de consistencia a lo ancho.
- + Igualar los gradientes de velocidad en dirección máquina^d.
- + Crear una turbulencia controlada para evitar la floculación^e de la fibra.
- + Descargar un flujo constante por la abertura del labio y que choque con la tela en un lugar y con un ángulo correcto.

Las cajas de entrada pueden ser clasificadas en dos categorías:

- + Cajas de entrada abiertas.
- + Cajas de entrada presurizadas.

Las cajas abiertas fueron empleadas en las antiguas máquinas de papel, en las que la altura del nivel de la pulpa se usaba para dar la velocidad de descarga correcta. A medida que la velocidad de la máquina se incrementó, resultó

^a Labio (caja de entrada) : Orificio rectangular o boquilla con una abertura a todo lo ancho, completamente ajustable, para obtener el caudal deseado.

^b Formación : Grado de uniformidad de la distribución de las fibras en una hoja de papel.

^c Cargas : Pigmento mineral blanco y fino utilizado como aditivo de la fabricación de papel, con objeto de mejorar la opacidad y la lisura.

^d Dirección máquina : Sentido longitudinal sobre la máquina de papel.

^e Floculación : Consiste en la precipitación de las fibras en forma de pequeñas acumulaciones.

impracticable un aumento de la altura de la pulpa, y se desarrolló la caja de entrada bajo presión. (1)

3. Proceso de Formación.

La expresión “formación de la hoja” puede utilizarse para describir una propiedad medible del papel (la uniformidad relativa de la dispersión de la fibra) y también aplicarse al proceso de formar papel con fibras húmedas. Ambas están estrechamente relacionadas, porque el proceso de formación influye considerablemente en las propiedades del papel acabado. Simplemente el proceso de formación es el desgote de una suspensión muy diluida de fibras en un tamiz de tela muy fina. (1)

4. Proceso de Prensado.

La hoja de papel que resulta de la zona de formación es una red fibrosa parcialmente saturada. Se pone en contacto con otra vestidura llamada fieltro que transporta la hoja hacia una o varias prensas. A medida que la hoja y el fieltro entran a la prensa, la carga compresiva hace que la red húmeda de fibras se sature de agua y libere ésta hacia el fieltro, por lo que hay una consolidación de la hoja, es decir las fibras son forzadas a un contacto íntimo. (3)

5. Proceso de Secado.

La hoja de papel húmeda que sale de la sección de prensas es transportada a una serie de cilindros calentados con vapor, donde se evapora el agua. La hoja húmeda se mantiene ajustada contra los cilindros mediante una vestidura sintética y permeable denominada lona secadora.

6. Enrollado.

Después de secado, el papel debe ser dispuesto de forma conveniente para posteriores procesos. Para este propósito, la mayoría de las máquinas modernas están equipadas con enrolladoras de tambor. En algunos modelos son accionadas bajo suficiente carga (amperaje) para asegurar la tensión adecuada de la hoja. Durante el funcionamiento normal, la hoja circunda el tambor y alimenta la zona de presión

formada entre el tambor y la bobina sujeta por los brazos secundarios. El papel se enrolla en la bobina mientras un mandril^a vacío se coloca en los brazos primarios. (1)

3.3.1 Prensado.

La hoja de papel después de la sección de formación pasa hacia la sección de prensado para seguir perdiendo agua y consolidando su estructura, es una red fibrosa parcialmente saturada que puede ser comprimida a un volumen que no es suficiente para contener toda el agua originalmente presente. La hoja de papel es transportada desde la unidad de formación mediante un vestidura llamada fieltro a través de una o varias prensas hasta la sección de secado. Desde el punto de vista económico, los costos asociados con la eliminación del agua en la sección de prensado se consideran bajos en comparación con los costos de eliminación de ésta por evaporación, por lo que los papeleros están siempre considerando métodos para aumentar la eficiencia del prensado y reducir la carga de evaporación en la sección de secado. Según sea el grado de papel que se está produciendo, se llega a un punto, después del cual continuar eliminando agua mediante prensado es antieconómico. La eliminación de agua debe ser uniforme a lo ancho de la máquina, para que la hoja prensada tenga un perfil de humedad uniforme.

“La consolidación de la hoja es una fase crucial del proceso de fabricación de papel. Es aquí donde las fibras son forzadas a un contacto íntimo para que durante el secado se desarrollen buenos enlaces entre las fibras. Si la fase de consolidación tuviera lugar, por el contrario, en la fase de secado, el producto sería, invariablemente débil y de elevada densidad.” (1)

El concepto básico del prensado húmedo de la hoja de papel es el tener a ésta en contacto con un fieltro entre dos rodillos giratorios en la zona de prensado. Generalmente, el rodillo superior está cargado mecánicamente (normalmente por cilindros neumáticos) para crear la presión deseada en la zona de prensado. La carga lineal en la zona de prensado es la suma de la carga mecánica y el peso del rodillo

^a Mandril : Tubo sobre el cual se enrolla el papel para hacer bobinas.

superior, dividida por la longitud de la superficie de contacto en la zona de prensado. El nipa en general es de 1 a 2 pulgadas de ancho y está determinado principalmente por el tamaño de los rodillos y la compresión^b del fieltro. La presión máxima desarrollada en la zona de prensado depende de diversos factores, incluyendo la carga lineal, el diámetro del rodillo, la dureza del rodillo, y las características del fieltro. En la zona de prensado, uno de los lados de la hoja está en contacto normalmente con un rodillo duro y liso, usualmente de granito o “stonite”, aunque a veces se usa un rodillo metálico macizo con o sin un recubrimiento de goma dura. El rodillo en contacto con el fieltro está normalmente recubierto con un elastómero algo resiliente^c para “ablandar” la zona de prensado. (6) (7)

El papel y el fieltro son estructuras capilares parcialmente saturadas con agua y capaces de comprimirse, sin embargo el fieltro tiene capilares más grandes, está menos saturado de agua que el papel, y es mucho más resistente a la compresión. Por conveniencia se considera que el prensado se realiza en cuatro diferentes fases basadas principalmente en los mecanismos que involucran la transferencia del agua, como se ilustra en la figura 3.

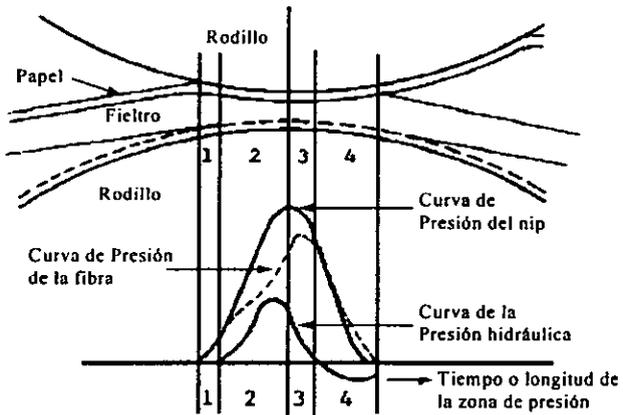


Figura 3. Fases del Prensado

a Nip : Zona de prensado. Área de contacto entre dos rodillos.
 b Compresión : Acción mecánica que ejerce una fuerza exterior sobre un cuerpo, reduciendo el volumen de éste. En un fieltro es la capacidad de comprimirse.
 c Resiliente : Resiliencia, capacidad que posee un cuerpo elástico para recuperar su forma o posición original después de estar comprimido o sometido a tensión.

“Se acepta generalmente que la teoría propuesta por Borje Wahlstrom en 1960, referente a los mecanismos de remoción del agua en el nip, es básicamente correcta. El agua es exprimida de la hoja de papel hacia el fieltro en la fase de compresión y algo de esta agua es reabsorbida por el papel del fieltro en la fase de expansión.”⁽⁹⁾ Tanto el papel como el fieltro no están saturados cuando entran al nip. Las cuatro fases en el mecanismo de remoción del agua son las siguientes:

La fase 1 inicia en la entrada del nip, el fieltro y el papel están ambos sin saturarse; la presión total en la hoja comienza a crecer como efecto de la compresión de la estructura fibrosa, sin embargo ninguna presión hidráulica está presente en toda esta fase. Con la compresión, el aire fluye fuera tanto del papel como del fieltro y la transferencia de agua ocurre por acción capilar o por el flujo del aire y del agua (el reemplazo de aire en las estructuras por agua). Al final de esta fase la hoja llega a estar saturada. ⁽¹⁾⁽³⁾⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽⁹⁾

La fase 2 se extiende desde el punto de saturación de la hoja hasta la mitad del nip, o más precisamente, al punto máximo de la presión en el nip. Por el hecho de estar la hoja saturada la presión hidráulica se incrementa, provocando un movimiento del agua contenida en el papel hacia el fieltro. Si el fieltro alcanza a saturarse, se genera una presión hidráulica en esta estructura por lo que el agua se desplazará hacia zonas de menor presión, si el rodillo inferior dispone de receptáculos hacia allá migrará el agua. Si el fieltro no alcanza la saturación, no habrá corriente libre de agua hacia fuera del fieltro. La fuerza de compresión que actúa sobre la estructura del fieltro y la fibra aumenta durante toda esta fase. Se ha demostrado que la presión hidráulica en el fieltro y en el papel alcanza un máximo un poco antes de la mitad del nip. ⁽¹⁾⁽³⁾⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽⁹⁾

La fase 3 se extiende desde el punto máximo de la presión en el nip hasta cuando el papel alcanza su máxima sequedad y la presión hidráulica en éste es nula.^c Esto significa que la hoja consigue estar más seca después de la mitad del nip mientras exista un gradiente de presión hidráulica con el fieltro. En esta fase la hoja

continúa comprimida mientras que el fieltro se expande totalmente. A causa de alguna corriente lateral de agua en el nip, el fieltro puede saturarse en una parte pequeña de esta fase; si se satura, el fieltro pronto llega a no estar saturado, ésto crea un vacío, forzando aire y agua a entrar hacia el interior del fieltro desde la superficie de éste o de los receptáculos del rodillo inferior. (1)(3)(6)(7)(9)

En la fase 4, el papel entra en la máxima sequedad y reabsorbe agua del fieltro, también el vacío debido a la expansión será más grande en el papel que en el fieltro, creando dos corrientes simultáneas de aire y agua, una en el fieltro y la otra del fieltro al papel. La reabsorción de agua del fieltro en la fase 4 es reconocida como una seria limitación principalmente en los papeles delgados. Tres diferentes mecanismos se han postulado para explicar esta situación: (1) la diferencial de presión creada entre el fieltro y papel debido a la expansión principalmente del papel; (2) la partición de la película de agua que se origina cuando el papel y el fieltro se separan; y (3) la transferencia de agua por capilaridad entre el papel y el fieltro. De acuerdo a la teoría, la rehumectación es minimizada por una menor diferencia en estructura capilar entre el fieltro y el papel; ésto se ajusta bien con el hecho de que los fieltros densos y las hojas de papel comprimidas dan menos rehumectación. Un valor alto de expansión del fieltro es también benéfico para reducir la rehumectación. Es reconocido que se produce una rehumectación adicional después de la zona de prensado a no ser que hoja y fieltro sean separados inmediatamente; todos los modernos diseños de prensas facilitan esta separación. Frecuentemente el fieltro envuelve el rodillo en contacto, mientras que la hoja se adhiere al rodillo liso y duro. (1)(3)(6)(7)(9)

El buen desarrollo de la remoción de agua del papel por prensado, lleva a la percepción de considerar importantes factores, por ejemplo el fieltro debe dar una distribución de presión perfectamente uniforme en la zona de prensado o nip; tener una adecuada permeabilidad cuando está comprimido para permitir el paso del agua exprimida del papel, o sea, la más baja resistencia al flujo de agua; y la menor posibilidad de rehumectación a la salida del nip. Por otra parte, cuando el fieltro alcanza la saturación, son necesarios algunos receptáculos para recibir el agua

exprimida del fieltro. Respondiendo a estos condicionamientos los constructores de máquinas han creado diferentes tipos de prensas y equipo auxiliar a fin de permitir una mayor eficiencia en la remoción del agua y según sean las condiciones particulares de operación, puede aplicarse una combinación de tipos de prensas.

Prensa plana. Es el primer diseño de prensa, constituida por dos rodillos sólidos de superficies planas, éstos pueden ser de acero o hierro fundido, cubiertos con hule simple o con aditivos minerales en cuyo caso recibe el nombre de Microroc o Stonite, también pueden estar hechos de granito. Conforme la hoja y el fieltro entran en el nip, la presión mecánica es mayor y el agua contenida en la hoja migra hacia el fieltro; cuando el fieltro llega a saturarse, la presión hidráulica se incrementa y el agua es forzada a salir de éste. El agua fluye lateralmente en contra de la dirección de movimiento sobre la máquina. La resistencia al flujo es alta, debido a la larga trayectoria y al efecto de bloqueo por parte de la estructura del fieltro. Por lo que las posibilidades de remoción de una prensa plana con un fieltro de tejido convencional se limitan. Si la presión se incrementara un poco más, el incremento de la presión hidráulica sería en una mayor proporción, lo que originaría un mayor flujo de agua, esta situación puede propiciar el deterioro o destrucción de la formación de la hoja (crushing^a). Las prensas planas llegaron a ser de flujo transversal al combinarse con cubiertas plásticas encogibles, vestiduras interiores (inner fabrics), o combinación de fieltros. (1) (6) (7) (9) (11) (19)

Prensa de succión. Aunque no reconocida como tal originalmente, la prensa de succión desarrollada a principios del siglo XX fue la primera aproximación hacia el prensado de flujo transversal; está constituida por dos rodillos, uno sólido y el otro hueco perforado. El rodillo de succión tiene generalmente una coraza de bronce o acero inoxidable cubierta de hule de aproximadamente 2 cm de espesor. Los agujeros son de aproximadamente 4 a 5 mm de diámetro y hacen un total de 18 a 24% de área abierta. Este tipo de prensa está diseñada para una presión máxima de unos 90 kg/cm (500 pli^b). Los agujeros del rodillo perforado proporcionan una ruta

^a Crushing : Defecto del papel provocado por un desplazamiento de las fibras en la hoja húmeda ya formada (rompimiento de la formación).

^b pli : Abreviatura comúnmente utilizada para libras por cada pulgada lineal.

de salida más fácil para el agua, siendo uno de los primeros medios para reducir la presión hidráulica en el nip así como la distancia que el agua viaja para su remoción. El agua retenida en los agujeros debido al vacío de una caja estacionaria situada en el interior del cilindro se descarga en el lado de salida de la zona de prensado por efecto de la fuerza centrífuga y al ya no estar en la zona de vacío. Algo de agua es capaz de fluir directamente por los agujeros, pero la mayor parte debe desplazarse lateralmente. La construcción de la camisa perforada (tamaño de los orificios, número y patrón de las perforaciones) limita la fortaleza de ésta y por lo tanto la presión que puede ser aplicada, siendo la rotura por fatiga de los rodillos un problema continuo a lo largo de los años. Las áreas firmes son los puntos de presión en este sistema y la distribución de la presión en la hoja entre los orificios y éstas es irregular, a menos que el fieltro iguale estas diferencias de presión, se efectuará una irregular remoción de agua en la hoja, por lo que estará más mojada en las áreas abiertas, ocasionando un sombreado (shadow marking^a) en la hoja. La prensa de succión es usada extensivamente en las primeras posiciones, pero es reemplazada por los otros tipos de prensa en las posiciones posteriores. (1)(6)(7)(9)(11)(19)

Prensa ranurada. Introducida por Beloit en 1963, esta prensa de flujo transversal es básicamente una prensa plana, en la cual ambos rodillos son sólidos, siendo un plano y el otro con ranuras continuas solo sobre la superficie. Las ranuras facilitan receptáculos fácilmente accesibles para el agua exprimida. El ranurado en la superficie permite el 16% de área abierta. Las ranuras helicoidales normalmente tienen una profundidad de 2.54 mm (0.1 pulg), un ancho de 0.5 mm (0.02 pulg) y 3.2 mm (0.125 pulg) entre centros (es decir, 8 ranuras por pulgada). La distancia lateral máxima de recorrido del agua en las prensas ranuradas es de 1.25 mm, en comparación con las cifras típicas de 5 a 19 mm, respectivamente, para una prensa de succión y una prensa plana. Dado que el rodillo ranurado es macizo, pueden aplicarse mayores presiones. El agua retenida en las ranuras es expulsada por la fuerza centrífuga combinada con una regadera de purga dirigida en contra de la rotación de giro del rodillo y mediante la acción de cuchillas. La distribución de la presión en la hoja es mejor a causa del espacio más continuo de las áreas firmes. Se

^a Shadow marking : Rompimiento de la formación dando el efecto de sombreado en la hoja de papel.

necesitan frecuentemente construcciones especiales de fieltros para prevenir el marcado de la ranura en la hoja. (1) (6) (7) (9) (11) (19)

