

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA

TEORIA Y APLICACION DE LA TRANSFERENCIA
DE CALOR EN LA SECCION DE SECADO DE LAS
MAQUINAS DE PAPEL

JUAN MANUEL ALVAREZ CASTRO

INGENIERO QUIMICO

México, D. F.

1978



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.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

TESIS 1978
CLAS _____
NO M. 28 28
SCHA _____
PROG _____



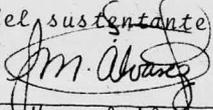
QUIMICA ORGANICA

JURADO ASIGNADO
ORIGINALMENTE,
SEGUN EL TEMA.

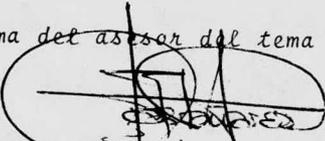
PRESIDENTE : Adalberto Tirado Arroyoave.
VOCAL : Mario Guevara Vera.
SECRETARIO : Jorge A. Castañares Alcalá.
1er. SUPLENTE : Antonio Frías Mendoza.
2do. SUPLENTE : Alfonso Franyutti Altamirano.

Sitio en donde se desarrolló el tema : Laboratorios Nacionales
de Fomento Industrial y Universidad Nacional Autónoma de México.

Nombre completo y firma del sustentante :


Juan Manuel Álvarez Castro

Nombre completo y firma del asesor del tema :


Jorge Alberto Castañares Alcalá

- 1.- ANTECEDENTES Y OBJETIVOS.
- 2.- GENERALIDADES DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR.
 - 2.1.- *Conceptos de energía.*
 - 2.2.- *Conceptos básicos de la transferencia de calor.*
 - 2.3.- *Enunciados y aplicaciones de algunas leyes o teorías.*
- 3.- DESCRIPCION DE LOS DIFERENTES TIPOS DE SECADO EN LAS MAQUINAS DE PAPEL (*Fourdrinier, Yankee, M.G., Lonas secadoras, etc.*)
- 4.- EFECTO DEL SECADO EN LA ESTABILIDAD DIMENSIONAL Y LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DEL PAPEL.
- 5.- PROYECCION AL FUTURO DE LA SECCION DE SECADO.
- 6.- ANALISIS GENERAL.
- 7.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.
- 8.- GLOSARIO.
- 9.- BIBLIOGRAFIA.

CAPITULO I

1.- ANTECEDENTES Y OBJETIVOS.-

A través del tiempo, la industria de la celulosa y del papel, se ha visto en la necesidad de superarse y volverse más eficaz; en nuestros días, la industria papelera se esfuerza por proyectarse al futuro, para cubrir las necesidades y exigencias del mundo moderno.

Hemos observado las transformaciones de todas las secciones y equipos de las máquinas de papel en sus diferentes tipos, para su mejor y más rápido funcionamiento, sin embargo, esta mos conscientes que algunos tipos de máquinas están casi en la obsolescencia, no por mal funcionamiento, sino por su len titud que, en nuestra exigente vida, no produce lo suficiente y variado de la demanda.

La sección de secado en la máquina de papel es sumamente importante, pues aunque en ella no se elimina más del 2% de la humedad que trae la pasta al llegar a la banda sínfin, si in fluye directamente y en forma determinante en la calidad del papel, que debe salir con una humedad específica ideal.

Además, debemos tener en cuenta, para conocer la importancia de esta sección, que ella representa no menos de la tercera parte de la inversión total de la máquina de papel, independientemente de los costos de mantenimiento; por lo tanto, es de gran interés y preocupación el que esté funcionando normal y eficazmente.

Los objetivos a enfocarse y discutirse directamente en este trabajo, son :

- a) Análisis y estudio de la transferencia de calor en la sección de secado de las máquinas de papel.

- b) *Qué tipos de secado existen y cuáles son sus variantes.*
- c) *Cuál es el fundamento de su funcionamiento.*
- d) *Cuál es su uso específico en la producción de los diferentes tipos de papel.*
- e) *Forma como se ha ido mejorando esta sección de unas a otras máquinas, a través del tiempo*

CAPITULO II

2.- GENERALIDADES DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR.-

La transferencia de calor está relacionada con la razón de intercambio de calor entre cuerpos calientes y fríos, llamados "Fuente" y "Receptor".

Se conoce a la transferencia de calor, como el estudio de las velocidades a las cuales el calor se intercambia entre "fuentes" de calor y "receptores", tratados usualmente en forma independiente. Los procesos de transferencia de calor se relacionan con las razones de intercambio térmico, tales como los que ocurren en equipo de transferencia de calor, tanto en Ingeniería Mecánica como en los procesos químicos. Este enfoque realza la importancia de las diferencias de temperatura entre la "fuente" y el "receptor", lo que es, después de todo, el potencial por el cual la transferencia de calor se lleva a efecto.

Puesto que la transferencia de calor se considera un intercambio en un sistema, la pérdida de calor por un cuerpo deberá ser igual al calor absorbido por otro, dentro de los confines del mismo sistema.

2.1.- CONCEPTOS DE ENERGIA.-

Las propiedades de un objeto en movimiento, difieren de las que presenta cuando se encuentra en reposo. Esta diferencia se manifiesta en los movimientos de los cuerpos, así como en la capacidad de los mismos para producir trabajo, el cual se define como "La acción de una fuerza motriz a través de una distancia". En la misma forma, encontramos que las propiedades de una barra metálica al rojo, son muy diferentes que cuando se encuentra fría y, además, tenemos que una y otra forma -

afectan de manera muy distinta a los ojos y al tacto. Estos son también dos casos en que se manifiesta la energía en forma distinta.

Otra definición de energía es : "La medida de la capacidad para realizar trabajo".

La estrecha relación entre energía y trabajo, se manifiesta al observar la forma en que ambos conceptos utilizan las mismas unidades para definirse : Ergs en el Sistema CGS y Joules en el Sistema MKS.

La energía generalmente se clasifica en las siguientes formas :

- a) ENERGIA POTENCIAL.- En esta clasificación se incluyen todas las formas no asociadas con el movimiento puro, que resulta de la posición y el arreglo de la materia. La energía que posee un cuerpo elevado, un resorte comprimido, una batería cargada, un volumen de gasolina, etc., son casos específicos de energía potencial. También tenemos que en un átomo existe energía potencial, debido a las fuerzas de atracción y repulsión entre las partículas internas del átomo; de esto podemos concluir que tenemos dos clases de energía potencial, la Externa, que es inherente a la materia como un resultado de su posición relativa a la tierra y, la Interna, que reside exclusivamente en la estructura de la materia.
- b) ENERGIA CINETICA.- A diferencia de la anterior, ésta se encuentra íntimamente ligada al movimiento; como ejemplo de ella tenemos : el flujo de un río, la rotación de un molino, cualquier cuerpo en caída libre, etc. De la misma forma, las moléculas individuales poseen energía cinética, en virtud de sus movimientos de traslación, rotación y vibración. Al igual que la anterior, ésta también se sub-divide en Interna, cuando se asocia con la estructura

ra molecular atómica y, Externa, cuando se asocia con el movimiento externo.

Como podemos observar, la energía cinética interna de una substancia, depende únicamente de su estado, o sea, de su temperatura, volumen, forma cristalina, etc.

Otras formas diferentes de energía, son : La electricidad, magnetismo y radiación, las cuales están asociadas con los fenómenos electrónicos.

La ciencia que trata el estudio sobre las transformaciones de la energía, en una forma u otra, se le denomina "TERMODINAMICA". Desde los primeros estudios de las transformaciones de energía, se llegó a la conclusión de que, aunque pueden transformarse de una a otra forma, la energía nunca se crea ni se destruye y, además, es -- constante en el universo. Este principio de conservación de la energía, es lo que conocemos como "Primera Ley de la Termodinámica".

2.2.- CONCEPTOS BASICOS DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR.-

La energía puede ser transferida no sólo de una forma a otra, sino también de un agregado de materia a otro, sin cambio de forma.

La transformación de la energía de una forma a otra, o la transferencia de energía de un cuerpo a otro, requiere siempre de la influencia de una "fuerza directora", por ejemplo : Si un metal caliente se coloca en contacto con uno frío, el primero es enfriado y el segundo es calentado, hasta lograr el equilibrio.

La "fuerza directora" o vector directriz que produce una transferencia de energía interna, se le denomina "temperatura"; y la forma de energía que se transfiere de un cuerpo a otro, como resultado de una diferencia de temperatura, se le llama : calor.

El concepto de TEMPERATURA es sugerido por nuestras percepciones sensoriales; podemos determinar si dos sistemas se encuentran en la misma temperatura, poniéndose en contacto y observando si ocurren cambios mensurables en las propiedades de ambos sistemas. Si no ocurren cambios, eso nos indica que están a la misma temperatura.

El concepto CALOR, es una indicación de la energía interna de la materia.

En el sentido general, la capacidad calorífica se define como la cantidad de calor requerida para incrementar la temperatura de una sustancia en un grado.

CALOR ESPECIFICO es la relación de la capacidad calorífica de una masa igual de agua.

Todos estos conceptos que hemos analizado sin profundizar demasiado, tanto en su definición como su desarrollo o presentación, se mencionan únicamente para tenerlos presentes y comprender mejor el tema de transferencia de calor en la sección de secado que se analiza en el presente trabajo.

Veamos ahora dos conceptos muy sencillos pero sumamente interesantes :

TRANSFERENCIA.- Este concepto nos indica el paso o la transición de un objeto que sufre un desplazamiento.

GRADIENTE.- El fenómeno de transferencia ocurre en la naturaleza, causado por la existencia de un gradiente; en esta palabra se encierra el concepto de una fuerza operativa o producto del desplazamiento observado en la transferencia. Así encontramos que en la caída de un objeto, el fenómeno de la transferencia es causado por un gradiente denominado "fuerza de gravedad".

En la misma forma, se lleva a cabo la transferencia de calor, si tenemos dos puntos a diferente temperatura, se establece entre ellos un potencial térmico que produce el gradiente y, a su vez,

Éste causa la transmisión de energía calorífica.

2.3.- ENUNCIADOS Y APLICACIONES DE ALGUNAS LEYES O TEORIAS.-

Entre las principales leyes que encontramos dentro de la - transferencia de calor y enfocada directamente a la energía, encontramos, como lo habíamos explicado, la "Primera Ley de la Termodinámica", que expresa :

"La energía no se crea ni se destruye, únicamente se transforma, siendo una cantidad constante la que existe en el Universo".

Esta Ley nos es muy útil, cuando deseamos hacer un balance de energía de cualquier sistema.

Otra ley sumamente importante dentro de la transferencia de - calor, es la Ley de Fourier y que, expresada como ecuación, se tiene :

$$q = - k A dt/dl \quad \text{[calor/tiempo]}$$

pudiendo enunciarla así : "La cantidad de calor transmitida es directamente proporcional al área de transferencia (A) y a - la diferencia de temperaturas, (dt) e inversamente proporcional al espesor de la pared (dl).

En sí, esta ley nos indica la velocidad de transmisión térmica por conducción, a través de un área A, de cualquier material - homogéneo.

Tenemos otras leyes relacionadas con el calentamiento por resistencia eléctrica que, en muchos casos, este calentamiento puede

hacerse operar más eficientemente que la transferencia de calor por medio de un fluido, particularmente en operaciones - por lotes. En el caso de la sección de secado, puede incluirse este tipo de calentamiento, aunque hasta ahora el vapor es el medio más económico.

Las leyes que gobiernan el calentamiento de las resistencias eléctricas, despreciando el efecto de la resistencia en el circuito, son las más simples en física elemental. Estas son : La Ley de Ohm; $I = ER$ y la de Joule, $P = E.I.$, donde I es la corriente en amperes, E el voltaje, R la resistencia en Ohms, y P la potencia en watts.

Por medio de estas leyes podemos conocer la cantidad de calor disponible que, como máximo, podemos tener aquél en el que toda la corriente producida es disipada.

CAPITULO III

3.1.- DESCRIPCION DE LOS DIFERENTES TIPOS DE SECADO EN LAS MAQUINAS DE PAPEL (Fourdrinier, Yankee, M.G., lonas secadoras, etc.)

DEFINICION DE SECADO.- La eliminación de la humedad de cualquier cuerpo o substancia, se le conoce como secado.

En esta misma forma, comunmente aplicado a la manufactura de cartón y papel, el término secado se refiere a la parte del proceso, en la cual el agua líquida es separada de la hoja, hasta los alrededores, únicamente por evaporación.

Los primeros fabricantes de papel, secaban la hoja quitándole el agua por medio de los rayos solares. Se aprovechaba el calor que por radiación proporcionaba el sol, y con esta energía se evaporaba el agua, siendo el viento natural el medio adecuado para desplazar el vapor.

Sin embargo, el tiempo no era siempre conveniente para el "secado externo" del papel, por lo tanto, el proceso de secado se modificó y se realizó en lugares cerrados, donde las hojas se secaban en anaqueles, llevando hasta ahí el aire que proporcionaba el calor de evaporación, sirviendo, a la vez, como transportador para eliminar el vapor creado.

Debido a los procesos de evaporación y prensado, desarrollados dentro de las operaciones continuas, el secado se convierte en un "cuello de botella", para incrementar la producción, por lo tanto, se hizo obviamente necesario un proceso continuo de secado que fuera lo suficientemente rápido para cubrir las necesidades.

Esta forma de secado, a elevadas temperaturas, incrementó el poder de secado; fué necesario usar cilindros calientes, rotatorios, para proveer el calor necesario y controlar la hoja en una operación continua. El calor se proporcionó por la superficie

caliente de los cilindros, y la atmósfera de los alrededores sirvió para acarrear la humedad. En esta forma, es como nació el secado.

3.2.- NECESIDAD DEL SECADO.- Normalmente, a la sección de seca do entrará el papel o cartón, conteniendo una humedad igual o menor a 0.1 Kgs. de agua por kilogramo de papel. Sin embargo, después del prensado la hoja contiene de uno a tres kilogramos de agua por kilogramo de papel, dependiendo de la máquina o del producto en particular; ya que este método ha sido desarrollado para reducir la humedad desde 0.1 Kgs. de agua por kilogramo de papel, cuando se tengan contenidos mayores de humedad, es necesario recurrir a un proceso de evaporación relativamente costoso.

La evaporación sirve para eliminar toda el agua de la hoja y, cualquier contenido de humedad inicial. Sin embargo, este proceso es práctico para evaporar solamente el agua que no puede ser separada por métodos baratos, tales como el prensado.

3.3.- FORMA DEL SECADO.- El secado de una hoja de papel se fundamenta en dos procesos básicos : Transferencia de calor y Transferencia de masa. El calor es transferido desde algunas fuentes, como por ejemplo, el vapor, hasta la hoja húmeda, con el fin de proveer la energía requerida para quitar dicha humedad de la hoja. La humedad es evaporada y, posteriormente, transferida de la hoja a los alrededores, por el proceso de transferencia de masa.

Para que sea económica la moderna manufactura de papel, la evaporación debe ser llevada a cabo, hasta un gran porcentaje, conforme a la calidad del producto.

El color es proporcionado a elevadas temperaturas, para proveer suficiente energía, obteniendo una rápida vaporización. En suma, la atmósfera a la cual la humedad es transferida, es tanto receptiva como práctica, para mantener dentro las presiones par-

ciales más bajas, de acuerdo con los requerimientos razonables de energía.

- 3.4.- MAYORES CARACTERISTICAS DEL SECADO.- La característica más importante del secado, es el alto costo relativo al prensado. En el diseño y acondicionamiento de equipo de una máquina de papel, el costo para eliminar incrementos de humedad por prensado, será comparado contra el costo de eliminación de humedad, mediante el secado por evaporación.
- Las prensas están operando normalmente en/o muy cerca de los límites de su capacidad. Para separar más agua por prensado, es necesario reemplazar la prensa por una de mayor capacidad. Esto está limitado solamente por el estado de tecnología en cualquier tiempo en particular, entonces, el costo del prensado por unidad de agua separada, es normalmente bajo, y se eleva cuando los límites de la capacidad de presión son grandes y, por lo tanto, se requiere reemplazar la prensa por una más eficiente. De otra manera, el costo de secado por unidad de agua separada, es alto, pero para cualquier situación particular, la utilización existente de capacidad de secado, puede ser temporalmente más barata que el método de presiones. Esto aparenta que cualquier cambio que pueda elevar la eficiencia de la presión sin que signifique deterioro de la calidad, es una inversión segura, si el costo por unidad de producción de este cambio, es más barato que el costo de secado por unidad de producción anterior.
- En la operación diaria de la producción de cualquier papel, lo que más afecta el costo de secado, es la humedad contenida en la hoja al entrar a los secadores. Con el fin de minimizar todas las operaciones de costos, es necesario mantener las prensas operando a la máxima eficiencia posible, de acuerdo con la calidad del producto.
- La calidad final del producto depende, en gran parte, del secado.

La uniformidad de la humedad en la hoja, por consiguiente, debe ser lo más perfecta posible. Si se permite que -- existan variaciones de humedad en la dirección de la máquina, se obtiene un producto inconsistente; aún más serias -- son las variantes de humedad en la dirección transversal de la máquina, las cuales contribuyen a multitud de defectos, como son : secado en exceso y no uniformidad de la tensión del papel, orillas de granado, variaciones en la medida de la velocidad, defectos de corte, y variaciones en habilidad de impresión; también cortes de secado, humedad ennegrecedora y terminado no-uniforme en la prensa, arrugas, corrugaciones y dureza desigual en la devanadora, desprendimientos de almas, diámetros variables del rodillo y densidad no uniforme en la devanadora; además de variaciones en la humedad a través del espesor de la hoja, pueden resultar ondulaciones y algunas formas de dobleces. Cuando se aplican fuerzas mecánicas a la hoja durante el -- secado, se afecta marcadamente la característica de resistencia a la tensión en la hoja terminada. Durante el secado en el cilindro, la hoja está bajo la tensión en la dirección de la máquina, debido a fuertes estiramientos y disminuciones de volumen en la hoja, también existe una pequeña cantidad de esfuerzo transversal que causa disminución -- de volumen, por resistencia a la fricción de los efectos -- transversales de los estiramientos en la dirección de la máquina. (Como una banda de hule encogida en lo ancho y extendida longitudinalmente, una hoja de papel angostada del ancho, debido a la tensión en la dirección de la máquina, si no se sujeta por la fricción del cilindro y las superficies del fieltro en contacto con la hoja). Secando la hoja en esta forma, generalmente aumenta la fuerza de la hoja, pero disminuyen estiramiento y flexibilidad de la misma. El secado con aire, contrario al secado con cilindros, no presenta tensión ni tirantéz en la hoja.

El encogimiento en todas direcciones, ocurre casi sin restricciones. Esta hoja exhibe un pequeño esfuerzo, pero un alto estiramiento y tenacidad, en el cilindro con la hoja seca. Sin embargo, a menos que el plegado pronunciado, el cual resulta de la formación imperfecta de la hoja, sea especialmente deseado, puede aplicarse una sujeción o restricción. Esto se hace normalmente con el uso de dos o más cilindros secadores, para traer la hoja a su contenido de humedad final.

3.5.- TEORIA DEL SECADO.- Contenido de humedad en la hoja.-

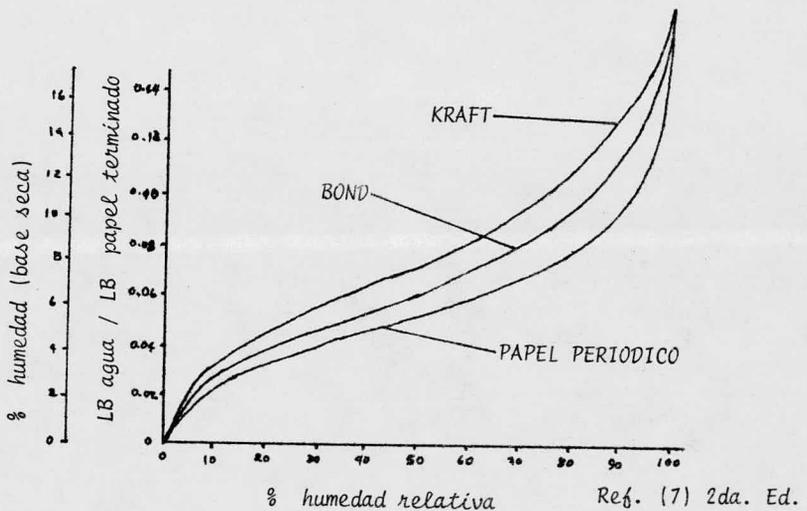
El papel y el cartón, en el acabado y durante el proceso de manufactura, contienen agua. A menos que la humedad de la hoja esté en equilibrio con la humedad de los alrededores, puede variar dicho contenido de humedad. Este equilibrio, - el cual es característico de los tipos de papel, ocurre desde las más normales características encontradas en un contenido de humedad menor que 0.1 Kgr. de agua por Kgr. de papel. La Figura No. 1, muestra las relaciones representativas de -- equilibrio para un número de papeles, aunque por simplicidad, sin los efectos de histéresis.

