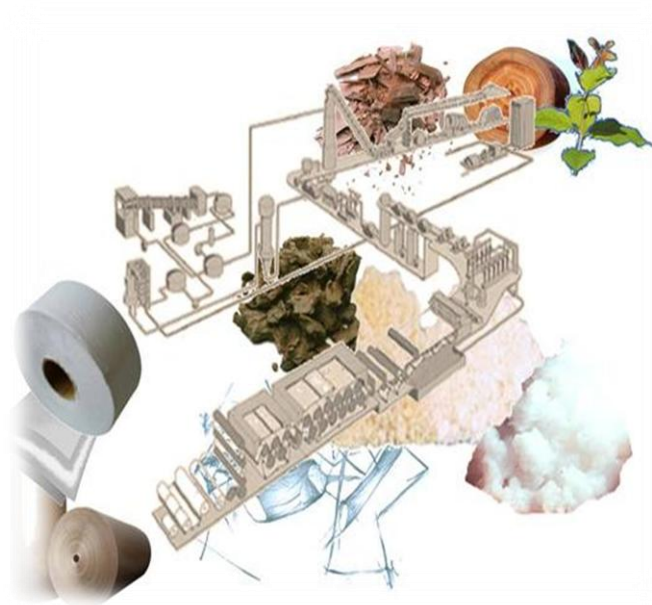


CURSO DE PREPARACIÓN DE LA PASTA



Instructor: Edison da Silva Campos
Buenos Aires, Argentina
27/04/2009

DEFINICIÓN DEL PAPEL

De acuerdo con Smook (1992), una hoja de papel se define como una hoja de fieltro de fibra formada sobre una fina malla a partir de una suspensión con agua.

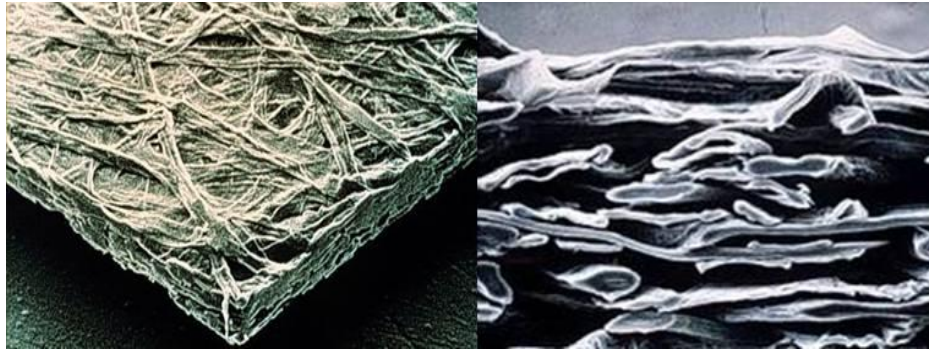


Figura 1 – FUENTE: (7)

El papel es un afieltro de fibras unidas tanto físicamente, por estar entrelazadas a modo de malla, como químicamente por puentes de hidrógeno.

HISTÓRIA DEL PAPEL

El papiro (Cyperus Papyrus): 3000 A.C.



Figura 2 - FUENTE: (16)

Pergamino: edad media.

Papel: 105 D.C., Ts'ai Lun.

En el año 105 a.c. un habitante de China llamado Ts'ai Lun, fabricó el primer papel hecho con pasta procedente de bambú o a partir de los residuos de la seda, de pedazos de garlitos, de la paja de arroz y del cáñamo, e incluso del algodón y, triturándolos, para lo cual utilizó piedras y martillos y al mezclarlos con el agua se formó una pasta líquida, que era filtrada, secada y aplanada (figura 3). Como resultado de este trabajo se dio origen a la primera hoja de papel.



Chinos → Asia Central → Árabes → Europa →

La primera máquina (figura 5, a izquierda) para elaborar papel fue inventada por el francés, Nicholas Louis Robert, un empleado del taller Didot en Francia. El cuñado de Roberts, John Gemble, sacó una patente británica en 1801, la cual fue desarrollada y financiada en Inglaterra por Henry y Seale Fourdrinier, con la ayuda del joven maquinista llamado Brian Donking, quien construyó “self acting” y automatizó la máquina en Hertfordshire (figura 4, a derecha), en 1803, la efectividad de ésta creó una sensación.



Figura 4 – FUENTE: (7)

La figura 5 presenta una máquina “fourdrinier” más actual:

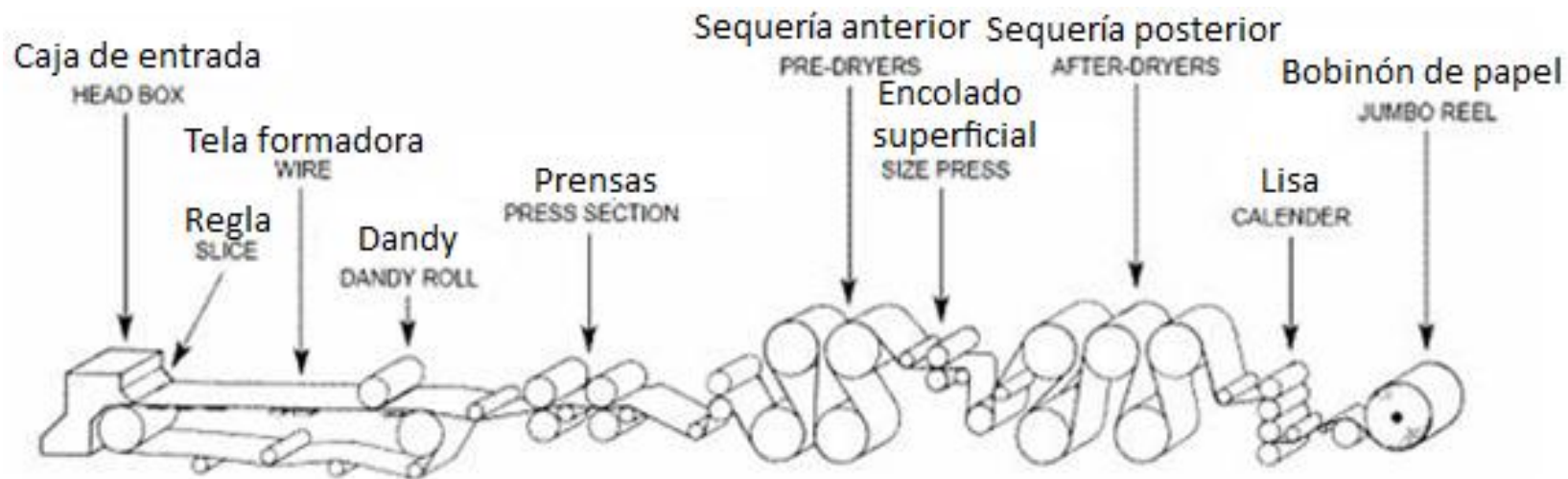


Figura 5 – FUENTE: (7)

Otro tipo de máquina para fabricar papel que apareció en este tiempo, fue un máquina con molde cilíndrico (figura 6)

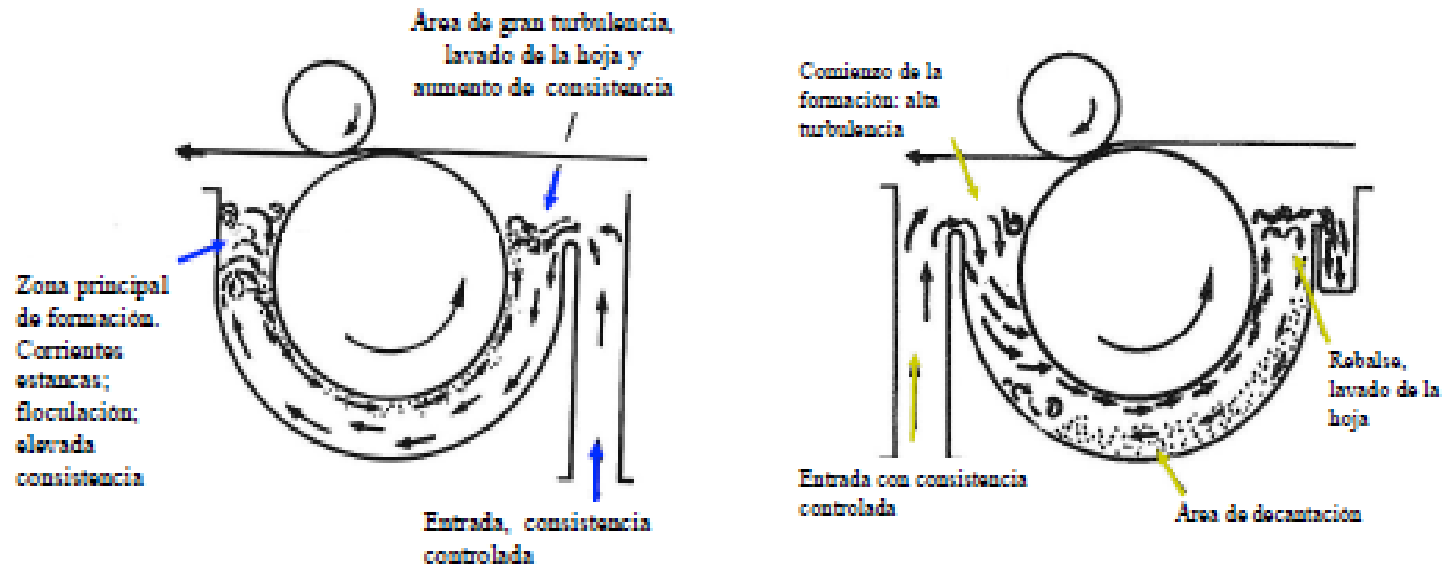


Figura 6 – FUENTE: (38)