Prensa Dri press. El término genérico “Dri press” ha sido usado para distinguir este diseño de rodillo de los de succión, fue introducido en 1970 como alternativa al rodillo ranurado. Los rodillos Dri press consisten de un rodillo liso con un recubrimiento de goma o de poliuretano con centenares de millares de orificios ciegos cuyo diámetro puede ser de 2.3 a 4 mm y su profundidad de 10 a 13 mm. El área abierta es de 14 al 26%. En comparación con el rodillo ranurado, los rodillos de orificios ciegos proporcionan cinco veces más volumen hueco y 33% más de superficie abierta. Estos aspectos en combinación con el incremento del tiempo de permanencia en el nip, provee los ingredientes para un desempeño superior. Puesto que sólo está agujerado el recubrimiento de estos rodillos, puede distinguirse fácilmente de los rodillos de las prensas de succión; los agujeros son más pequeños y menos espaciados, lo que reduce la distancia del recorrido lateral. Las perforaciones son autolimpiantes por la acción normal de la fuerza centrífuga. (1) (6) (7) (8) (9) (11) (19)

Extended nip. Aunque era un hecho probado que aumentando el tiempo de permanencia bajo presión se incrementaba la remoción de agua, fue hasta 1981 cuando se tuvo el primer éxito comercial por Beloit, introduciendo el concepto denominado “extended nip press”, se caracteriza por una zona de prensado muy ancha de doble fieltro, una zapata sin rotación y una banda impermeable para crear un nip de 25.4 cm (10 pulgadas) de ancho capaz de alcanzar una presión de 1071 kg/cm (6000 pli). Esta prensa proporciona no sólo una mayor sequedad de la hoja en la última zona de prensado sino también un mayor grado de enlace en la hoja debido a la mejor consolidación de su estructura. La zapata está continuamente lubricada con aceite para actuar como cojinete deslizante para la banda. El importante aumento en la eliminación de agua se logra debido a que la presión se mantiene durante un largo periodo, hasta ocho veces el obtenible con prensas de rodillos. (1) (6) (7) (9) (10) (11) (19)

3.3.2 Fieltros.

Se debe entender como fieltro a la vestidura que acompaña y soporta a la hoja de papel en la zona de prensado, siendo factor primordial para lograr una eficiente remoción de agua. La utilización de los fieltros se puede decir que se inició desde el mismo momento cuando Tsai Lun en China alrededor del año 100 D.C., descubrió un método para producir una hoja burda de papel, y utilizó un paño para secar la hoja formada. A principios del siglo XI en Europa el papel se hacía a mano, usando fieltros hechos por la aglomeración de lana o de pelo de animal para remover el agua de la hoja formada; en el siglo XVIII esos fieltros fueron sustituidos por vestiduras de lana que se tejían y posteriormente se afelpaban^a. En 1799 se inventó la primera máquina de papel y entre 1830 y 1845 la fabricación del papel a mano prácticamente desapareció. A fines del siglo pasado, los fieltros tejidos de lana se hicieron tanto para la sección de prensado como para la de secado, y los diseños eran relativamente sin complicaciones. (6)(11)

En 1913, se usaron los primeros tratamientos químicos para mejorar la vida operativa del fieltro. A mediados de los años 20, sólo uno o dos estilos estándar de fieltros estaban disponibles para periódico, tres o cuatro para papeles de finos, y sobre el mismo número para revistas y libros. En esas fechas los fieltros usados en la sección de secado se empezaron a hacer de algodón en vez de lana, posteriormente, fueron agregados hilos de asbesto a tales fieltros, ya que las temperaturas más altas en la sección de secado requirió de una vestidura más resistente. En 1930, la velocidad de las máquinas había aumentado a aproximadamente 300 m/min. Para cumplir con tales necesidades, tuvieron que ser ideados nuevos diseños de fieltros y técnicas de fabricación; los adelantos incluyeron tratamientos químicos más sofisticados, usados primeramente en fieltros para máquinas que producían cartón y papeles burdos. (6)(11)

El desarrollo de los materiales sintéticos durante la Segunda Guerra Mundial, permitió en los años 50 mejoras adicionales en las vestiduras y la desaparición de los

^a Afelpar : Dar aspecto de aterciopelado.

filtros convencionales hechos de lana; características tales como resistencia y mayor durabilidad hicieron que estas fibras de material sintético fueran preferidas, particularmente en máquinas anchas y rápidas, en ese momento los filtros también llegaron a ser más pesados para contrarrestar las presiones más altas y la mayor dureza de los rodillos. Al inicio el contenido sintético permaneció en un 30% porque los filtros con estas fibras no podrían afelparse por el proceso natural, para 1960 el advenimiento del fieltro agujado hizo posible el afelpamiento mecánico, y el contenido sintético pudo por lo tanto incrementarse; por 1970 los filtros tenían en promedio no menos de 50% de material sintético.

A finales de los años 60, los hilos de multifilamentos^a y monofilamentos^b se empezaron a utilizar para dar una mayor resistencia a las estructuras de las bases tejidas, estos hilos reemplazaron al tradicional hilo hilado. A través de los años, los filtros han evolucionado desde construcciones muy sencillas de una capa a tejidos más complejos de construcciones de doble, triple y más capas, construidas por 100% materiales sintéticos; para mediados de los años 80, otro gran avance fueron los filtros con costura, pues permitieron a los fabricantes de papel instalar los filtros sin tener que desarmar la máquina. (6)(11)(12)(13)(14)(15)

Los estudios científicos realizados sobre el mecanismo de remoción de agua y la importancia del fieltro en el prensado han conducido a nuevos diseños para optimizar la remoción de agua de la hoja de papel, además, las demandas por una calidad superior, nuevos tipos de productos de papel, y nuevos desarrollos de equipo en la fabricación de éste han requerido también de cambios en los diseños de las máquinas y vestiduras, por lo que una muy amplia gama de diseños de filtros están hoy disponibles.

Son tantas las funciones que debe desempeñar un fieltro y tan variadas las condiciones de operación de las máquinas de papel que por ello no existen diseños o filtros universales, por lo que el diseño como la manufactura de un fieltro son

^a Multifilamento : Hilo constituido por muchos filamentos muy finos.

^b Monofilamento : Hilo sintético constituido por un filamento de gran diámetros.

únicos, de otra manera el fabricante de papel puede sufrir las consecuencias por no tener en su máquina el producto adecuado, originando baja velocidad de la máquina, y baja eficiencia que resulta en una baja producción y altos costos operativos.

Hay diferentes procesos en la manufactura de los fieltros según se muestra en la figura 4, pero cuatro son los principales: fabricación de los hilos, tejido, agujado, y acabado incluyendo la aplicación del tratamiento químico si es necesario.

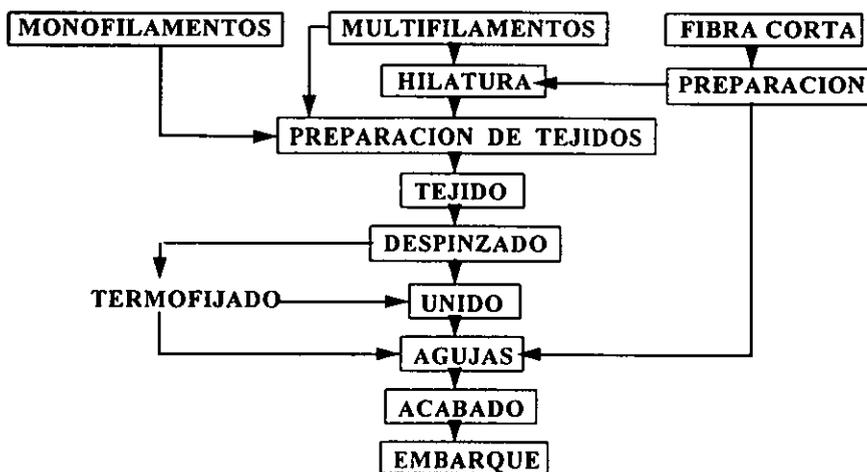


Figura 4. Diagrama de la fabricación de un fieltro

Fabricación del hilo. Los hilos hilados o spun están hechos de una mezcla de una o más diferentes fibras naturales o sintéticas que pueden ser de diferentes denier^a, las cuales primeramente son mezcladas mecánicamente, después cardadas^b y posteriormente se someten a torsión para obtener una mayor maleabilidad y resistencia. Los hilos spun se pueden combinar con hilos de multifilamento a fin de incrementar la resistencia. Los hilos de multifilamento y monofilamento no requieren una preparación previa antes de someterse a torsión. (6) (12) (14) (15)

^a Denier : Es el peso en gramos de una fibra corta a una longitud de 9000 m.

^b Cardar : Proceso mecánico que alinea en forma paralela las fibras.

Tejido. La figura 5 presenta un diagrama simplificado del telar de tejido, útil para mostrar que el proceso de tejido es básicamente el entrelazamiento en ángulos rectos de dos sistemas de hilos: urdimbre^a y trama^b. Los hilos de urdimbre son instalados en el telar primeramente colocándolos en un dispositivo llamado julio^c detrás de éste, para posteriormente montarse en las mallas contenidas en las llamadas tablas^d y finalmente insertarlos en el peine^e. La acción de las tablas por su movimiento de subir y bajar forma una abertura de forma triangular al frente del peine llamada calada. El hilo de trama es insertado a través de la calada por una lanzadera^f. Después de que cada hilo de trama pasa a todo lo largo de la calada, el peine avanza para empujar el hilo de trama ajustándolo a la tela, y posteriormente se mueve regresando a su posición inicial. Las tablas cambian de posición, produciendo una nueva calada para que el próximo hilo de trama sea colocado. Hay tres patrones de tejido básicos: plano, sarga y satín, con diversas modificaciones. Para describir estos tejidos es necesario mencionar que cada uno de ellos tienen una cara y un reverso, la cara es la superficie en contacto con la hoja de papel, y el reverso es la superficie que tendrá contacto con los rodillos. El tejido plano es el tejido más simple, con el hilo de trama que pasa alternativamente encima y por debajo de cada hilo de urdimbre. Este tejido es muy fuerte y estable, y tiene una superficie no uniforme. El tejido sarga está construido por el entrelazamiento de los hilos de urdimbre y trama en líneas diagonales mostrándose sobre la cara de la tela; ya que este tejido tiene menos intersecciones o puntos de enlace que el tejido plano, las propiedades mecánicas son diferentes y provee de una superficie por la cara más uniforme. El tejido satín es comúnmente con más hilos de trama sobre la cara que sobre el reverso y con los hilos de urdimbre no atados tan estrechamente como en los otros tejidos, este tejido crea una superficie más lisa con buenas características de drenado. Construcciones multicapa se forman al tener dos o más niveles de hilos de trama con un hilo de urdimbre; el fieltro con una capa adicional cambia totalmente sus propiedades mecánicas para cumplir con requerimientos que una construcción de

^a Urdimbre : Conjunto de hilos paralelos entre los que pasa la trama para formar una tela.

^b Trama : Conjunto de hilos que cruzados con la urdimbre forman una tela.

^c Julio : Tubo donde se enrolla los hilos de urdimbre.

^d Tabla : Cuadro que dispone de mallas para sostener los hilos de urdimbre.

^e Peine : Barra por cuyas púas o dientes (claros) pasan en el telar de tejido los hilos de urdimbre.

^f Lanzadera : Instrumento que lleva en su interior el hilo de trama.

una capa no puede cumplir. Es común tener hilos diferentes en cada nivel o capa. Los diferentes patrones de tejidos obviamente son afectados cambiando el tipo de hilo, densidad, forma, y tamaño, e incluso a veces se usan hilos de trama de diferentes diámetros en una misma estructura. (6) (12) (14)

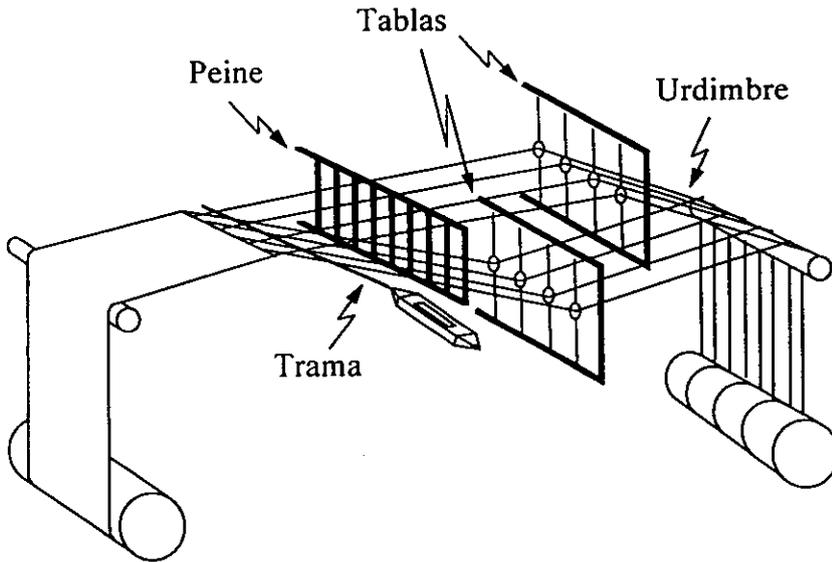


Figura 5. Diagrama del Telar de Tejido

Agujado. Es el proceso de anclaje de fibras de velo^a en forma mecánica, que sustituyó al proceso de afelpamiento. Un fieltro agujado está constituido de dos partes básicas: la base tejida y el velo. El velo está formado por el cardado de una mezcla de fibras de uno o más denieres, colocado sobre la base tejida justamente antes de pasar por la zona de agujado del telar de agujas. Las características del velo como el número de capas pueden variar, y puede ser aplicado en solo una o ambas caras de la base, así también la longitud de penetración de las agujas y el número de pasadas de remallado contribuyen para determinar el acabado superficial, la permeabilidad^b y otras características del fieltro. Las agujas colocadas

^a Velo : Estructura hecha solo de fibras cardadas que al agujarse cubre la base del fieltro.

^b Permeabilidad : Capacidad de un cuerpo para dejarse atravesar por un fluido.

perpendicularmente al viaje del fieltro están equipadas con lengüetas minúsculas llamadas barbas, que cuando las agujas descenden éstas sujetan unas pocas fibras de velo y las fuerzan al interior de la base, la figura 6⁽⁶⁾ ejemplifican este proceso. Las fibras son así colocadas en el cuerpo de la base tejida para formar una sola estructura llamada fieltro. (6) (12) (14)

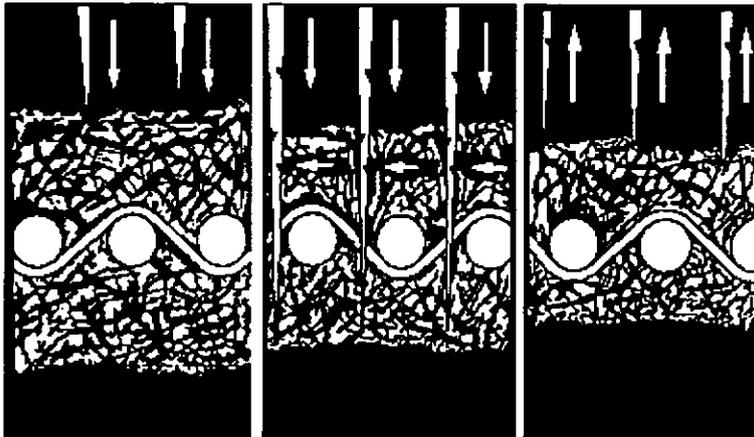


Figura 6. Proceso de Agujado

Acabado. Las operaciones de acabado son muy diversas y no todos los fieltros estan sometidos a ellas, entre ellas se puede mencionar las siguientes: lavado, aplicación de un tratamiento químico, chamuscado^a, termofijado^b, precompactado^c e inspección final. Los objetivos de estos procesos son dar al fieltro una buena apariencia, modificar las características de los materiales a través de tratamientos, impartir estabilidad dimensional, etc. (6) (12) (14)

^a Chamuscado : Es el proceso de quemar o fundir las fibras superficiales.

^b Termofijado : Proceso importante para los fieltros 100% hechos de material sintético, se aplica temperatura aprovechando las características termoplásticas de los materiales sintéticas para estabilizarlo dimensionalmente relajando las tensiones y estableciendo una memoria nueva en el material; el termofijado se usa también para curar tratamientos químicos.

^c Precompactado : Proceso de prensado en condiciones de presión, velocidad y temperatura controladas cuyo objetivo es abatir el espesor del fieltro.

4. Desempeño Profesional.

4.1 Diseño de un Filtro para la Sección de Prensado de una Máquina de Papel.

Actualmente, la cantidad de material que se publica relacionado con la industria de pulpa y papel es enorme, muchos de los artículos publicados se refieren a estudios técnicos que abarcan un campo restringido y son de un interés limitado, sin embargo, aún cuando existen publicaciones referidas a vestiduras para máquinas de papel, muchas de ellas pueden ser consideradas como artículos puramente comerciales al sólo mostrar las ventajas y beneficios que puede obtener el usuario con ese producto, sin mostrar los estudios y consideraciones que hay atrás de la creación de los actuales o nuevos productos.