El agua puede estar presente en la hoja, en varias formas. Esta agua puede estar atada a la fibra, química o mecánicamente, como agua higroscópica. Puede estar, no en la fibra, sobre la superficie de las fibras, o atrapada en los inserticios de las mismas. El agua atrapada químicamente, está dentro de una hidratación de las moléculas de celulosa u otras substancias en el papel y, de necesidad, puede ocurrir en superficies expuestas de estas moléculas. El agua atrapada mecánicamente, se encuentra así porque hay espacios en las fibras y en la malla, donde el agua líquida es atrapada por las hojas principalmente, por fuerzas de tensión superficial.

El efecto de fijación química o mecánica, sirve para reducir la presión de vapor del agua atrapada, más abajo que la del agua libre. La humedad atrapada tiende a incrementar la falta de uniformidad de la pulpa, lo cual hace más difícil el secado.

FIGURA No. 1

EQUILIBRIO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DEL PAPEL



- 3.6.- MECANISMO DE SEPARACION DE AGUA.- La sección de secado de una máquina de papel, puede proveer a cada molécula de agua, de la energía necesaria para romper el enlace químico y/o mecánico, y vencer la resistencia a la fricción del

flujo del líquido, para cambiar del estado líquido a vapor, y vencer la resistencia al flujo de vapor y, algunas veces, inducir la corriente de convección a la atmósfera de los alrededores, para proveer ventilación adecuada y remover los vapores que regresaron. (En la mayoría de los casos, es proporcionada por otros medios, generalmente ventiladores mecánicos). Esta energía es proporcionada normalmente en forma de calor, el cual eleva la energía cinética de las moléculas de agua, permitiendo que salgan fuera de la hoja. Esto es ampliamente aceptado en la práctica y divide el secado de materiales en tres distintos estados : elevación de temperatura, secado constante y caída de secado.

Este concepto idealizado, se usa también en el estudio del secado de papel en general. Sin embargo, superpuesto en este papel general, se provee intermitentemente de calor y/o la cantidad variante de calor removido.

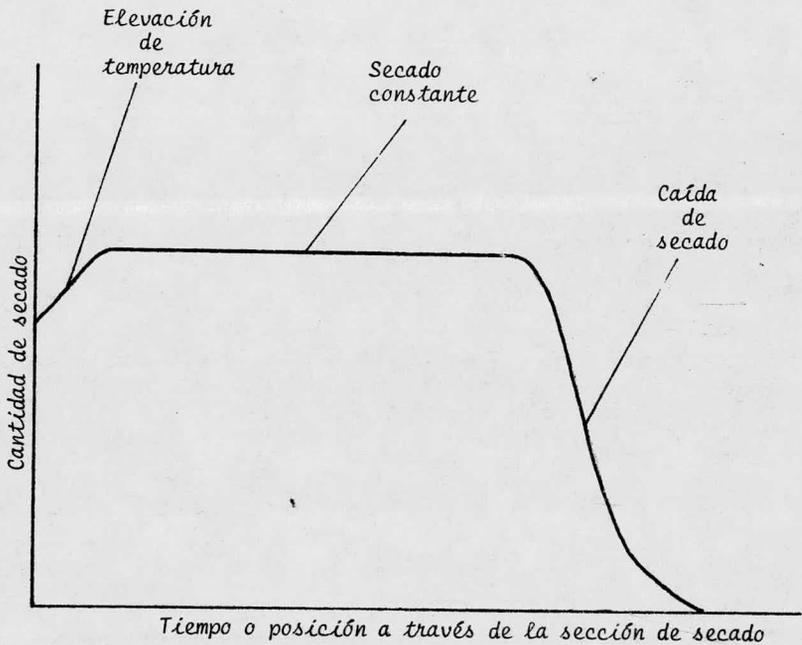
Durante el estado de calentamiento, el calor es suministrado a la hoja, en una cantidad tan grande como se necesite, para la evaporación.

El calor excesivo eleva la cantidad de temperatura de la hoja y, de ahí, la cantidad de calor; el calor no demandado para evaporación, se pierde. Viene el equilibrio al final, con el calor proporcionado.

En este punto comienza el secado constante. A lo largo de esta etapa de evaporación, se obtiene la continuidad en la cantidad determinada por el balance del calor suministrado y el vapor removido. Durante estas dos primeras etapas, el agua se evapora en un plano (las cuales siguen los contornos líquidos de la superficie del agua). Como los procedimientos de secado, este plano retrocede a lo profundo de los poros de la hoja, y las fuerzas de tensión superficial colapsa a fibras y estructuras de la hoja. Cuando el agua libre ha sido evaporada, y la atrapada de esfuerzos significantes puede ser rota, para remover más agua (por ejemplo, evaporar agua con una baja

de presión de vapor), el estado de caída empieza. La Figura 2 ilustra el contenido crítico de humedad, en el cual la caída de secado empieza para un número determinado de papeles.

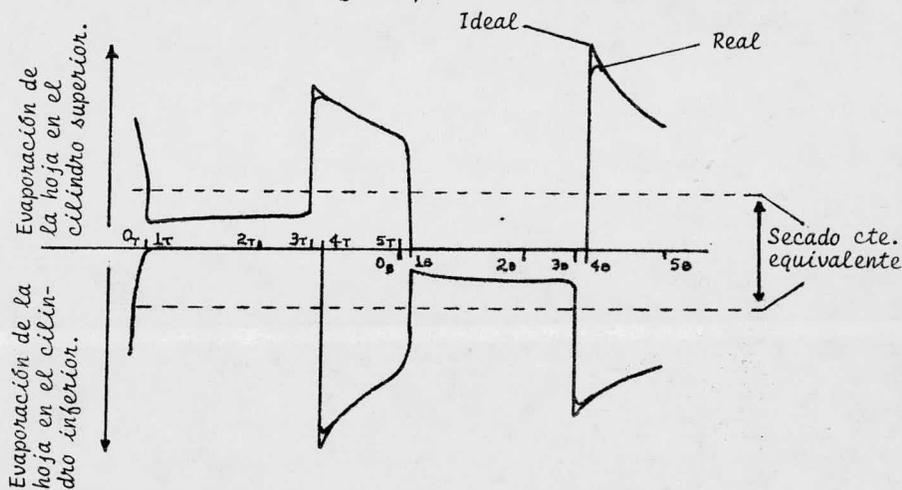
FIGURA No. 2



Ref. (7) 2da. Ed.

FIGURA No. 4

Secado durante varias fases en multicilindros. 0_T = hoja envolviendo el cilindro superior. 1_T = fieltro envolviendo al cilindro superior. 2_T = evaporación a través del fieltro superior en equilibrio con el calor proporcionado. 3_T = fieltro superior separándose. 4_T = hoja separándose del cilindro superior. $5_T = 0_B$ = hoja envolviendo cilindro inferior. 1_B = fieltro envolviendo el cilindro inferior. 2_B = evaporación a través del fieltro inferior, en equilibrio con el calor proporcionado. 3_B = fieltro dejando cilindro inferior. 4_B = hoja dejando cilindro inferior. $5_B = 0_T$ = empieza el siguiente ciclo.



Ref. (7) 2da. Ed.

En la Fase I, la hoja empieza a envolver el cilindro de secado. A causa de una película gruesa de vapor - aire, que previene el contacto de la hoja con la superficie del cilindro (en muchos casos, la hoja se ondula afuera, antes de tocar el cilindro), solamente una pequeña cantidad de calor puede transferirse a la hoja, por lo tanto, una muy pequeña cantidad de evaporación puede ocurrir dentro de esta película, sobre el lado del cilindro con el cual está en contacto.

Sobre el lado expuesto, el cual estaba aún evaporando, debido al contacto con el cilindro secador anterior, el tipo de evaporación se dispersa rápidamente como la saturación del aire, que es aproximadamente en la convergencia de la hoja y el fieltro.

Cuando el fieltro envuelve al cilindro, la película de aire - vapor es eliminada de entre la hoja y el cilindro, dejando únicamente un residuo delgado de película; la hoja es llevada adentro, a una proximidad cercana y contacto parcial con la superficie del cilindro. El calor transferido es mucho más eficiente y, por lo tanto, la hoja absorbe una mayor cantidad de calor.

Debido a que las cantidades de calor de la hoja aumentan durante la Fase IIa, hace que la evaporación entre al fieltro. No existe una evaporación neta significativa en la película aire - vapor, que existe entre el cilindro y la hoja. El agua evaporada de la hoja, por el lado del cilindro, debe pasar a través de la hoja, como vapor, o recondensar en un punto frío de la misma.

La Fase IIb, puede existir o no, dependiendo únicamente de la velocidad de la máquina. Esta empieza como la cantidad de evaporación a través del fieltro, que viene en equilibrio con el calor proporcionado y, continúa tan grande como el fieltro que envuelve el cilindro. En las máquinas lentas, hay tiempo para el equilibrio necesario, sin embargo, en las máquinas rápidas no existe suficiente tiempo disponible. Durante esta fase, tampoco existe una evaporación neta significativa en la película aire - vapor, que está entre el cilindro y la hoja.

La Fase III empieza cuando el fieltro deja de envolver el cilindro, de ahí que la resistencia para que el vapor fluya, se reduce grandemente, por lo tanto, la cantidad de evaporación de la hoja por el lado del fieltro, brinca marcadamente. Todavía ocurre muy pequeña cantidad de evaporación neta dentro de la película aire - vapor, entre el cilindro y la hoja.

El calor que se transfiere a la hoja, disminuirá siempre - que la presión del fieltro disminuya.

En el principio de la Fase IV, la hoja será empujada por - el cilindro, desde este punto hasta el siguiente cilindro, y el calor para evaporación será totalmente proveído por la hoja misma, de ahí que disminuirá su temperatura y, con secuentemente, la cantidad de evaporación. La evaporación en la hoja no es uniforme en el lado caliente del cilindro, pues varía de más a menos y viceversa, tan rápido como varía la temperatura. La evaporación del lado del fieltro, continua similarmente a las caídas y picos alcanzados durante la Fase III, hasta el final de la Fase IV; Esto se repite, pero con un cilindro inferior en contacto sobre el fieltro del lado de la hoja. Se completará un ciclo, cuando la hoja se - aproxime al siguiente cilindro.

Las hojas que son suficientemente fuertes para soportar la - tensión de los cilindros, no usan fieltros, sino que ellas mismas sirven de soporte.

El ciclo de secado para tales secadores sin fieltro, es similar a las fases anteriores, con la diferencia que la Fase I, II y III, sería una fase continua y la evaporación de la su - perficie expuesta no sería impedida por el fieltro.

Donde los cilindros están sin fieltro, por cualquier otra razón, y la hoja no es lo bastante fuerte para enrollarse al - cilindro, como sobre algunos cilindros inferiores en el final húmedo de la sección de secado, puede esperarse el mismo ciclo, pero en muy pequeños porcentajes, debido a la gruesa película de arie - vapor que existe entre la hoja y la superficie del - cilindro.

En el aumento y disminución de temperatura, pueden ocurrir ciclos similares, pero con su respectivo incremento o decremento de todos los efectos.

La variación de distancias entre la curva de subida y bajada de la Figura 4, se debe a que comunmente es referida como can

tividad constante de secado. Es obvio que la cantidad - constante de secado, no existe en máquinas de papel de mul ticilindros, pero que una condición cíclica es superpuesta sobre la simple curva de secado. En el tope de esta varia ción del ciclo, hay variaciones locales en las condiciones del aire, y las diferencias asociadas del tope contra el ci lindro secador inferior. Esto se puede realizar también en cualquier instante que los dos lados de la hoja estén ex perimentando grandes diferencias de condiciones, y que esas condiciones estén cambiando rápida y continuamente.

3.8.- SECADO YANKEE Y M.G.-

En el secado Yankee y M.G., la hoja está contra la superficie caliente, por un tiempo relativamente largo. Dependiendo del trabajo particular requerido del secador Yankee, el secado -- ocurrirá sobre una mayor parte o toda la superficie del cilín dro. El secado será más cercano, siguiendo los conceptos sim ples mencionados primeramente. El contacto extremadamente íntimo con la superficie secadora, se obtiene por presión de la hoja sobre el cilindro secador, bajo muy alta presión, eli minando la necesidad de un fieltro secador, no obstante, se - usa un fieltro presionando la hoja sobre el secador. Las va riaciones de la constante simple y conceptos de caída de la -- cantidad de secado, puede ser causado solamente por falta de u niformidad en las condiciones del aire de los alrededores de - la hoja, por sifones inadecuados o falta de ellos y, posible- mente, por variaciones en la condensación del vapor dentro del secador.

3.9.- AIRE DE SECADO.- El aire de secado que se suministra, debe ser caliente y, por medio de él, se acarreará la humedad. La evaporación seguirá los conceptos simples de secado. Solamen te las variaciones en la transferencia de calor y de masa, cau sadas por aire deslocalizado o condiciones no uniformes del ai re, podrán causar desviaciones.

3.10.- SECADO POR RADIACION.- El secado por radiación ha sido usado únicamente como secado suplementario, en conjunto con otros métodos.

3.11.- MOVIMIENTO DE LA HUMEDAD EN LA HOJA.- El mecanismo por el cual la humedad se mueve dentro de la hoja, para alcanzar el plano de evaporación, es altamente dificultoso, esto va de acuerdo con las diferentes hojas y/o procesos. También es posible que los diferentes mecanismos controlen a varios puntos en el proceso, dentro de la misma hoja. Algunos mecanismos clásicos conocidos del secado, son :

- 1.- DIFUSION.- Causada por un gradiente de concentración.
- 2.- FLUJO CAPILAR.- Causado por pequeños canales continuos, con una interfase aire - agua, en una o ambas puntas.
- 3.- FLUJO.- Debido a gradientes de presión causados por el aplastamiento de la estructura interna o la aplicación de fuerzas externas.
- 4.- FLUJO POR GRAVEDAD.- Causado por diferencias en elevación.
- 5.- FLUJO DE VAPORIZACION.- Son condensaciones causadas por gradientes de temperatura.

De estos mecanismos, el flujo por gravedad es obviamente insignificante.

Muchos factores afectan la cantidad de movimiento de humedad en la hoja, esos factores que proveen las fuerzas directrices para mover la humedad en la hoja, son : temperaturas del secador, hojas, fieltro, aire, el poder de evaporación, presión en la hoja debido a la tensión del fieltro, gradiente de humedad en la hoja y contenido de humedad del fieltro y el aire, etc. Cuando el flujo de humedad en la hoja no se puede mantener

con esas fuerzas, la cantidad de secado empieza a disminuir. Las características de la hoja, tales como : grosor, estructura, densidad, tipo de fibra y sus características, tamaño, rellenos y otros aditivos, favorecen la resistencia al flujo de humedad en la hoja, en suma, el secado con multicilindros, por ejemplo, invierte rápidamente el movimiento de humedad.

- 3.12.- VARIACIONES DE HUMEDAD A TRAVES DE LA MAQUINA.- Las variaciones en el contenido de humedad a través de la máquina, causan muchos problemas a la calidad y a la economía. Por ejemplo, una raya de humedad afectará el calandrado, el cual puede producir un alto calibre de la raya, por lo tanto, este espesor extra, cuando se acumula en el carrete, resulta un fuerte manchón en ese sitio. Esta mancha, generalmente traerá consigo un defecto dentro del rollo, resultado de que el papel húmedo tiende excesivamente a encoger. Cuando el cliente usa estos rollos, éstos tienden a romperse o desgarrarse en ese punto, -- cuando se corre a través de su proceso.

Afortunadamente, la disminución de secado permite un grado regular de uniformidad del acabado, por sobresecado de la hoja. El sobresecado, sin embargo, es caro. Se requiere el uso de vapor adicional, el cual es el factor de operación más costoso en el secado; se reduce la producción donde la capacidad de secado está en el límite de producción de la máquina y, donde el papel está agotado por peso, se requiere de fibra adicional, lo cual hace más costosa la manufactura de papel. Obviamente, -- proveer de uniformidad de humedad a través de la máquina, es el mayor objetivo de la industria papelera.

Muchos factores pueden intervenir en la producción de variaciones de humedad a través de la máquina; no todas serían significativas en cualquier situación particular. Otras variaciones de la sección de secado (sobre las cuales no se tiene control), son resultado de defectos en la transferencia de calor o transferencia de

masa. (Note que el efecto de variaciones de humedad, aparentemente pequeñas, entrando a la sección de secado sobre el secador lleno y, últimamente, sobre el perfil acabado de humedad, es mucho más grande que esta apariencia).

Algunos factores que afectan la transferencia uniforme de calor, son :

- 1.- No condensables colectados dentro del cilindro de secado, generalmente al frente y opuesto a la entrada de vapor.
- 2.- Sifón ineficiente, afectando el espesor de la película de condensado. En algunos casos, el condensado puede ser evacuado en una parte del secador, mientras se desborda en otra; el secador puede ser inundado debido al mal funcionamiento del drenaje del mismo.
- 3.- Variaciones en el espesor de la capa de incrustación, sobre la superficie interior del secador.
- 4.- Tamo u otras acumulaciones de suciedad en la superficie de salida del secador.
- 5.- Variaciones en el espesor de la película de aire, entre el secador y la hoja, causada por las variaciones de tensión en el fieltro.
- 6.- Variaciones en el contenido de humedad de la hoja, cuando toda o parte de las hojas, están en la zona de caída de temperatura.
- 7.- Variaciones en la temperatura de la hoja, resultado de la transferencia no uniforme de masas.

Algunos factores que afectan la transferencia uniforme de masa, son :

- 8.- Variaciones en las fuerzas directoras de la transferencia de masa, temperatura de la hoja, la cual afecta la presión de vapor del agua en la hoja, y la temperatura y humedad del aire, que afecta la presión parcial del vapor de agua en el aire.

- 9.- Variaciones en la resistencia del flujo y/o vapor dentro de la hoja, a través del fieltro y de las orillas de las capas.
- 10.- Variaciones en la ventilación a través de la máquina.
- 11.- Variaciones en el contenido de humedad de la hoja, cuando toda o parte de la misma se encuentra en la zona de caída de temperatura.

3.12.- MECANISMO DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR.- El calor es transferido de alguna fuente, tal como vapor, a la hoja, para proveer la energía para la evaporación. Como en el caso del flujo de electricidad, este fenómeno se lleva a cabo, debido a un potencial aplicado a través de una resistencia, a este se le conoce como fuerza directora. En este caso, el potencial o fuerza directora, es la diferencia de temperatura y, el flujo, es el calor.

En el proceso de transferencia de calor al agua de la hoja, - esta implícita la evaporación, debido a la energía calorífica acumulada. El sobrante de calor es también transferido a los alrededores. El sobrante de calor determina la eficiencia del vapor usado. Obviamente, es deseable mantener esta pérdida al mínimo, para que la eficiencia tienda al 100%.