SOSTENIBILIDAD DEL SECTOR PAPELERO

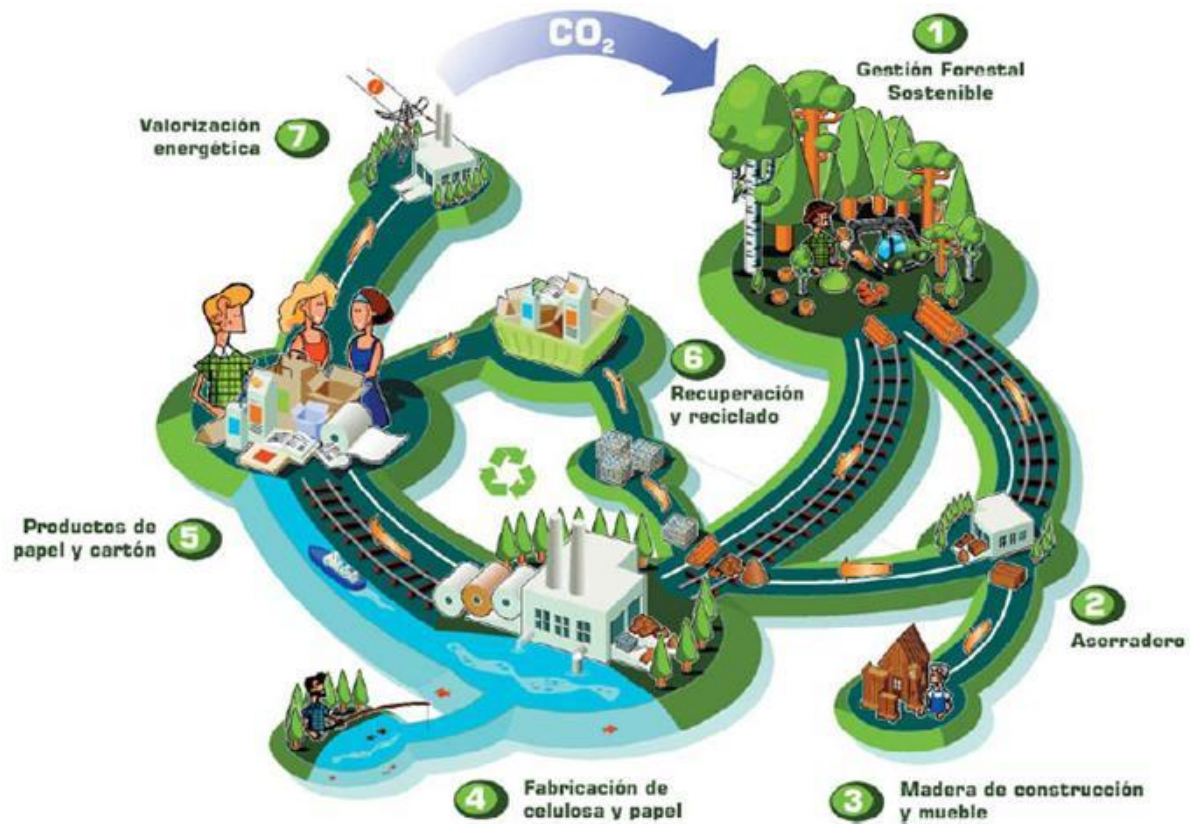


Figura 7 - FUENTE: (6)

ALGUNOS TIPOS DE PAPEL Y CARTÓN



Tipos de papeles	Tipos de papeles
Cartón	Papel cristal
Cartón blanqueado para embalaje	Papel de estraza
Cartón blanqueado	Papel de guarda
Cartón compacto	Papel de impresión y escritura
Cartón gris	Papel de seguridad
Cartón ondulado o corrugado	Papel de valores
Cartón Reciclado	Papel ecológico
Cartulina	Papel estucado (“cuché”)
Cartulina estucada con caolín	Papel libre de ácido
Cartulina plegable	Papel para envases y embalajes
Papel (cartón) multicapa	Papel pergamino
Papel “bond	Papel permanente
Papel “fluting	Papel reciclado
Papel “kraft”	Papel similsulfurizado
Papel “liner”	Papel sulfurizado (verdadero)
Papel autocopiativo	Papel tisú
Papel Biblia	Papeles especiales



CARACTERÍSTICAS DEL PAPEL PARA ONDULAR

El cartón ondulado es una estructura formada por uno o más elementos ondulados (“medium”) fijados a uno o más elementos planos (capas: “liner”), por medio de un adhesivo depositado sobre la parte superior de las ondas, como se indica en la figura 8, que representa los tipos más comunes de cartón ondulado utilizados en el mercado.

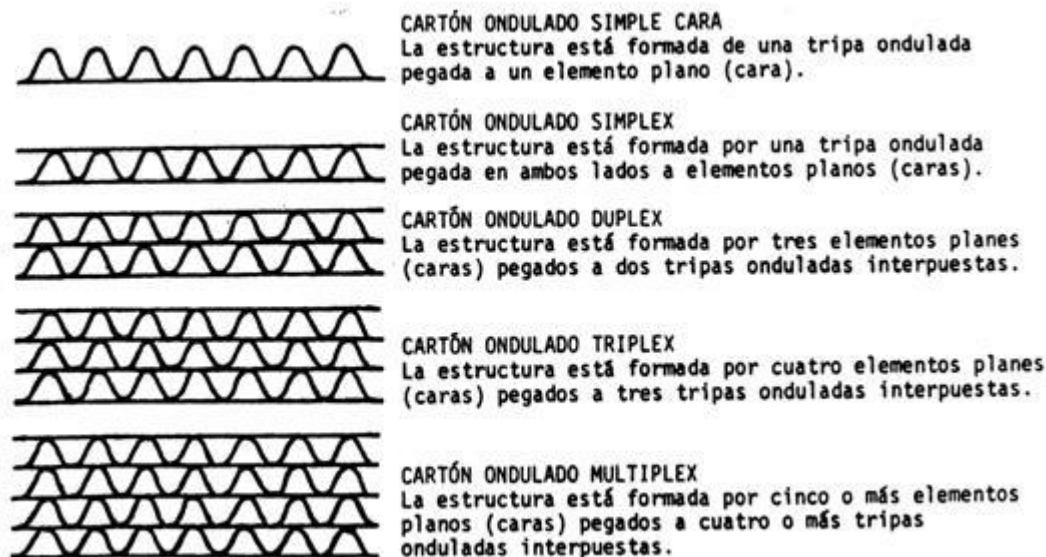


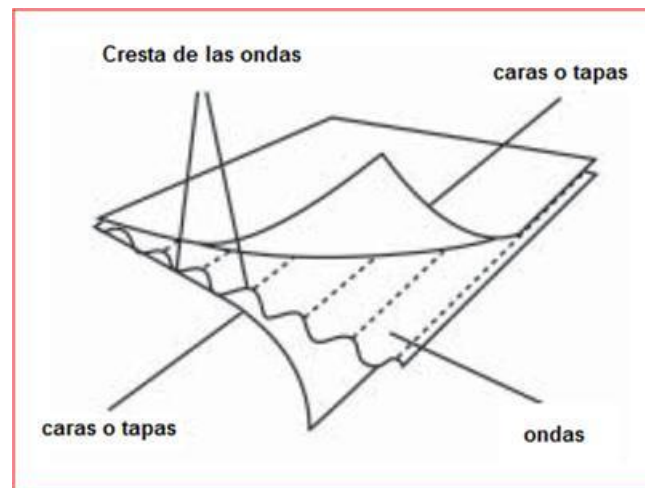
Figura 8 – FUENTE: (18)

El papel para corrugar debe satisfacer tres características fundamentales:

Ser apto para soportar la velocidad y condiciones del proceso de fabricación (“**runnability**”), esto se aplica generalmente al papel para corrugar, ya que éste se somete a violentos esfuerzos mecánicos para producir deformaciones en su estructura;

Ser capaz de producir un cartón que satisfaga su aptitud de uso (“**convertibility**”);

Ser económicos: bajo costo de producción (“**profitability**”).



Exemplo de especificação de “testliner”

Peso Básico		127	140	150	180	205	270
Tappi T410 (g/m ²)	Estándar	127	140	150	180	205	270
	Mínimo	124	137	146	175	200	262
	Máximo	130	143	154	185	210	278

		127	140	150	180	205	270
Humedad	Estándar	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
	Mínimo	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
	Máximo	8.5	8.5	8.5	8.5	9.0	9.0

		127	140	150	180	205	270
Rigidez CD	Estándar	20	23	26	32	40	48
	Mínimo	17	20	22	28	36	46

		127	140	150	180	205	270
Mullen	Estándar	55	56	65	70	75	88
	Mínimo	50	51	58	63	68	85

		127	140	150	180	205	270
Cobb (120 seg.)	Estándar	40	40	40	40	40	40
	Mínimo	30	30	30	30	30	30

Tabla I – FUENTE: (53)

Exemplo de especificação de “medium”

Peso Básico		110	127	146	150	160	176	195
Tappi T410 (g/m ²)	Estándar	110	127	146	150	160	176	195
	Mínimo	107	124	142	146	155	172	190
	Máximo	113	130	150	154	165	180	200

		110	127	146	150	160	176	195
Tappi T412 (%)	Estándar	7.0	7.0	7.0	7.0	7.5	7.5	7.5
	Mínimo	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
	Máximo	8.0	8.0	8.0	8.0	9.0	9.0	9.0

		110	127	146	150	160	176	195
Tappi T809 (Kg)	Estándar	22.7	29.1	32.7	32.7	34.5	36.4	39.5
	Mínimo	20.5	26.4	30.0	30.0	31.8	33.6	36.8

		110	127	146	150	160	176	195
Tappi T818 (Kg)	Estándar	14.0	20.0	25.5	25.5	29.5	34.5	40.0
	Mínimo	13.6	17.7	22.7	22.7	26.8	31.4	36.4