En la industria papelería existen viejas máquinas que no han sufrido cambios significativos, así también hay máquinas de papel que han evolucionado su configuración después de haber operado por 30 o más años y hacen uso de los avances tecnológicos, y por otra parte las nuevas máquinas creadas con toda la tecnología disponible de sus constructores. Todos los tipos de máquina (excepto la muy reciente tecnología de máquinas TAD^a) tienen una cosa en común: requieren de filtros para la sección de prensado, cuyas características de funcionamiento se equiparen a las condiciones activas existentes.

Crear el diseño de un filtro parece ser una actividad muy sencilla a primera vista, pero se complica ante el hecho de que cada máquina de papel tenga su muy particular condición de operación, que incluso pueda variar poco o mucho de un

^a TAD: Through Air Drying. tecnología muy reciente en la cual la máquina de papel no requiere de un filtro para prensado de la hoja de papel.

momento a otro, además cada tipo de papel tiene características muy definidas, por ello no existen diseños o fieltros universales. El responsable de esta actividad es el Diseñador, quien es el elemento enlace entre los requerimientos de la máquina de papel y la manufactura del fieltro, que está involucrado con todos los tipos de fieltros, pero frecuentemente especializado en una área determinada de aplicación; es factor clave para que el fieltro de una máquina particular en una posición determinada se desempeñe a la máxima eficiencia operacional, obteniendo la máxima durabilidad, óptima capacidad de remoción de agua, y cumpliendo otros requerimientos tales como la calidad del papel; por lo tanto es quien al crear el diseño del fieltro selecciona el tipo de material, determina las diferentes fases de la manufactura, la forma y peso del hilo, el tejido, la cantidad de velo, el tratamiento químico si es necesario, y especifica las características particulares del fieltro a fin de satisfacer esas condiciones particulares de operación. En el diseño de un fieltro hay diferentes factores a considerar, por lo que el Diseñador debe tener conocimiento de diferentes áreas para con ello dar origen a un diseño de éxito, pues hay que conocer el proceso de fabricación de papel que se conforma principalmente por procesos mecánicos, químicos y fisicoquímicos, así también la manufactura del fieltro que comprende aspectos químicos, mecánicos y textiles. Aun cuando la fabricación de un fieltro tiene procesos de manufactura textiles y la aplicación final en la sección de prensado es principalmente un proceso mecánico, la creación del diseño requiere de conocimientos en el área de química, y es por ello que hay un mayor número de personas de esta área desempeñándose como Diseñadores. Un egresado del área de química tiene suficientes herramientas para comprender los procesos químicos y fisicoquímicos en la fabricación del papel, para decidir la materia prima y tratamientos en la manufactura de los fieltros.

El Diseñador basa su decisión en los informes de los Ingenieros de Ventas y Servicio, así como también en los registros de manufactura y en su propia experiencia. Para asegurar que las especificaciones de diseño se cumplan, se efectúan diferentes mediciones a lo largo de todas las fases de producción, corroboradas por los Supervisores de Producción e Ingenieros de Proceso.

Una vez que la vestidura se entrega al fabricante de papel, es importante que el Diseñador se entere de como funcionó en la máquina. Si el diseño marcha bien, entonces un duplicado se hará cuando se requiera y será una referencia futura. Si algo no funciona bien, el Diseñador debe ser notificado de manera que pueda hacer los cambios apropiados. Un buen diseño y consiguientemente una exitosa fabricación de papel, dependen de la estrecha cooperación entre el fabricante de papel, los Ingenieros de Ventas, los Ingenieros de Servicio y el Diseñador.

El desempeño profesional se ha venido desarrollando en la compañía Albany International S.A. de C.V. desde 1980 a la fecha, iniciando como Supervisor de turno hasta 1983, desde ese entonces en el departamento de Diseño de la División de Vestiduras para Máquinas de Papel, ocupando actualmente el puesto de Diseñador Senior. Las actividades desarrolladas de mayor relevancia son:

1. Diseños y ponencias sobre nuevos productos en diversas reuniones internacionales efectuadas por la Corporación Albany International.
2. Seminarios de capacitación de la Asociación Mexicana de Técnicos de las Industrias de la Celulosa y del Papel, A.C.
3. Exposiciones en congresos y simposios relacionados con la fabricación de papel.
4. Ponente en el primer y segundo Diplomado de Celulosa y Papel auspiciado por la Universidad Iberoamericana y la Asociación Mexicana de Técnicos de las Industrias de la Celulosa y del Papel, A.C., con el tema Manufactura y Aplicación de Fieltros.
5. Participante en la creación del sistema de calidad de Albany International, concluyendo con la obtención de la certificación bajo la norma ISO 9001.

A continuación, en esta memoria de desempeño se mencionan algunas de las actividades relevantes de un Diseñador de fieltros, sus responsabilidades, las actividades para crear el diseño de un fieltro así como las actividades posventa, finalmente se incluye una parte (Análisis económico) de la ponencia "Filtros Modernos, Ventajas Técnicas y Económicas" presentada el 31 de Mayo de 1995 en la XXXV Reunión Anual ATCP y posteriormente publicada en la revista de los meses de Marzo/Abril, 1996 de esta Asociación.

4.2 Responsabilidades del Diseñador.

- a). Crear el diseño adecuado a cada aplicación, decidiendo el tipo, características y cantidades de materia prima a utilizar en el proceso de fabricación, así como en las especificaciones de manufactura; asegurándose que los productos que se proveen al cliente reúnan las especificaciones para lograr una operación satisfactoria.
- b). Elaborar o participar en la creación de diseños de productos, para dar solución a problemas específicos o para aplicaciones que por sus características particulares resulten ser únicas.
- c). Elaborar propuestas técnicas de aplicación de los actuales y nuevos productos, para las existentes y nuevas máquinas, o en proyectos de reconstrucción y actualización tecnológica de las máquinas de papel, con el propósito de incrementar la participación en el mercado, y mantener a la compañía en la vanguardia tecnológica.
- d). Mantener una estrecha relación mediante visitas, comunicación oral y escrita con diseñadores y personal del área de investigación y desarrollo de las diferentes plantas de la Corporación, con el propósito de mantenerse constantemente actualizado sobre los avances tecnológicos tanto en lo referente

a las vestiduras como en la fabricación del papel, así también con los clientes para estar totalmente informado sobre la operación de las vestiduras y otras inquietudes.

- e). Preparar y presentar ponencias técnicas en diversos lugares de la Corporación, así como seminarios de capacitación o asesoramiento a los clientes de la Compañía. Asistir y participar en reuniones internacionales de intercambio técnico.
- f). Conocer y evaluar las actividades de la competencia a través del análisis de sus productos.
- g). Participar en la actualización de los Manuales de Manufactura.
- h). Participar en los programas para la reducción de desperdicios y costos en la manufactura de las vestiduras.
- i). Participar en la planeación y control de los proyectos enfocados a la mejora continua de calidad (producto y proceso), así como en el mantenimiento del sistema de calidad basado en la norma ISO 9001.
- j). Capacitar a supervisores y personal de Producción, así como a Ingenieros de Ventas y Servicio, en los aspectos técnicos del producto.
- k). Aceptar o rechazar un producto cuando no cumple con las especificaciones solicitadas.
- l). Efectuar cambios en los procesos de manufactura de productos que así lo requieran, que se encuentren en etapa de fabricación y pendientes de acabar, para posteriormente evaluar su operación en el campo. Estos cambios posteriores a la creación del diseño original están basados en la información más reciente sobre la operación de las vestiduras.

4.3 Etapas en el Desarrollo del Diseño de un Filtro.

El establecimiento de las características finales de un filtro para una posición específica se basa principalmente en la experiencia del Diseñador y del fabricante de papel, así como del grado de empatía que se establezca durante el intercambio de información; un diseño de éxito usualmente es el resultado de un proceso evolutivo de una prueba inicial y modificaciones posteriores al diseño.

Para crear el diseño de un filtro se establece una serie de actividades o etapas, que inicia con la colección de la información, el análisis de ésta ya que cada uno de los datos llevará a una decisión que se transforma en instrucciones y especificaciones para la manufactura del filtro, el seguimiento del producto en los diferentes procesos de manufactura, y se finaliza validando el diseño si los resultados fueron satisfactorios durante la evaluación del filtro en la máquina de papel, si no fue así se inicia un nuevo plan. La secuencia de las actividades que componen ese plan de diseño se ilustran en la figura 7.

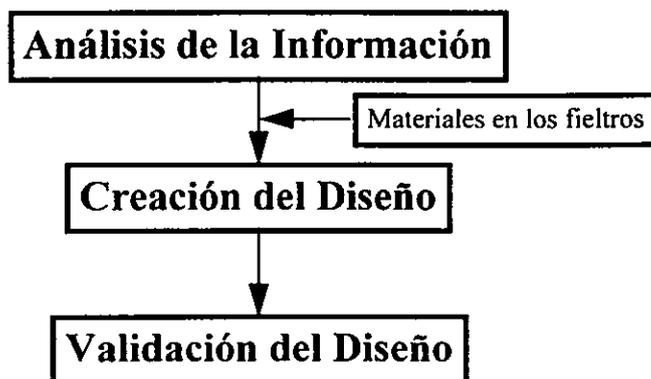


Figura 7. Plan para crear el diseño de un filtro

4.3.1 Análisis de la Información de la Posición de la Máquina de Papel.

Las condiciones de operación de las máquinas de papel tienden a imponer limitaciones en la creación del diseño del fieltro, las máquinas anchas y de alta velocidad requieren de fieltros más fuertes y estables, ésto implica la necesidad de tener estructuras más fuertes pero elásticas. La selección del diseño o determinación de las especificaciones del fieltro requiere de la siguiente información básica:

- + Tipo de papel a producirse.
- + Rango de gramaje del papel.
- + Materia prima utilizada para su fabricación.
- + Configuración de la máquina.
- + Posición.
- + Velocidad de la máquina.
- + Presión en el nip.
- + Equipo de acondicionamiento disponible.

Tipo de papel y gramaje. El tipo de papel y gramaje son factores estrechamente ligados y de importante consideración debido a las diferencias en la morfología de la fibra utilizada, peso y características específicas de cada tipo de papel. En papeles para impresión, el flujo de agua no está restringido por el peso o el espesor de la hoja, por lo que las propiedades de la superficie de los fieltros son una prioridad, sin embargo en papeles de embalaje el flujo de agua está restringido por el espesor y la estructura de la hoja, y ya que el mascado (crushing) de la hoja puede ocurrir, el fieltro debe tener resistencia a la compactación y suficiente volumen hueco para contener el agua removida. Un dato adicional es conocer el acabado superficial de la hoja, pues en los más estrictos requerimientos el Diseñador tendrá que seleccionar hilos más finos (menor diámetro), una mayor densidad (cuenta) de hilos en la base y una construcción (patrón de tejido) que permita una superficie más lisa y no exista marca en la hoja de papel.

Materia prima. La madera es la principal fuente de fibras celulósicas para la manufactura de papel, mientras que fuentes no madereras como el bagazo de caña de

azúcar, pajas de cereales, y el bambú suministran el resto de los requerimientos mundiales de fibras vírgenes. La morfología de las fibras cambian dependiendo de su origen, las fibras de maderas suaves^a (“softwood”) son de mayor longitud y diámetro que las fibras de maderas duras^b (“hardwood”). En nuestro país se utilizan además de las fibras antes mencionadas, fibras de eucalipto y de bagazo de caña de azúcar. Las características de las fibras de eucalipto se ubican entre las de madera suave y madera dura tanto en longitud como en diámetro. Las fibras de bagazo son más cortas y más angostas que las de madera dura. En los países desarrollados ha comenzado, en años recientes, a usarse más y más el papel reciclado (fibras secundarias^c) para la fabricación de papeles liner y papeles tissue principalmente. Esta práctica obedece tanto a razones económicas como a las presiones de legislación ambiental; en nuestro país esta práctica tiene muchos años de haberse implantado para todos los tipos de papeles por razones de costo, dadas las condiciones prevalecientes de nuestra economía. (1)

Por lo común, para obtener una hoja de papel con ciertas características específicas que satisfagan los requerimientos de su uso, se hace una pasta constituida por una mezcla de productos químicos y materiales fibrosos procedentes de fuentes distintas. Los productos químicos utilizados dependen fundamentalmente del tipo y grado de papel así como de los atributos que debe cumplir.

Para efectos de crear el diseño de un fieltro conocer la procedencia de las fibras así como su método de obtención es simplemente una referencia, ya que una hoja de papel es una mezcla de fibras, por lo que la información que más aporta es el valor del Freeness y si la materia prima es con fibras vírgenes o fibras secundarias. El CFS o simplemente Freeness se define como el número de mililitros de agua recogidos del orificio lateral del instrumento Canadian Standard Freeness normalizado cuando la pulpa dreña a través de una placa perforada a una consistencia de 0.30% y 20°C, o sea, es una medida de la resistencia de las fibras al flujo de agua. Si la pasta está

^a Maderas suaves : Son las obtenidas de plantas gimnospermas, tales como el pino y el ciprés.

^b Maderas duras : Son las obtenidas de plantas angiospermas, tales como el abedul y el roble.

^c Fibras secundarias : Se definen como cualquier material fibroso que ha sufrido un proceso de manufactura y son recicladas como materia prima para otro producto.

constituída por fibras vírgenes se considera una materia limpia en la cual solamente el pitch y los aditivos no fibrosos pueden causar un problema de obturación en el fieltro, sin embargo en una pasta de fibras secundarias puede contener obturantes llamados stickies constituidos por plásticos, ceras, adhesivos, asfaltos, colas, tintas, etc., que al depositarse en el fieltro son muy difícil de remover.

Configuración de la máquina y posición. Existe una gran variedad de configuraciones de máquinas, algunas muy específicas para un tipo de papel, (como la máquina Yankee^a para la fabricación de papel tissue), cada una de ellas con distintas demandas para el fieltro. Así también, en una misma máquina dependiendo de la posición en la sección de prensas, hay diferentes requerimientos para los fieltros conforme el avance de nip a nip, el Diseñador debe conocer qué comportamiento debe tener el fieltro en cada una de las posiciones. Para dar mayor idea sobre la importancia de esta información, tomemos como ejemplo la configuración “trinip” de la figura 8.

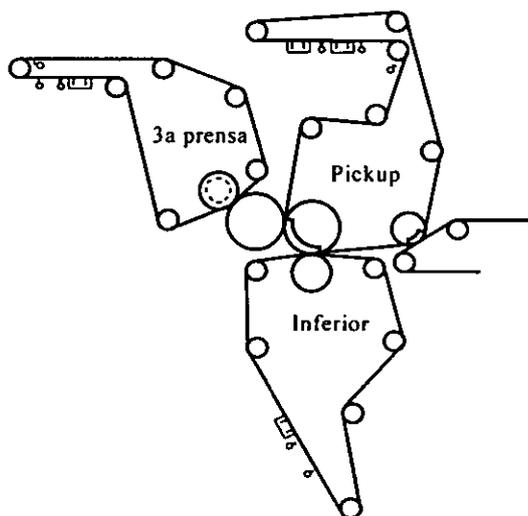


Figura 8. Configuración Trinip

^a Máquina Yankee : Máquina de papel cuya característica es tener un cilindro secador de gran diámetro llamado cilindro Yankee, se utiliza principalmente en la fabricación de papeles tissue.

El fieltro pickup debe tomar la hoja al tener contacto con la tela de formación, ser capaz de retener la hoja sin permitir que se desprenda del fieltro antes del primer nip, requiere de un alto volumen hueco en el primer y segundo nip para remover una gran cantidad de agua, por lo que debe tener características óptimas para resistir el desgaste y la compactación ya que está expuesto a dos nips. El fieltro inferior debe ser lo suficiente abierto para dividir el flujo de agua en el primer nip y reducir la posibilidad de la doble cara y no originar el robo de hoja^a. En el tercer nip, el agua que permanece en la hoja es mucho más difícil de remover, y una uniforme distribución de la presión es esencial, por lo que la regularidad en las características del fieltro es crítica, así también se minimiza la probabilidad de vibración en estos nips de altas presiones de prensado.

Velocidad. La velocidad es un factor de muchísima importancia, ya que conforme ésta se incrementa hace más difícil la remoción de agua al disminuirse el tiempo de permanencia en el nip y en los sistemas de acondicionamiento. El ancho de la zona de prensado o nip está en función del diámetro de los rodillos, la dureza de sus recubrimientos y la flexibilidad del fieltro, sin embargo el tiempo que la hoja permanece en el nip para que el fieltro sea capaz de efectuar la remoción de agua variará conforme a la velocidad. La velocidad es un factor en la determinación de la permeabilidad del fieltro, en forma muy generalizada se puede decir que a mayor velocidad la permeabilidad disminuye a fin de permitir un mejor sello en las zonas de vacío.