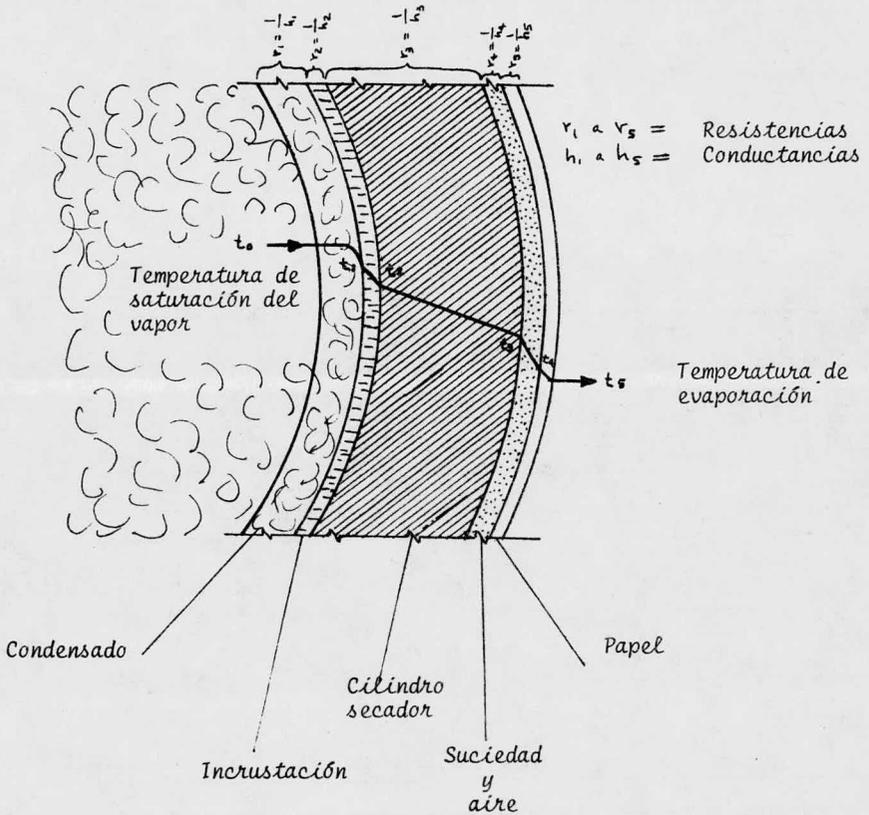
Existen tres medios básicos por los cuales el calor puede ser transferido :

- 1.- Conducción.- Este es el primer medio en cilindros de secado y, prácticamente, es la transferencia de calor dentro de un cuerpo o entre cuerpos en contacto directo, cuando no ocurren movimientos significativos dentro de cualquiera de los cuerpos. Esto se caracteriza por un gradiente de temperatura entre los cuerpos, debido a lo cual el calor -- fluye.
- 2.- Convección.- Este es el primer medio de secado por aire; es la transferencia de calor entre un cuerpo y un fluido, o dentro de un fluido, por movimiento de masa o mezcla de fluidos.

- 3.- Radiación.- Este tipo de secado se obtiene por radiación infrarroja y es la transferencia de calor de un cuerpo a otro, a través de un espacio o un gas.
- 3.13.- TRANSFERENCIA DE CALOR EN MULTICILINDROS.- En el secado con multicilindros, el calor de condensación de vapor funciona como fuente de calor. La Figura No. 5 muestra el camino por el cual el calor es transferido al agua en la hoja, para causar evaporación. La condensación toma lugar en la temperatura de saturación del vapor. Excepto en raras ocasiones, cuando la condensación disminuye, ocurre directamente sobre la superficie lisa, interna del cilindro, el vapor condensará sobre una película de condensado. De este condensado, a la temperatura t_0 , el calor fluye por conducción a través de cada resistencia, con una caída de temperatura resultante, hasta que la temperatura de evaporación t_5 se alcanza en el plano de evaporación. En la parte transversal de la película de condensado, la caída de temperatura de t_0 a t_5 , es resultado de la resistencia r_1 . Una caída más fuerte de t_1 a t_2 debido a r_2 , ocurre en la sección transversal de la película o depósitos de la misma, en el interior del secador.

A través del mismo secador, la resistencia r_3 causa una caída de temperatura de t_2 a t_3 . Entre el secador y la superficie interna del papel, la resistencia r_4 de la película de suciedad y aire, causa otra caída de t_3 a t_4 . Entonces, debido a la resistencia r_5 a través del papel húmedo, ocurre la caída final para la temperatura de evaporación t_5 en el plano de la evaporación neta.

FIGURA No. 5



Transferencia de calor - cilindro de secado

Ref. (7) 2da. Ed.

En este punto, la evaporación tiene lugar y los mecanismos de transferencia de masa se llevan a cabo. Sin embargo, una pequeñísima porción de calor que está llegando al plano de evaporación, continúa dentro del fieltro y del aire de los alrededores. Este calor, es perdido por el proceso, pero algo de él puede ser recuperado o recirculado en el sistema de aire. Las resistencias de r_1 a r_5 son recíprocas a las conductancias h_1 a h_5 , respectivamente. En el ciclo natural del proceso de secado de multicilindros, la transferencia de calor también es dinámica, siempre cambiando el proceso.

Mientras la hoja está sujetando estrechamente al secador, ocurren altas transferencias de calor, pero la evaporación se reduce, la temperatura de la hoja se eleva y la temperatura de la superficie del secador baja levemente. Cuando la hoja permite al cilindro, la transferencia de calor, uno u otro de los secadores o la hoja, es efectivamente eliminado, pero acelera la evaporación. El calor sensible en la hoja, es usado para evaporación, por lo cual baja la temperatura de la hoja.

El calor transferido continuamente al secador, eleva ligeramente su temperatura. Aunque el efecto del ciclo sobre la hoja es substancial, Éso es insignificante dentro del cilindro, debido a su gran capacidad de calor.

De los factores que afectan el calor transferido, solamente la resistencia de la cubierta del secador, no es cambiable. La presión de vapor y la temperatura son deliberadamente variados, como los cambios completos de secado. Esto provee el principal control de secado. Los incondensables, si están presentes, retardan el flujo de vapor a las superficies de condensado. Las temperaturas en esta región son disminuídas, ocurriendo la condensación desde la mezcla de gas-agua-vapor, a muy reducidas cantidades.

Un cilindro con más de la cantidad normal de condensado, mostrará un aumento en la resistencia r_1 . La incrustación en la parte interior de un cilindro, aumenta la resistencia r_2 . Removiendo la pesada in-

crustación, puede aumentar marcadamente la cantidad de calor transferido, por ésto, es preferible prevenir la reconstrucción de esta incrustación, desde un principio. Otro de los defectos de la presión de vapor, teniendo más marcado el efecto sobre la transferencia de calor, es la resistencia de la película de suciedad y aire entre el secador y la hoja. El secador deberá mantenerse limpio, - para minimizar el espesor de suciedad y, la tensión del fieltro, lo suficientemente alta para minimizar el grosor de la película de aire. La resistencia r_5 la afecta mayormente el contenido de humedad de la hoja. Como la hoja se seca fuera, r_5 aumenta y, además, contribuye a disminuir la cantidad de secado en las últimas etapas del proceso del mismo.

3.14.- TRANSFERENCIA DE CALOR EN MAQUINAS YANKEE Y M.G.- En el secado de las máquinas Yankee y M.G., los efectos cíclicos son esencialmente eliminados. A bajas velocidades de la máquina, donde los desbordamientos de condensado no ocurren es posible promover la condensación con altos porcentajes de calor. El factor más importante, sin embargo, es la virtual eliminación de la suciedad y la película de aire - que existe entre el secador y la hoja. En esta forma, los porcentajes de calor transferido, son del orden de 5 veces más alto que los de multicilindro. La resistencia de la carcasa del secador, por sí misma, se convierte en el factor gobernante del porcentaje de calor transferido.

3.15.- TRANSFERENCIA DE CALOR EN SECADO CON AIRE.- En el secado con aire, el mismo aire es la fuente de calor. El primer calor que se transfiere, es por convección. El aire a alta temperatura, es pasado sobre la hoja, por ventiladores mecánicos y, el calor entonces es conducido a través de los límites - de las capas de la hoja. (Un límite de capas es la zona que se encuentra cerca de los límites sólidos de un fluido en movimiento.) Esta zona provee la mayor resistencia al flujo de calor transferido y a la transferencia de la misma masa. El grosor de este límite de capas, es el factor más importante. Consecuentemente, en algunas aplicaciones,

la velocidad excepcionalmente alta del aire al chocar, ha sido utilizada para minimizar este efecto en el límite de capas. El calor transferido de un punto fijo del aire de secado, se conoce como estado estable, o sea, sin variaciones en el ciclo.

3.16.- TRANSFERENCIA DE CALOR EN EL SECADO POR RADIACION.- En el secado por radiación, el calor se transfiere desde una fuente de radiación infrarroja de gas o eléctrica, a la hoja, pasando por un espacio vacío o con aire. La cantidad de calor transferido, se afecta solamente por las temperaturas de la fuente y la hoja, por el espectro de emisión de la fuente y por la habilidad de la hoja para absorber la radiación particular. La temperatura de la fuente tiene un efecto excepcionalmente poderoso. Como en el secado por aire, la transferencia de calor es esencialmente estado estable o régimen permanente.

3.17.- MECANISMO DE LA TRANSFERENCIA DE MASA.- No menos familiar que las leyes que gobiernan la transferencia de calor, son los fundamentos de la transferencia de masa. Esto es particularmente cierto en secado, porque estamos trabajando con dos componentes, aire seco y vapor. Este fenómeno incluye o involucra una, que invariablemente afecta a la otra.

En el secado, la humedad evaporada es separada desde el punto de evaporación, por proceso de difusión y movimiento de un volumen de aire. La transferencia de masa está íntimamente relacionada a la transferencia de calor y, en muchos casos, ocurre simultáneamente; nuevamente un potencial o fuerza directriz aplicada a través de una resistencia, causa un flujo. En la difusión, el potencial es el gradiente de concentración y, el flujo, es el vapor de agua. Aunque la medición del gradiente de concentración puede tener muchas formas, la más comunmente usada en el secado de papel, es la diferencia entre la presión de vapor del agua evaporada y la presión parcial del vapor de agua en el aire, cerca de la hoja. Tenemos que la difusión es el primer mecanismo de transferencia; el agua evaporada desde la ho-

ja, pasa al cuerpo principal del aire de los alrededores y, el movimiento de volumen de aire, auxiliado solamente en un pequeño grado por la difusión, lleva el vapor de agua fuera de la sección de secado.

El vapor de agua y aire seco, existe solamente como una mezcla mecánica, aire. De acuerdo con la Ley de Dalton, "de presiones parciales", los gases simplemente son mezclas mecánicas, cada una independientemente empujando su propia presión parcial contra los alrededores.

La presión total de la mezcla, es la suma de las presiones individuales. Para la transferencia de masa en secado, puede aplicarse esta Ley a las mezclas de vapor de agua y aire seco, con un muy pequeño margen de error. Para ilustrarlo, vamos a considerar una caja cerrada, conteniendo una mezcla de vapor de agua y aire seco, a una temperatura y presión particular. Si pudiéramos separar el aire seco, sin variar la temperatura, dejando solamente el vapor de agua, tendríamos una nueva presión registrada en la caja. Si estuviéramos trabajando solamente con vapor de agua, ésta sería la presión total, pero como estamos considerando mezclas de vapor de agua y aire seco, tenemos únicamente la presión parcial de vapor de agua. Similarmente, si solamente dejáramos el aire seco a la misma temperatura, la presión que se establecería sería la presión total del aire seco. Por la Ley de Dalton, tenemos que la presión de la mezcla es la suma de la presión parcial del vapor de -- agua y el aire seco y, esto, es lo que se conoce como presión total. Obviamente, en el secado no existe una caja como tal y, la temperatura del aire y proporción o presión parcial del vapor de agua en el aire, varía de un punto a otro, a través de toda la sección de secado.

La Ley de Dalton puede aplicarse en cualquier punto particular, de ahí que razonablemente las condiciones de estado estable o estado permanente, se mantienen por ventilación.

El aire movido por ventilación, a través de la sección de secado, conviene progresivamente al calor y a la concentración de humedad. Tanto la temperatura como la presión parcial de vapor de agua, se incrementa. La presión total se cierra a la presión atmosférica - en algunas máquinas o, a un alto vacío, como en los secadores Min ton. La presión parcial o la proporción de aire seco, puede decrecer para mantener la presión total constante.

La cantidad de vapor de agua presente en el aire, puede variar de/o hasta un máximo, el cual depende solamente de su temperatura, cuando esta temperatura está bajo del punto de ebullición del agua.

(En/y cerca del punto de ebullición, la cantidad de vapor de agua presente, es independiente de la presencia de aire). Cuando este - máximo se alcanza, se dice que existe una condición de saturación. Cualquier humedad adicional presente, más allá de la necesaria para la saturación, existirá solamente como agua líquida (o hielo). Dando suficiente tiempo, el agua líquida podrá saturar los alrededores con su vapor, si el líquido y el espacio están a la misma -- temperatura. Esto ocurrirá cuando la presión parcial de vapor de - agua en el aire sea igual a la presión parcial de vapor que existe en la superficie del agua líquida. Si el agua líquida está fría, - como el espacio de los alrededores, la saturación no puede ocurrir. Recíprocamente, si el agua líquida está tan caliente como los alredadores, la evaporación continuará más allá de la saturación, produciendo neblina en el espacio. Igualmente, como la presión parcial máxima del vapor de agua, depende únicamente de su temperatura, también la presión de vapor de agua líquida, depende de su temperatura. (Cualquier conjunto de tablas de vapor saturado, muestra esas relaciones como presión absoluta vs. temperatura de saturación). Esto es independiente de la cantidad de aire seco que se presente. Los efectos primarios del aire seco sobre el vapor de agua, son como sigue :

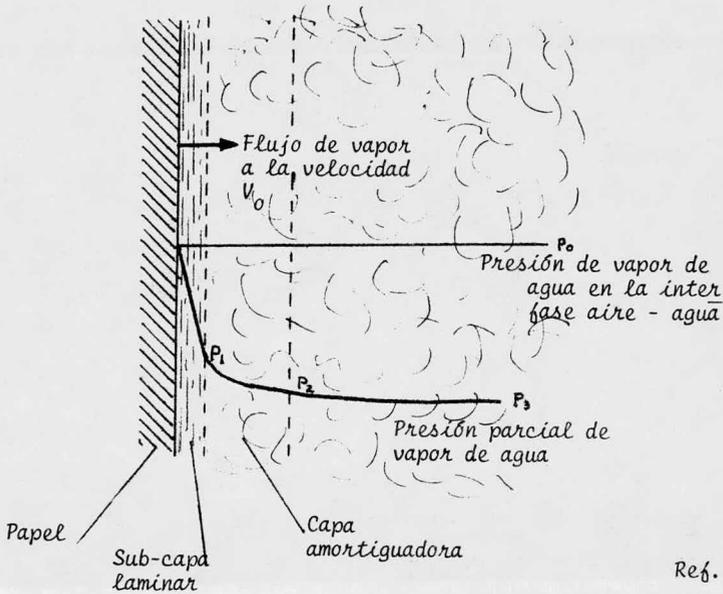
- 1.- Su temperatura, afecta la temperatura del vapor y, de este modo, la presión parcial máxima del vapor de agua.
- 2.- Su presencia afecta el flujo de vapor de agua, Éso provee la resistencia a la difusión; también los movimientos de volumen de

aire, inherentemente mueven el vapor de agua, así como el aire seco.

La transferencia de masa de vapor del agua, puede ocurrir de tres diferentes modos: difusión molecular, convectiva o turbulenta y ventilación. La difusión molecular es una mezcla de acción en la incrustación molecular. Eso ocurre cuando no existe flujo de aire y en cualquier condición de flujo laminar. En las máquinas de papel, el movimiento de vapor de agua a través de los fieltros, - cuando envuelven al cilindro, y a través de la porción laminar - del límite turbulento de las capas, es por difusión molecular. La difusión convectiva es una mezcla turbulenta en una incrustación grande. Esta ocurre en donde quiera que exista turbulencia con transferencia de masa. La ventilación, de otro modo, mueve el vapor de agua, desplazando por completo el volumen de aire. La difusión molecular y convectiva, son análogas respectivamente, la transferencia de calor por conducción y convección mientras que la ventilación es simplemente un problema de flujo de fluidos.

- 3.18.- TRANSFERENCIA DE MASA EN MULTICILINDROS.- En el secado de multi cilindros, el calor del vapor condensado, provee una elevada temperatura a la hoja y, de este modo, eleva la presión del vapor en la hoja. Por ventilación con aire relativamente seco, se mantiene una baja presión parcial de vapor de agua en el aire, cerca de la hoja. La diferencia de presión provoca evaporación y difusión de vapor de agua fuera de la hoja. Como se muestra en la Figura No. 6, la evaporación ocurre en la interfase agua-aire, con una velocidad V_0 .
- Por difusión molecular, este vapor de agua fluye a través de subcapas laminares, con una caída de presión P_0 en la interfase, a P_1 , en la parte externa de las subcapas laminares. Ocurre una gran caída de presión de las capas amortiguadoras de P_1 a P_2 , la presión de vapor se mueve por difusión molecular y convectiva; moviéndose a través de la turbulencia en los límites de las capas, por difusión convectiva, la caída ocurre de P_2 a P_3 .

FIGURA No. 6



Ref. (7) 2da. Ed.

Transferencia de masa - vapor de agua/aire

En la transferencia de masa, también es evidente el ciclo natural del proceso. Cuando la hoja está debajo del fieltro, sobre el cilindro se secador, la transferencia de masa está inhibida.

Podemos pasar por alto la evaporación neta, que ocurre muy raramente, pues rápidamente capas de aire saturado se interponen entre la hoja y el secador, siendo reducida grandemente la difusión en este lado de la hoja, debido a la resistencia del fieltro. De ahí que en esta fase del ciclo, debido al calor suministrado en altas cantidades, mientras la - evaporación es inhibida, la temperatura de la hoja y, consecuentemente, la presión de vapor, se elevarán. Cuando el fieltro descubre la hoja, - una mayor resistencia por difusión es removida y, la evaporación de este lado descubierto de la hoja, se incrementa grandemente. Como el cilindro permite a la hoja que el segundo lado sea expuesto, la evaporación será grande, porque su temperatura es muy alta. De ahí que no ocurre un calen

tamiento durante esta fase, mientras se obtiene una muy alta evaporación, la temperatura de la hoja y la presión de vapor, caerán. El factor que tiene gran control sobre la cantidad de transferencia de masa, es la temperatura de la hoja. En el nivel de la temperatura de la hoja, normalmente se encontrará en secado, que pequeños cambios de temperatura causan grandes cambios en la presión de vapor. El efecto es tanto como diez veces la temperatura normal del cuarto. Por levantamiento de la presión de vapor, la transferencia de calor a la hoja se incrementa, de este modo, aumentando la temperatura de la hoja y, consecuentemente, la cantidad de transferencia de masa o secado. El segundo factor más importante, es la presión parcial de vapor de agua en el aire, cerca de la hoja. Para que ocurra evaporación, ésta deberá ser baja, como la presión de vapor de agua en la hoja. La presión parcial real, se mantiene por ventilación, por ejemplo, reemplazando el aire que está cerca de la hoja, con aire fresco de una base continua. Esta ventilación está limitada por la calidad y economía de la hoja. La calidad de la hoja se ve afectada cuando la velocidad de la ventilación es tal, que voltea la hoja y la arrastra entre los cilindros, causando arrugas en el secador. El costo de poder mover el aire y el calor de vapor necesario para acarrear suficiente - humedad, deberá ser razonable.

Minimizando la resistencia de los límites de las capas, la transferencia de masa es de curso esencial. Esto es perfecto para una velocidad relativamente alta, después de la hoja, de este modo, manteniendo la porción laminar tan delgada como sea posible. Las limitaciones son las mismas como para ventilación (arrugas y costos). El factor final es el fieltro. Durante esta parte del ciclo, cuando éste está contactando la hoja, baja la temperatura y el contenido de humedad, aumentando la permeabilidad, todo esto encarece la transferencia de masa. Por eso la acción de bombear aire al fieltro, puede tener también un efecto considerable (ventilación de bolsas) sobre el secado. Esta es una justificación

ción para usar las relativamente nuevas telas plásticas de alta permeabilidad y fieltros de tejido abierto que existen ahora en el mercado. En algunos casos, la acción de bombeo de aire ha tenido que ser restringida por ventilación excesiva de las bolsas.

3.19.- EFECTOS DEL SECADO SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA HOJA.- Cuando el papel es ligero, su estabilidad dimensional es bastante sensible a la humedad; esto es particularmente cierto durante el proceso del secado. Al ser removida la humedad de la hoja, ésta tiende a arrugarse, pero si se le presiona, se previene el arrugamiento durante el secado y, por lo tanto, se obtiene resistencia a la alta tensión.

En el secado de multicilindros, el grado de restricción en la dirección de la máquina es afectado por el diseño y operación de la sección de secado.

Muchas máquinas han sido construídas y aún están operando, con una sola velocidad, para la sección de secado, por lo cual es difícil controlar los encogimientos de la hoja entre los cilindros. No es raro ver 4 secciones diferentes en una máquina, cada una con su propio control de velocidad. Con este sistema, la velocidad de cada sección sucesiva puede ser reducida ligeramente, para limitar la tensión de la hoja, causada por el encogimiento. Otra forma de evitar los esfuerzos de la hoja, es haciendo un pequeño crepé en el extremo húmedo de la sección de secado, para que cuando el encogimiento ocurra, simplemente se jale hacia afuera el crepé, sin un esfuerzo real de la misma hoja. Los encogimientos en la dirección transversal de la máquina multicilindros, es completamente diferente. La hoja es intermitentemente presionada contra los cilindros, por medio del fieltro, por lo que es permitido que se arruge libremente entre los cilindros.