		110	127	146	150	160	176	195
Tappi T824 (Kg)	Estándar	28.0	34.1	39.5	39.5	43.6	47.2	52.7
	Mínimo	25.2	31.8	36.8	36.8	40.4	44.1	49.1

		110	127	146	150	160	176	195
Tappi T819 A2 (s)	Máximo	200	200	200	200	200	200	200

Tabla II – FUENTE: (53)

Empenamiento das chapas de papelão ondulado

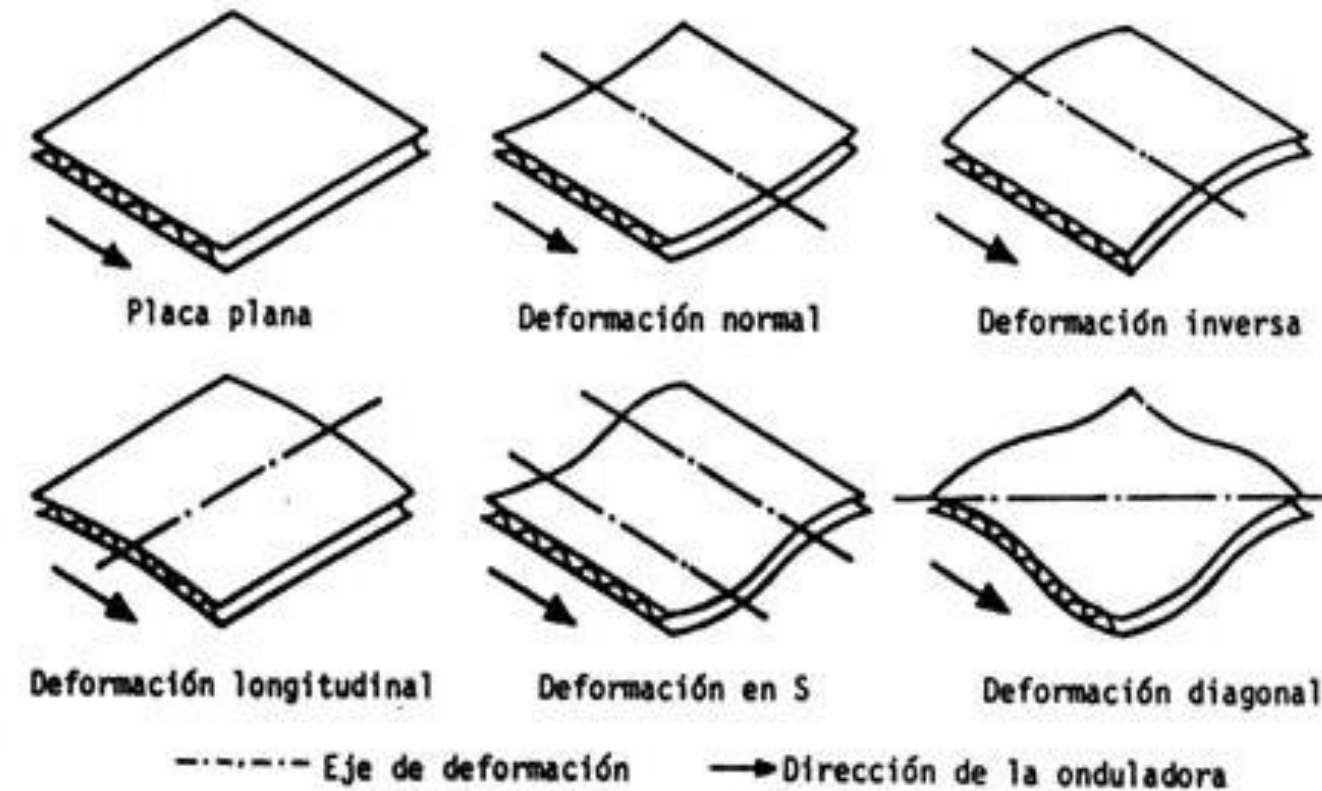


Figura 9 – FUENTE: (18)



Figura 10 – FUENTE (18)

Un alto índice de aplastamiento (expresado en kg/cm^2) indica una “medium” de buena calidad y buenos procesos de fabricación. El “medium” de buena calidad se obtienen con celulosas de buena calidad. No obstante, como se ha expuesto más arriba, la carencia de fibras vírgenes y sus altos costos están induciendo a los fabricantes de “medium” a acudir cada vez más al uso de papeles reciclados, surgiendo entonces algunas exigencias que pueden ser agrupados básicamente como sigue:

- Necesidad de obtener una desfibración adecuada de las fibras de los papeles viejos e intentar realizar un refinado con el mínimo efecto de corte sobre las mismas, evitando la formación de finos;
- Establecer un adecuado control y eliminación de los finos y coloides en la masa para minimizar los problemas de desgote en la mesa plana, roturas de la hoja en las prensas húmedas y excesiva higroscopia en la hoja acabada;
- Obtener una adecuada resistencia en seco de la hoja acabada para que presente valores del “Cóncora Medium Test” iguales o superiores a $3,85 \text{ kg}/\text{cm}^2$;
- Mantener bajos y competitivos los costos de producción.

Gramaje del papel y del cartón

Es la cantidad de masa de papel o cartón por unidad de superficie (generalmente, un metro cuadrado). Con una humedad constante, todas las características mecánicas del cartón corrugado aumentan con el gramaje de los componentes.



Figura 11 – FUENTES: (36)

Calibre del papel y del cartón

Es el espesor del cartón, dado a su vez por el espesor de los papeles componentes y el tipo de flauta (calibre de la onda) usada. Permite el control en diferentes etapas de la fabricación, en máquina corrugadora y durante el proceso de conversión. Influye sobre la resistencia al apilamiento de la caja



Figura 12 – FUENTE: (36)

Prueba de compresión del anillo (RCT o Ring Crush Test)

El RCT es la prueba de resistencia más utilizada para papeles “liner”. Este ensayo indica la contribución individual de los papeles en la resistencia a la compresión vertical del cartón (ECT) y por lo tanto, sobre la resistencia al apilamiento de la caja.



Figura 13 – FUENTE: (36)

Humedad del papel y del cartón

Se expresa en porcentaje, por la relación que hay entre la cantidad de agua que contiene el papel (o cartón) y su peso. Todo cambio de equilibrio de humedad entre la atmósfera y el papel (o cartón) conduce a cambios dimensionales y variación de sus propiedades mecánicas.



Figura 14 – FUENTES: (36)

Prueba de absorción del agua (Cobb test)

Cantidad de agua absorbida por 1 m² de papel luego de un determinado tiempo en contacto con el agua. Influye sobre la absorción de tintas flexográficas durante el proceso de impresión, la penetración del adhesivo de corrugado y la absorción de humedad. Su valor depende del grado de encolado del papel, porosidad, tratamientos superficiales etc.

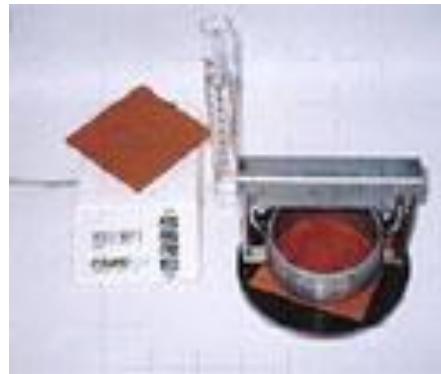


Figura 15 – FUENTES: (36)

Resistencia a la compresión horizontal (FCT)

Es una medida de la rigidez de la onda del cartón corrugado. Este ensayo determina la calidad general del cartón y la resistencia del fondo de la caja. Altos valores de FCT indican la combinación de una buena formación de flautas y un médium con la resistencia adecuada. Equipo: “crush tester”.

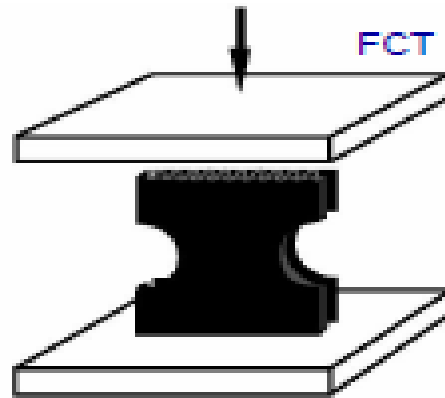


Figura 16 – FUENTE: (37)

Resistencia a la compresión vertical (ECT)

Indica la resistencia a la compresión provocada por una carga ejercida sobre el canto o sección del cartón corrugado, paralela a las ondulaciones. Equipo: “crush tester”.