Presión en el nip. Para tener mayor idea del comportamiento requerido del fieltro en el nip es necesario relacionar la presión en el nip con el tipo de prensa. Las altas cargas de prensado y recubrimientos más duros de los rodillos imponen demandas aún mayores en las propiedades mecánicas del fieltro y originan fieltros más robustos y con una alta resistencia a la compactación. Mientras que a bajas

^a Robo de hoja: Término que se utiliza para definir cuando el viaje de la hoja de papel cambia hacia un fieltro cuyo objetivo es solo la remoción de agua y no de transporte.

presiones se requiere un fieltro resiliente para que al comprimirse haya remoción de agua pero que conserve su espesor.

Equipo de acondicionamiento disponible. La presencia o ausencia de equipo de limpieza o acondicionamiento tales como las regaderas de alta presión, regaderas de inundación, cajas de vacío, al igual que equipo de limpieza química, demandan fieltros capaces de resistir diversas tensiones y esfuerzos cíclicos. Dependiendo de la capacidad de vacío en las cajas y en la prensa de succión determinará la estructura de la base del fieltro, en términos generales una baja capacidad de vacío obligará al uso de fieltros monocapa y conforme la capacidad de vacío sea mayor permitirá el uso de bases más complejas multicapa. La tabla 5 muestra una guía para considerar el tipo de fieltro de acuerdo a la capacidad de vacío.

Tabla 5. Capacidad de vacío en cajas	
Capacidad de vacío en cajas (cfm/pulg²)	Tipo de fieltro
menor a 5	Fieltros monocapa de hilos spun
entre 5 y 10	Fieltros monocapa con hilos de monofilamento y multifilamento
mayor a 10	Fieltros multicapa

Por otra parte, los sistemas de limpieza también influyen en la decisión del Diseñador en cuanto a la cantidad, estratificación y el tamaño de las fibras del velo requerido, y en el grado de agujado que el fieltro necesita para soportar el desgaste mecánico de las regaderas de alta presión. La permeabilidad y el espesor final de la pieza tienen una cierta dependencia de la cantidad y tipo de fibras del velo, así como del grado de agujado.

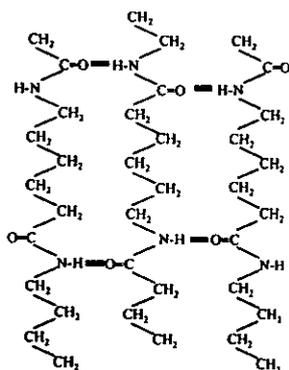
Por experiencia se ha observado una operación eficiente del fieltro cuando se dispone de una capacidad de vacío que permita la limpieza del fieltro así como la remoción de agua en éste, pero también han existido situaciones en las cuales un fieltro opera con muchos problemas por no tener un eficiente acondicionamiento, debido a no disponer o por una mala eficiencia del sistema de limpieza y no haber la suficiente capacidad de vacío.

4.3.2 Materiales en los Feltros.

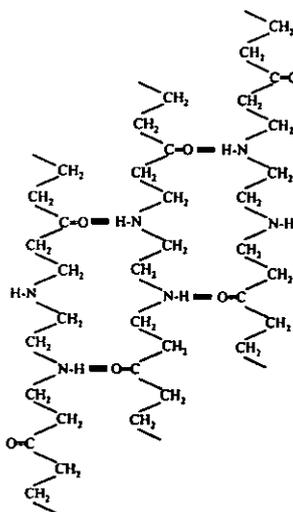
La fabricación de feltros comenzó utilizando fibras de lana pero cuando las presiones y la velocidad de las máquinas de papel aumentaron, la fibra de lana mostró deficiencias, por lo que después de la Segunda Guerra Mundial se comenzó a usar fibras sintéticas de poliamida como de poliéster como un refuerzo, hoy en día casi todos los feltros son fabricados con 100% poliamida.

Las poliamidas son una fibra ideal para feltros, tienen un precio razonable, son más resistentes bajo condiciones abrasivas que el poliéster, también tiene un mayor factor de recuperación a la presión, son resilientes mientras que el poliéster se aplana bajo presión. El poliéster en el lado positivo no es muy influido por la captación de humedad, hay muy poco cambio en el tamaño al pasar de condiciones secas a húmedas. La poliamida por el contrario capta una mayor humedad (como un 4%, aunque la lana capta 25%) y cambia dimensionalmente de cuando está mojada a cuando está seca. Otra característica negativa del poliéster es que se fractura y se fibrila cuando se aplica presión a la fibra, en contraste la poliamida es muy duradera y se desgastará en el diámetro exterior pero no perderá su integridad como material. La industria productora de fibras sintéticas no ha sido capaz hasta ahora de combinar todos los atributos positivos de estos materiales a un razonable precio.

En la fabricación de un fieltro se puede utilizar diferentes tipos de poliamidas, las más comunes son la poliamida 6 y la poliamida 6,6, y en menor proporción son la poliamida 6,10 y la poliamida 6,12. La poliamida 6 es más consumida en Europa mientras la poliamida 6,6 es más usada en América, es por ello que en la fabricación de feltros en Europa se usa principalmente materiales de poliamida 6 tanto en monofilamentos como en fibras, mientras en América la poliamida 6 se prefiere como monofilamento y la poliamida 6,6 se usa mucho como material de fibra corta y multifilamento. Cada una tiene una estructura química diferente (como se muestra en la figura 9⁽¹⁸⁾) que le confiere propiedades especiales.



Poliamida 6



Poliamida 6,6

Figura 9. Poliamidas

Los dos materiales más comunes que se encuentran en la fabricación de papel que reaccionan con la poliamida son el agua y el cloro. Se sabe por experiencia que el agua actúa como un plastificante de las poliamidas, las hace más suaves, es por ello que los fieltros mojados se precompactan más eficientemente que los fieltros secos a la misma carga de precompactado y temperatura. También, el efecto de condiciones secas o húmedas tienen un efecto sobre la resistencia a la tensión, encogimiento, resistencia al impacto, etc. El comportamiento de los diferentes tipos de poliamida en condiciones húmedas a secas tiene un efecto sobre la estabilidad dimensional del fieltro, que tan estable es el ancho del fieltro de cuando la pieza seca se recorta durante su manufactura al ancho de ésta en operación (húmeda) en una máquina de papel. La poliamida 6 es más receptiva de agua que la poliamida 6,6 a su vez ésta es más receptiva que la poliamida 6,12. Debido a este aspecto frecuentemente se usa poliamida 6,10 o poliamida 6,12 como material transversal en los fieltros, aun cuando el costo del material es cerca del 100% sobre la poliamida 6. En el sentido máquina, o sea longitudinal, se puede usar poliamida 6 donde la estabilidad dimensional de seco a húmedo no es un factor de consideración pero hay que tener algunos cuidados, por experiencia previa en el segmento de papeles tissue,

se tuvo un estiramiento excesivo en un fieltro con un hilo de poliamida 6 de bajo modulus^a.

El cloro actúa como un agente oxidante y cuando se adjunta a la molécula de la poliamida rompe la cadena, el resultado son longitudes de cadena más cortas haciendo el material más débil. El cloro es un material químico mucho más reactivo que el agua, así que los efectos comúnmente suceden más rápidamente. Está es una de las razones por la que los fabricantes de poliamida se han preocupado por ofrecer un mayor peso molecular. El efecto de un tratamiento químico es ocupar sitios sobre la molécula de poliamida con los grupos terminales para reducir el ataque de un agente oxidante como el cloro o el peróxido.

Los otros factores para considerar en la selección de los materiales de poliamida son la disponibilidad comercial y el precio, pues la producción de poliamida es enorme y sólo una pequeña porción es para la fabricación de fieltros. Por ejemplo, el material de multifilamento utilizado es poliamida 6,6, debido a que el uso primario del multifilamento es para cuerdas de llanta. No se tiene conocimiento que grandes cantidades de multifilamento estén disponibles en poliamida 6, poliamida 6,12 u otro tipo de poliamida. Situación similar ocurre con las fibras cortas, la mayoría de las fibras para fieltros son de poliamida 6,6 aunque hay quienes fabrican alguna versión de poliamida 6; el principal consumo de fibras cortas es en la manufactura de alfombras. La poliamida 12 es un producto muy caro (comúnmente el doble de precio de poliamida 6 o poliamida 6,6) y se usa primariamente en los cepillos de dientes debido a su muy buena estabilidad de seco a húmedo, por lo que los monofilamentos de poliamida 6,10 y poliamida 6,12 son las versiones más baratas con características muy similares.

Aun cuando actualmente casi todos los fieltros son hechos 100% de poliamida, existen aplicaciones especiales que requieren de otro tipo de material por lo que dependiendo de las necesidades o requerimientos a cumplir, el Diseñador selecciona

^a Modulus: Es simplemente la pendiente de la curva de tensión cuando el material esta siendo estirado, un bajo modulus significa alta elongación con baja tensión, un alto modulus es una baja elongación a pesar de una alta tensión. Esta característica es controlada por el fabricante.

el tipo de material y decide si se requiere un tratamiento químico, además debe estar consciente de las limitaciones y posibilidades de uso de cada uno de los materiales utilizados en los fieltros, así como de su comportamiento en los diferentes ambientes que puedan existir en una máquina de papel; la siguiente tabla resume algunas importantes propiedades de los materiales utilizados.

Tabla 6. Materia Prima (6)

Material	Fibra	Multifilamento	Monofilamento	Resistencia a la tensión	Resistencia a la abrasión	Resistencia a los ácidos	Resistencia a los álcalis	Comentarios
Poliéster	X	X	X	Excelente	De buena a excelente	Buena	De aceptable a buena	Hidrólisis con calor húmedo. No usar con álcalis fuertes
Acrílico	X	X		Buena	Arriba del promedio	Buena	Aceptable	Buena combinación de resistencia al desgaste y a la temperatura. Usar cuando las condiciones de calor húmedo predominan
Poliamida	X	X	X	Excelente	Excelente	Pobre	De buena a excelente	
Nomex	X	X		De buena a excelente	De buena a excelente	Aceptable	Buena	
Polipropileno	X	X	X	Excelente	Excelente	Malo	Malo	
Lana	X			Aceptable	Promedio	Pobre	Pobre	
Algodón	X			Promedio	Promedio	Pobre	Malo	

Existen tratamientos químicos que modifican químicamente las fibras y tratamientos que solo recubren las fibras. La aplicación de un tratamiento químico es opcional. Los tratamientos químicos han sido usados para retardar o incrementar ciertas propiedades del fieltro, tales como:

- + Retardar la degradación química.
- + Retardar la compactación.
- + Retardar la abrasión.
- + Incrementar la capacidad de drenado.
- + Retardar la obturación.
- + Permitir un arranque más rápido.
- + Mejorar la estabilidad dimensional.

La aplicación de los tratamientos químicos cada vez son menos frecuentes debido a restricciones de tipo ecológicas y a las constantes mejoras en los materiales.

4.3.3 Creación del Diseño del Fieltro.

El clásico funcionamiento de los fieltros ha cumplido dos funciones básicas: remoción de agua de la hoja de papel, y transferir la hoja de una sección de la máquina de papel a otra, pero en realidad un fieltro tiene otras varias funciones claves, tales como:

- + Impartir una uniforme distribución de la presión.
- + Impartir un mejor acabado superficial o al menos no deteriorarlo.
- + Consolidar la formación de la hoja.
- + Soportar y transferir la hoja de una posición a otra.
- + Como banda de transmisión.

El cumplimiento de éstas ha sido el constante reto de los diseñadores, comúnmente un intento por alcanzar el máximo de una de ellas afectará adversamente a otras, por lo que el diseño de cualquier fieltro es un constante compromiso.

En el mercado actual un fieltro exitoso debe tener estas características claves:

- + Flexibilidad.
- + Capacidad de drenado.
- + Volumen hueco adecuado
- + Estabilidad dimensional en sentido máquina como transversal.
- + Durabilidad.
- + Mantenerse permeable y fácil de limpiar.
- + Reproducibilidad.
- + Rápido acondicionamiento.
- + Perfil de humedad uniforme.
- + Resistencia a la compactación.
- + Resistencia al desgaste.
- + Resistencia a la degradación química.

Cumplir con estos requerimientos no es fácil, especialmente debido a que la mayoría no son absolutamente cuantificables o se miden indirectamente, por lo que el conocimiento de las necesidades del mercado o especialmente las necesidades del fabricante de papel permitirá determinar qué propiedad o característica clave del producto es necesaria y así asegurar el buen desempeño del fieltro; para ello el Diseñador después de analizar la información de la posición de la máquina de papel, crea un diseño único para esa posición. Hay siete parámetros que definen su originalidad:

- + Peso.
- + Espesor.
- + Permeabilidad.
- + Relación base-velo.
- + Volumen hueco.
- + Resistencia al flujo.
- + Compresibilidad y resiliencia.
- + Uniformidad de la presión

Peso, es el peso del fieltro por área unitaria, (g/m^2).

Espesor, es el grosor del fieltro, (mm).

Permeabilidad, es el volumen de aire que pasa a través del fieltro en una área y tiempo unitario a una diferencial de presión específica, ($\text{m}^3/\text{h}/\text{m}^2$ a 10 mm H_2O ó $\text{pie}^3/\text{min}/\text{pie}^2$ mejor conocido como cfm a 0.5 pulg H_2O). Su utilidad es discutible ya que esta medida no ha probado ser útil desde el punto de vista de predecir el desempeño del fieltro en términos de remoción de agua de la hoja u otras propiedades. Su uso se limita a ser simplemente una referencia, sin embargo por experiencia se ha observado que una mala determinación de la permeabilidad originará problemas de operación. Esta característica del fieltro es dependiente del tipo de materia prima y del tipo de papel, así como de la configuración de la máquina y equipo de acondicionamiento; otro hecho que hay que tener presente es no comparar la permeabilidad de diferentes estructuras de fieltros, o sea, entre un fieltro de una capa con uno de dos capas.

Relación velo-base, es el peso de la fibra de velo dividida por el peso total del fieltro, o sea, es la proporción de velo presente en el fieltro, comúnmente se expresa en términos de porcentaje.

Estos cuatro parámetros junto con la indicación sobre la construcción del fieltro (por ejemplo fieltro de una capa o doble capa), es la forma básica para describir un fieltro de manera rápida y sencilla, e incluso es la información que normalmente aparece en cuestiones comerciales tales como las cotizaciones.

Los siguientes términos son parámetros que deben relacionarse con el tipo de papel producido, a fin de optimizarse acorde a las condiciones de operación de una determinada máquina.

Volumen hueco, es la medida del espacio vacío en un fieltro, cuando éste es determinado bajo presión se le conoce como fracción hueca, en ambos casos es equivalente por lo tanto a la cantidad de agua que puede ser aceptada. Se determina mediante la siguiente relación:

$$\text{Volumen hueco (cm}^3\text{)} = \left[(\text{Espesor (mm)} \cdot 1000) - \left(\frac{\text{Peso del fieltro (g / m}^2\text{)}}{\text{Densidad del material}} \right) \right]$$

Resistencia al flujo, es un valor referencial de la resistencia al flujo de agua a través del fieltro en el sentido máquina (Y), dirección transversal (X) y vertical (Z), o sea, que tan fácil es para el fieltro aceptar agua en el nip y liberarla en las zonas de vacío. Esta determinación se realiza en un laboratorio y se le conoce como permeabilidad al agua y su valor es muy diferente y sin ninguna relación o proporción a la permeabilidad al aire antes mencionada.

Compresibilidad y resiliencia. La compresibilidad es una medida de la facilidad que tiene el fieltro de comprimirse bajo presión. Resiliencia es una medida de la capacidad del fieltro para recuperarse después de haber estado comprimido. Un fieltro resistente a la compactación puede ser uno que es sumamente incompresible o que es comprimible pero bastante resiliente. Igualmente este parámetro se realiza en un laboratorio.

Estos siete parámetros, las condiciones de operación de la máquina (información directa del cliente, estudios de balance de humedad, análisis de muestras en el laboratorio, etc.), tipo de materia prima y papel que se produce se interrelacionan para alcanzar un eficiente desempeño del fieltro.⁽¹⁹⁾

Examinando un típico fieltro se nota que está constituido por dos estructuras: la base y el velo. La base es la estructura soporte del fieltro, se compone generalmente de dos sistemas de hilos orientados en el sentido máquina y en dirección transversal. Los tipos de hilos usados son muy diversos y su acomodo en la base (patrones de tejido) son también numerosos. El velo está constituido por una serie de capas de fibras alineadas que son mecánicamente ancladas a la base por medio de un proceso de agujado.