Sin embargo, el arrugamiento en la sección transversal no es uniforme, pues tiende a concentrarse principalmente en las orillas. Los arrugamientos del centro y orilla de la hoja, no son iguales, pues en las orillas se nota más este efecto, debido a la libertad que presenta; en

casos extremos se tiende a producir condiciones de orillas gruesas. En el secado Yankee y M.G., la hoja es pasada por el cilindro bajo completa restricción en ambas direcciones. Algunos productos requieren, en el proceso, un leve estiramiento, el cual es proporcionado por medio de crepé seco o húmedo.

El secado por aire es un proceso en el cual la hoja está esencialmente libre de restricciones o presiones, por lo cual, si la hoja es secada hasta su contenido final de humedad, resultará con un fuerte arrugamiento. Si esto no es deseable, el secado final deberá completarse sobre los cilindros.

La calidad del producto final, depende del nivel de humedad de la hoja. Si existen variaciones de humedad a través del ancho de la hoja terminada, se producirán bolsas o áreas flojas en las porciones húmedas. Esto se debe a que el área húmeda está más estirada que las áreas secas en el rollo de papel. Esta condición requiere enrollar el papel excesivamente estirado y apretado, para que estabilice, lo cual provoca que las partes secas estén bajo alta tensión y de ahí que tengan poca habilidad para aliviar concentraciones de esfuerzos y absorber choques de carga; la malla se detiene o se rompe más frecuentemente, reduciendo la eficiencia de esta operación.

Diferencias en las características del estiramiento, a través del grosor de la hoja, provoca una condición llamada ondulamiento. Tanto el proceso de secado como la distribución de humedad final a través de la hoja, tiene un marcado efecto sobre la tendencia a la ondulación de la misma.

El nivel de humedad en la hoja, tiene un mayor efecto en el calandrado, el cual usualmente continúa secando. Por ejemplo, el calibre disminuye con el aumento de la humedad, particularmente a altos niveles. La suavidad se ve afectada también por el nivel de humedad y, en el calandrado, tiende a ennegrecerse toda aquella porción que presente diferencias de humedad. Las rayas de humedad afectan seriamente la hoja y eso a menudo indica cómo debe correrse la máquina.

3.20.- ALGUNOS DEFECTOS IMPORTANTES PRODUCIDOS POR LA SECCION DE SECADO.-

- 1.- Sobresecado.- Provoca mucha brillantez y poca resistencia en el producto terminado.
- 2.- Burbujas.- Son causadas por algún cilindro caliente o un mal secado del fieltro.
- 3.- Arrugamientos.- Normalmente resultan por debilitamiento de la hoja, secadores desalineados, tensiones en el fieltro, excesiva agitación en la hoja o estiramientos entre los cilindros, debido a velocidades excesivas.
- 4.- Marcas de la costura del fieltro dejadas sobre la hoja.
- 5.- Variaciones del crepé ocurridas sobre el cilindro - Yankee, debido a variaciones en el contenido de humedad.

3.21.- SECADO CON CILINDRO.- Con el advenimiento de las máquinas continuas, para formado y prensado de la hoja de papel, el proceso antiguo de secado se hizo inadecuado. Podía, en muy pequeña proporción, hacerse más eficiente y, consecuentemente, éso no era favorable, pues el funcionamiento de una máquina en estas condiciones, presentaba grandes inconveniencias. Obviamente, un sistema continuo sería más deseable, pues un secador de esta naturaleza, aceleraría grandemente la operación de secado. La solución fué evaporar el agua mediante temperaturas elevadas.

El uso de aire caliente, en una extensión natural de superficie a secar, no fué eficiente y presentó muchas dificultades para su control. Sólo recientemente, con los avances de la tecnología moderna, tuvo el aire de secado una eficiencia conveniente y, además fué controlable en las cantidades necesarias de producción. Por otra parte, un camino eficiente para transferir calor a la

hoja húmeda, fué una superficie metálica caliente y, al diseñarse - esta superficie en forma de cilindro, resultó muy conveniente para hacer continuo el proceso y controlarlo fácilmente. Los primeros ci lindros secadores fueron inadecuados, se calentaban con carbón en- cendido, para proporcionar posteriormente calor a la hoja. Sin embar go, ésto no duró mucho, pues el uso del vapor, para transferir calor, no se hizo esperar.

El vapor se produjo en un calentador, y de ahí pudo ser llevado, por medio de tubería cerrada, a los cilindros secadores, donde podría -- condensar, dando de este modo su calor a la superficie del cilindro.

3.22.- DESCRIPCION GENERAL DE LA SECCION DE SECADO.- La sección de secado de una máquina de papel, consiste de varios cilindros de acero, sobre los cuales pasa la malla de papel, en forma de serpentina. Los cilin- dros son rotados sincronizadamente, normalmente por un tren de engra nes, para facilitar el paso de la malla. El calor es proporcionado - por vapor, que condensa dentro del cilindro; excepto en el caso de los secadores Yankee y M.G., así como en algunos cartones pesados. La hoja es presionada contra los cilindros secadores, por medio de un filtro secador. Muchos otros sistemas auxiliares, son necesarios para sostener el sistema básico, entre otros, tenemos un proveedor de vapor, removedor de condensado, mezcla de aire-vapor, sistemas manuales, de- sarrollo de cuerdas, controles, etc.

Se han usado muchos arreglos distintos de secadores, siendo desarrolla dos cada uno de ellos, para tratar de utilizar más eficientemente el - espacio disponible, mientras se facilita que el papel pase sin que se ondule, ni la estructura, ni la operación. En general, se ha encontrado que el arreglo más eficiente es el "two-tier".

3.23.- SECCION DE SECADO PARA PAPEL PERIODICO.- La Figura No. 7a, ilustra el arreglo típico de la sección de secadores para papel periódico. Los com ponentes están situados para dar, sobre todo, trabajo óptimo, consideran do el tamaño físico de los mismos; calor transferido, ventilación, opera ción, hilo de la hoja, cambio de fieltro, mantenimiento, etc.

Esta sección particular del secador, consiste de cuatro secciones individuales. La velocidad relativa o velocidad de acarreo, entre las secciones, pueden controlarse independientemente, como puede hacerse también con el vapor de cada sección. Se necesitan ocho fieltros secadores, cuatro arriba y cuatro abajo.

Las máquinas viejas, normalmente tienen menos secciones, en muchos casos corriendo a la misma velocidad. Frecuentemente, las separaciones del fieltro no coinciden con las secciones del sistema de vapor. Refiriéndose a la Figura 7b, las máquinas viejas tienen un secador chico, en posición de guía, para facilitar que corra la hoja desde las prensas, dentro de los secadores. A menudo, los primeros rodillos secadores inferiores, permanecen sin cubierta de fieltro, para minimizar la acumulación de fibra que se desprende como desecho de la hoja.

Para proveer suficiente capacidad de secado, una sección típica de secadores para papel periódico, consiste de cerca de cincuenta secadores de 5 pies de diámetro cada uno.

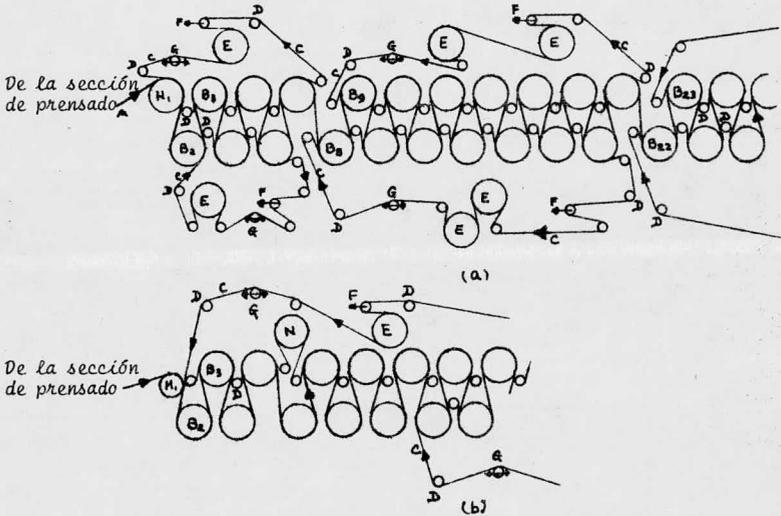
Estos secadores están arreglados en dos niveles y, agrupados dentro de sistemas individuales, como se muestra en las Figuras 7a y 7b.

Los secadores en una sección individual, están espaciados más o menos seis pies de centro a centro en cada piso, con una distancia vertical de seis pies entre los centros de los dos pisos. Los rodillos de fieltro secador, de 18" de diámetro, están colocados entre los secadores, al principio y al final de cada sección individual, y en el regreso del fieltro que está corriendo, pero raramente no más de tres pulgadas de distancia de un secador. Normalmente de uno a tres rodillos de fieltros secadores, de 4 o 5 pies de diámetro, son colocados en cada corrida de retorno del fieltro secador, de las secciones finales de secado; un tenedor y un guía para el fieltro, debe ponerse en cada retorno del mismo. Una sección de secado para papel periódico, ocupa un espacio aproximado de 200 pies de largo, 40 pies de alto y de 20 a 40 pies de ancho, normalmente 15 pies de altura están bajo el nivel del piso de operación, con los restantes 25 pies arriba.

FIGURA No. 7

1na. Sección de secado
 7 Secadores de papel
 2 Secadores de fieltro

2da. Sección de secado
 14 Secadores de papel
 4 Secadores de fieltro



- (a) Sección de secado, típica de papel periódico.
 (b) Final húmedo del diseño antiguo de la sección de secado de papel periódico.

Ref. (7) 2da. Ed.

De ahí que el papel periódico es producido a velocidades más o menos de 1200 a 3000 pies por minuto; la hoja pasa a través de toda la sección de secado, en 15 a 40 segundos; el tiempo suficiente para transferir calor a la hoja y, transferir masa a través del fieltro, es de 10 a 15 segundos, la masa transferida ocurre desde los dos lados de la hoja, perdiendo de este modo de 5 a 15 segundos.

Una sección de secado semejante a la descrita arriba, dá mejores resultados, considerando todos los factores involucrados.

Es fácil mantener la hoja y el fieltro sin soportes en el proceso, si se mantienen distancias cortas; la operación se reduce en facilidad y continuidad.

Una gran porción del secador es envuelto por la hoja, resultando una buena transferencia de calor, mientras que una adecuada ventilación - pasa a través de todo el secador.

- 3.24.- SECCION DE SECADO KRAFT.- La Figura No. 8 muestra una sección de secado tipo kraft. En cualquier grado particular, sólo es necesario utilizar el equipo indispensable. Por ejemplo, para las bolsas Kraft, el "breaker stack" y el "size press" deberán usarse; para la línea de cartón, se usarán prensas calientes, size press y secadores intercalandra; mientras que para medio corrugado no se usarán, y los fieltros inferiores no serán necesarios. Obviamente, una máquina puede ser diseñada para producir un sólo tipo de material y tener únicamente el equipo necesario. Generalmente, los comentarios acerca de la sección de secado para periódico, se aplican también a la sección de secado tipo Kraft. Sin embargo, las secciones de secadores Kraft varían su tamaño, desde 30 cilindros secadores, hasta 70 o más cilindros secadores, dependiendo del grado producido y de la rapidez de la máquina. Las velocidades de estas máquinas generalmente son de 300 pies por minuto a 2000 pies por minuto, mientras - los rodillos de los fieltros se mantienen más o menos a 6 pulgadas de cualquier cilindro secador. Otra operación importante es poder caminar en reversa la sección de secado. Cuando una hoja se envuelve fuertemente en el rodillo secador, es posible desenrollarla.

FIGURA No. 8

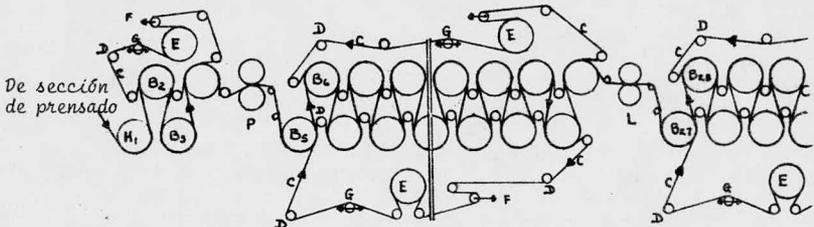
- A.- Papel
- B.- Secadores
- C.- Fieltro secador
- D.- Rodillos del fieltro secador

- E.- Secadores p/fieltro
- F.- Tensores del fieltro
- G.- Guías del fieltro
- H.- Secador guía

- I.- Rodillos del papel
- J.- Secador soldado, secador enfriador o secador p/papel
- K.- Rodillo tensor del papel
- P.- Prensa caliente

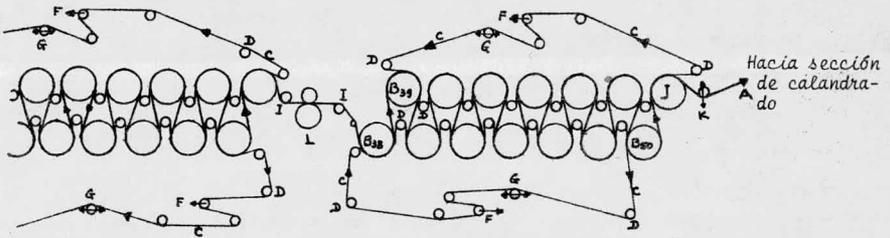
1a.- Sección de secado
4 secadores p/papel
1 secador p/fieltro

2a.- Sección de secado
22 secadores p/papel
2 secadores p/fieltro



3a.- Sección de secado
16 secadores p/papel

4a. Sección de secado
13 secadores p/papel
1 secador c/enfriamiento



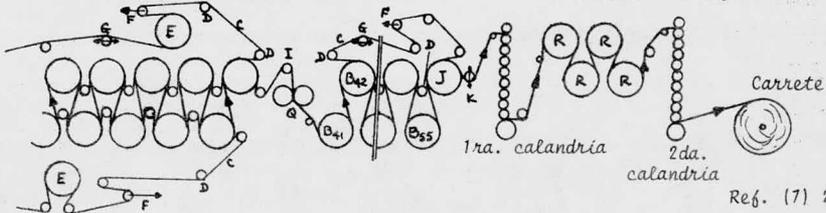
- A.- Papel
- B.- Secadores
- C.- Fieltros secadores
- D.- Rodillos del fieltro secador
- E.- Secadores p/fieltro

- F.- Tensores del fieltro
- G.- Guías p/fieltro
- H.- Secador guía
- I.- Rodillos p/papel
- J.- Secador c/enfriamiento
- K.- Tensor del papel

- Q.- Prensa de encolado
- R.- Secadores intercalan_dria

3ra. Sección de secado
14 Secadores p/papel
2 Secadores p/fieltro

4ta. Sección de secado
15 secadores p/papel
1 Secador c/enfriamiento



SECCION DE SECADO KRAFT VERSATIL DE

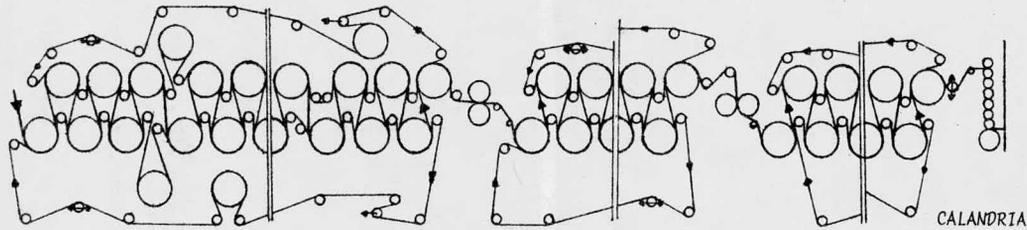
3.25.- SECCION DE SECADO PARA PAPEL FINO.- La Figura No. 9a muestra una sección típica para secado de papel fino. De nuevo, todo el equipo no es usado en cualquier grado de papel. La Figura 9b muestra cómo el recubrimiento de ambos lados se completa en la máquina. Los dos recubridores y sus secadores asociados están localizados después de la base de la hoja de la calandra. En la primera posición, se muestra un rodillo recubridor y, en la segunda, una paleta de recubrir, para ilustrar el arreglo de ambos tipos. Se usa un secador infrarrojo seguido de un secador de aire a velocidad media, para endurecer el papel antes del contacto con los secadores normales.

De nuevo, los comentarios acerca de la sección de secado para periódico, generalmente son aplicables a la sección de secado para papel fino. Sin embargo, las máquinas para papel fino son angostas, de 8 a 20 pies, y tienen rodillos pequeños para fieltros, de 12 pulgadas de diámetro. Las máquinas modernas, tienen cerca de 55 cilindros secadores y pueden trabajar a velocidades arriba de 2000 pies por minuto, mientras las máquinas viejas trabajan a velocidades alrededor de 100 pies por minuto, y usar solamente unos pocos cilindros secadores.

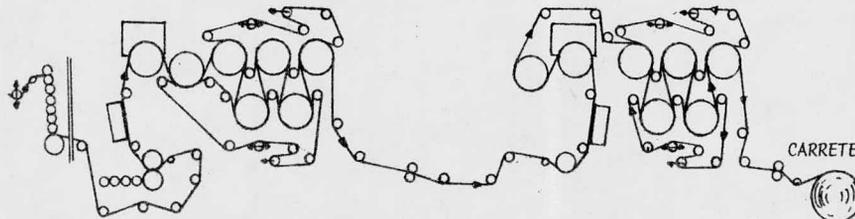
1ra. Sección
 24 secadores p/papel
 2 secadores p/fieltro
 2 secadores intermedios
 p/fieltros

2da. Sección
 12 secadores
 p/papel

3ra. Sección
 13 secadores para papel
 1 secador c/enfriamiento



CALANDRIA



CALANDRIA

(a) Sección típica de secado para papel fino.
 (b) Sección de recubrimiento.

- FIGURA No. 9
- A- Papel
 - B- Secadores
 - C- Fieルトs secadores
 - D- Rodillos p/fieルトs secadores.
 - E- Secadores p/fieルト
 - F- Tensadores del fieルト
 - G- Guías p/fieルト
 - H- Secador guía
 - I- Rodillos p/papel
 - J- Secador c/enfriamiento
 - K- Rodillo tensor
 - L- Breaker stack
 - N- Secadores intermedios p/fieルト
 - Q- Prensa de encolado
 - S- Rodillo recubridor
 - T- Recubridor
 - U- Secadores infrarrojos
 - V- Flujo de aire p/secador

43

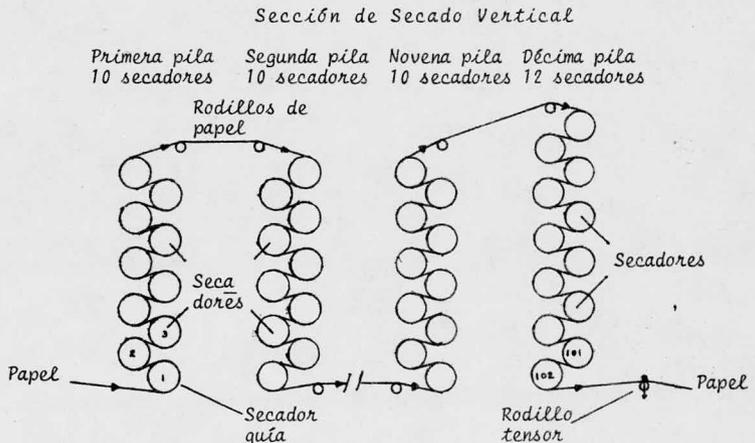
3.26.- SECCION DE SECADO VERTICAL.- La Figura No. 10 muestra una sección de secado vertical para la producción de papel muy pesado, donde se necesitan una gran cantidad de secadores y, se requiere, un pequeño espacio.

Cada pila de secadores consiste de una sección de secado - de dos hileras de cilindros secadores, localizada verticalmente.

La hoja envuelve fuertemente a cada secador, por lo tanto, es innecesario usar fieltro secador. Esto permite usar un sistema de absorción de vapor en la sección transversal de la máquina, sin interferir la hoja.

Las secciones de secado verticales, no se están construyendo en máquinas modernas de papel, aquellas en las que existe - una sección vertical, es generalmente debido a una reconstrucción para adicionar capacidad de secado en situaciones difíciles.