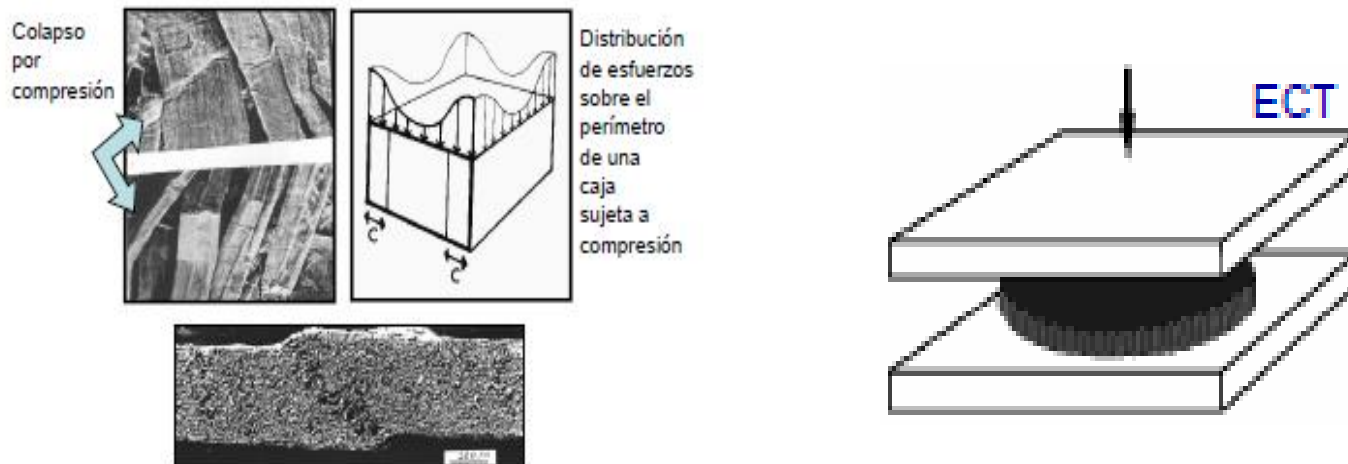


Figura 17 – FUENTE: (37)

COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS RECURSOS FIBROSOS: CELULOSE, HEMICELULOSAS, LIGNINA, EXTRACTIVOS

La maderas usadas en la industria de pulpa poseen la siguiente composición media: celulosa - \approx 50%; lignina - 15 a 35%; hemicelulosas - \approx 20%; extraíbles - 3 a 10%; inorgánicos - \approx 0,5% (figura 18).

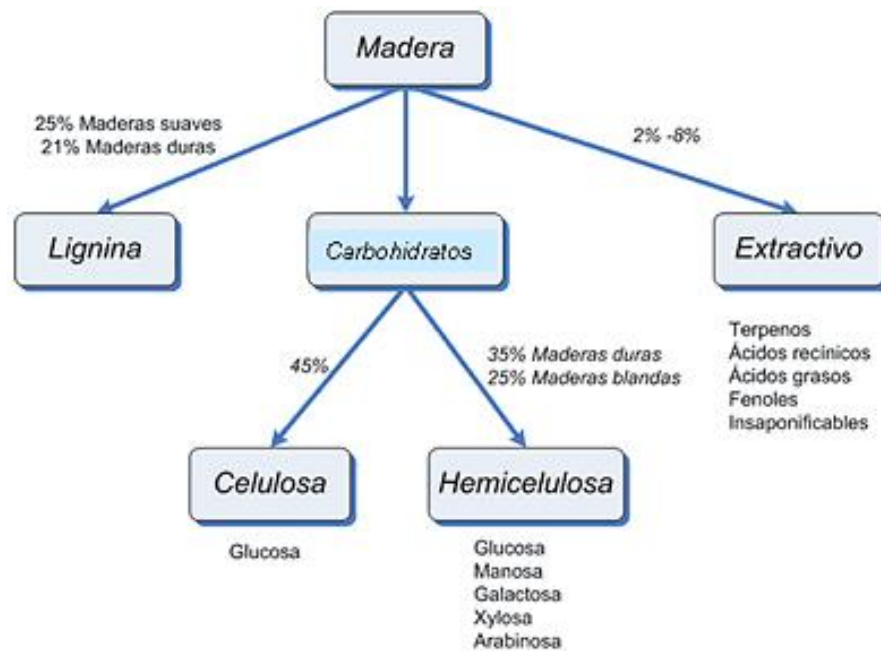


Figura 18 – FUENTE: (4)

Celulosa

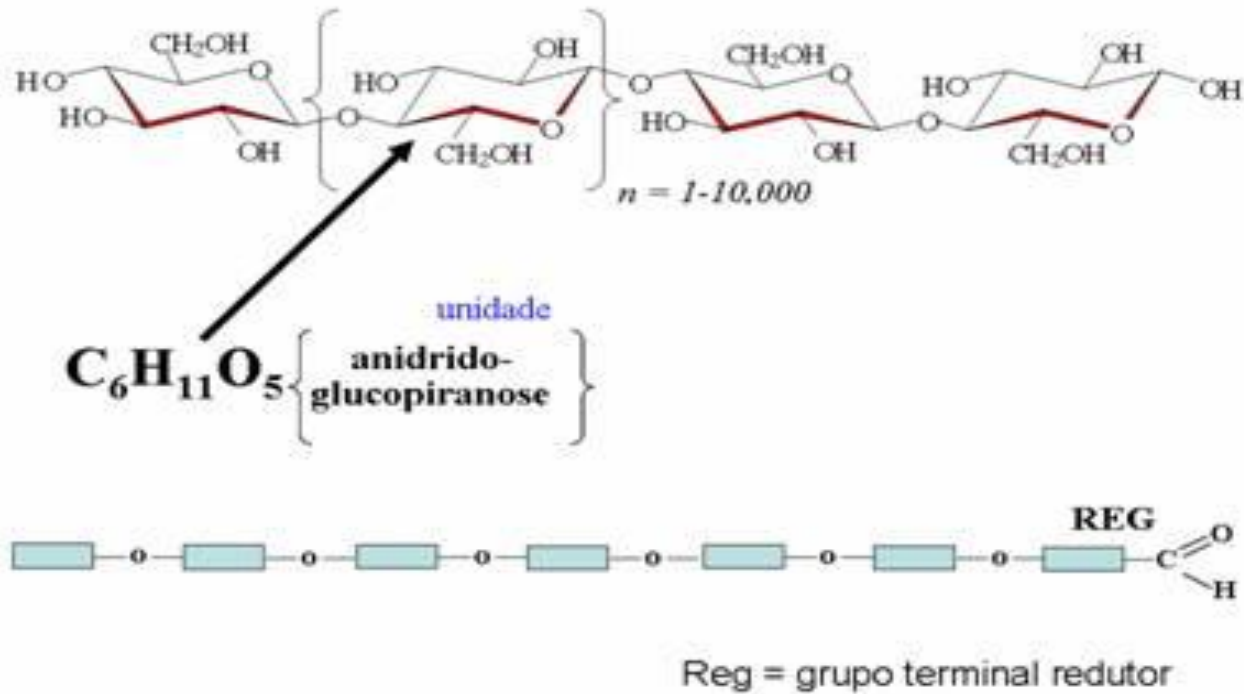


Figura 19 – FUENTE (7)

Celulosa

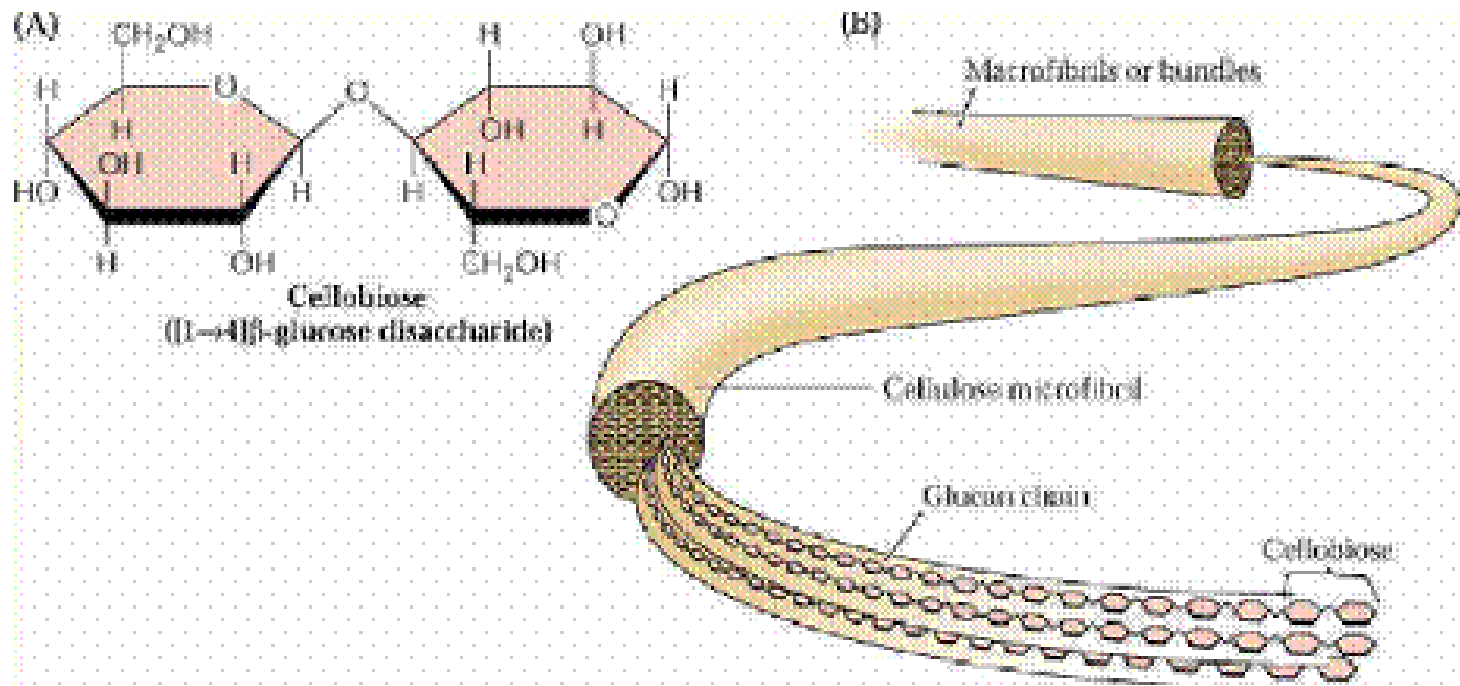
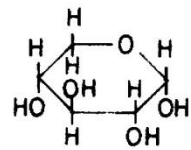
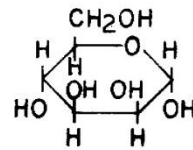


Figura 20 – FUENTE (7)