Selección del tipo de hilo. Tres tipos básicos de hilos son usados en la actualidad: hilos cardados o spun, hilos de multifilamentos, e hilos de monofilamento (figura 10). Los diferentes tipos de hilos producen una amplia gama de propiedades de la base, en forma general se puede mencionar lo siguiente:



Figura 10. Tipos de hilos

El hilo spun consiste de fibras cortas, entre 2 y 4 pulgadas de longitud, permiten tener fieltros muy flexibles, con una superficie suave, alta compresibilidad pero propensos a la obturación y a la compactación. Los hilos de multifilamentos consisten de varios filamentos continuos de muy bajo diámetro, permiten tener fieltros flexibles pero con una alta resistencia a la rotura, compresibles pero más resistentes a la compactación que fieltros hechos con hilos spun, son utilizados cuando un diseño de un fieltro requiere un incremento en la compresibilidad pero no tan propenso a la compactación, también permiten un mayor anclaje de las fibras de velo. Los hilos de monofilamento en su forma sencilla consisten de un solo filamento continuo de gran diámetro (comúnmente entre 0.1 a 0.5 mm), con una alta

resistencia a la tensión y una baja elongación, que permiten fieltros permeables con una alta resistencia a la compactación para conservar su volumen hueco durante la compresión por un tiempo más prolongado.

Se pueden hacer muchísimas combinaciones de hilos, para ello se utiliza dos o más hilos sencillos o “cabos” del mismo tipo (spun o multifilamento o monofilamento), e incluso con diferentes tipos (spun y multifilamento o multifilamento y monofilamento, son los más comunes) y obtener un hilo torcido con diferentes propiedades a los hilos sencillos que lo forman, de mayor diámetro pero más flexible que un hilo sencillo de ese mismo diámetro. Los fieltros con un hilo de monofilamento de diámetro relativamente grande en dirección transversal son más rígidos, abiertos y burdos, con un buen drenado de agua, pero con mayores probabilidades de marcar la hoja debido a la no tan uniforme distribución de la presión, siendo la mayor restricción de aplicación en máquinas que producen papeles para impresión, pues se requiere un mayor peso de velo para amortiguar, entonces el drenado se restringe cuando el velo se compacta y obtura. Reemplazando el monofilamento sencillo de gran diámetro de la dirección transversal por un hilo torcido constituido de varios monofilamentos de pequeño diámetro permite aumentar la densidad de hilos en sentido máquina, o sea se incrementa los puntos de contacto para obtener una distribución más uniforme de la presión y fieltros menos rígidos, pero con menor resistencia a la compactación.

Tejido de la base. Las características específicas de cada base dependen del tipo o combinación de hilos presentes, así como de los patrones de tejido que establecen la geometría de acomodo de éstos, las variaciones pueden ser infinitas pero generalmente los tejidos, las bases, y los fieltros se clasifican por el número de capas que se apilan una sobre la otra comúnmente en sentido máquina. Generalmente hay dos métodos de lograr más de una capa, ya sea tejiendo la base con una patrón de tejido que permita apilar los hilos (tejido integral) o a través de bases tejidas en forma separada que son sobrepuestas (laminación) una sobre otra en una etapa posterior de la manufactura.

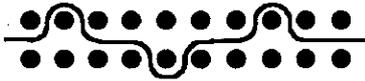
Los diseños de una capa proveen una óptima remoción de agua pero pueden ocasionar marca debido a la naturaleza burda y abierta del tejido, su uso es más frecuente en máquinas de baja velocidad, baja presión de prensado y deficiente sistema de limpieza. La base de dos capas de tejido integral reduce la probabilidad de marca al proveer un mayor soporte a la hoja, que conduce a una aplicación más uniforme de la presión en el nip; con este tipo de bases también se logra un mayor volumen hueco para un mejor manejo del agua, son ampliamente usadas en diferentes tipos de máquinas como en la producción de los diferentes tipos de papel. La base de triple capa fue desarrollada para permitir un mejor soporte de la hoja en los agujeros de los recubrimientos de las prensas de succión, actualmente esos agujeros son comúnmente de un diámetro menor a 3.5 mm, por lo que los fieltros de doble capa pueden usarse sin problemas de marca; los fieltros de triple capa también se usan en prensas con nip ancho (mayor tiempo de prensado) pero tienen la tendencia a perder su capacidad de apilado en forma alineada y por lo tanto su volumen hueco, los diseños de triples capas han resultado exitosos en máquinas de alta velocidad fabricando papeles tissue. Es necesario mencionar que partiendo de un diseño de dos capas el simple incremento en el número de capas no implica necesariamente un incremento del volumen hueco cuando la estructura es sometida a una presión compresiva, pues se depende del tipo de hilo utilizado así como del patrón de tejido a fin de ofrecer una mayor resistencia a la compactación.

Una especial mención debe hacerse para los fieltros laminados, cuyo uso ha tenido mucho éxito en muy diversas aplicaciones; están contruidos por dos o más bases tejidas de forma independiente colocadas una encima de otra, (el diseño más común es el de dos bases), este nuevo concepto en el diseño de fieltros permite al Diseñador un mayor grado de libertad y versatilidad al tener la posibilidad de crear por separado un diseño específico para cada base, en general se podría decir que la base inferior es rígida y relativamente burda que sirve de soporte y provee al fieltro de espacios huecos para almacenar agua, mientras que la base superior puede ser muy fina en su tejido con alta densidad de hilos para tener mayor número de puntos de contacto durante el prensado y por lo tanto una mejor distribución de la presión.

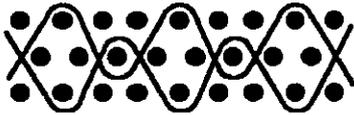
La figura 11 ejemplifica patrones de tejido de bases de una, dos y tres capas, así como una perspectiva de un fieltro laminado.



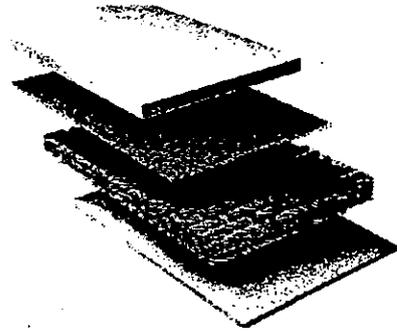
UNA CAPA



DOS CAPA



TRES CAPAS
Tejidos Integrales



Filtro laminado

Figura 11. Tejidos integrales y laminación

Las demandas actuales requieren de nuevas soluciones, debido a que la tendencia normal en la evolución de los filtros es hacia la obtención de un volumen hueco mayor, éstos son cada vez más pesados, voluminosos, rígidos y con mayor dificultad para plegarse. Estas características pueden traducirse en más horas de instalación y mayor tiempo improductivo de máquina; ante esta situación se desarrolló un filtro que por una parte fuera operacionalmente eficiente y por otra permitiera eliminar los problemas mencionados al poderse convertir en una banda sinfín en la propia máquina mediante una costura formada en la base. (20)

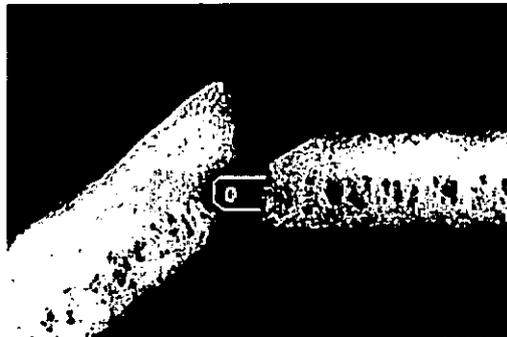


Figura 12. Filtro con costura

Velo. La estructura del velo se compone de capas múltiples de fibras que son formadas por un proceso de cardado, su objetivo es cubrir la base para evitar que marque, para proveer una más uniforme presión a microescala en su contacto con la hoja de papel, para proveer un mejor acabado de ésta, y mejorar la remoción de agua, por lo que la selección del velo y la ingeniería del proceso de agujado son críticas en la fabricación de un fieltro. El tamaño o denier^a de las fibras se eligen en base a la aplicación deseada, el método más común de la distribución de la fibra se llama estratificación. La estratificación se efectúa variando el denier de las fibras en las diferentes capas de la estructura del velo, ocurre cuando las fibras más pequeñas o de menor denier se localizan sobre la superficie que tendrá contacto con la hoja de papel para minimizar la marca, reducir la rehumectación o mejorar la remoción de agua en la hoja, mientras las fibras burdas o de mayor denier en las capas inferiores resisten la compactación, proporcionan mayor volumen hueco y permiten un fácil flujo de agua. La figura 13 ejemplifica una estratificación, aunque lo más común en un fieltro es encontrar fibras de 2 ó 3 diferentes denieres; mediante esta distribución de fibras se logra balancear la tersura superficial en un fieltro contra la resistencia a la compactación y la obturación del velo.

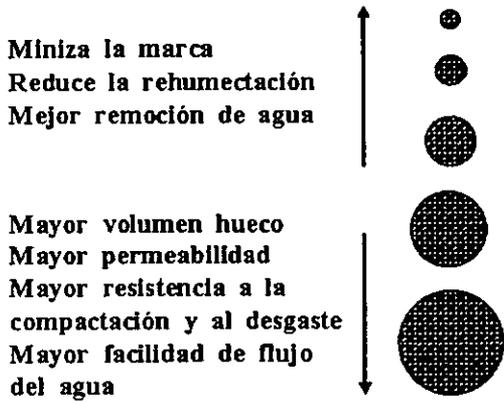


Figura 13. Estratificación de las fibras del velo

^a Denier: Anteriormente se especifico que denier es el peso en gramos de la fibra a una longitud de 9000 m, sin embargo se puede relacionar con el diámetro de la fibra ya que siendo la longitud constante, a mayor denier mayor diámetro de la fibra.

El Diseñador no solamente puede variar el denier de la fibra, sino también la orientación de ésta en el fieltro. Hay tres tipos genéricos de orientación de la fibra: en dirección transversal, en sentido máquina y en cruz diagonal. (En la figura 14 se muestran estas tres orientaciones de las fibras del velo). Cada quien tiene su propia teoría con respecto a qué combinación de tamaño de fibra, peso, y orientación de las fibras tienen razón para una aplicación específica.

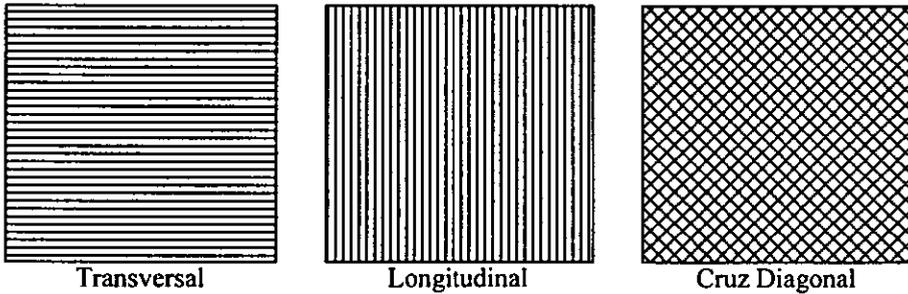


Figura 14. Tipos de orientación de las fibras del velo

Con sofisticadas bases multicapa en uso, la estructura del velo frecuentemente llega a ser un factor limitante, pues el desgaste, la compactación y la degradación química acelerada por operaciones a altas temperaturas limitan la vida útil de la mayoría de los fieltros, es por ello que poliamidas con un mayor peso molecular están utilizándose y se continúan desarrollando nuevas opciones.

Acabado. Las operaciones de acabado son diversas (lavado, aplicación de un tratamiento químico, chamuscado, termofijado, precompactado e inspección final) y no todos los fieltros están sometidos a ellas. El lavado de un fieltro es a fin de eliminar aceites, emulsiones, grasa o polvo que dan una mala apariencia o pueden originar manchas en posteriores procesos. La aplicación de un tratamiento químico es optativo y tiene diferentes objetivos tales como retardar la degradación química, o la obturación, o el desgaste, o la compactación, o bien, para mejorar el drenado de agua o el arranque, así también como para permitir una fácil instalación o mayor

estabilidad. En el chamuscado las fibras de velo superficiales se queman mediante una flama de gas bajo condiciones de velocidad y tamaño de la flama controladas, se utiliza para uniformizar la longitud de las fibras superficiales así como para dar una mayor aspereza a esa superficie. El proceso de termofijado es un proceso importante para los fieltros hechos de 100% material sintético; efectuado mediante el uso de lámparas infrarrojas, aire caliente, o rodillos calentados; en este proceso se aprovechan las características termoplásticas de los materiales sintéticos, al fieltro se le aplica temperatura para estabilizarlo dimensionalmente a una tensión determinada considerando la tensión de operación de la máquina de papel; la temperatura es por arriba de la temperatura en la máquina de papel pero por debajo del punto de fusión del material. Las temperaturas de termofijado relajan las tensiones y establecen una memoria nueva en el material, si las tensiones y temperaturas de termofijado no son excedidas en la máquina de papel, el fieltro no cambiará dimensionalmente, el termofijado se usa también para curar tratamientos químicos. El proceso de precompactado es el proceso para compactar un fieltro en forma controlada, reduciéndose con ello el espesor y la permeabilidad, se realiza haciendo pasar el fieltro a través del nip de dos rodillos a una presión y temperatura específica. En la inspección final se verifica cuidadosamente las dimensiones de la pieza, la permeabilidad al aire y el espesor principalmente.

4.3.4 Validación del Diseño.

Todos los diseños tienen una verificación durante las diferentes etapas de producción, comprobando que el producto esté dentro del intervalo de especificaciones mediante inspección directa, comprobación de datos y mediciones complementarias en caso de ser necesarias. Cuando un producto se encuentra fuera de especificaciones se procede a un reproceso (repetir un proceso de su manufactura o efectuar un proceso que originalmente no se requería), si después de éste el producto está dentro de las especificaciones señaladas por el Diseñador, el fieltro avanzará a la siguiente etapa de fabricación, en caso que continúe fuera de especificaciones la pieza se dañará y se generará una pieza de reposición. Sólo el Diseñador (por conocer las necesidades del cliente y tener mejor idea de las

repercusiones que tiene una característica fuera de aceptación) es el único autorizado para aceptar una pieza fuera de especificaciones.

Toda compañía que su sistema de calidad esté certificada por la Norma ISO-9001 requiere presentar evidencias de que su producto tiene la validación del diseño, o sea, asegurar que el producto cumpla con las necesidades y requisitos definidos por el usuario. Por la naturaleza de aplicación de los fieltros, la validación de los cambios o un nuevo diseño se efectúa mediante la información de la operación del fieltro colectada a través de visitas e información proporcionada por el cliente. Un diseño se da por validado cuando cumplió con todas las necesidades y requerimientos, pero si cumplió algunos y otros no fueron cubiertos entonces se tendrá que efectuar cambios al diseño original para satisfacer esos requerimientos pendientes sin afectar los que ya se cumplieron.

4.4. Servicio Posventa.

En el desarrollo de este reporte se ha venido señalando que una máquina de papel es una compleja estructura de sistemas hidráulicos, mecánicos, químicos, térmicos, y aerodinámicos, integrados para que la máquina siempre esté operando a su total potencialidad de calidad y velocidad, sin embargo no siempre es el caso ya que por diversas razones uno o más componentes en la máquina pueden llegar a desajustarse, ocasionando problemas que pueden resultar en un papel fuera de especificaciones o dificultades operacionales. Teniendo presente que cada diseño de fieltro es muy específico para el tipo y gramaje de papel, para la posición y condiciones de cada máquina, el monitoreo de su operación provee de valiosa información para identificar el origen de los problemas y la optimización tanto del diseño del fieltro como del proceso de fabricación del papel. Comúnmente los fabricantes de fieltros realizan monitoreos de las condiciones de operación de la máquina como parte de un servicio posventa, los más frecuentes son a través del análisis en el laboratorio de la pieza usada y la asistencia técnica.

4.4.1 Análisis de una Pieza Regresada.

El análisis en el laboratorio de un fieltro después de haber operado en una máquina de papel, es una herramienta muy útil, representa una fuente de información. El análisis de las características claves de cada fieltro evaluadas en forma continua tienen diferentes objetivos, tales como:

- + Continuar la rastreabilidad del desempeño de la pieza.
- + Solucionar los problemas en los cuales la máquina de papel y la vestidura se relacionan.
- + Identificar el tipo de daño ocurrido.
- + Identificar la obturación o contaminación en las piezas.
- + Perfeccionar el diseño del fieltro.

Las características claves de un fieltro regresado son el espesor, la permeabilidad al aire, su masa y la cantidad de material obturante. Perfiles gráficos de estas propiedades muestran como varían a través del ancho del fieltro y pueden correlacionarse fuertemente tanto con los procesos mecánicos como con los químicos que ocurren en la sección de prensado.