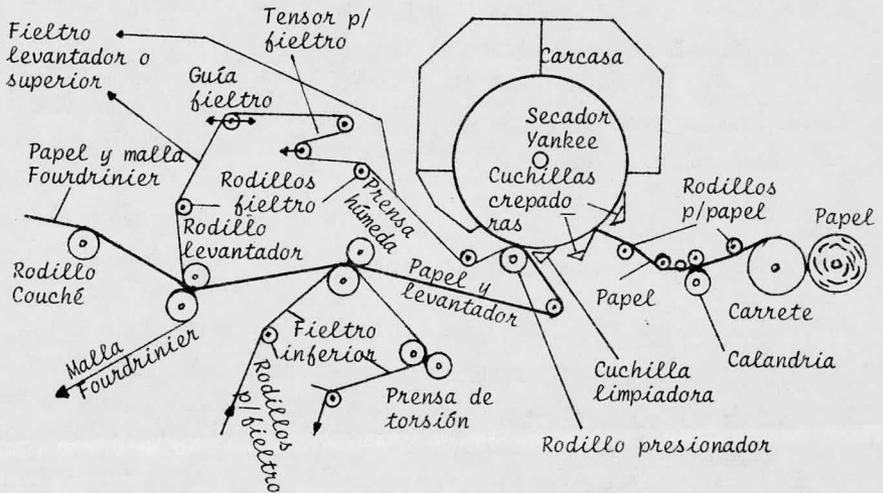
FIGURA No. 10



- 3.27.- MAQUINAS YANKEE PARA TISSUE.- La Figura No. 11 ilustra una máquina Yankee para papel tissue, donde la sección de secado consiste solamente de un único cilindro secador. Un secador Yankee para tissue, opera en una forma completamente diferente a la sección de secado de multicilindros. La hoja es levantada o recocida de la tela de alambre, fourdrinier, por humedad y fieltro levantador denso. Después pasa por la prensa de humedad (wet press), donde se remueve una cantidad grande de agua, limpiando aún el filtro levantador. En ningún momento puede permitirse que el filtro inferior esté más cargado, húmedo o más denso que el fieltro levantador; de otro modo, la hoja podría seguir una dirección equivocada, dentro de la máquina. De la prensa de humedad, la hoja sigue al fieltro levantador y pasa entre el rodillo presionador y el secador Yankee. La hoja es presionada levemente contra el secador, entonces deja el fieltro levantador (Pick up felt). Todo el aire es eliminado de entre la hoja y el cilindro secador, tanto, que es posible una transferencia muy alta de calor. De ahí que la hoja se pega suavemente al cilindro secador, por lo cual no es necesario el fieltro secador y, por lo tanto, la ventilación puede proveer la transferencia de masa necesaria para una mayor eficiencia. La hoja se levanta del cilindro secador por medio de un "creping doctor" y, posteriormente, llevarla a baja velocidad por el camino correspondiente. Esto puede ocasionar una gran cantidad de crepé por secado en la hoja. Por medio de un proceso de calandrado y estiramientos, se obtienen las propiedades deseadas de la hoja, antes de enrollarla.
- Los secadores normalmente miden de 10 pies a 12 pies de diámetro, con anchos de 10 pies a 20 pies. El rango de velocidades es de 1200 pies por minuto a 5000 pies por minuto, por lo tanto, es posible hacer papel a velocidades altas, a diferencia de otros grados de papel.

FIGURA No. 11

MAQUINA YANKEE PARA PAPEL TISSUE



Ref. (7) 2da. Ed.

3.28.- SECADORES YANKEE O MACHINE GLAZE (M.G.) CON PRESECADORES Y POSTSECADORES.-

La Figura No. 12 muestra una sección de secado con cilindros secadores Yankee o M.G., presecadores y post-secadores, tal como podrían usarse en la producción de papel delgado (toalla) o papeles Kraft de envoltura en M.G.

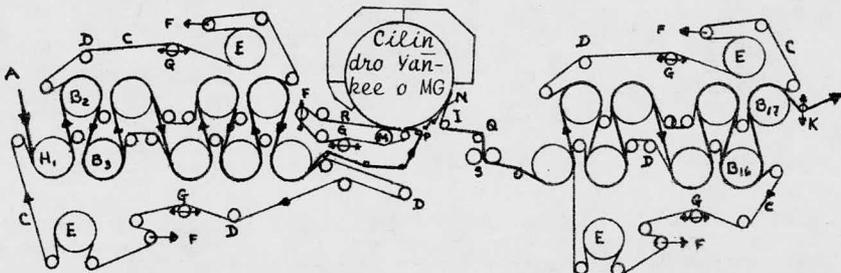
Este es uno de muchos arreglos de secciones de secado, los cuales utilizan cilindros Yankee o M.G.

Algunas de las variantes son :

- 1.- Yankee con pre-secadores únicamente.
- 2.- Yankee con post-secadores únicamente.
- 3.- Rodillos de presión sobre el secador Yankee.
- 4.- Rodillo de presión para succión.
- 5.- Revestimiento y secado con una máquina Yankee.

El secador Yankee tiene una operación única, característica que puede usarse para aventajar en dos caminos diferentes. Cuando la hoja está localizada sobre el secador, al someterse a una alta presión por medio del rodillo presionador, se elimina todo el aire de entre la hoja y el secador, esto causa que la hoja se pegue ligeramente al secador y quede pegada todavía después de pasar el "Creping Doctor", o soltarse ella misma en caso de que esté lo suficientemente seca. Una hoja liviana o de toalla, se quita del secador Yankee por medio de una "Creping Doctor", mientras está poco húmeda (1 lb. de agua/lb. de fibra seca); si se seca a su contenido de humedad final, a una velocidad reducida, la hoja puede permanecer enchinada, relativamente esponjosa y tan floja como sea necesaria para hacer toalla. De otra manera, una hoja en M.G. se seca y ella misma se desprende, posteriormente se jala a la misma velocidad. Como resultado, la hoja tendrá una superficie con un acabado altamente vidreado o lustroso. Los pre-secadores se utilizan para traer la hoja a una alta temperatura, proveer capacidad adicional de secado, para incrementar la producción y presentar la hoja a los cilindros Yankee o M.G. en condiciones propias para producir el mejor crepé húmedo o vidreado. Los post-secadores se necesitan para completar el crepé húmedo y producir un secado final a la hoja con crepé. Los rodillos presionadores y de succión, sirven para remover algo de agua antes del secado. Las máquinas de este tipo, son generalmente de 10 pies a 20 pies de ancho, con cilindros post y pre-secadores de 5 pies de diámetro, mientras que los cilindros Yankee y M.G. son normalmente de 10 pies a 12 pies de diámetro. Las velocidades de trabajo varían de 200 pies por minuto a 2000 pies por minuto, dependiendo principalmente del grado de papel producido.

FIGURA No. 12



Ref. (7) 2da. Ed.

- A.- Papel
- B.- Presecadores o postsecadores
- C.- Fieltro secador
- D.- Rodillos del fieltro secador
- E.- Secadores del fieltro
- F.- Tensores del fieltro
- G.- Guías del fieltro
- H.- Secador guía

- I.- Rodillos del papel
- K.- Rodillo tensor
- M.- Rodillo de presión
- N.- Cuchilla crepadora
- P.- Cuchilla limpiadora
- Q.- Rodillo de papel
- R.- Fieltro M.G.
- S.- Rodillos jaladores

Ref. (7) 2da. Ed.

Cilindro secador Yankee o MG (Machine Glaze), con pre-secadores y post-secadores.

3.29.- TRATAMIENTO MATEMATICO DEL PROCESO DE SECADO.-

- a) Cálculo de la evaporación, según el calor suministrado. El grado de evaporación A, por ejemplo, expresada en kilogramos de agua evaporada por hora y metro cuadrado de área de secado, puede calcularse basándose en la cantidad de calor suministrado al material.

$A = 1/i (q_{\text{contacto}} + q_{\text{convección}} + \text{enfriamiento})$
 en la cual i representa el calor de evaporación expresado en Kcal (Kilo - calorías) por kilogramo de agua evaporada, q es la cantidad de calor suministrado según los métodos indicados.

En el secado de papel, generalmente se obtiene la siguiente relación :

$$A = \frac{1}{i} [k(t_s - t_p) + \alpha_2(t_1 - t_p)] \text{ ----- (1)}$$

en la cual k = cantidad de calor transmitido del vapor al papel.

α_2 = cantidad de calor transmitida del papel al aire.

t_s = temperatura del vapor

t_p = temperatura del papel

t_1 = temperatura del fieltro y del aire, respectivamente

k puede calcularse de la fórmula :

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{f}{\lambda_p} \text{ ----- (2)}$$

en la cual α_1 = cantidad de calor transmitido del vapor al cilindro.

d = espesor de la pared del cilindro.

λ = grado de transmisión de calor de la pared del cilindro

α_s = grado de transmisión térmica cilindro-papel.

δ = espesor del papel.

λ_p = grado de transmisión de calor del papel.

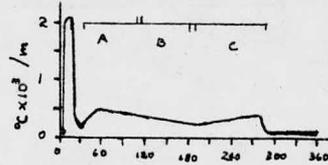
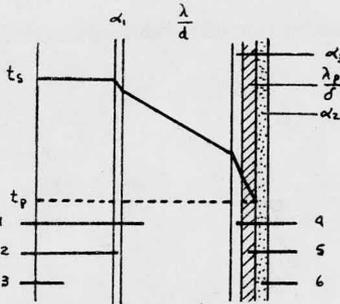
El descenso de temperatura del vapor a la superficie libre o cubierta con el fieltro ($t_s - t_p$) de la lámina de papel, en principio ocurre según la Figura 13. Sin embargo, en la práctica, el proceso es distinto a este modelo simplificado, debido principalmente a dos aproximaciones.

La primera aproximación consiste en suponer que el proceso térmico es estacionario, lo cual no es el caso, ya que la cantidad de calor transmitido al papel, debe calcularse mediante los grados de temperatura de la superficie del cilindro. En un cilindro Yankee se tomaron mediciones en cuanto a estos grados de temperatura, que dependen del ángulo de rotación, para tal efecto, se utilizó la máquina experimental del PCL: Laboratorio Central de las Industrias Suecas del Papel en Estocolmo, Fig. 14.

En la primera fase, el rodillo de presión origina una alta transmisión momentánea de calor, debido al buen contacto del papel y el cilindro. Posteriormente, la transmisión de calor varía muy poco. La lámina de papel deja el cilindro a un ángulo φ de rotación de 280° . La Figura 15, ilustra el descenso de temperatura en el material del cilindro, en distintos puntos de la circunferencia; 0 grados, 10 grados y 120 grados. El punto t_s indica el lugar del material donde la influencia de las variaciones de temperatura superficial ha cesado.

Según las Figuras 14 y 15, se observa que el proceso puede considerarse, sin riesgo de error excesivo, como estacionario. El error puede corregirse fácilmente si el valor del calor de evaporación (1) incluye también las pérdidas de calor en las prensas calientes y la parte del cilindro que no se emplea para secar papel.

FIGURAS Nos. 13, 14 y 15



Angulo de rotación del cilindro ψ

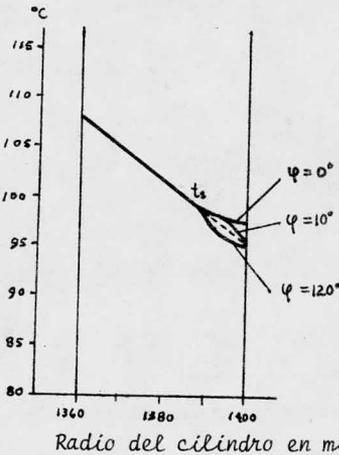
- A - Suministro de aire
- B - Descarga de aire
- C - Suministro de aire

Los grados de temperatura dependen del ángulo de rotación en un cilindro Yankee. La transmisión de calor es mayor en el rodillo de presión.

- Material del cilindro
- Película de vapor condensado
- Vapor
- Capa de aire o de vapor
- Papel
- Capa límite

Modelo simplificado del descenso de temperatura desde el vapor hasta la superficie libre o cubierta con el fieltro del papel.

Temperatura del material de cilindro



Ref. (4) Halmstad

El descenso de temperatura varía en distintos puntos de la circunferencia del cilindro. En el punto \$t_s\$ las variaciones de la temperatura superficial no tienen ya influencia alguna.

Si las ecuaciones 1 y 2 se aplican al secado de cilindros múltiples, el error será menor que con el secado de la máquina Van-kee, ya que las variaciones en el escape de calor serán menores en el cilindro pequeño, sin los rodillos de presión y con menor variación en contenido de secado. Es así como obtenemos mayor - aproximación al tipo estacionario.

La aproximación consiste en que al aplicar las ecuaciones (1 y 2) al secado, se ha supuesto que la evaporación desde la lámina de papel, se efectúa completamente desde la superficie libre o cubierta con el fieltro secador. Sin embargo, no siempre sucede así. Al iniciarse el lapso de secado, cuando el grado de evaporación es constante, la zona de evaporación probablemente queda en la superficie del papel, pero después se desplaza más hacia adelante, hacia el fieltro secador. De esta manera, puede afirmarse que como primera buena aproximación, las ecuaciones (1 y 2) pueden emplearse muy bien para calcular el grado de evaporación A, partiendo de la cantidad de calor suministrado al papel.

b) Cálculo del grado de evaporación, según el agua evaporada.

El agua evaporada por el calor suministrado debe eliminarse y, para ésto, se aplica la siguiente fórmula :

$$A = m (p_p - p_\ell) \text{ ----- (3)}$$

en la cual m = grado de transmisión de materia entre el material a secar y el agente secador.

p_p = Presión parcial del vapor en el papel.

p_ℓ = Presión parcial del vapor en el agente secador.

Puesto que existe una relación entre la presión parcial de vapor en el papel y su temperatura, puede determinarse la presión parcial en el agente secador; el grado de evaporación A, puede calcularse de esta manera y hasta cierto punto, mediante la ecuación (3) o den

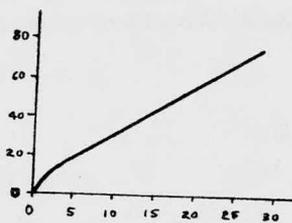
tro de un límite en el cual p_p y p_e son constantes. Cuando el papel es cubierto con el fieltro es más difícil obtener valores reales de p_e , ya que deben considerarse las características de absorción del fieltro y el agua pasa del papel al fieltro en la fase líquida.

- 3.30.- FACTORES QUE AFECTAN EL SECADO.- Grado de transmisión térmica α_1 , entre el vapor y la superficie interior del cilindro. La resistencia de la transmisión térmica entre el vapor y la superficie interior del cilindro, reside, en parte, en la película de agua y, en parte, - en la película de corrosión.

Entre los diversos métodos sugeridos para aumentar el grado de transmisión térmica (α_1) del vapor a la superficie interior del cilindro, tenemos lo siguiente :

- 1.- Añadir al vapor aminas, que aumenten su tendencia a formar películas. Estas aminas eliminan la capa de corrosión y, además, hacen que el vapor se condense en forma de gotas, en lugar de formar una película condensada continua.
- 2.- Causar la turbulencia de la película condensada, ya que una película condensada delgada, laminar y circulante, ofrece gran resistencia contra la transferencia térmica por conducción.
- 3.- Tratar de reducir el contenido de gases no condensables en el vapor. Dentro del límite real de presión del vapor, se calcula un 10% de volumen de aire, para reducir la temperatura de vapor en 4 grados centígrados (Fig. 16).
- 4.- Construir el cilindro con bridas en su interior, lo cual aumenta el área de absorción térmica y hace más duradera la construcción.

FIGURA No. 16

Reducción de α ,

Ref. (4) Halmstad

Porcentaje en volumen de aire en el vapor

El aire en el vapor dificulta el grado de transmisión térmica del vapor a la superficie interna del cilindro.

Grado de transmisión térmica λ del material del cilindro.

Los valores del grado de transmisión térmica indicados en la literatura, son del límite de 25 a 40 kcal por metro cuadrado, hora y grados centígrados. En el PCL, el grado de transmisión térmica se calculó en el material de 10 cilindro Yankee, de cuatro fabricantes distintos y, los valores obtenidos, fluctuaron entre 27 y 45. Podría establecerse una relación, probablemente lineal, entre el último grado de ruptura a la tensión del material y el grado de transmisión térmica. Hay razón para creer que lo antes dicho sobre los cilindros Yankee, es aplicable también a cilindros secadores más pequeños.

Grado de transmisión térmica λ_p del papel.

El mecanismo del transporte de calor en el papel, puede ilustrarse por las siguientes experiencias :

- 1.- Si una hoja de papel, en la parte media de un grupo de hojas superpuestas, se tiñe con un colorante que requiere de un ingrediente químico para su fijación y durabilidad, y el grupo se seca de un lado, todo el colorante se concentrará sobre la superficie caliente. Esto indica que el agua en la fase líquida es transportada en dirección contraria al suministro del calor, mientras el vapor viaja en la dirección de la transmisión de calor. Esto coincide con las experiencias prácticas del secado de papel en máquinas Yankee, que ha sido teñido -- precisamente con colorantes que requieren un ingrediente químico para su fijación y durabilidad.

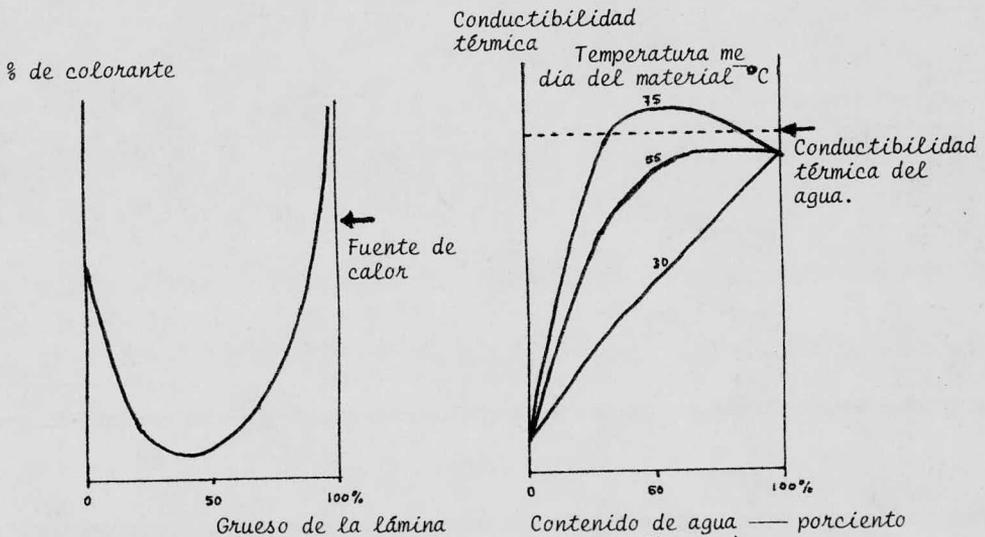
- 2.- Si se tiñe una hoja de papel con un colorante que requiere un ingrediente químico para su fijación y duración, y se seca por calor suministrado por un lado solamente, se obtiene una distribución del colorante sobre el corte de papel secado, según se ilustra en la Figura 17. El agua, en la fase líquida, ha sido evidentemente transportada de preferencia hacia la superficie caliente. Simultáneamente se ha efectuado un viaje menor de agua hacia la superficie libre.

- 3.- Las proporciones de las características de la transmisión térmica de material poroso, de diverso contenido de humedad y temperatura, dan los resultados de la Figura 18.

Estas curvas pueden explicarse solamente si suponemos que en los poros del material ocurre un proceso simultáneo de evaporación, difusión y condensación. Cuando el material está completamente seco, el calor es conducido parcialmente por el material mismo y, parcialmente, por el aire en los poros. Ya que el aire es buen aislador del calor, la capacidad total de transmisión de calor del material será baja. Cuando los poros están completamente llenos de agua, la capacidad resultante de transmisión de calor será algo inferior a la del agua, ya que la capa

cidad propia de la transmisión de calor de las fibras es menor que la del agua. En área, entre estos dos extremos, hay poros que son sólo parcialmente llenados con agua. Si ese poro tiene temperatura mayor de un lado que del otro, el agua se evaporará sobre el lado más caluroso y se difundirá sobre el más frío, donde se condensará. El calor de la evaporación y condensación es elevado y, por lo tanto, la cantidad de calor transmitido de esta manera, será grande, ya que la curva de presión del vapor se eleva rápidamente con la temperatura, la difusión del lado caluroso al lado frío del poro, ocurre a un ritmo creciente, al aumentar la temperatura. Esto explica el marcado valor máximo de la transmisión de calor en un medio de temperatura más elevada. Estas y otras experiencias, conducen a las siguientes conclusiones, respecto al desarrollo del proceso de secado, al aplicar el calor a un sólo lado.