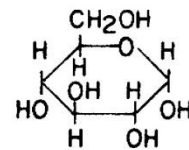
Hemicelulosas o poliosas



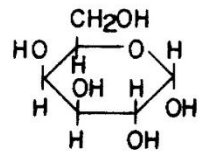
β - D - XILOSE



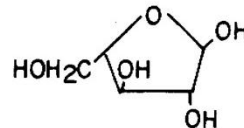
β - D - MANOSE



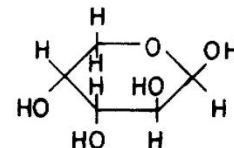
β - D - GLUCOSE



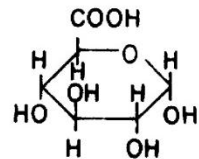
α - D - GALACTOSE



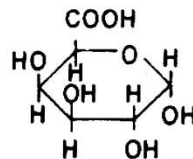
α - L - ARABINOSE
(FURANOSE)



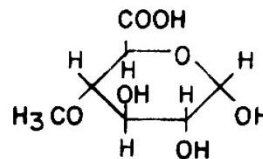
α - L - ARABINOSE
(PIRANOSE)



ÁCIDO β - D - GALACTOURÔNICO



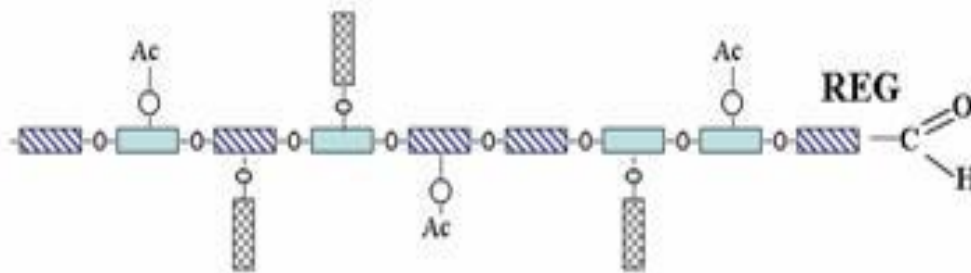
ÁCIDO β - D - GLUCOURÔNICO



ÁCIDO α - D - 4 - O - METILGLUCOURÔNICO

Figura 21 – FUENTE: (7)

Hemicelulosas o poliosas



Maior hemicelulose de coníferas: Galactoglucomanana DP 200

—o Glucose (6)

—o Manose (6)

—o Galactose (6)

Ac—o Grupo acetil

Reg = grupo terminal redutor

Figura 22 – FUENTE (7)

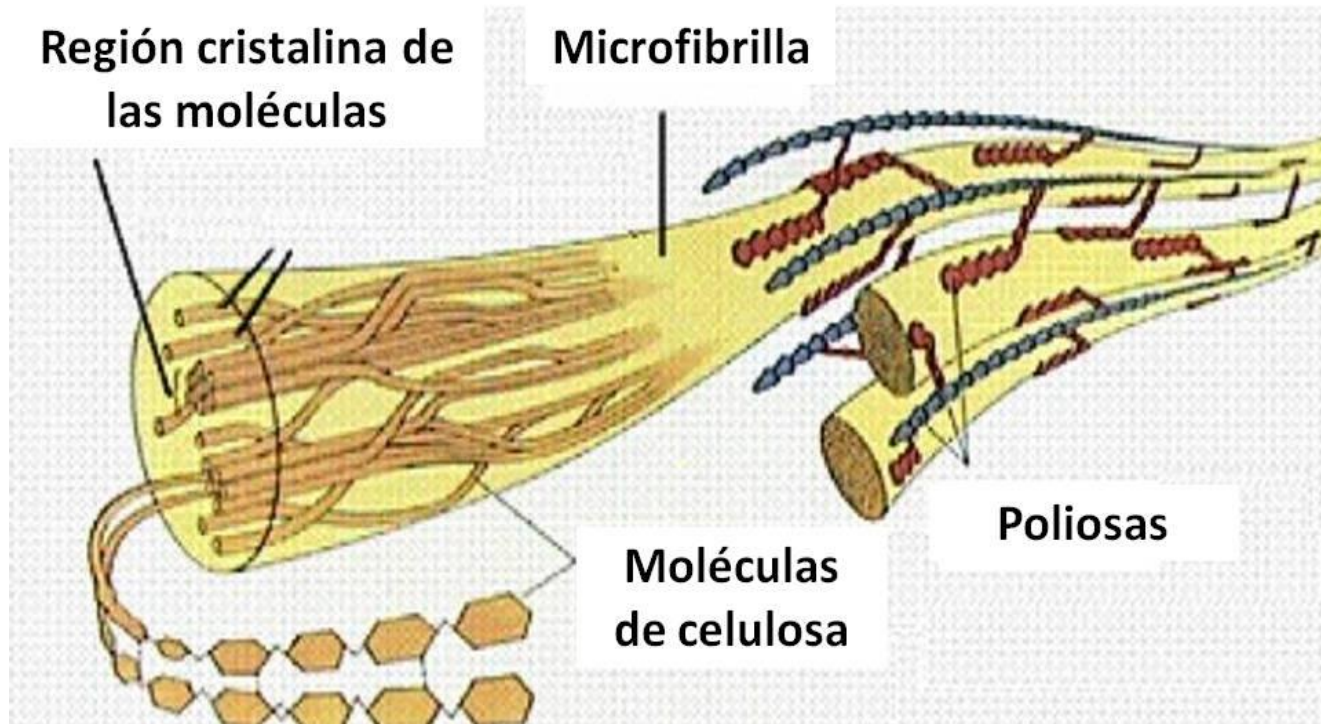


Figura 23 – FUENTE (7)

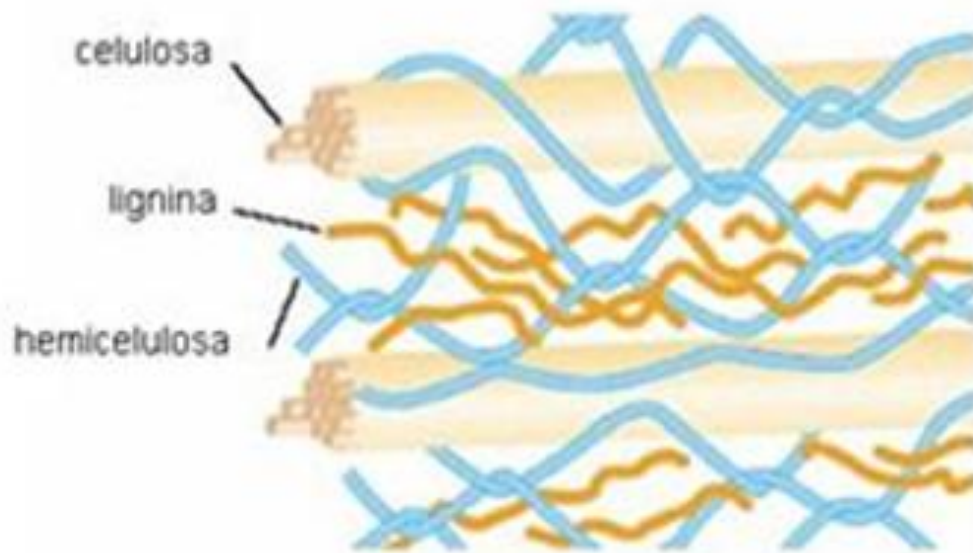


Figura 24 – FUENTE: (4)

Tipos de fibras

De acuerdo a su origen, la pasta de celulosa se clasifica en

Fibra larga (coníferas o “softwood”): diferentes especies de pinos (*Pinus elliotti*, *P. taeda*) y abetos.

Fibras cortas (frondosas o “hardwood”): eucaliptos (*Eucalyptus grandis*, *E. saligna*, *E. urophylla*, *E. globulus*), abedules y álamos.

Todas ellas presentan características comunes como su abundancia y dispersión geográfica , su renovabilidad y su susceptibilidad al procesamiento con las tecnologías actuales.

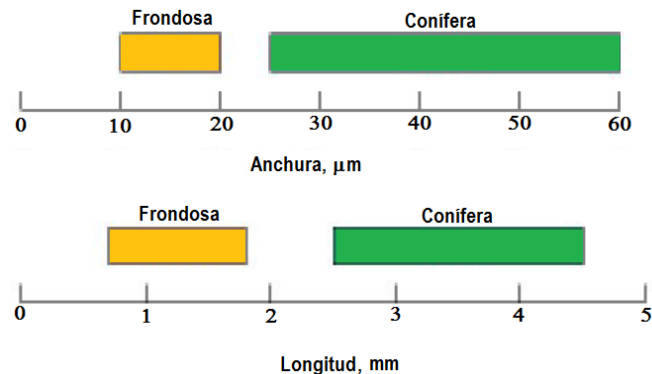
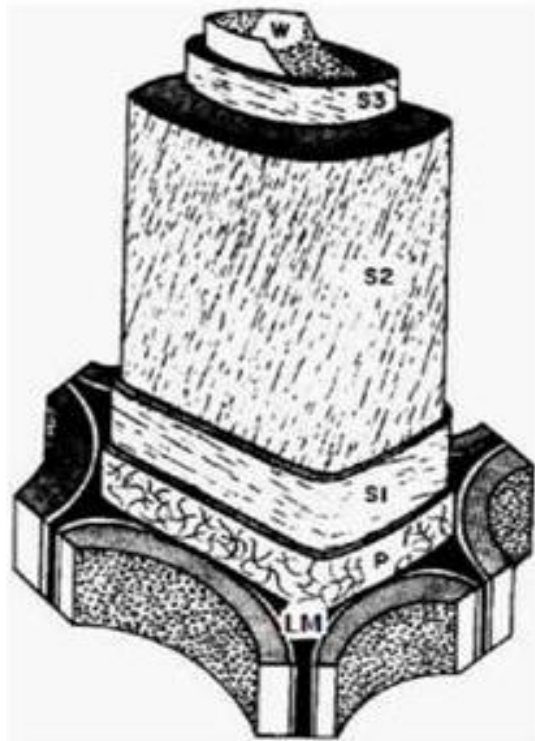