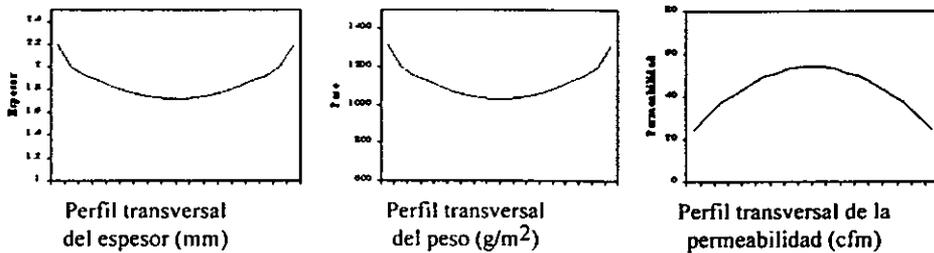


Figura 15. Perfiles de un fieltro analizado

Por ejemplo, la figura 15 contiene perfiles típicos de un fieltro usado que operó en una posición cuya prensa tenía un exceso de coronamiento^a, ocasionando que el centro de la pieza se desgastara más que en las orillas, por lo que hay una mayor pérdida de peso en el centro y por lo tanto un menor espesor, mientras la permeabilidad al aire es mayor en esa zona. (16)

Hoy, muchos productos se han introducido para mejorar las propiedades físicas y expandir los usos del papel, como resultado de estos cambios casi todos los tipos de papel contienen una amplia variedad de obturantes, y aún cuando existen equipos y procesos para separar una gran variedad de partículas, muchas de ellas de tamaño microscópico así como otras más grandes escapan, ocasionando problemas tanto a la calidad de la hoja como a la operación de la máquina.

Se ha comentado que los fieltros participan en la consolidación y en el transporte de la hoja, así también es el “riñón” de la máquina de papel durante la remoción de agua de la hoja de papel. Para esta última función se requiere que el fieltro transfiera el agua de la hoja a la prensa mediante un laberinto de espacios microscópicos, la transferencia no ocurre cuando las partículas microscópicas, las cuales tienen una afinidad a flocularse^b y formar geles, bloquea su paso. Es por ello que el análisis químico de un fieltro usado proporciona valiosa información para dar una mejor idea del manejo de los productos químicos en la máquina de papel, determinando el tipo y la cantidad de los materiales obturantes, a fin de desarrollar estrategias apropiadas para su control o remoción. (17)

El análisis de materiales obturantes involucra la determinación de tres clases de sustancias, éstas son:

- + Extractables: Materiales orgánicos tales como grasa, aceite, brea y cera.

^a Coronamiento o corona: Diámetro excedente en el centro de un rodillo prensa, ajustado para compensar la flexión de los rodillos por la carga aplicada en los extremos, y permitir una uniforme distribución de la presión a todo el ancho. En otras palabras es la comba en el cilindro cuya máxima altura es en el centro del rodillo.

^b Floculación: Precipitación de sustancias en solución, en forma coloidal.

- + Sólidos orgánicos: Son almidones, resinas para resistencia en húmedo, recubrimientos sintéticos del papel y finos^a.
- + Cenizas: Compuestos inorgánicos tal como sílice, arcilla, dióxido de titanio, y compuestos tanto de aluminio como de calcio.

La suma de estos tres tipos de materiales es el total de material obturante contenido en la estructura del fieltro. Si éstos se extraen del fieltro mientras todavía están húmedos, se aprecia que tienen una consistencia gelatinosa y ocupan de 5 a 10 veces más el volumen hueco del fieltro que cuando están secos. En muchos análisis se ha podido ver que los obturantes forman una película plástica, si estos obturantes se concentran cerca de la superficie del fieltro, el volumen hueco por debajo de la localización de los obturantes no será más útil. Es importante entender que obtener en una análisis de laboratorio un 3% de obturantes secos representa un 20% de llenado o pérdida del volumen hueco porque el obturante existe en forma de gel cuando el fieltro está en la máquina de papel. Cuando un producto absorbente de agua, como almidón, se usa también como un aditivo, un 2% seco del obturante puede realmente representar un llenado del 30 al 40% del volumen hueco en forma de gel. En algún momento el fieltro no será capaz de absorber más agua de la hoja. la excesiva humedad sobre la superficie puede ocasionar muchos problemas, por ejemplo, una hoja más húmeda, "crushing", el desgaste del fieltro y hoyos debido a la muy alta presión que se utilizaría en las regaderas como un intento por mantener al fieltro operando eficientemente. (16). (17)

En la tabla 7 se presentan las proporciones por grado de papel de diferentes tipos de obturantes que típicamente se encuentran en los fieltros analizados, aunque es necesario mencionar que dependiendo del porcentaje y tipo de fibra secundaria utilizada para la fabricación del papel, los porcentajes pueden ser totalmente diferentes; por lo que esta referencia solo trata de ilustrar que hay una diferente proporción de obturantes en el fieltro dependiendo del tipo de papel que se fabrica.

^a Finos: Fragmentos de fibras que pasan fácilmente a través de un tamiz fino.

69

Tabla 7. Proporción de obturantes por tipo de papel (16)						
	Cartulina	Kraft	Tissue	Impresión	Periódico	Corrugado
% Extractables	1.2	2.1	1.4	1.3	4.7	2.2
% Sólidos orgánicos	2.4	2.9	3.5	4.1	4.2	1.0
% Cenizas	1.0	0.5	1.7	2.4	1.0	0.2

4.4.2 Asistencia Técnica.

El balance de humedad consiste de una serie de mediciones de la cantidad de agua presente en el fieltro en diferentes puntos antes y después de los diversos elementos de la posición; un posterior análisis de esas mediciones proveen de información tanto del comportamiento de cada elemento de la máquina como del fieltro. Uno de los instrumentos utilizados para estas mediciones es el Scanpro Jet-Mem (Skandinaviska Processinstrument AB), con el cual obtienen gráficas como las mostradas en la figura 16.

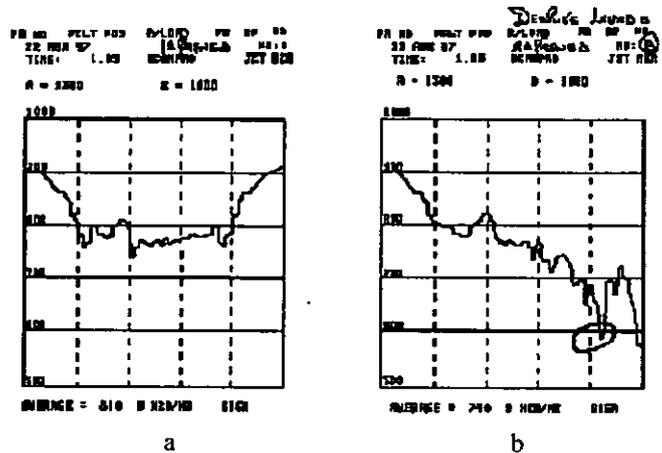


Figura 16. Perfiles de humedad con el equipo Scanpro Jet-Mem

El Scanpro Jet-Mem es un medidor portátil de humedad por microondas que consta de una cabeza de medición y una impresora, la cabeza de medición es inalámbrica energizada por baterías internas de níquel-cadmio. Cuando se efectúan mediciones, la cabeza de medición es sostenida manualmente contra el fieltro. Los

datos de medición son almacenados en una memoria electrónica de la cabeza junto con la información sobre la hora, fecha y número de medición. Cuando el número de mediciones requeridas se han realizado, la cabeza es conectada a la impresora para la impresión del contenido de la memoria, al tiempo que las baterías de la cabeza de medición se recargan automáticamente. El intervalo de humedad puede variar dentro de ciertos límites (0 a 3000 g/m²) y se pueden elegir diferentes unidades de humedad (g/m², oz/pie², % H₂O). Los datos grabados permanecerán en la memoria hasta que deliberadamente sean borrados, de este modo cualquier registro se puede repetir para detallar estudios tantas veces como sea necesario.

Los principios de medición de la humedad están en función de la constante dieléctrica del agua a la frecuencia de las microondas generadas, que es aproximadamente de 75, mientras que para la celulosa, fibras textiles y materiales similares está entre 2 y 4. Esto significa que un material con un alto contenido de agua tiene una mayor influencia sobre la sensibilidad de un campo eléctrico que si el contenido de agua es bajo. Este efecto puede ser medido con particular precisión en la frecuencia de 1050 Mhz, la cual es usada por el medidor de humedad. Si un material húmedo es colocado contra la superficie, altera la frecuencia de resonancia del sensor. La magnitud de desviación de la frecuencia depende principalmente de la cantidad de agua en el material. La energía de microondas usada para la medición es baja.

Particularmente la figura 16a corresponde a un perfil transversal del fieltro y tiene una forma de U, este tipo de perfil es común cuando la prensa tiene un exceso de corona, por lo que hay mayor presión en el centro que en las orillas y por lo tanto hay una mayor remoción de agua durante el prensado en el centro, originando un perfil de humedad no uniforme en el fieltro pero principalmente en la hoja de papel; por otra parte existe la posibilidad de una mayor fatiga mecánica y desgaste en el centro de la estructura del fieltro que más tarde incrementará el problema de perfil de humedad. Ante este tipo de casos, la solución está en el fabricante de papel, rectificando su prensa a un correcto coronamiento de acuerdo a la presión de operación. En cuanto a la figura 16b, el perfil descendente de izquierda a derecha es

un indicativo que la presión aplicada en los extremos de la prensa es diferente, siendo mayor del lado derecho pues en ese lado hay una mayor remoción de agua.

Estas gráficas también proporcionan un valor promedio de la cantidad de agua presente en el fieltro, por lo que tomando mediciones en diferentes puntos antes y después de los diversos elementos de la posición, se puede hacer un balance de humedad. El análisis de esta información puede ser tan sencilla como compleja, depende de la cantidad de información previa disponible así como la necesidad de identificar la razón de una buena o mala operación. Un análisis muy sencillo de esta información sería el ir comparando los valores de humedad de cada uno de los puntos de medición y obtener sus diferencias, por ejemplo tomado los valores mostrados en la figura 17, entre el punto 1 y el 2 hay un incremento de 264 g/m^2 de agua debido a que el fieltro toma la hoja que era transportada por la tela de formación. Comparando el punto 2 y 3 se nota una remoción de 279 g/m^2 de agua, cantidad que la prensa de succión remueve permitiendo con ello que la hoja de papel incremente sus consistencia. Todos estos valores son fuente de información sobre el comportamiento del fieltro y de los diferentes elementos de la máquina.

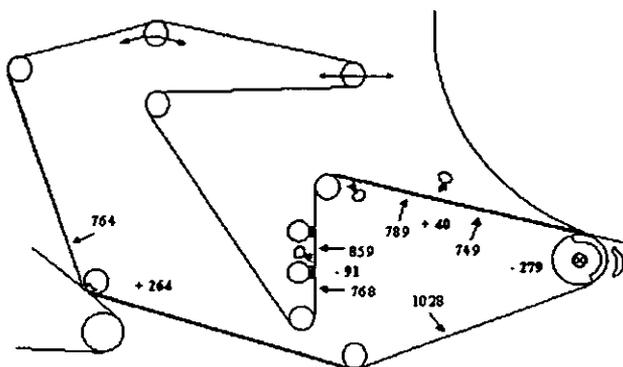


Figura 17. Balance de humedad en una máquina Yankee

Continuando con este ejemplo, volvamos a considerar los 279 g/m^2 de agua que la prensa remueve, supongamos que esta cantidad es inferior a estudios anteriores, para determinar la causa de esta situación entonces se considera el vacío

de la prensa, para el caso del ejemplo supongamos que es alto, estos dos datos puede en muchos casos indicar que el fieltro tiene una menor permeabilidad que piezas anteriores, si posteriormente el fieltro se analiza en el laboratorio y se encuentra que la cantidad de obturantes es bajo, entonces se obtiene un claro indicativo que el diseño original del fieltro requiere cambios que permitan una mayor permeabilidad para obtener bajos vacíos en la prensa y más altos valores de remoción de agua.

Todo lo anterior mencionado es una muy sencilla ejemplificación del análisis de la información que se obtiene del lugar donde finalmente un próximo diseño de fieltro será evaluado.

4.5. Ejemplo Práctico.

Por años, los fabricantes de vestiduras se han preocupado por invertir en el desarrollo de nuevos materiales y productos como una estrategia por mantenerse en la vanguardia tecnológica y poder ofrecer un producto que permita obtener mejores resultados, los beneficiados han sido los fabricantes de papel que han hecho uso de los desarrollos en el diseño de fieltros para mejorar la remoción de agua. Lo que a continuación se expone es un ejemplo real de como surgió el diseño de un nuevo producto.

4.5.1 Antecedentes.

En Europa se estaba expandiendo rápidamente los diseños de fieltros laminados en máquinas que fabricaban papeles de impresión, al igual que en máquinas que fabricaban otros tipos de papeles con posiciones donde las cargas de prensado eran muy altas. Comparativamente con los diseños de tejido integral, los fieltros laminados estaban mostrando una mejor uniformidad en la distribución de la presión y por ello permitiendo una mejor calidad de la hoja, conservaban o la pérdida de su volumen hueco a lo largo de la vida operacional era menor, y una más

baja presión hidráulica a la mitad del nip. Por lo mencionado, los diseñadores europeos se mostraban entusiastas sobre la potencialidad de este nuevo diseño, por ello estimaban que estas características en la fabricación del papel tissue se podían traducir en un mejor secado de la hoja (mejor remoción de agua de la hoja de papel), mayor capacidad de almacenamiento del agua durante su operación, reducción en la tendencia al "crushing" y mejores perfiles de humedad en la hoja, además de mantenerse el fieltro más fácilmente limpio.

Después de las primeras evaluaciones de fieltros laminados en el área de papeles tissue, surgieron varios diseños básicos, uno de éstos era un fieltro hecho por dos bases monocapa, utilizado en máquinas de un solo fieltro produciendo papel higiénico con fibra secundaria. La figura 18 da una idea de como era ese diseño.

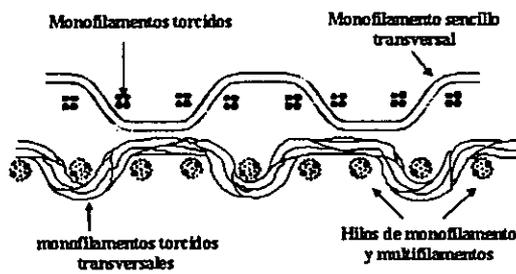


Figura 18. Fieltro laminado europeo

Por varios años diversos proveedores de vestiduras han incursionado en el mercado mexicano, incrementando su participación de mercado año tras año mediante productos de alta calidad y en la vanguardia tecnológica. Para la compañía Albany International como líder en el mercado mexicano y mundial, era importante ofrecer un producto diferente que aportara mayores beneficios a los fabricantes de papel para ganar la preferencia de ellos. Se inicia este proyecto haciendo presentaciones técnicas hasta que finalmente se logra que un Gerente de Producción acepte evaluar un fieltro en una máquina Yankee de alta velocidad, diseñada para 1570 m/min pero que normalmente alcanzaba 1450 m/min fabricando papel higiénico de 14.5 g/m². La información básica de la máquina era:

- + Una prensa de succión con capacidad de vacío óptima para lograr la remoción de agua durante el prensado
- + Cilindro Yankee con capacidad para una presión de vapor máxima de 8.8 kg/cm².
- + Pickup^a con rodillo de vacío.
- + Sistema de limpieza del fieltro adecuado que disponía de regadera de alta presión^b, regadera de inundación^c para limpiar el fieltro mediante un flujo de agua a través de su estructura, y dos cajas acondicionadoras^d, cada una con dos ranuras de ½ pulgada, suficientes para una adecuada remoción de obturantes.
- + Utilizando como materia prima principalmente fibra de bagazo.
- + Personal de la máquina (desde el Gerente de Producción hasta los operadores) comprometidos en hacer esa prueba un éxito.

El diseño estándar del fieltro utilizado bajo esas condiciones era:

- + Fieltro de tres capas.
- + Peso unitario del fieltro 1280 g/m²
- + Permeabilidad de 20 cfm
- + Espesor de 2.8 mm.
- + Relación velo-base de 45% de velo, 55% base.
- + Vida promedio 25 días.

Los objetivos planteados para el fieltro de prueba con el nuevo diseño fueron:

- + Velocidad de 1500 m/min.
- + Perfiles de humedad en la hoja uniformes.

^a Pickup: Es el punto de contacto donde la hoja es tomada de la tela de formación por un fieltro que circunda un rodillo, una caja o una barra.

^b Regadera de alta presión: Parte del sistema de limpieza, regadera de bajo volumen cuyo chorro de agua es a altas presiones para desprender los obturantes. Su ubicación depende del tipo de fieltro, si éste es monocapa la regadera se localiza por la cara interna del fieltro pero si es doble capa entonces se localiza por la cara en contacto con el papel.