FIGURAS Nos. 17 y 18



Al aplicar el calor a un lado de una lámina de papel teñido, la distribución transversal del colorante indica que el agua es transportada principalmente hacia la superficie calentada.

Conductibilidad de materiales porosos a distintos contenidos de agua.

Ref. (4) Halmstad

- A.- Al principio, cuando toda la hoja esté saturada de agua, la evaporación se efectúa desde la superficie libre.
- B.- Cuando los poros mayores empiezan a vaciarse, se forman dos zonas generadoras de vapor, una en/o inmediatamente debajo de la superficie libre y, la otra, en la superficie en contacto con el cilindro caliente. El vapor formado en la superficie caliente, pasa por un ciclo de evaporación y condensación, a través de la hoja y, con esto transmite calor a la zona generadora de vapor, en la superficie libre, de donde el vapor generado se escapa de la hoja.
- C.- Eventualmente, la zona generadora de vapor en la superficie libre, se desplaza hacia adentro y, al final, posiblemente coincide con la zona generadora de vapor en la superficie - caliente. Después, el vapor pasa directamente a través del papel, hacia el agente secador.
- La situación se presenta mucho más compleja en el caso del secado con cilindros múltiples, ya que la hoja es calentada, alternadamente, de ambos lados. Además, la hoja corre libremente entre los cilindros secadores, lo cual puede conducir a la redistribución del contenido de agua.
- En la Figura 19, se ilustran las únicas mediciones, puramente físicas, del grado de transferencia térmica del papel con contenido variable de humedad.
- D.- Grado de transmisión térmica α_3 entre el cilindro y el papel. No se han obtenido mediciones completamente aceptables, pero - los cálculos efectuados indican que el valor de 1000 kcal por metro cuadrado, hora y grado centígrado, puede considerarse como valor promedio del grado de transmisión térmica en el secado de multicilindros. (α_3 es mayor a tensiones más altas del -- fieltro).
- E) Humedad p_1 del agente secador.
- En principio, la humedad p_1 debe mantenerse lo más baja posible.

En el secado con cilindros y lona secadora, ésta debe mantenerse caliente y seca; el punto de condensación del aire de ventilación debe ser bajo y debe evitarse la formación de bolsas de vapor. Existen varios métodos distintos para usar las lonas secadoras, en la mayoría de los casos, se acostumbra que la lona pase sobre cilindros secadores especiales, calentados a vapor que, frecuentemente, son de capacidad demasiado reducida para secar la lona. En una sección secadora normal, la parte mayor del secado de la lona debe efectuarse mediante el secado libre, es decir, el calor retenido en la lona durante su paso por los cilindros secadores de papel y los cilindros secadores de la lona, es utilizado en la parte libre de la misma, para evaporar el agua absorbida en la lona y compensar las pérdidas de calor, debidas al aire ambiente. Un método más efectivo de secado consiste en soplar o aspirar aire precalentado a través de la lona, mediante secadores de rodillo perforados o rodillos-guía perforados en la lona.

La estructura de la lona secadora es factor decisivo en su secado. Una lona secadora de tejido abierto, de fibras sintéticas de baja absorción de agua, como es natural, se secará más fácilmente que una lona secadora de tejido cerrado y fibras naturales -- que absorben mayor cantidad de agua. Una lona secadora de tejido abierto contendrá, además, menores cantidades de agua condensada. Las lonas secadoras tejidas en telares de agujas, han resultado de calidad superior en este aspecto, comparadas con la lona secadora tejida en telares comunes. Cuando se han utilizado telas secadoras muy abiertas, de fibras sintéticas, en ciertos casos ha sido posible, inclusive, eliminar completamente el equipo especial de la lona secadora.

F) Temperatura t_1 del agente secador.

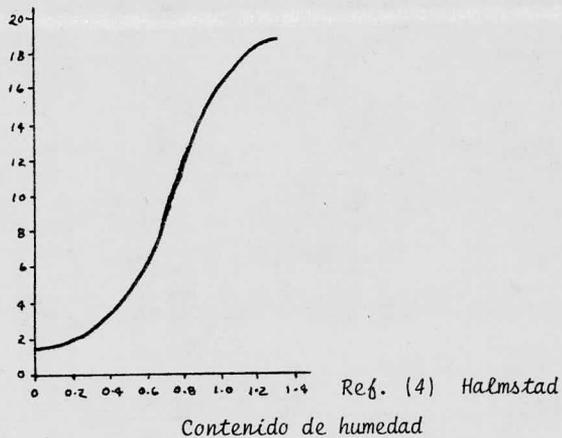
Como se deduce de la ecuación (1), el valor t_1 debe ser alto y preferiblemente, más alto que t_p , para evitar pérdidas innecesarias. En el secado Yankee o en el secado con campanas de aire caliente, en una sección de cilindros múltiples, se procura trabajar con -- temperatura ambiente tan alta como sea posible, para compensar la

cantidad de calor transferido desde el cilindro con el calor del aire soplado. El límite superior práctico t_1 depende de la cantidad de papel que esté siendo fabricada.

En el secado de papel en cilindros cubiertos con lona, t_1 - corresponde a la temperatura de la lona y por eso es deseable una temperatura elevada de la lona. En éste también coincide con la ventaja arriba mencionada, en el sentido de que la lona debe estar seca. Se ha sugerido la posibilidad de aumentar la temperatura de la lona. En este caso, puede ser de interés - examinar más detenidamente los resultados de un experimento, - para determinar la temperatura de la lona en condiciones distintas de operación.

FIGURA No. 19

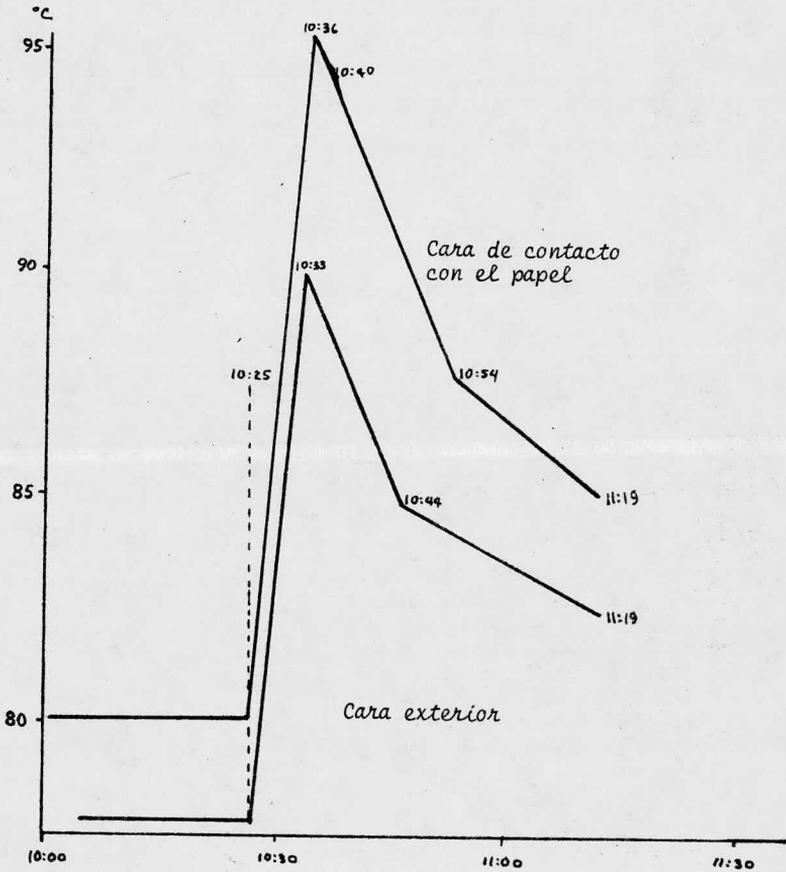
Grado de transmisión de
calor Cal/seg. cm. $^{\circ}\text{C} \times 10^4$



El grado de transmisión térmica λ_p del papel, varía según el grado de humedad.

En la Figura 20 se ilustra la temperatura promedio de la lona, durante una revolución medida sobre la superficie de contacto de papel y, también, sobre la cara exterior, en un lapso de una hora y media de operación. La temperatura del vapor fué de 115 grados centígrados en el cilindro secador de papel y 127 grados centígrados en el cilindro secador de la lona. Durante los primeros 25 minutos de la prueba, la máquina se operó sin papel. La lona estuvo entonces en equilibrio de temperatura con su medio ambiente y la temperatura promedio sobre la cara de contacto con la lona y los cilindros secadores de la lona fué aproximadamente de 80 grados centígrados; a las 10.25 horas se alimentó papel a través de la máquina y pudo apreciarse que la temperatura de la lona subió muy rápidamente. La razón de esto, es que la humedad promedio de la lona aumenta y que se irradia calor de condensación. El aumento de temperatura es, sin embargo, solamente temporal, ya que la lona trata de volver otra vez a su equilibrio con su medio ambiente. El nuevo estado de equilibrio alcanzado a las 11.19 horas es más elevado que cuando la máquina operó sin papel. Esto se debe a que las condiciones de la transferencia térmica del papel a la lona son considerablemente más favorables que del cilindro a la lona y a que el calor es transmitido con agua evaporada desde el papel. De esta manera, el experimento indica que la temperatura promedio de las lonas es ínfima, cuando el papel está siendo secado en la máquina.

FIGURA No. 20

Temperatura de
la lona

Temperatura promedio de la lona en la cara de contacto con el papel y en la cara exterior, respectivamente, en distintos momentos del experimento.

Ref. (4) Halmstad

CAPITULO IV

4.1- EFECTO DEL SECADO EN LA ESTABILIDAD DIMENSIONAL Y LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DEL PAPEL.

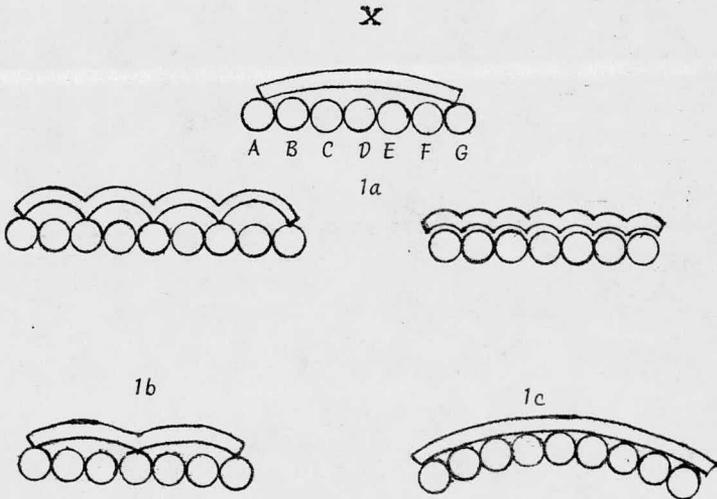
ESTABILIDAD DIMENSIONAL DEL PAPEL.- El secado es un factor determinante en la estabilidad dimensional del papel, pues su mayor o menor contenido de humedad hace al papel más manuable, quebradizo, resistente, flexible, etc., además, es sumamente importante que el secado sea uniforme, pues se enrosca el papel hacia un lado o hacia el otro, dependiendo de la ubicación de la humedad y de las fibras, además, si el secado no es uniforme, sucede lo que habíamos visto, en el caso de que nos quede una línea de humedad, formará un bordo al ser enrollado y se manchará, posteriormente, al ser desenrollado, tenderá a romperse.

Al entrar la hoja de papel a la sección de secado, lleva aproximadamente un 65% de agua, de la cual gran parte se encuentra libre entre las fibras y una parte como agua de enfriamiento en los poros de las mismas. Al evaporarse el agua libre, o sea durante la primera fase del secado, se tendrá un efecto de tensión superficial, apareciendo un fenómeno de atracción de las fibras superficiales hacia el interior de la hoja y entre ellas mismas, lo cual en el caso de fibras muy libres, se atribuye a la disminución de puentes de agua entre éstas. La permanencia de la contracción producida por este efecto, depende de varios factores : Si existe bastante lubricación de las fibras, se producirá cierto deslizamiento entre ellas, siendo entonces esta contracción permanente e irreversible, por lo que será menor si se trata de fibras largas y fuertes, que difícilmente formen conjuntos. La longitud de la fibra tiende a no formar haces fibrosos por deslizamiento, y su resistencia les facilita recuperarse de la distorsión. En la segunda fase de secado, se empieza a evaporar el agua que se encuentra en los poros de la fibra por absorción capilar, producción

dole encogimientos diametrales del orden del 10%, mientras que el encogimiento longitudinal se puede considerar despreciable. Este encogimiento es casi totalmente reversible, dependiendo de la formación de uniones entre fibras.

Se considera un fibra X (1) que descansa sobre las fibras A, B, C, D, etc., que se encuentran unidas entre sí y que, en un momento dado, sufren un encogimiento en su diámetro. Si la unión de X es únicamente a dos fibras, X se flexionará como lo indica la Figura 1a, mientras que si se encuentra unida a tres o más fibras, se tendrá el efecto representado en la Figura 1b. Finalmente, si X se encuentra unida a todas las fibras que la cruzan, tendremos el efecto representado en la Figura 1c.

FIGURAS 1a, 1b y 1c



La estructura de papel se encuentra formada por infinidad de fibras orientadas en todos los ángulos, las cuales se pueden considerar sujetas al fenómeno antes mencionado. Si el número de uniones entre fibras es tal, que se formen grupos pequeños, se producirá el micro enchinado, cuyo mecanismo se encuentra en la Figura 2. Si las fibras del grupo FA y FC se encogen en diámetro, flexionarán a las fibras del grupo FB, lo cual sucederá en la misma forma con el grupo DB, al encogerse DA y DC y así sucesivamente en toda la hoja, para dar lugar al enchinado mencionado.

En el caso de que el número de uniones entre fibras sea de una magnitud muy alta, como se representa en la Figura 3, el encogimiento de una capa producirá una compresión axial de la capa siguiente, y si esta no presenta resistencia a dicha compresión, la estructura se verá afectada por un encogimiento en área y volumen. En la práctica se puede considerar, que la contracción debida a encogimientos de conjuntos de fibras, es una combinación de los efectos mencionados y, dependiendo de la proporción de uniones entre fibras, se tendrán los diferentes tipos de enchinado o únicamente un cambio dimensional plano. El encogimiento se lleva a cabo por eliminación del agua de hinchamiento de la fibra, por lo cual, es irreversible, siendo éste el que afecta las dimensiones del papel terminado con los cambios de humedad.

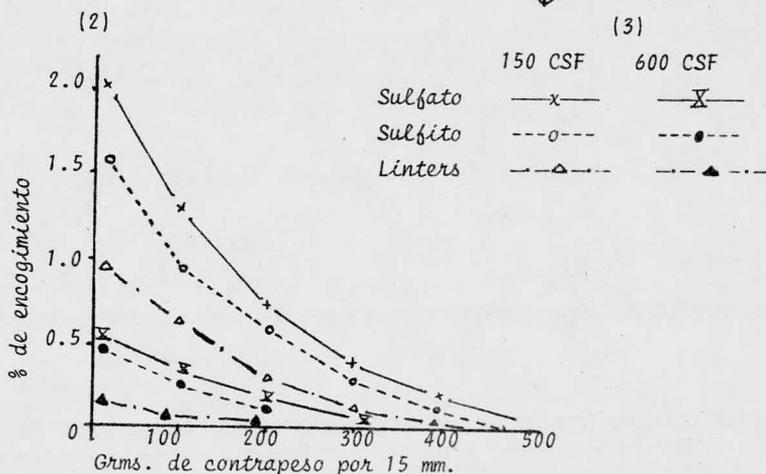
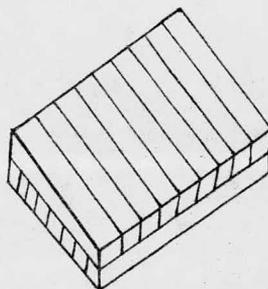
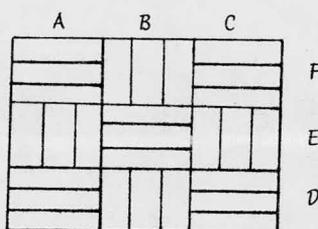
Para evitar al máximo el problema del enchinado del papel, es de suma importancia que el secado se lleve a cabo en forma gradual, sobre todo si se trata de mezclas de fibras con diferente facilidad de secado, como puede ser la pulpa de bagazo con pulpa kraft.

La tensión de los fieltros es un factor decisivo sobre la estabilidad dimensional, ya que al mantenerse alta, reduce la influencia adversa de la refinación de dicha estabilidad.

Si se deja encoger libremente la hoja durante el secado, cualquier cambio de humedad producirá un alargamiento o encogimiento de la estructura completa, mientras que si se impide el encogimiento de di-

cha estructura, al dar tensión a los fieltros de secado, únicamente se encogerán individualmente las fibras, quedando entre éstas, espacios libres que les darán oportunidad de aumentar de tamaño al absorber humedad, sin que este aumento se transmita a toda la hoja. El efecto de evitar el encogimiento durante el secado, se puede observar en la siguiente gráfica, la cual muestra el encogimiento de la celulosa de pino al sulfito, abedul al sulfato y linters de algodón, las cuales fueron secadas entre mordazas a tensión, con diferentes contra-pesos. Los encogimientos producidos se pueden considerar como una medida del alargamiento que se puede esperar al volver a absorber humedad la celulosa :

FIGURAS No. 2 y 3



Como se puede observar, si se lleva a cabo el secado a tensiones muy bajas, el freeness de la pulpa tiene un marcado efecto sobre el encogimiento que se lleva a cabo, efecto que disminuye considerablemente, hasta hacerse despreciable conforme aumenta la tensión.

4.2.- PROPIEDADES MECANICAS DEL PAPEL. El secado afecta también directamente, las propiedades mecánicas del papel, por lo cual es sumamente importante tener un control de calidad riguroso en el proceso de secado y, propiedades mecánicas del producto terminado; de aquí nacieron pruebas destructivas, como : Doble doblez, Re-sistencia a la tensión, Rigidez, Rasgado, etc. A continuación, analizaremos la prueba de Doble doblez únicamente, pues todas estas pruebas nos proporcionan, relativamente, la misma información, es decir, todas convergen en el mismo punto.

Doble doblez.- El propósito de este método, es conocer "la resistencia al doblado del papel", que se define como el número de dobles dobleces requeridos para romper una probeta, tratado bajo --tensión en un aparato llamado MOLINO KOHLER.

Un Doble doblez, es aquel que se realiza a través de 156° en cada dirección, contados del plano del papel sin doblar. La probeta se fija verticalmente entre dos abrazaderas, de las cuales, las superiores se doblan por medio de un movimiento circular recíprocante, mientras las abrazaderas inferiores, mantienen las probetas soportando un peso determinado.

Deberán realizarse pruebas en la dirección de la máquina y, transversalmente a ella, obteniendo el valor promedio de estas pruebas. Se reportará el número de los dobles dobleces, recordando que la máquina nos marca dobles dobleces.

La cantidad de humedad que existe en el papel, afecta directamente las propiedades mecánicas del mismo, existiendo una humedad óptima - para los diferentes tipos de papel. Si el secado es excesivo, el papel tiende a endurecerse y volverse quebradizo, por lo que resiste una cantidad menor de dobles dobleces.

CAPITULO V

5.1.- PROYECCION AL FUTURO DE LA SECCION DE SECADO.-

Seguramente, la sección de secado tiene aún mucho camino por avanzar, para hacer más rápido y eficiente su trabajo. Las partes más importantes en esta sección, son los fieltros secadores, telas de alta permeabilidad, cajas, sopladoras, etc. etc., que pueden mejorarse o sustituirse.

La fabricación de papel y fieltros son dos industrias muy antiguas, empezaron como artesanías, desde la era anterior a Cristo. Después de los siglos, y particularmente en los últimos 100 años, estos dos campos han crecido en mutua interdependencia. La economía de la industria del papel está dentro de un camino basado realmente en los avances de la industria de los fieltros.

En la antigüedad, un tipo de fieltro se colocaba entre las hojas de papel mojadas y la prensa, para remover el exceso de agua de la hoja, en el primer proceso manual.

Los primeros fieltros eran, probablemente, manufacturados de algún hilo de lana, no de los materiales tejidos, como en la actualidad.

No hubieron telas especiales de lana hechas por fabricantes de papel, sino hasta el siglo XVIII. En años recientes, se ha incrementado la actividad en todas las fases del desarrollo técnico de la industria del papel. Teorías detalladas claramente, han sido expuestas para explicar la acción de desaguar sobre la malla de alambre y secar en la prensa, pero la sección de secado permanece pobremente en un área del mapa.