Figura 25 – FUENTE: (42)

MORFOLOGIA DE LA FIBRA



P: 7-14 %

S1: 4-11 %

S2: 74-84 %

S3: 3-4 %

Figura 26 – FUENTE (7)

FUENTES DE OBTENCIÓN DE LAS PULPAS

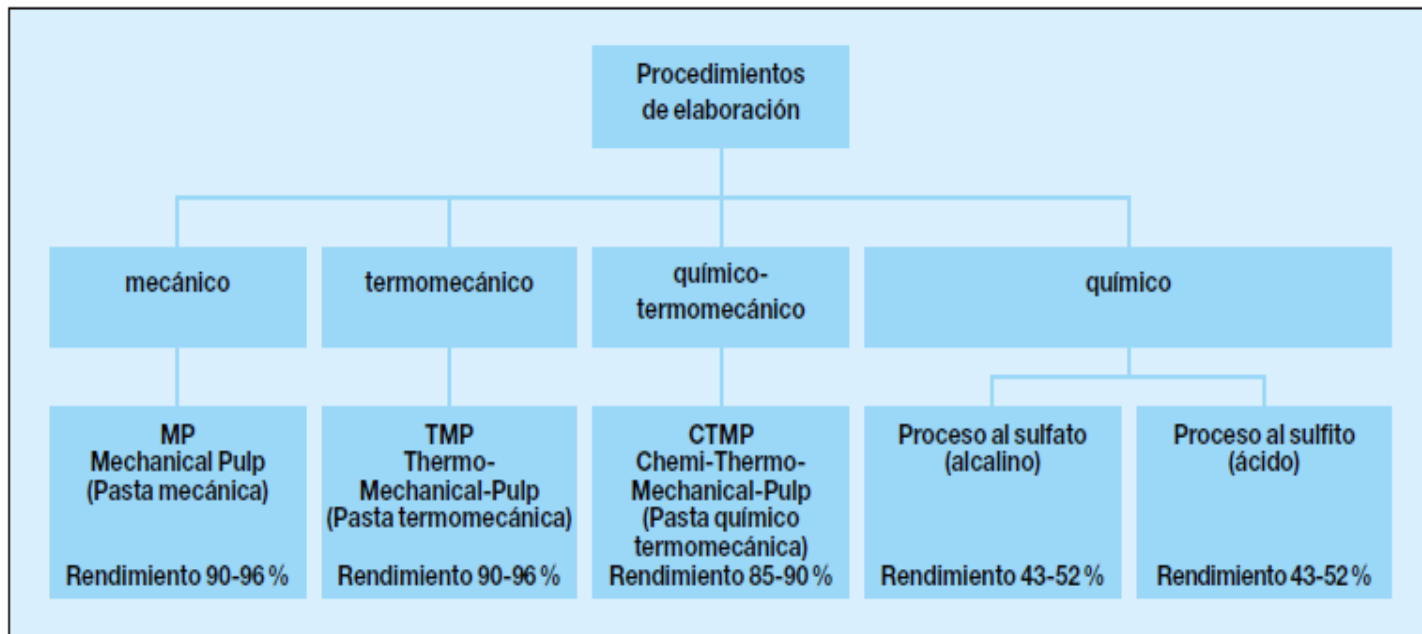


Figura 27 - FUENTE: (33)

Producción de pasta mecánica en molinos de piedra (MP – SGW, SGD)

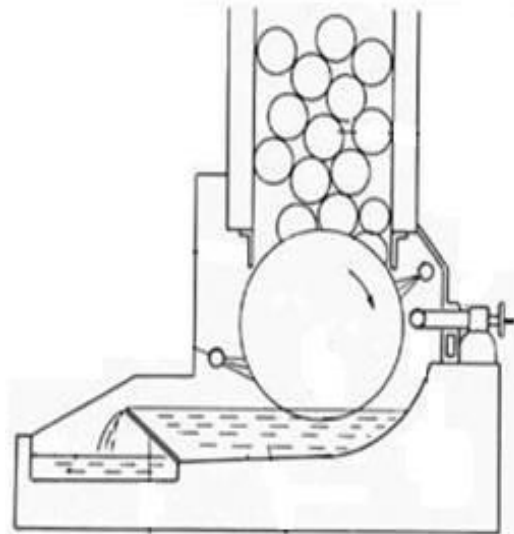


Figura 28 – FUENTE: (16)

Producción de pasta termomecánica (TMP)

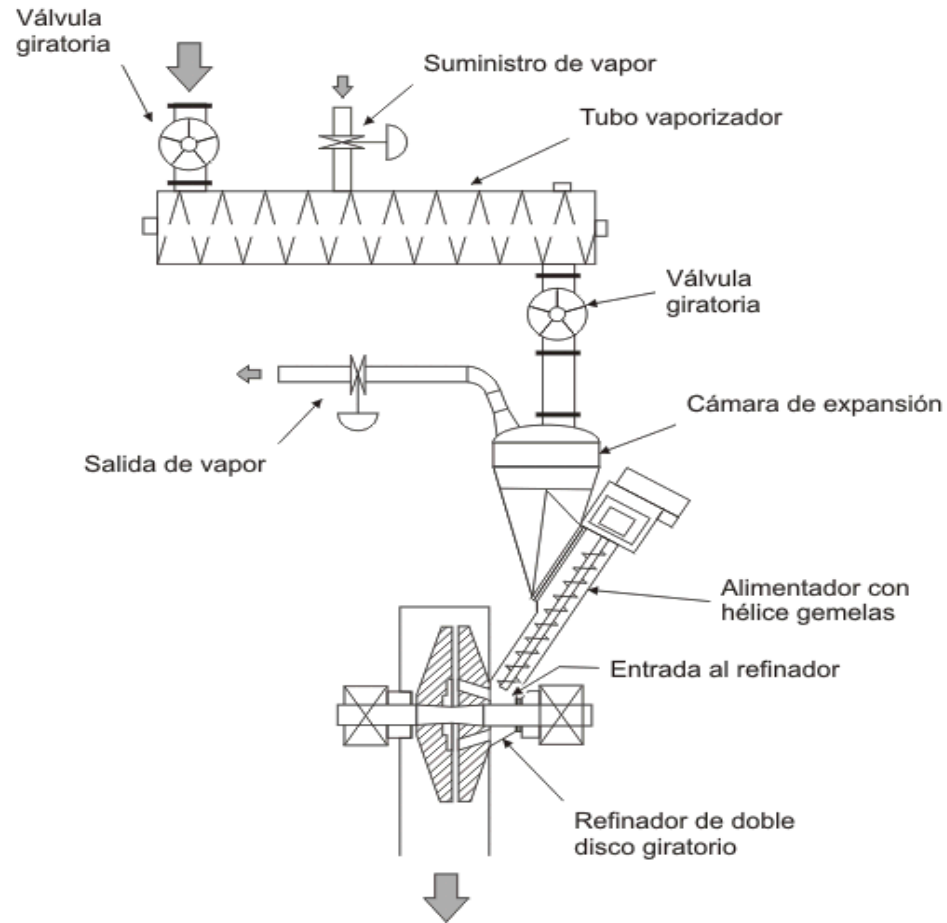


Figura 29 – FUENTE: (40)

Pasta termomecânicoquímica (CTMP)

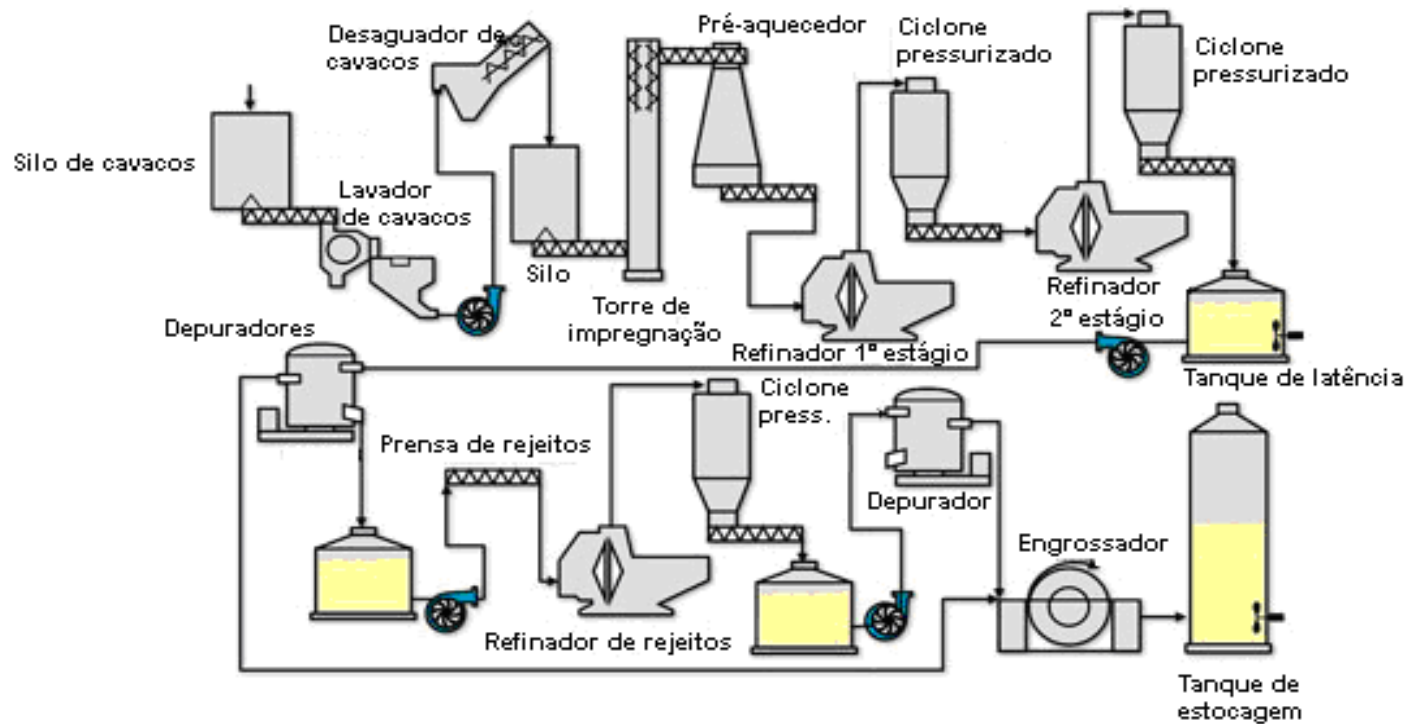


Figura 30 – FUENTE: (16)