^c Regadera de inundación: Regadera de baja presión pero alto volumen de agua cuyo ahorro se dirige a formar una cuña en el contacto de un rodillo con la cara inferior del fieltro, y por presión hidráulica desprender los obturantes que se encuentran en el interior de la estructura del fieltro.

^d Cajas acondicionadoras: Cajas de vacío para remover los obturantes y excedente de agua presente en el fieltro.

- + Rápido acondicionamiento^a.

4.5.2 Creación del diseño.

Diseñar un fieltro para papeles tissue en síntesis es crear una estructura que permita tomar y transportar la hoja, una uniforme distribución de presión en el nip y un fácil flujo de agua a través de su estructura, teniendo presente las altas velocidades de las máquinas que someten al fieltro a un alto número de ciclos de compresión en el nip, y que sus características son más afectadas al utilizarse fibras secundarias en vez de fibras vírgenes.

Se ha ya mencionado en repetidas ocasiones que cada máquina de papel es única, por lo tanto se debe diseñar un fieltro a la medida de sus condiciones de operación, y aun cuando los parámetros para un fieltro en el área de papeles tissue pueden ser semejantes a máquinas similares, la adaptación de una referencia tiene su problemática, pues se debe considerar las condiciones mecánicas y situaciones particulares de la máquina de papel y así también las pequeñas o grandes diferencias en los procesos y equipos utilizados para la manufactura del fieltro.

La información proveniente de Europa, tanto del diseño del fieltro laminado como las condiciones de operación de las máquinas donde se había evaluado fue analizada y comparada a fin de decidir el diseño que se utilizaría en la máquina donde se había aceptado la prueba. Combinado las referencias, los resultados con el fieltro estándar y percepción de las condiciones de la máquina de papel, se tomó la decisión de fabricar un fieltro que fundamentalmente era un diseño muy similar al utilizado en el mercado europeo; las diferencias más importantes fueron:

- + Los hilos en el sentido transversal fueron monofilamentos de poliamida 6,12 en vez de poliamida 6. El objetivo principal fue apegarse a la estandarización en hilos de urdimbre.

^a Rápido acondicionamiento: El sentido en el texto se conceptua a la necesidad de alcanzar la máxima velocidad o normal de operación en un corto lapso de tiempo después de la instalación de un fieltro nuevo.

- + Termofijar las bases a tensión constante en vez de ser a longitud constante. (El proceso de termofijado a tensión constante permite un mejor control de las elongaciones y encogimientos en los materiales).
- + Utilizar los mismos denieres de las fibras en las mezclas de velo pero siguiendo procesos de agujado comunes en México.
- + Al igual que en el fieltro estándar, se aplicó tratamiento químico para prevenir una prematura degradación química por presencia de cloro.

Las características finales del fieltro laminado de prueba fueron:

- + Fieltro laminado de dos capas
- + Permeabilidad al aire de 25.5 cfm
- + Espesor de 2.70 mm
- + Peso de 1259 g/m²
- + Relación velo-base de 50% velo, 50% base.
- + Volumen hueco de 1596 cm³.

4.5.3 Evaluación del diseño.

El fieltro permanece operando solo 3 días, la velocidad máxima fue 1100 m/min y fue finalmente retirado por los altos consumos de energía debido a una deficiente remoción de agua y baja producción.

Se tuvo una reunión con el cliente para reportar y analizar los resultados de la prueba, lográndose la aceptación de una nueva prueba.

4.5.4 Nueva creación del diseño.

Un diseño de éxito usualmente es el resultado de un proceso evolutivo de una prueba inicial y modificaciones posteriores al diseño, por lo que teniendo toda la información a primera mano tanto del diseño como de los resultados de la evaluación, se vuelve a realizar un análisis de la información.

Las mediciones realizadas con el Scanpro Jet-Mem mostraron que:

- + Fue un error utilizar el velo superficial con fibras de denier 6 en vez de denier 3 como se utilizaba en el fieltro estándar, olvidando que la materia prima era de fibra corta secundaria y que por el ángulo de salida entre el fieltro y la hoja de papel después del nip se originaba una alta rehumectación.
- + El fieltro fue con mayor permeabilidad pero principalmente poco denso originando que el vacío en la prensa no fuera mayor a 2 pulg Hg, no permitiendo hacer un adecuado sello tanto en la prensa como en las cajas acondicionadoras para una eficiente remoción de agua.
- + El perfil de humedad tanto en el fieltro como en la hoja fue uniforme a todo el ancho del fieltro.

La segunda pieza fue rediseñada.

- + Se continúa con el mismo diseño de la base inferior.
- + Se modifica el diseño de la base superior. El anterior diseño era tener una base con hilos de monofilamentos sencillos en sentido transversal y monofilamentos torcidos en sentido longitudinal, pero debido a que no era práctico con pocos telares de tejido tener una urdimbre especial, se decide utilizar la urdimbre estándar constituida por monofilamentos torcidos mientras que longitudinalmente se utilizan monofilamentos sencillos con una alta densidad, buscando con ello dar facilidad en la manufactura y así también densificar la base. El nuevo diseño de la base del fieltro laminado se representa en la figura 19.

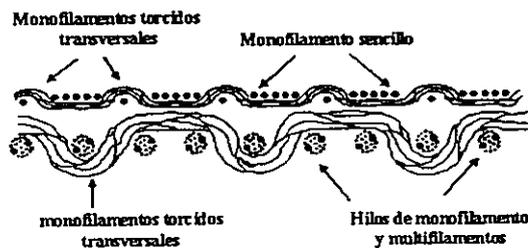


Figura 19. Nuevo diseño del fieltro laminado

- + Se continua termofijando a tensión contante.
- + Se cambia el velo superficial a fibras de denier 3.

Las características finales del nuevo diseño de fieltro laminado fueron:

- + Fieltro laminado de dos capas
- + Permeabilidad al aire de 20 cfm
- + Espesor de 2.95 mm
- + Peso de 1348 g/m²
- + Relación velo-base de 46% velo, 54% base.
- + Volumen hueco de 1767 cm³.

4.5.5 Evaluación del nuevo diseño.

A las 8 horas de operación la velocidad era de 1150 m/min, a las 24 horas era de 1340 m/min sin problemas con el perfil de humedad y vacío en la prensa de 2.8 pulg Hg. A las 48 horas la velocidad fue de 1370 m/min y a los 4 días era 1450 m/min. Finalmente se logra el récord de velocidad, 1540 m/min con presión de vapor en el cilindro Yankee de 7.1 kg/cm² y un vacío en la prensa de succión de 4 pulg Hg. sin problemas de perfil de humedad. El fieltro es retirado a los 25 días por dañarse una orilla y momentos antes de su retiro mantenía una velocidad de 1504 m/min. Por lo resultados obtenidos con este fieltro fue solicitado un segundo fieltro con este diseño, éste permitió una velocidad de 1450 m/min y debido a que siguió mostrando bajos vacío en la prensa y en las cajas se decide incrementar la densidad de hilos longitudinales de la base superior a fin de permitir un mejor sello en las zonas con vacío. El tercer fieltro opera durante 26 días alcanzando una nueva velocidad récord de 1550 m/min. El cuarto fieltro nuevamente opera 26 días y también alcanza la velocidad de 1550 m/min de manera sostenida. El cliente decide que el fieltro laminado sea el fieltro estándar.

4.6. Análisis Económico.

Un sistema de control de costos consiste, principalmente, en hacer presupuestos y examinar las variaciones en los mismos, enfocándose en las áreas de alto costo. Aún cuando el costo de las vestiduras resulte insignificante con relación al valor de venta del papel producido juegan un papel importante desde el punto de vista energético.

Un estudio realizado en 1986 por Jaakko Poyry en fábricas modelo en Suecia, mostró que el costo principal en la manufactura del papel es la materia prima (60%) seguida de la energía (10%). El costo total de las vestiduras (telas de formación, fieltros y lonas secadoras) solamente representó el 2.2% del costo total de fabricación, o el 1.5% del valor de venta del papel.

En general, el costo de la remoción del agua se incrementa conforme la hoja avanza desde la caja de entrada hasta el enrollador. Entonces, el costo del drenado en la sección de formación es relativamente bajo, en el área de prensado es más significativo y el de secado representa uno de los mayores gastos en la producción del papel.

Durante mucho tiempo, la operación de los fieltros ha sido evaluada de acuerdo al número de días en máquina, la producción de papel obtenida y los problemas que durante su operación se presentaron; hoy en día, esta forma de evaluar no es del todo adecuada sobre todo si se considera que una eficiente remoción de agua en el prensado tiene un importante ahorro en la sección de secado.

Se reconoce que cada compañía papelera tiene sus propios métodos de costeo, por lo que los ejemplos que a continuación se encuentran están intentando solo ilustrar que en la evaluación de la operación de un fieltro debe incluirse análisis en términos económicos, por tal razón los costeos que se presentan pueden estar alejados del valor real actual.

Para los ejemplos consideremos los siguientes datos:

A	=	Producción promedio diaria	=	200 ton/día
B	=	Vida del fieltro	=	45 días
C	=	Tiempo de instalación	=	2 horas
D	=	Tiempo muerto por cada lavado	=	0.25 horas
E	=	Número de lavados	=	8
F	=	Total de tiempo muerto relativo al fieltro	=	2.75 horas
G	=	Eficiencia del secador	=	1.5 kg vapor / kg de agua evaporada
H	=	Consistencia a la salida de prensado	=	38.5%
I	=	Humedad del papel en el enrollador	=	4.8%

Por otra parte consideremos los siguientes costos:

N	=	Precio del fieltro	=	\$ 6000 USD
O	=	Costo del tiempo muerto	=	\$ 2000 USD/hora
P	=	Costo de los productos químicos	=	\$ 60 USD/día
Q	=	Costo del vapor	=	\$ 8 USD/1000 kg vapor
R	=	Costo de mantenimiento	=	\$ 0.21 USD/ton
S	=	Costo del agua	=	\$ 0.23 USD/ton
T	=	Costo de energía eléctrica	=	\$ 0.60 USD/ton

4.1 Ejemplo 1

Utilizando los datos anteriores se determinará el costo de manufactura del papel considerando solamente la sección de prensado y su influencia en la sección de secado.

1. Costo del fieltro.

$$CF = \frac{N}{(A * B)} = \frac{6000}{(200 * 45)} = \$ 0.67 \text{ USD} / \text{ton}$$

2. Costo de instalación.

$$CI = \frac{(O * C)}{(A * B)} = \frac{(2000 * 2)}{(200 * 45)} = \$ 0.44 \text{ USD} / \text{ton}$$

3. Costo de los productos químicos de limpieza referidos a la producción.

$$CQ = \frac{P}{A} + \left(\frac{O \cdot D \cdot E}{A \cdot B} \right) = \frac{60}{200} + \left(\frac{(2000 \cdot 0.25 \cdot 8)}{(200 \cdot 45)} \right) = \$ 0.74 \text{ USD / ton}$$

4. Costo por mantenimiento.

$$CM = \$ 0.21 \text{ USD / ton}$$

5. Costo del agua.

$$CA = \$ 0.23 \text{ USD / ton}$$

6. Costo por pérdida de producción.

$$CP = \frac{O \cdot F}{A \cdot B} = \frac{(2000 \cdot 2.75)}{(200 \cdot 45)} = \$ 0.61 \text{ USD / ton}$$

7. Costo de energía eléctrica.

$$CE = \$ 0.60 \text{ USD / ton}$$

El costo total en la remoción de agua en la sección de prensado:

$$\begin{aligned} CR &= CF + CI + CQ + CM + CA + CP + CE \\ &= 0.67 + 0.44 + 0.74 + 0.21 + 0.23 + 0.61 + 0.60 \\ &= \$ 3.5 \text{ USD / ton} \end{aligned}$$

A continuación se evaluará la sección de secado.

8. Demanda de vapor

Una consistencia de 38.5% corresponde 1.6 kg_{agua}/kg_{fibra} y una humedad del papel en el enrollador de 4.8% corresponde 0.05 kg_{agua}/kg_{fibra}.

$$DV = G \cdot (H - I) = 1.5 \cdot (1.6 - 0.05) = 2.325 \text{ kg}_{\text{vapor}} / \text{kg}_{\text{papel}}$$

9. Costo de vapor referido a la producción.

$$CV = DV \cdot Q = 2.325 \cdot 8 = \$ 18.6 \text{ USD / ton}$$

Nuevamente se puede comprobar que la remoción de agua en la sección de prensado es más barato que en la sección de secado, en el ejemplo la relación fue de

$$\frac{CV}{CR} = \frac{18.6}{3.5} = 5.314 \quad \text{o sea} \quad 5:1$$

El costo total en este ejemplo es:

$$CT = CR + CV = 3.5 + 18.6 = \$ 22.1 \text{ USD / tonelada de papel}$$

Este valor puede ser monitoreado en la evaluación final de los feltros, o bien, ajustando los valores de algunas variables se puede hacer una evaluación y seguimiento diario como puede verse en la siguiente figura.

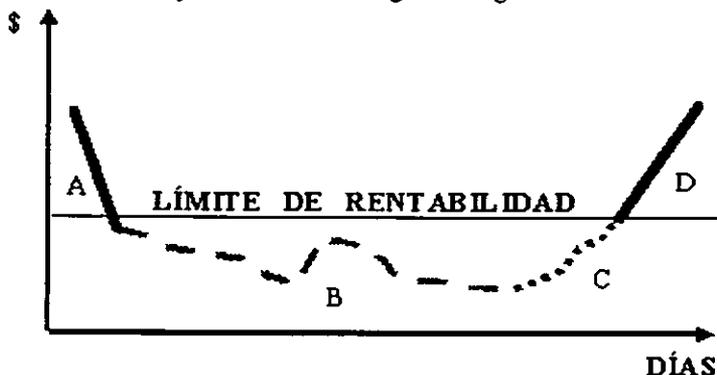


Figura 20. Gráfico de días vs costo

En la figura 20, la zona A ilustra el efecto del cambio de fieltro, pues al inicio la velocidad es menor o hay un mayor consumo de vapor, pudiera presentarse la situación que durante ese período el costo de manufactura referido a la sección de prensado y su influencia en la sección de secado sea superior al valor límite de rentabilidad debido a velocidad muy baja con alto consumo de vapor y un alto porcentaje de papel rechazado. Comúnmente el papelerero solicita a su proveedor de fieltros que este período de acondicionamiento sea lo más breve.

La línea que representa al límite de rentabilidad puede ser determinada inicialmente a través de datos referenciales y posteriormente por valores reales obtenidos de evaluaciones de fieltros.

Una vez acondicionado el fieltro se puede tener una curva estable por debajo del límite de rentabilidad como muestra la zona B, sin embargo por problemas de operación la curva no sería muy uniforme y existirían puntos por encima del límite de rentabilidad.

La zona C ilustra cuando la operación del fieltro origina incrementos en los costos, y aun cuando se mantiene por debajo del límite de rentabilidad, se observa la tendencia a incrementarse. Este tipo de información puede ser útil a fin de programar oportunamente el cambio del fieltro.

Por último, la zona D representa que los costos están por encima del límite de rentabilidad, debido a que el fieltro ya no está operando eficientemente en la remoción de agua y cada día es más caro mantener ese fieltro en operación que instalar uno nuevo.

4.2 Ejemplo 2

En éste consideremos las mismas condiciones del ejemplo anterior, pero donde un nuevo diseño de fieltro fue instalado, y se desea establecer si hay beneficios económicos a pesar de que el nuevo fieltro tuvo un incremento en el precio del 50% por lo que ahora su valor será de \$ 9000 USD y se logró incrementar la consistencia a 40% a la salida de la sección de prensado (1.5% más que en el ejemplo anterior). Todos los demás datos permanecen constantes, o sea no más días de vida ni un kilogramo de papel más de producción.

Antes de iniciar se cuestiona ¿se aceptaría la compra de este nuevo diseño de fieltro bajo las condiciones arriba señaladas?, ¿es justificable el precio del fieltro?

1. Costo del fieltro.

$$CF = \frac{N}{(A \cdot B)} = \frac{9000}{(200 \cdot 45)} = \$ 1.0 \text{ USD / ton}$$

Comparativamente con el ejemplo anterior, hay un incremento de \$ 0.33 USD/ton.