Hemos dado una pequeña atención al secado final, en comparación con la malla de alambre y sección de prensa, aun cuando la sección de secado es la más costosa en el proceso de manufactura de papel. Hace unos pocos años, a causa del desarrollo de nuevos tipos de secadoras de ropa, la gente se empezó a preocupar del proceso de secado y sus componentes básicos. Esto condujo a

avances en todas las áreas en la tecnología del secado, por ejemplo, ventilación, configuración de la máquina, desague de secado y secado de ropa.

Desde la invención del cilindro de secado, los fabricantes de papel han tenido la necesidad de un fieltro secador para aumentar la eficiencia de la operación de secado. Los primeros fieltros húmedos utilizados, fueron manufacturados de lana, primeramente se usaron en la prensa y, seguidamente, como fieltros secadores. Pero la lana es una fibra cara, así que se buscó un sustituto barato y, de este modo, es como se empezó a usar el algodón. Los primeros fieltros de algodón -- fueron pesadas lonas y, entre más pesadas, se vio que eran más durables y más resistentes a la velocidad, lo cual condujo al desarrollo de la construcción de multicapas.

Las temperaturas de secado van imperceptiblemente hacia arriba, como la técnica desarrollada de la fabricación de papel. Esto sucedía rápidamente cuando alguna cosa mejor que el algodón o la lana iba apareciendo. En los años de 1920, la fibra de asbesto se empezó a usar y aún en la actualidad, se usa en algunos fieltros secadores.

Entre los años 20s y finales de los 40s, muchos materiales diferentes y combinaciones de materiales, fueron tratados, por ejemplo : cáñamo, lino, etc., pero ninguno reemplazaba exitosamente el tradicional algodón, asbestos y fibras de lana.

Alrededor de 1949, aparecieron fibras sintéticas semejantes al dacrón y nylon, estas fibras pueden usarse en 100% o en combinación con algodón o lana, obteniéndose así mejor composición.

El desarrollo del proceso "needling" (telas agujeradas), en la mitad de los 50s, dió a los fabricantes de fieltros un nuevo método de manufactura, así aparecieron nuevos fieltros secadores alrededor de 1957. Estos fieltros eran construídos normalmente con 100% de fibras sintéticas.

El próximo desarrollo grande, vino en 1961, cuando se instaló la tela tipo criba o "Screen", la cual aumentó la eficiencia -

del secado. Esto estableció un tercer tipo de construcción básica. Entre 1961 y la actualidad, el tipo "Screen" ha incrementado alrededor de un 15% el mercado.

La industria de fieltros secadores, es vista ahora con altas temperaturas, aumento de velocidades en la máquina y completamente nuevas técnicas de ventilación.

En las máquinas multicilíndricas, la ventilación de las bolsas secadoras tiene gran importancia en cuanto al resultado del secado. En el caso de que se usen fieltros secadores, - el aire que se encuentra en las bolsas, tiene generalmente en el centro de la máquina, un contenido de humedad mayor - que en los lados, lo que implica que la velocidad de secado no es uniforme sobre toda la anchura de la máquina. Está -- probado que las telas plásticas secadoras de alta permeabilidad, producen una ventilación importante de las bolsas secadoras, lo que causa una reducción y nivelación del grado de humedad del aire. De ahí que la velocidad de secado se haga más uniforme, sobre todo a la anchura de la máquina, lo que muchas veces se traduce en un incremento de la capacidad de secado y una mejora en el perfil de humedad, a la vez que la presión de vapor y el consumo del mismo, pueden ser mantenidos más bajos. El uso de los varios sistemas de insuflación de aire a través de telas secadoras, se propaga más y más, y han sido alcanzados resultados prometedores.

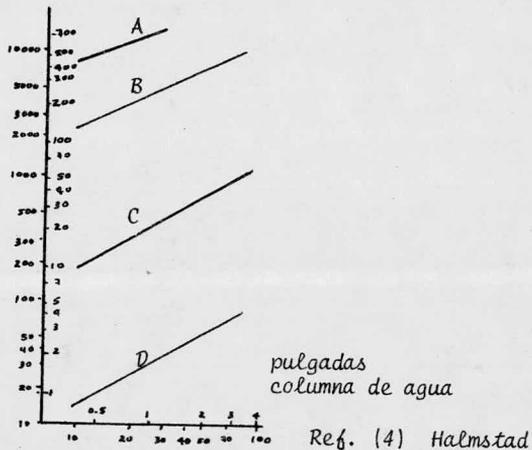
5.2.- TELAS PLASTICAS SECADORAS.-

DEFINICION.- No existe ninguna definición universalmente aceptada de las telas secadoras. Por telas secadoras entendemos, - sin embargo, en este artículo, toda guarnición para el secado y la permeabilidad al aire superior aproximadamente a 75 pies cúbicos por pie cuadrado/minuto (cub.ft./sq.ft., min.) con una caída de presión de 0.5 pulgadas (12.7 milímetros) de columna de agua, lo que corresponde aproximadamente a $1\ 200\ m^3/m^2$, h con una caída de presión de 10 mm. columna de agua.

Permeabilidad del aire.- La permeabilidad del aire que, a continuación solamente llamaremos permeabilidad, se indica por el volumen de aire a la presión atmosférica que, por unidad de tiempo, atraviesa la guarnición con una caída de presión dada y relativamente leve. En la Figura No. 1 vemos este volumen de aire, en relación con la caída de presión. Las mediciones fueron tomadas por los aparatos de Nordiskafilt.

FIGURA No. 1

Volumen de la corriente de aire $m^3/m^2 h$ - cub.ft./sq.ft., min.



Caída de presión, milímetros columna de agua

Volumen de la corriente de aire, en relación con la caída de presión.

- A.- Tela plástica secadora de alta permeabilidad. B.- Tela plástica secadora. C.- Filtro secador agujeteado. D.- Filtro secador de algodón.

Por lo general, se indica la permeabilidad con una caída de presión de 0.5" (12.7 milímetros) o de 10 mm. columna de --- agua y muy raramente con una caída de 20 mm. columna de agua. Debido a que en los países anglosajones se refiere, en la mayoría de los casos a 0.5" de columna de agua, se expresa una re-

lación con esta base de medición en pies cúbicos por pie cuadrado por minuto (cub.ft./sq.ft., min.) únicamente cuando se refiere a una caída de presión de 10 mm. de columna de agua, la medición se expresará en metros cúbicos por metro cuadrado hora.

Los valores de permeabilidad en la tabla, son los que valen para telas plásticas secadoras, de las más usuales en Nordiskafilt.

En la actualidad, también hemos indicado para cada una, el peso por unidad de superficie y el espesor.

Con el fin de poder comparar, hemos incluido los mismos datos para otras dos clases de guarnición.

Por la expresión telas secadoras de alta permeabilidad, entendemos aquellas en las cuales la permeabilidad es superior a 250 cu. ft./sq. ft. min., (0.5") de columna de agua aproximadamente o 4 000 M³/M² h (10 mm. de columna de agua) aproximadamente. En consecuencia, las calidades 6057/0 y 6065/0 de Nordiskafilt, que están tejidas únicamente con monofilamentos sintéticos, entran en esta categoría. En las calidades 6057/2 y 6057/3, se ha logrado una permeabilidad más baja, entre mezclando en el tejido una parte menor de hilos retorcidos. Estos últimos, están por monofilamentos, lo que hace que las propiedades favorables de una tela de monofilamento, se conserven.

Propiedades de las telas plásticas secadoras.- Ciertas perturbaciones que ocurrieron en la marcha de la hoja de papel, hicieron que se observara por primera vez, que telas de alta permeabilidad, ponen en movimiento cantidades de aire considerables.

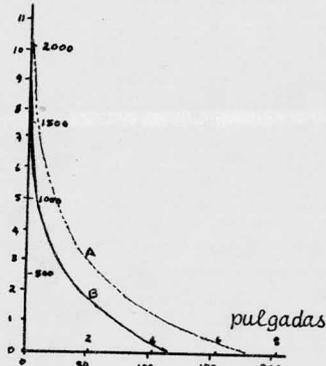
Los inconvenientes surgieron en ciertas máquinas de papel prensa, cuya velocidad sobrepasaba los 500 metros por minuto. Por regla general, dichos inconvenientes pudieron ser eliminados, desplazando unos rodillos de la sequería.

Alrededor de toda hoja que va avanzando, se forma una capa de aire, la cual se pone en movimiento y es arrastrada por la hoja en la dirección de su marcha. La velocidad de dicha capa de aire y el espesor de ésta, depende de la velocidad y aspereza de la hoja en cuestión.

Consta que las telas secadoras de alta permeabilidad producen corrientes de aire considerablemente más grandes que las causadas, por ejemplo, por un fieltro secador de algodón. Este fenómeno está ilustrado en la Figura No. 2 donde podemos ver la velocidad del aire a diferentes distancias de una tela de alta permeabilidad y de un fieltro secador de algodón. En ambos casos, la velocidad de la máquina es de 650 m/mín.

FIGURA No. 2

Velocidad del aire metros/segundo - ft./mín.



Ref. (4) Halmstad

Distancia desde la superficie, milímetros.

Velocidad del aire, en relación con la distancia desde la superficie.

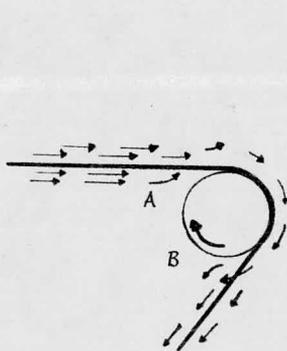
Velocidad de la máquina 650 metros/minuto.

A.- Tela plástica secadora de alta permeabilidad. B.- Fieltro.

Las telas de alta permeabilidad tienen la propiedad de arrastrar consigo voluminosas capas de aire, lo cual se hace particularmente interesante al considerar lo que pasa cuando la tela entra, por ejemplo, en contacto con un rodillo guía (Figura No. 3)

Cuando la corriente de aire arrastrada por la tela, choca contra el rodillo, ésta frena y sube. Se forma una "garganta de compresión" en A y, debido a la alta permeabilidad de la tela, hay aire que la atraviesa; donde la tela deja el rodillo, se produce una "garganta de vacío" en B, que se llena de aire aspirado a través de la tela. Cierta parte del aire encerrado en la "garganta de compresión", escapa naturalmente por los lados, pero el volumen de aire que atraviesa la tela, puede ser considerable. Esto ha sido probado por ensayos llevados a cabo en el Departamento de Investigaciones y Desarrollo de Nordiskafilt, en colaboración con AB Svenska Flaktfabriken; para simular lo que pasa en una bolsa secadora de una máquina de papel, se ha construido un dispositivo de ensayo, cuyo esquema podemos ver en la Figura No. 4, donde el rodillo A supone ser un rodillo en una bolsa secadora.

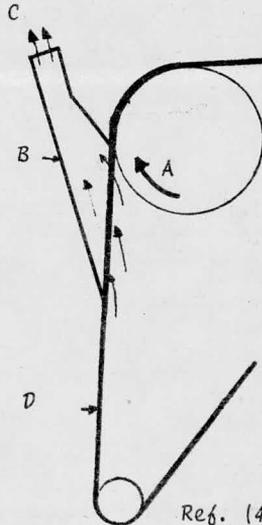
FIGURAS No. 3 y 4



Corriente de aire a través de una tela alrededor de un rodillo.

- A.- Garganta de compresión
B.- Garganta de vacío

Ref. (4) Halmstad



Ref. (4) Halmstad

Dispositivo de ensayos para la medición del volumen de la corriente de aire.

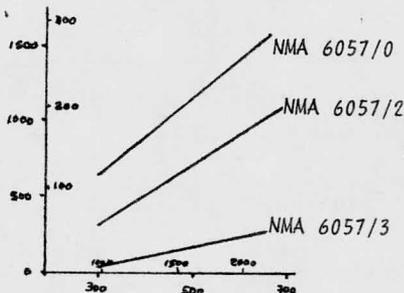
- A.- Rodillo
B.- Conducto de medida
C.- Salida de aire
D.- Tela secadora

La longitud del rodillo es de 50 cms. Su diámetro es de 55 cms. Los rodillos en una máquina de papel ancha, tienen un diámetro bastante semejante al del rodillo utilizado para el ensayo B, representa una lámina fija que supone corresponder a la hoja de papel. Dicha lámina también tiene por objeto sacar de la tela D el aire que trae consigo. Del conducto de medida, de 20 cms. de ancho, formando al ajustar dos paredes en la lámina, sale una corriente de aire en C, la velocidad de esta corriente ha sido medida por medio de un anemómetro. Tomando esta velocidad como base, se ha podido calcular el volumen de aire que debería salir por unidad de ancho y unidad de tiempo. Este volumen está indicado en la Figura No. 5, como una función de la velocidad de la máquina para tres diferentes tipos de telas, cuyas demás características figuran en la tabla.

Al proceder el ensayo con un fieltro secador de algodón, la cantidad de aire registrada fué poca, debido a que su impermeabilidad es tan grande que solamente deja atravesar una cantidad de aire insignificante.

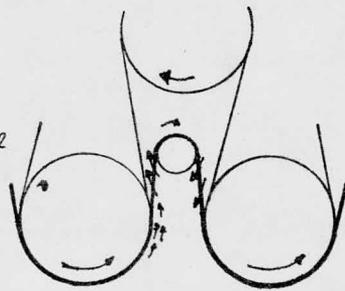
FIGURAS Nos. 5 y 6

Volumen de la corriente de aire
 $m^3/m.h$ - cub. ft./ft., min.



Velocidad de la máquina,
 metros/mínuto.

Volumen de la corriente
 de aire, en relación con
 la velocidad de la máquina.



Direcciones predominantes de
 las corrientes de aire.

Ref. (4) Halmstad

Efectos en la bolsa secadora.- El dispositivo presentado en la Figura No. 4, naturalmente no corresponde de modo exacto a las condiciones encontradas en una bolsa secadora de una máquina de papel, en donde también la hoja y el cilindro secador están en movimiento y, donde el ancho es mucho más grande, no es fácil aclarar detalladamente los movimientos de aire en una bolsa seca dora de una máquina en plena actividad. Además, los factores que intervienen, varían de una máquina a otra, ya que el ancho de la hoja y la velocidad de la máquina, son diferentes. A esto se añaden otros elementos, tales como la temperatura, la evaporación, etc. En los Estados Unidos, han sido estudiadas las corrientes de aire, en un aparato de ensayos. En la Figura No. 6, las direcciones predominantes de las corrientes de aire registradas, se encuentran marcadas con flechas.

Como se puede ver en esta Figura, hay aire que es atraído hacia dentro de la bolsa y, del mismo modo, es expulsado de la misma, aunque sujeto a las diferencias que se encuentran en las disposiciones geométricas alrededor de la "garganta de compresión" y la "garganta de vacío", es el flujo de aire, dentro de la hoja, el que constituye el efecto predominante. Por eso, se observa por regla general, que hay aire que escapa de las bolsas secadoras, por los lados de la máquina de papel. La velocidad del aire no debe sobrepasar los dos metros por segundo aproximadamente, pues de lo contrario hay riesgo de que aparezcan perturbaciones en los lados de la hoja de papel.

La ventilación de las bolsas secadoras, produce un efecto ventajoso en la capacidad de secado y en el perfil de humedad del papel.

En la Figura No. 5, observamos que la cantidad de aire introducida en la bolsa secadora, aumenta en proporción con la velocidad de la máquina. De ahí que la ventilación de las telas, alcanza mayor importancia a velocidades elevadas. Mirándolo bien, la evaporación de agua en los recorridos libres entre los cilindros, también pare-

cen tener mayor importancia a velocidades elevadas.

Perfil de humedad del papel.- Las velocidades de máquina más elevadas, se encuentran en las máquinas que fabrican papel de un gramaje relativamente bajo. Para el secado de esta clase de papeles en máquinas multicilíndricas anchas, guarnecidas con fieltros secadores, lo que plantea el problema más importante, es la desigualdad de la velocidad de evaporación sobre el ancho. En el papel prensa, el contenido de humedad al enrollar, frecuentemente es de 6% en los lados y, de 9% en el centro; si la máquina es del tipo de sequería, totalmente cerrada. En las máquinas con sequería abierta o semicerrada, los resultados son todavía peores. El perfil desigual de humedad, hace que muchas veces no se pueda dejar sobrepasar el grado medio de humedad, de 7% aproximadamente.

Un análisis matemático, ha demostrado que la desigualdad en el perfil de humedad del papel, proviene del contenido de humedad elevado, que existe en el centro de las bolsas secadoras. Unas experiencias prácticas, confirman que la desigualdad en el perfil de humedad, desaparece al quitar el aire húmedo del centro de las bolsas secadoras.

La ventilación de las bolsas secadoras, puede hacerse de distintas formas. En una bolsa secadora del tercer grupo de una máquina de papel prensa de 7 m. de ancho, se ha medido la temperatura de bulbo seco y la temperatura de bulbo húmedo, sobre todo lo ancho. Las medidas fueron efectuadas por la fábrica de papel, en colaboración con AB Svenska Flaktfabriken, siendo la velocidad de la máquina de 670 mts. por minuto, aproximadamente. Por medio de los datos así obtenidos, se ha podido calcular la presión parcial del vapor de agua. Los resultados de estos cálculos están ilustrados en la Figura No. 7.

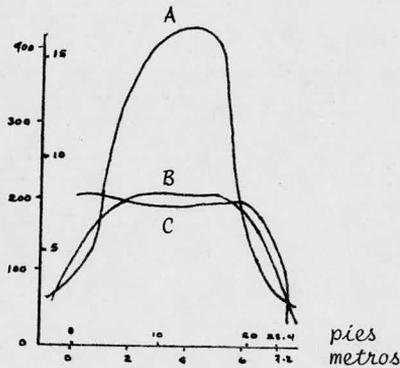
Se puede ver que el contenido de agua del aire era muy alto en el centro de la bolsa, cuando se utilizaba únicamente un fieltro secador de algodón. Después de haber instalado perfectamente la bolsa secadora, en un sencillo tubo soplador, insuflando aire secador,

el contenido de agua del aire bajó en el centro. El mismo efecto fué obtenido sin suministrar aire por el tubo soplador, cuando se cambió el fieltro secador de algodón por una tela plástica secadora de alta permeabilidad. Esto prueba que el efecto de ventilación de la tela era suficiente para alcanzar una baja e igualación satisfactoria de la humedad del aire. Se puede admitir que el aire introducido por la tela tenía un contenido de agua bastante bajo y es por eso que ninguna baja de la humedad del aire se registró; cuando el aire suplementario fué insuflado en la bolsa secadora por medio de una caja sopladora especial, se hizo penetrar una cantidad suficiente de aire caliente y seco, el nivel de la presión parcial del vapor pudo bajarse hasta 100 mm. Hg, para que el aire que se encuentra en las bolsas secadoras, pueda surtir su efecto de igualación óptimo en la velocidad de evaporación; a través de la máquina, tienen prácticamente que recibir un insuflado todas las bolsas secadoras. Es así que se ha mejorado considerablemente el perfil de humedad del papel.

Como lo mencionamos anteriormente, la circulación de aire alrededor de las telas, está en relación con la velocidad de la máquina; por consiguiente, en las máquinas de velocidad reducida, no pueden esperarse mejoras tan radicales, pero consta que hasta en estas máquinas la introducción de telas plásticas secadoras tienen gran importancia, tanto para la evaporación del papel, cuando éste pasa sobre los cilindros secadores, como en combinación con los nuevos sistemas de ventilación suplementaria de las bolsas secadoras.

FIGURA No. 7

Presión parcial de vapor
mm Hg-pulgadas Hg



Ref. (4) Halmstad

Presión parcial del vapor de agua en una bolsa secadora de una máquina de papel prensa.

- A.- Fieltro secador de algodón.
- B.- Fieltro secador de algodón al insuflar aire.
- C.- Tela secadora de alta permeabilidad.

Dificultades.- Como lo hicimos observar más arriba, ciertas dificultades pueden surgir después de la instalación de telas de alta permeabilidad en máquinas que fueron construídas para fieltro. A -- velocidades superiores a 500 m/min., las corrientes de aire mencionadas, pueden provocar perturbaciones y una ondulación puede ocurrir en la hoja de papel. Corrientes de aire dirigidas contra la hoja, - ocurren cuando los rodillos están a la entrada de los grupos secadores, como por ejemplo en la Figura No. 8. Tales corrientes de aire pueden causar la formación de pliegues y la ondulación de las hojas. En la misma Figura 8, podemos ver unos ejemplos de como, en la práctica, se ha remediado este inconveniente, cambiando de sitio unos ro



dillos o insertando un deflector.