Proceso sulfito

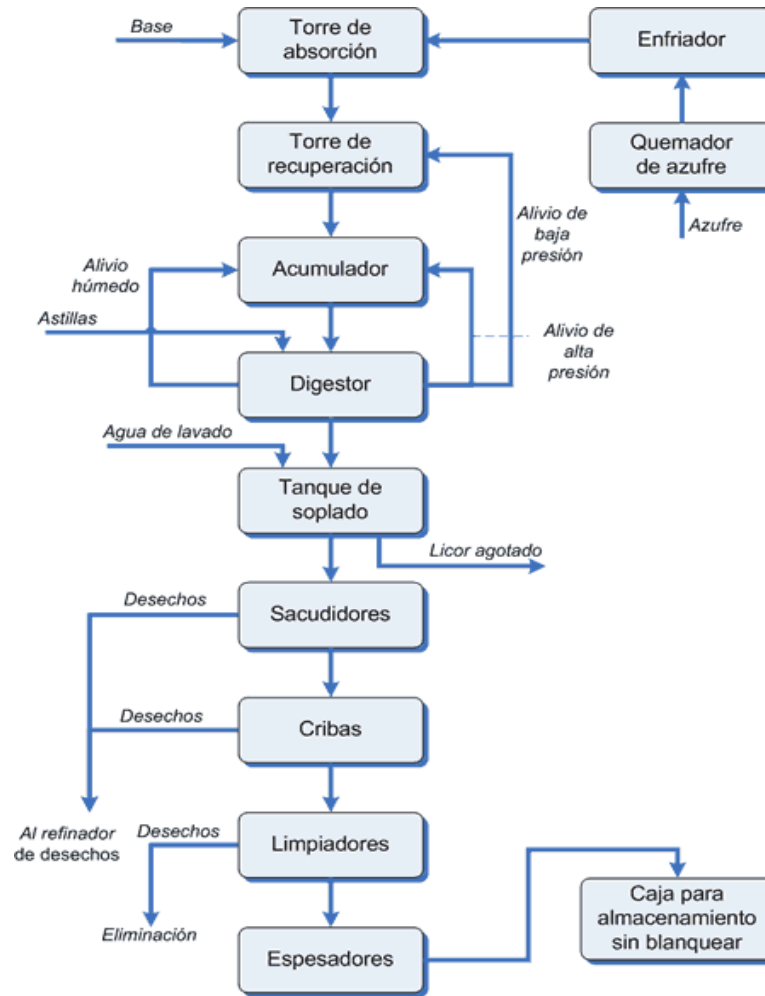


Figura 31 – FUENTE: 39

Proceso sulfato o "kraft"

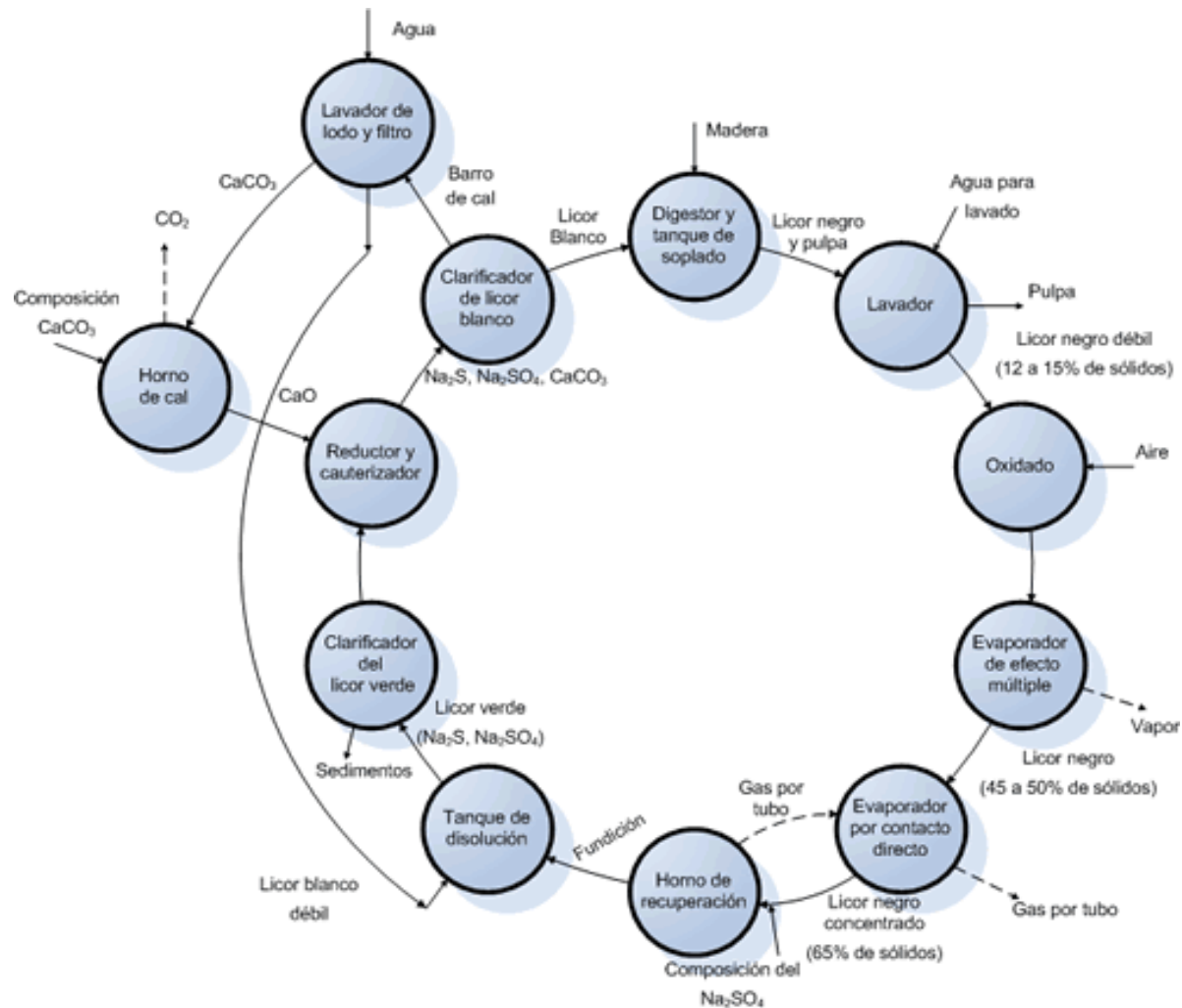


Figura 32 – FUENTE: (39)

Proceso sulfato o “kraft”

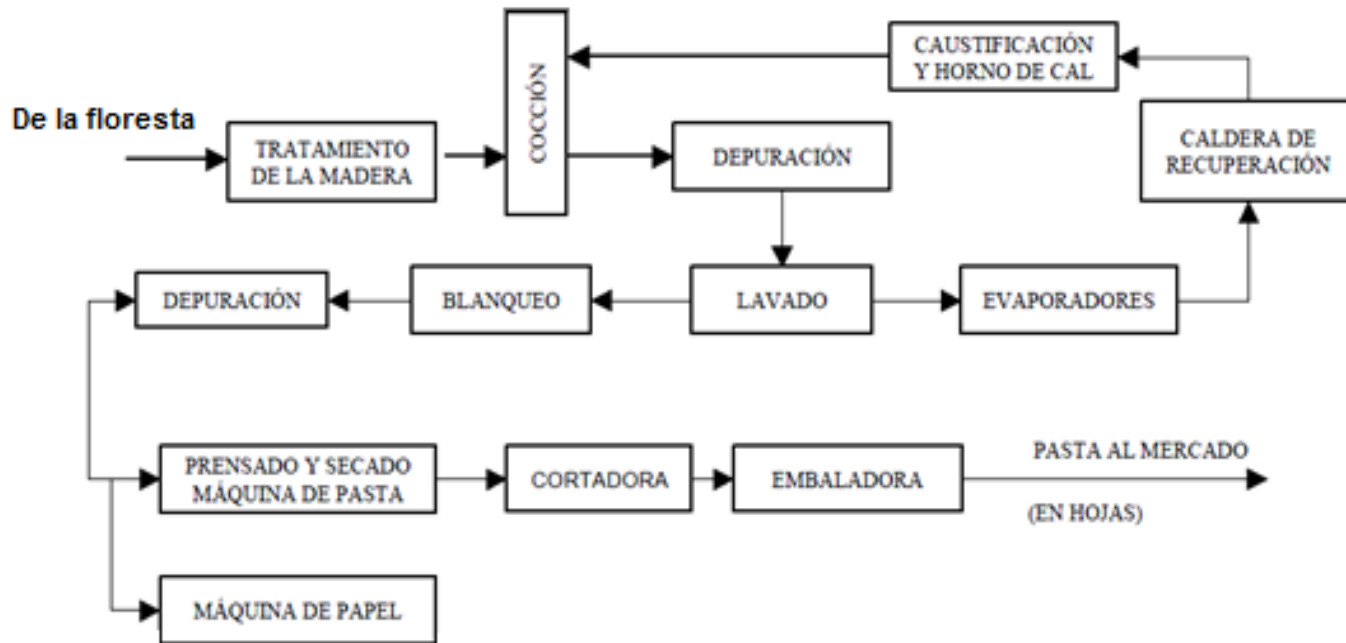


Figura 33 – FUENTE: (32)