2. Costo de instalación.

$$CI = \frac{(O \cdot C)}{(A \cdot B)} = \frac{(2000 \cdot 2)}{(200 \cdot 45)} = \$ 0.44 \text{ USD / ton} \quad (\text{el mismo})$$

3. Costo de los productos químicos de limpieza referidos a la producción.

$$CQ = \frac{P}{A} + \left(\frac{O \cdot D \cdot E}{(A \cdot B)} \right) = \frac{60}{200} + \left(\frac{(2000 \cdot 0.25 \cdot 8)}{(200 \cdot 45)} \right) = \$ 0.74 \text{ USD / ton} \quad (\text{el mismo})$$

4. Costo por mantenimiento.

$$CM = \$0.21 \text{ USD/ton} \quad (\text{el mismo})$$

5. Costo del agua.

$$CA = \$0.23 \text{ USD/ton} \quad (\text{el mismo})$$

6. Costo por pérdida de producción.

$$CP = \frac{(O \cdot F)}{(A \cdot B)} = \frac{(2000 \cdot 2.75)}{(200 \cdot 45)} = \$0.61 \text{ USD/ton} \quad (\text{el mismo})$$

7. Costo de energía eléctrica.

$$CE = \$0.60 \text{ USD/ton} \quad (\text{el mismo})$$

El costo total en la remoción de agua en la sección de prensado:

$$\begin{aligned} CR &= CF + CI + CQ + CM + CA + CP + CE \\ &= 1.0 + 0.44 + 0.74 + 0.21 + 0.23 + 0.61 + 0.60 \\ &= \$3.83 \text{ USD/ton} \end{aligned}$$

El costo total en la sección de prensado resulto ser más alto al obtenido en el ejemplo anterior como resultado del incremento del precio del fieltro, o sea, hasta el momento no hay ningún beneficio.

Evaluación de la sección de secado.

8. Demanda de vapor

Una consistencia de 40% a la salida de la sección de prensado corresponde a 1.5 kg_{agua}/kg_{fibra}.

$$DV = G \cdot (H - I) = 1.5 \cdot (1.5 - 0.05) = 2.175 \text{ kg}_{\text{vapor}} / \text{kg}_{\text{papel}}$$

Se requiere una demanda de vapor menor, ya que hay menos agua por evaporar a una consistencia de 40% que a 38.5%.

9. Costo de vapor referido a la producción.

$$CV = DV \cdot Q = 2.175 \cdot 8 = \$17.4 \text{ USD/ton}$$

Se logró obtener un ahorro de \$ 1.2 USD/ton comparativamente con el valor obtenido en el ejemplo 1.

El costo total en este ejemplo es:

$$CT = CR + CV = 3.83 + 17.4 = \$21.23 \text{ USD / tonelada de papel}$$

Por lo que el ahorro neto es la diferencia entre los costos totales:

$$Ahorro = \$22.1 \text{ USD / ton} - \$21.23 \text{ USD / ton} = \$0.87 \text{ USD / ton}$$

Considerando la producción promedio y el número de días de vida del fieltro, se tiene el ahorro total de:

$$\begin{aligned} \text{Ahorro total} &= (A * B * \text{Ahorro}) = (200 * 45 * 0.87) \\ &= \$7,830 \text{ USD} \end{aligned}$$

Finalmente hubo una utilidad de \$ 7830 USD aún cuando el fieltro costó 50% más, por lo que el precio del nuevo diseño de fieltro está justificado.

4.3 Ejemplo 3

Existen posiciones de difícil instalación, inseguras, problemáticas o de gran longitud que son muy laboriosas, por ejemplo una posición inferior de una máquina de multicilindros, en donde se tienen que mover muchos elementos, en ellas se necesita de mucho tiempo para instalar un fieltro, hay posiciones que requieren de 10 a 12 horas.

De acuerdo a lo inicialmente señalado, consideremos que el único beneficio con un moderno fieltro con costura sea la rápida instalación. Utilicemos los datos del ejemplo 1 para analizar el beneficio económico que representa tener un fieltro de rápida y fácil instalación, inicialmente consideremos que el fieltro estándar tiene un costo de \$ 6000 USD y tiempo de instalación de 8 horas, y se optó por un fieltro con costura cuyo costo es 50% más caro, \$ 9000 USD, y tiempo de instalación de 3 horas.

Nuevamente se cuestiona, ¿es justificable el precio del fieltro?

Fácilmente se puede conocer el beneficio de utilizar este fieltro, pues la diferencia de tiempo utilizado en la instalación es de 5 horas y considerando el dato

del ejemplo 1 respecto al costo del tiempo muerto, \$ 2000 USD/hora, el beneficio sería :

$$\begin{aligned} \text{Ahorro} &= \text{ahorro de tiempo} * \text{costo del tiempo muerto} = 5 * 2000 \\ &= \$ 10,000 \text{ USD} \end{aligned}$$

Y ya que se tuvo que invertir \$ 3000 USD más en el nuevo fieltro, entonces :

$$\text{Beneficio neto} = \$ 10,000 \text{ USD} - \$ 3,000 \text{ USD} = \$ 7,000 \text{ USD}$$

Este último resultado justifica el precio del nuevo fieltro.

Los constructores de máquinas han discutido de algún tiempo atrás la posibilidad de construir una sección de prensas "Cantilever" como la sección de formación. Esto permitiría el cambio del fieltro y el uso de diseños rígidos y de alto peso, sin embargo el surgimiento de los fieltros con costura los orilló a cancelar este proyecto, por lo que la sección de prensas podría ser hecha más simple, más estable y más barata en nuevas máquinas y solo usar fieltros con costura.

El beneficio de los nuevos diseños que permitan una mayor eficiencia operacional y ahorros o costos de manufactura más bajos, no están enfocados a las más modernas y recientes máquinas, sino a todas las que actualmente están en operación, para ello las compañías papeleras deben permitir la evaluación y optimización de los nuevos diseños de fieltros de acuerdo a las condiciones específicas de la máquina y posición donde se instalará.

5. Discusión.

La importancia del papel y de los productos papeleros en la vida moderna es tal que incluso hay una elevada correlación entre la renta per capita (un índice del poder económico de los habitantes de un país) y el consumo per capita de papel; además la industria del papel es un sector que proporciona empleo a un gran número de personas; en México está constituida por 66 plantas de producción ubicadas en 18 estados de la república, da empleo en forma directa a unas 30,000 personas y a su alrededor hay otras industrias que emplean a muchas más, sin embargo la firma del tratado de libre comercio con Canadá y Estados Unidos está afectando negativamente a la industria papelera mexicana, ya que los productos de este sector están exentos de aranceles, por lo tanto la competencia será difícil si México no realiza inversiones para poner su industria al mismo nivel de competitividad, así mismo demanda de mano de obra calificada para afrontar con éxito las necesidades de los mercados cambiantes y cada vez más sofisticados como consecuencia de los avances tecnológicos y de la globalización económica.

Un egresado de la área de Química o Ingeniería Química tiene las suficientes herramientas en el ámbito de la química que permiten el desarrollo profesional en un amplio campo de acción de esta disciplina y así comprender los procesos mecánicos, químicos y fisicoquímicos de la fabricación del papel, por lo que puede desempeñarse profesionalmente con éxito dentro de esta industria o bien laborando en las compañías proveedoras de la industria del papel, como es el caso de la industria manufacturera de vestiduras para máquinas de papel. En caso de desempeñarse como Diseñador tendrá más facilidad para interpretar estos aspectos que son muy propios de su formación profesional.

Desafortunadamente para los egresados de las áreas de Química e Ingeniería Química el acceso a ser Diseñador en México es un tanto limitado ya que en nuestro

país no hay muchas empresas manufacturando fieltros para las máquinas de papel, pero existen muchos proveedores de éstas a través de representantes que deben entender y transmitir las necesidades de los fabricantes de papel hacia sus plantas productoras ubicadas en otros países.

El desarrollo profesional desde supervisor de producción hasta alcanzar la actual posición como Diseñador Senior ha requerido de una constante capacitación, unas veces proporcionada por la empresa, otras por iniciativa propia y otras dada por las mismas circunstancias (experiencias). Cada conocimiento adquirido ha significado la oportunidad de:

- + Viajes de capacitación para adquirir o intercambiar conocimientos.
- + Interrelacionar con profesionales de otras áreas, estableciendo una buena comunicación para realizar un trabajo en equipo.
- + Presentar ponencias técnicas, la simple preparación de éstas obliga a tener claros los conocimientos que se desean transmitir

Aunando a la formación profesional y a la experiencia laboral, el perfil de un Diseñador como responsable de la creación del diseño de una vestidura adecuada a los requerimientos de una máquina de papel debe tener las siguientes características:

- + Creatividad, inventiva, iniciativa para que con base en la experiencia dar origen a nuevos diseños o bien adecuar los existentes.
- + Ser minucioso para realizar un completo análisis de la información.
- + Ser empático para comprender los problemas tanto del fabricante de papel como de sus propias áreas de producción.
- + Y aun cuando su figura sea técnica debe crear un lenguaje oral y escrito comercial para dar a entender con facilidad los conceptos técnicos del diseño de una vestidura.

En recientes años la tecnología de los fieltros se ha desarrollado en forma acelerada, es por ello que la construcción de éstos ha llegado a ser muy compleja pero con la finalidad de satisfacer necesidades o cumplir requerimientos de las condiciones de las máquinas de papel; todos los nuevos diseños han sido producto de

mentes creativas que tienen una óptima comprensión de los procesos o incidentes en la fabricación del papel.

Muchas veces ha sucedido que la creación de un nuevo concepto en el diseño de filtros surja de los centros de Investigación y Desarrollo, pero la aplicación de este nuevo concepto es realmente una nueva creación, al tener que adaptar esa nueva tecnología en filtros a las condiciones específicas que demanda la máquina de papel y el responsable de esa nueva creación es el Diseñador. La adaptación de un nuevo diseño es un constante reto en cada máquina o posición pues cada una tiene sus propias condiciones mecánicas, químicas y fisicoquímicas, por ello se ha mencionado que aun cuando la fabricación de un filtro tiene procesos textiles y la aplicación final en la sección de prensado es principalmente un proceso mecánico, la creación del diseño requiere de amplios conocimientos en el área de química, y por ello hay preferentemente personas de esta área desempeñándose como Diseñadores.

Por último, es más que necesario mencionar que la opción de titularse a través de una memoria de desempeño profesional es una magnífica oportunidad para quienes se han ido desarrollando en la industria y ya no tienen tiempo suficiente para realizar una tesis tradicional. Así también a través de esta opción se puede facilitar información de labores que son desconocidas o no ampliamente difundidas pero que son campos de desarrollo profesional.

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

6. Conclusiones.

1. Las modificaciones al igual que las nuevas tecnologías en la industria del papel en los últimos años ha tenido un fuerte impacto en los fieltros. La necesidad de una mejor calidad de hoja y una más alta eficiencia de máquina ha forzado a los fabricantes de fieltros a desarrollar nuevos productos que mejor cumplan los requerimientos de la industria.
2. En recientes años, la industria de los fieltros ha desarrollado muchísimos diseños que están disponibles para los fabricantes de papel. El desarrollo de diferentes polímeros para alcanzar una mayor resistencia y durabilidad en los hilos de monofilamentos y multifilamentos deberá reforzar esta tendencia
3. El desarrollo de fieltros con costura es uno de los más impactantes diseños, al romper el paradigma de que una diferencia en el cuerpo origina problemas de calidad en la hoja, la tecnología desarrollada ha evitado ésto y ha permitido una rápida y fácil instalación reduciendo los tiempos muertos por instalación.
4. No existen mayores diferencias entre los fieltros diseñados para máquinas que usan fibra secundaria comparativamente con aquellas con fibra virgen respecto a manejo de agua y funciones de transporte, sin embargo la resistencia a la obturación es la clave en la aplicación.
5. El desarrollo tecnológico en la sección de prensado ha ocurrido conforme al entendimiento de los fenómenos en el nip, ayudado por la evolución de la tecnología de los fieltros; está ha permitido grandes mejoras en la operación, eficiencia y control del prensado aun cuando el principio básico de la remoción del agua sea el mismo. Sin embargo existen tendencias que pueden cambiar los principios fundamentales de la sección de prensado, existiendo la posibilidad

de un revolucionario paso en el cual no se pueda distinguir entre las operaciones de prensado y secado.

6. La operación de las máquinas de papel varía ampliamente de compañía a compañía e incluso de máquina a máquina, por lo que la eficiencia de éstas depende de muchos y variados factores, entre todos ellos se encuentran los filtros. El verdadero costo de los filtros no debe referirse al precio pagado; para conocerlo se deben tomar en cuenta todos los costos relacionados con la máquina, tales como el consumo de energía, calidad del papel y tiempos muertos asociados con la instalación y operación de la vestidura.
7. En muchos casos la eficiencia de la máquina puede ser mejorada sin grandes inversiones, para ello hay que cuidar detalles tales como:
 - + Mantenimiento preventivos programados.
 - + Reducción de los tiempos muertos.
 - + La buena operación de los sistemas de limpieza y vacío.
 - + Mayor consistencia de la hoja de papel a la salida del prensado.
 - + Hacer uso de los avances tecnológicos.
8. Hay muchas oportunidades para mejorar la operación de la máquina de papel, el enfoque es cuidar aquellos procesos que incidan en mayor porcentaje en los costos.
9. Sobre los futuros cambios de tecnología solo podemos especular en este momento, únicamente estamos seguros que la calidad, la eficiencia y la economía dictará una rápida introducción de nuevas tecnologías para mantener una industria de papel saludable, por ello se cree que las máquinas continuarán siendo diseñadas para alcanzar una productividad y velocidad cada vez mayores. Las temperaturas arriba del punto de ebullición del agua serán comunes en la sección de prensado para aumentar al máximo la remoción y la consolidación de la hoja de papel. La materia prima se constituirá de fibra reciclada y se crearán muchos aditivos químicos obligando a un mejor control

y conocimiento de la química del proceso de fabricación del papel. Estos cambios paulatinos principalmente en los procesos químicos y fisicoquímicos obligará a los fabricantes de vestiduras a crear nuevos diseños que se vayan ajustando a las nuevas necesidades.

10. Las memorias de desempeño profesional independientemente de ser una opción de titulación, también proporcionan detalles sobre actividades de desarrollo profesional, por lo que se desea que esta memoria genere un interés por la industria de papel, considerando que solamente existe una materia (optativa) enfocada a esta industria dentro del plan de carrera para Químicos e Ingenieros Químicos de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán.

Bibliografía

- 1.- Smook Gary A
Manual para Técnicos de Pulpa y Papel
Primera edición
Tappi Press
1990
Estados Unidos de América

- 2.- Libby C. Earl (editor)
Ciencia y Tecnología sobre Pulpa y Papel
Tomo I: Pulpa
Primera edición
Cia. Editorial Continental, S.A.
1984
México

- 3.- Libby C. Earl
Ciencia y Tecnología sobre Pulpa y Papel
Tomo II: Papel
Primera edición
Cia. Editorial Continental, S.A.
1982
México

4. Tappi 1992 Technical Information Sheets
Volume 2, Series 0400, Engineering Division
Tappi press
1987
Estados Unidos de América

5. Casey James P. (compilador)
Pulpa y Papel. Química y tecnología química
Volumen I y II
Primera edición
Editorial Limusa
1991
México

6. Porter Mary K. (editor)
Paper Machine Felts and Fabrics
Primera edición
Albany International
1976
Estados Unidos de América

7. Rodillos de Prensa y Recubrimiento de Rodillos
Información Técnica de Nordiskafilt
Prensado 2:1 E
Nordiskafilt
1988
Suecia

8. Killeen Allen J.
The Dri Press Concept. Application Review and Analysis
Stowe Woodward Co.
Estados Unidos de América

9. Nelson John P.
Principles of Press Water Removal and their Application
XXVII Reunión Anual
ATCP
1987
México

10. Radike Michael A.
Shoe Pressing for Paper Grades
79th Annual Meeting,
Technical Section, CPPA
Estados Unidos de América

11. Wicks Laurie D.
Press Design Review. Practical Aspects of Pressing and Drying
Technical Association of the Pulp and Paper Industry
Estados Unidos of América

12. Liu Thomas J.
Press felts - Description & Use. Practical Aspects of Pressing and Drying
Technical Association of the Pulp and Paper Industry
Estados Unidos de América

13. Paulapuro H. y Nordman L.
Wet Pressing: History and Future Trends
Pulp & Paper Canada
1991
Canadá

14. Liu Thomas J.
A Peek into New Generation Press Fabrics
for Future Papermachine Press Sections
Papermakers conference Tappi
1994
Estados Unidos de América

15. Diaz-Kotti Michelle
Future Monofilaments Trends for Papermaker Fabrics
Hi-Tech Textiles Exhibition & Conference
1993
Estados Unidos de América

16. Bongers Cynthia R., Normandin Lionel, McAlister J. Todd
Monitoring Machine Clothing Through Analysis of Returned Samples
Volume 43 No 10-11
Albany International Fabric Facts
Estados Unidos de América

17. Armen Renjillian
Recycled Fiber Usage and its Effects on Press Fabrics
Volume 41 No 1-8
Albany International Fabric Facts
Estados Unidos de América

18. Perry J. W.
Nylon 66 and Nylon 6
Industrial Fibers Marketing
1987
Estados Unidos de América

19. Davenport Francis L.
Pressing Fundamentals
Presentation at UMO Summer Institute
1992
Estados Unidos de América

20. Lewyta John and Geoghegan Paul
Recent Developments in Paper Machine Clothing: Wet Felts
Tappi Journal
1987
Estados Unidos de América