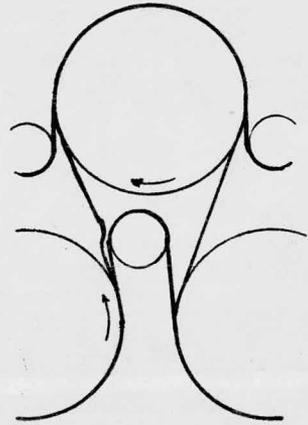
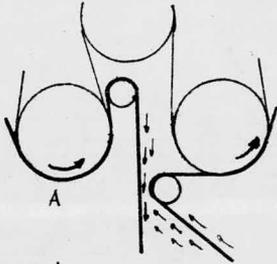
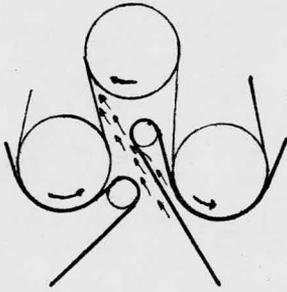
Quizá el problema más difícil de resolver, al pasar de fieltro a telas, es el que se plantea cuando los rodillos están colocados en modo asimétrico entre los cilindros secadores, como se ve en la Figura No. 9. El vacío que se produce en la línea de contacto entre la tela y el rodillo, puede adherir la hoja. Este fenómeno se hace particularmente molesto, al embarcamiento del papel en la máquina. Otra dificultad puede surgir, por lo que todas las telas usadas en máquinas anchas y de alta velocidad están provistas de una costura mecánica, la cual puede causar que la hoja continua sea arrancada. Si no es posible modificar la posición de los rodillos, se debe elegir una guarnición de secado en la que la permeabilidad sea inferior a 200 cub. ft./sq. ft., min. (0.5" W.g). Todas las máquinas de construcción reciente tienen, sin embargo, sus rodillos colocados de modo simétrico, o descentrados en sentido contrario, por lo cual queda eliminado ese inconveniente.

Hay que hacer observar que, en máquinas de construcción antigua y con campana de extracción ineficaces, si se cambian los filtros secadores por telas de alta permeabilidad. Además, en tales casos puede formarse una ondulación en los lados, cuando la velocidad es elevada conviene elegir, para esta clase de máquinas, telas de permeabilidad más baja.

Si la ventilación es mala, a veces ocurre una condensación en los rodillos de retorno. En tal caso, se debe utilizar, o bien un cilindro soplador, o bien un cilindro secador de fieltro, para mantener seca la tela.

Aumento de la velocidad por medio de cajas sopladoras.- En el transcurso de los últimos años, las campanas y los equipos de ventilación han sido desarrollados muy rápidamente. Particularmente prometedores son los nuevos dispositivos destinados a la ventilación de las bolsas secadoras. Desde hace mucho tiempo, se ha insuflado aire en las bolsas secadoras, por medio de tubos sopladores, colocados dentro de las bolsas. Tales

FIGURAS Nos. 8 y 9



Adherencia por succión de la hoja en la línea de contacto, entre una tela de alta permeabilidad y un rodillo.

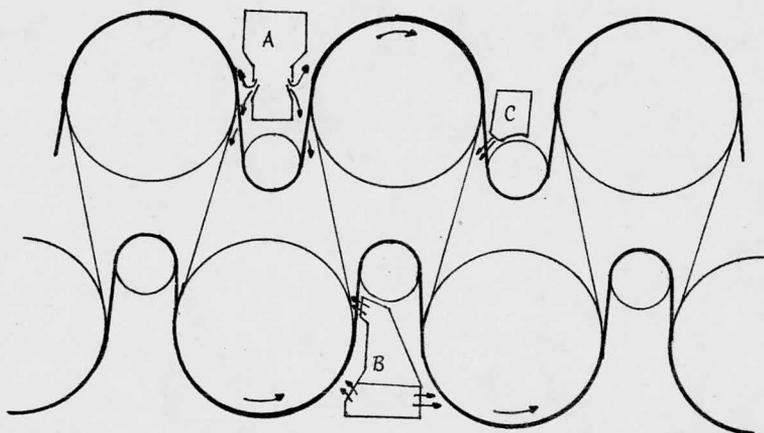
Ref. (4) Halmstad

Corriente de aire perturbadora (esquema superior).

A, B y C muestran varios sistemas para eliminar la corriente indeseable.

tubos, sin embargo, constituyen un estorbo para la limpieza, después de una ruptura de la hoja de papel. Desde la introducción de las telas secadoras de alta permeabilidad, se tiene la ventaja, - que se puede soplar aire seco a través de la guarnición, por dispositivos colocados fuera de las bolsas secadoras. Se ha demostrado que se puede pasar aire, aunque se tenga una presión relativamente baja, a través de una tela de alta permeabilidad en movimiento. Además, con una construcción bien apropiada de la caja sopladora, hay manera de aprovecharse la corriente de aire producida por la tela, para aumentar en esta forma la ventilación. Queremos subrayar que las cajas sopladoras, ofrecen la gran ventaja de poder manejar aire de secado, dentro de las bolsas, a la temperatura y grado de humedad deseados. En la Figura No.10, vemos varios tipos - de cajas sopladoras, que han sido montadas en máquinas destinadas a la fabricación de varias clases de papel y, de varias velocidades. La caja sopladora tipo B, ofrece la ventaja de poder soplar aire, a través de la tela, en aquellos lugares donde dicha tela cubre el papel que avanza sobre el cilindro. De este modo se puede atravesar la capa barrera de vapor, que se forma cerca del papel, para aumentar en esta forma la capacidad de secado.

FIGURA No. 10



Varios tipos de cajas sopladoras.

A.- Gardner

B.- Svenska Fläkt

C.- Beloit-Walmsley

Ref. (4) Halmstad

Ventilación.- Se ha demostrado que el estado del aire en las bolsas de secado, influye sobre el perfil de humedad de la banda de papel. Los primeros pasos hacia una mejora en la ventilación de las bolsas de secado y, por lo tanto, del perfil de humedad del papel, fueron tomados al instalarse por primera vez tubos de soplado, por Grewin. Se han efectuado grandes adelantes desde entonces. La fuerza propulsora, en la evaporación desde una superficie húmeda a una corriente de aire, está constituida por la diferencia de presión parcial de vapor de -- agua. La velocidad de evaporación, puede calcularse con la siguiente ecuación :

$$A = m (P_p - P_A)$$

Donde :

A = Velocidad de evaporación por unidad de superficie.

m = Índice de transmisión de masa del papel al aire.

P_p = Presión parcial del vapor de agua en el papel.

P_A = Presión parcial del vapor de agua en el aire.

Esto significa que la velocidad de evaporación depende, en alto grado, del estado del aire que se encuentra junto a la banda de papel. Cuanto más seco es el aire, más rápida es la evaporación. El índice de transmisión de masa, depende también de la velocidad del aire, según la siguiente fórmula :

$$m = k v^{0.8}$$

Donde :

v = Velocidad del aire junto a la superficie de papel.

k = Una constante.

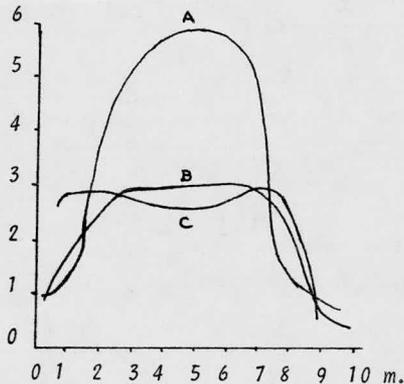
La alta velocidad del aire es, por lo tanto, el segundo criterio de la alta capacidad de secado. Si no tiene lugar ningún intercambio de aire alrededor de las bolsas de secado, ni se usa fieltro con alta permeabilidad, se produce una estancación de aire en el centro de -- las bolsas y, la humedad del aire aumenta, hasta que se haya obtenido una condición de equilibrio. La única fuerza que pone en movimiento el aire, es el incremento de temperatura, debido a la radiación desde el cilindro.

Entonces salen pequeñas cantidades de aire saturado, de las partes superiores de las bolsas y, el aire seco, penetra solamente en la parte inferior de la bolsa.

La introducción de las telas secadoras abiertas, varía las condiciones, obteniéndose una mejor ventilación en las bolsas. Normalmente, el aire se introduce, a través de tres o cuatro canales. El aire se mueve hacia arriba, hasta que llega a la parte de retorno del fieltro inferior, donde es impulsado hacia los lados y hacia arriba, a lo largo de la máquina. En ciertos casos, se presentan corrientes irregulares de aire incontrolables, en sentido transversal de las bolsas con respecto a la máquina y, a veces, todo el aire que llega a las bolsas viene de los lados. Se han efectuado varias mediciones de la velocidad del aire, un ejemplo de esto lo encontramos en la Figura No. 11

FIGURA No. 11

Presión de vapor parcial
m.c.d.a.



Ejemplo de presión de vapor en sentido transversal en la bolsa de secado en una máquina de papel prensa.

- A.- Fielto de algodón.
- B.- Fielto de algodón con soplado de aire.
- C.- Tela altamente permeable.

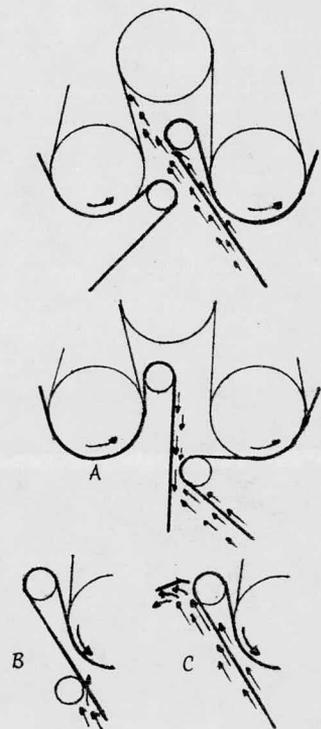
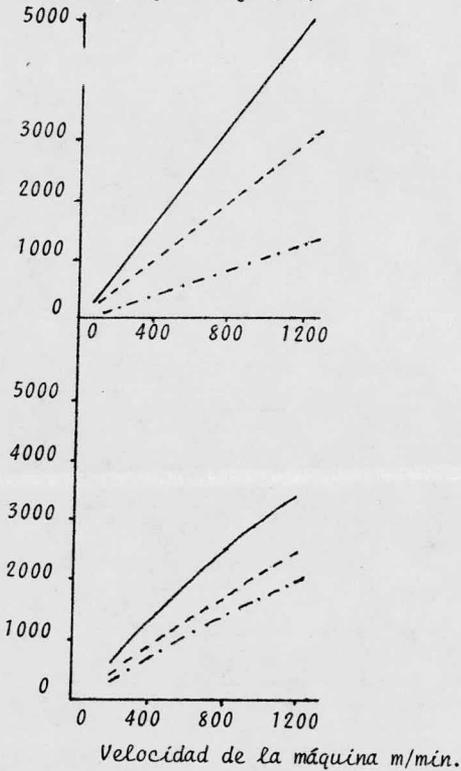
Ref. (4) Halmstad

En el empleo de telas de secado abiertas, el aire caliente y seco puede introducirse prácticamente en cualquier lugar. El efecto de la ventilación espontánea, con telas de secado, no siempre es suficiente, ya que el aire que penetra en las bolsas, procede de la capa límite, transportada por la tela y, por lo tanto, tienen un alto contenido de vapor de agua y una baja capacidad de secado. Por lo tanto, el aire caliente y seco, deberá conducirse hacia dentro de las bolsas, con ayuda de un sistema de ventilación. Estos sistemas de ventilación, son principalmente de tres tipos; tubos de soplado dentro de las bolsas, cajas sopladoras de las bolsas fuera de la tela y, cilindros de soplado. En los últimos casos, el aire es impulsado a través de la tela. Las cajas de soplado, - son probablemente las más difíciles de emplear y pueden construirse de una manera simple, para una alta capacidad. Mediante un emplazamiento fuera de la tela, las cajas no producen ningún entorpecimiento en caso de ruptura de la banda de papel. La cantidad de aire que penetra a través de una tela de secado, es proporcional a la velocidad de la máquina, tal como se muestra en la Figura No. 12

La uniformidad superficial de la tela, influye sobre el espesor de la capa límite del aire inmóvil, que está sustentado por la tela. Esta capa de aire puede crear problemas, en forma de ondeamientos en la banda de papel, especialmente en bolsas entre grupos de secado. Como solución al problema, se recomienda la modificación del emplazamiento de los rodillos guía, de la manera que se muestra en la Figura No. 13

FIGURA No. 12 y 13

Flujo de aire a la entrada $m^3/m^2 h.$
 Salida (gráfica inferior)



Corrientes de aire que producen transtornos en las bolsas, entre los grupos secadores. A, B y C, muestran las diferentes maneras de eliminar estos transtornos.

Cantidades de aire medidas a la entrada y a la salida, en una bolsa de secado.
 Permeabilidad del aire :
 $m^3/m^2 h$ a 10 mm. c.d.a. _____ 7,200
 _____ 4,150
 _____ 14,800

Ref. (4) Halmstad

CAPITULO VI

6.1.- ANALISIS GENERAL.

La máquina de papel consta de varias secciones, entre ellas tenemos, la sección de secado, que como hemos visto, es -- prácticamente un cambiador de calor, en donde los flujos intercambiantes de temperatura, son : papel húmedo, vapor de agua, agua condensada y papel seco, más humedad.

Aquí encontramos los distintos tipos de transmisión de calor, como son la radiación, conducción y convección. Prácticamente, el secado de papel se fundamenta, en la transferencia de calor y transferencia de masa, lo cual hace que esta sección sea un intercambiador especial y sofisticado. Existen variantes en la sección de secado, de las diferentes máquinas de papel, pero esto se debe únicamente, a la forma de dichas máquinas, ya que en el fundamento todas son iguales.

Las variaciones de secado, a lo largo y ancho de la máquina, son muy importantes, pues de esto depende la calidad del papel, así como su apariencia y resistencia. Todo tipo de papel debe tener un cierto porcentaje de humedad, como producto terminado.

Existen diferentes tipos de secado, según el tipo de papel que se desea producir; también existen diferentes arreglos de estas secciones de secado, por ejemplo, la sección de secado vertical que se utiliza, como ya vimos, para un cierto tipo de papel y, como segundo fin, tiene el de utilizar un espacio reducido.

En el secado de papel, es muy importante conocer la cantidad de agua o humedad que estamos eliminando, pues de esta forma, podemos controlar las condiciones de la máquina y así obtener

un porcentaje de humedad final requerida. Existen métodos pre-establecidos para el cálculo de esta humedad eliminada; en este trabajo mencionamos una forma únicamente, aunque existen otras, por ejemplo, por medio de nomogramas.

En la operación de secado, tenemos una gran cantidad de factores que lo afectan directamente, es importante conocerlos, para evitar su negatividad en dicha operación.

Habíamos dicho que es sumamente importante el secado, en la producción de papel, pues como se vió en capítulos anteriores, los cuales tratan de la estabilidad dimensional, ésta se ve afectada en distintas formas, cuando el secado no es apropiado, aunque no es éste únicamente el causante de la inestabilidad, sino uno de tantos factores como lo son; el tamaño de la fibra, el tipo de fibra, la formación del papel o el tipo de alimentación de la pulpa, etc. etc. Las propiedades mecánicas del papel, también se ven afectadas, cuando el secado no se lleva a cabo en forma adecuada.

Una parte sumamente importante, de los accesorios de la sección de secado, son las telas secadoras o fieltros secadores, así como la ventilación artificial para aumentar la eficiencia de los mismos fieltros y, por ende, la misma sección de secado. En lo futuro, estos accesorios juegan un papel importante, pues son ellos principalmente los que se pueden mejorar, para aumentar la eficiencia y velocidad de secado.

Existe una gran cantidad de información, que las personas dedicadas a la manufactura del papel, es imprescindible que la conozcan, para obtener mejor calidad de producto y más ganancia económica.

CAPITULO VII

7.1.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

En la producción de papel, debe procurarse tener siempre en buen funcionamiento la sección de secado y mejorarse hasta donde sea posible.

Con respecto a los objetivos enfocados en este trabajo, primeramente se realizó el estudio y análisis de la transferencia de calor en la sección de secado, lo cual nos permitió entender fácilmente el funcionamiento de la misma.

En el segundo objetivo, remarcamos los tipos de secado que existen, los cuales son : secado por radiación, secado por convección y secado por conducción.

En el tercer objetivo, tenemos que, el fundamento de su funcionamiento, es la evaporación del agua que, en forma de humedad, se encuentra en la hoja y, posteriormente, pasa a la atmósfera por medio del proceso de secado.

Como conclusión del cuarto objetivo tenemos que, el uso específico de la sección de secado, en la producción de los diferentes tipos de papel, es la de quitarle la humedad en forma correcta, dejando únicamente la requerida, según el tipo de papel.

Por lo que se refiere al último objetivo, vimos que las primeras máquinas de papel, realizaban la operación de secado, haciendo uso de las condiciones normales del clima y, en forma bastante artesanal. Con el paso del tiempo, la tecnología avanzó, apareciendo las primeras máquinas de proceso continuo, las cuales utilizaron cilindros secadores y lonas de secado, revolucionando así la industria papelera.

Es indispensable llevar un riguroso control de calidad en la sección de secado, al igual que en todas las partes del proceso.

No se deben permitir marcas producidas por los fieltros, exceso de secado, línea de humedad, fibras levantadas, ondulaciones, rugosidades, rasgaduras, etc. etc.

Con respecto a la estabilidad dimensional y propiedades mecánicas del papel, es necesario que se estén revisando constantemente, pues en ellas se refleja inmediatamente muchas fallas del proceso de secado y también fallas de otras secciones; el control de la estabilidad dimensional y propiedades mecánicas, nos proporciona una información bastante amplia, de la calidad del producto final.

CAPITULO VIII

G L O S A R I O

- 1.- *Gradiente* - Es la diferencia de energía que existe entre dos sistemas.
- 2.- *Presión parcial* - Es la presión de vapor de un componente en una mezcla.
- 3.- *Tensión superficial* - Es la fuerza perpendicular a la superficie de un líquido y, dirigida hacia el seno de éste, causada por las fuerzas de atracción intermoleculares en el seno del líquido.
- 4.- *Histéresis* - Es el efecto de una fuerza de fricción, que actúa a lo largo de la superficie, impidiendo los movimientos de avance y retroceso del líquido. (Medición del ángulo de contacto en avance y retroceso)
- 5.- *Resistencia* - Dificultad variable que opone un conductor al paso de la corriente eléctrica.
- 6.- *Ohm* - Es la unidad en que se mide una resistencia.
- 7.- *Volt* - Es la unidad de fuerza eléctrica que, al aplicarse a un conductor de un Ohm, producirá una corriente de un ampere.
- 8.- *Potencia* - Capacidad eléctrica de producir trabajo.

- 9.- Watt
- 10.- Fieltro
- 11.- Two Tier
- 12.- Size press
- 13.- Creping Doctor
- Unidad de medición del poder eléctrico. (Volts por amperes = Watts)
 - Tela tejida de algodón, lana, asbesto o hilos sintéticos, que se usa en la sección de secado.
 - Es el arreglo de los cilindros secadores, en dos hileras o pisos, en la sección de secado.
 - Prensa de encolado.
 - Cuchilla crepadora.

CAPITULO IX

B I B L I O G R A F I A

- 1.- TERMODINAMICA, Saad, Ediciones Vermo, Bilbao 1971.
- 2.- TERMODINAMICS OF HEAT POWER, Faires, Mac Millan,
New York, 1960
- 3.- PROCESS HEAT TRANSFER, Donald Q. Kern
Mc Graw Hill, New York 1960
- 4.- NORDISKA MASKINFILT AKTIEBOLAGET, Halmstad, Suecia.
- 5.- PAPER INDUSTRY INSTRUMENTATION, John R. Lavigne.
Miller Freeman Publications,
Inc. 1972.
- 6.- DRY FORMING OF PAPER AND BOARD, bibliographic series
J.W. Appleton, Wisconsin 1975.
- 7.- PULP AND PAPER MANUFACTURE, 2nd. Ed. Mc Grow Hill
- 8.- TAPPI, Technical Information Sheets.
- 9.- SCANDINAVIAN PULP, PAPER AND BOARD TESTING COMMITTEE,
Drottning Kristinas väg 61,
Stockholm 8 Sweden, March 1966.
- 10.- PAPER MACHINE FELTS, Albany Felt Co. 1967. Ed. por Laurence M.
Woodside.