Comparación entre las pulpas

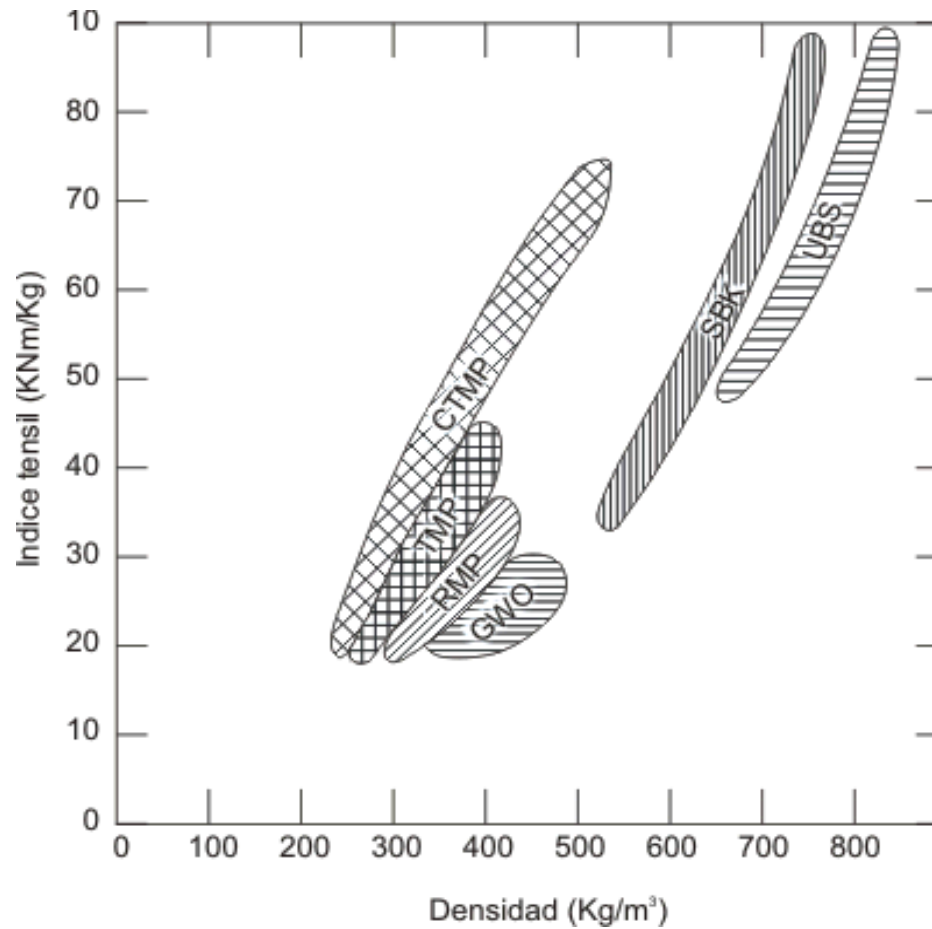


Figura 34 – FUENTE (30)

Fibras recicladas

Los principales inconvenientes observados en el reciclado del papel son:

Pérdida de resistencia mecánica;

Dificultades para el desgote de la pasta;

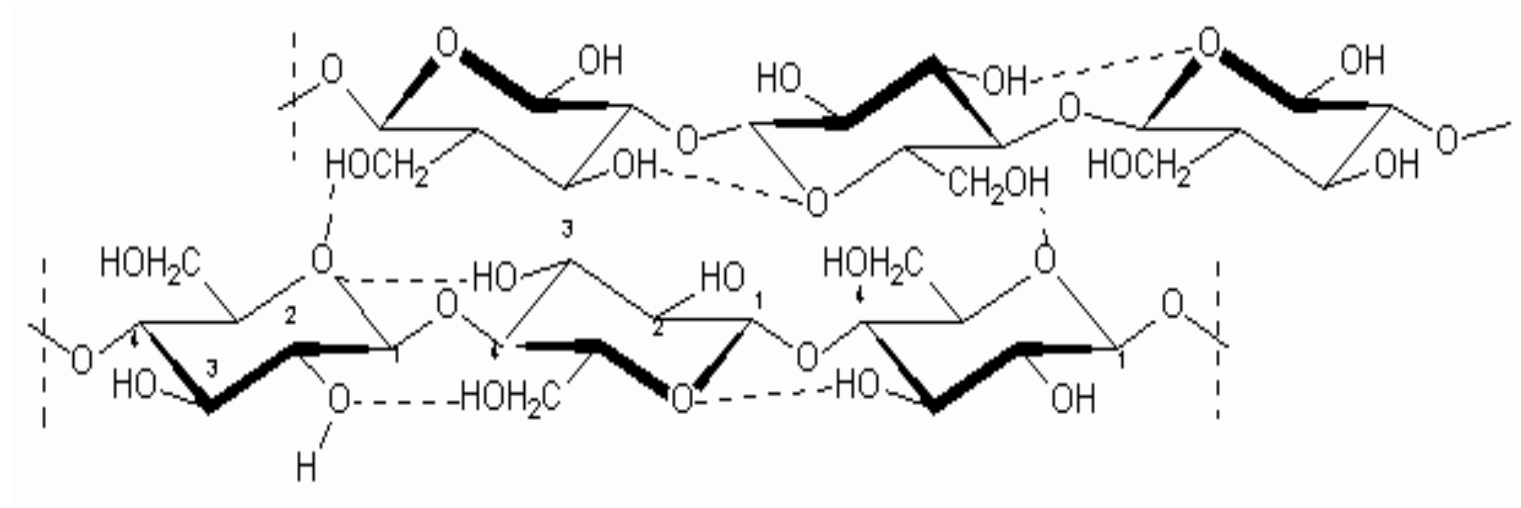
Pérdida de blancura;

Modificaciones químicas de la fibra de celulosa;

Peor maquinabilidad;

Presencia de contaminantes.

Puentes de hidrógeno



OBJETIVOS DE LA PREPARACIÓN DE LA PASTA

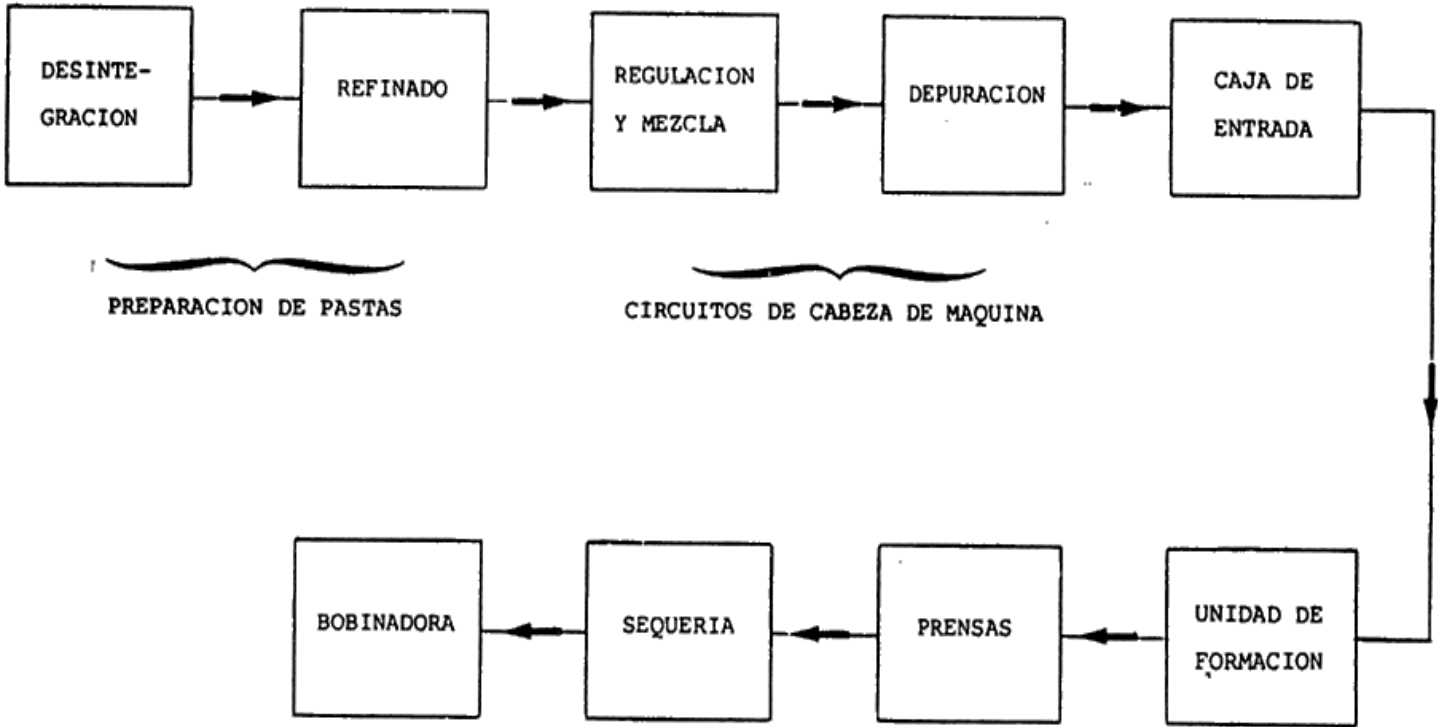


Figura 36 – FUENTE (22)

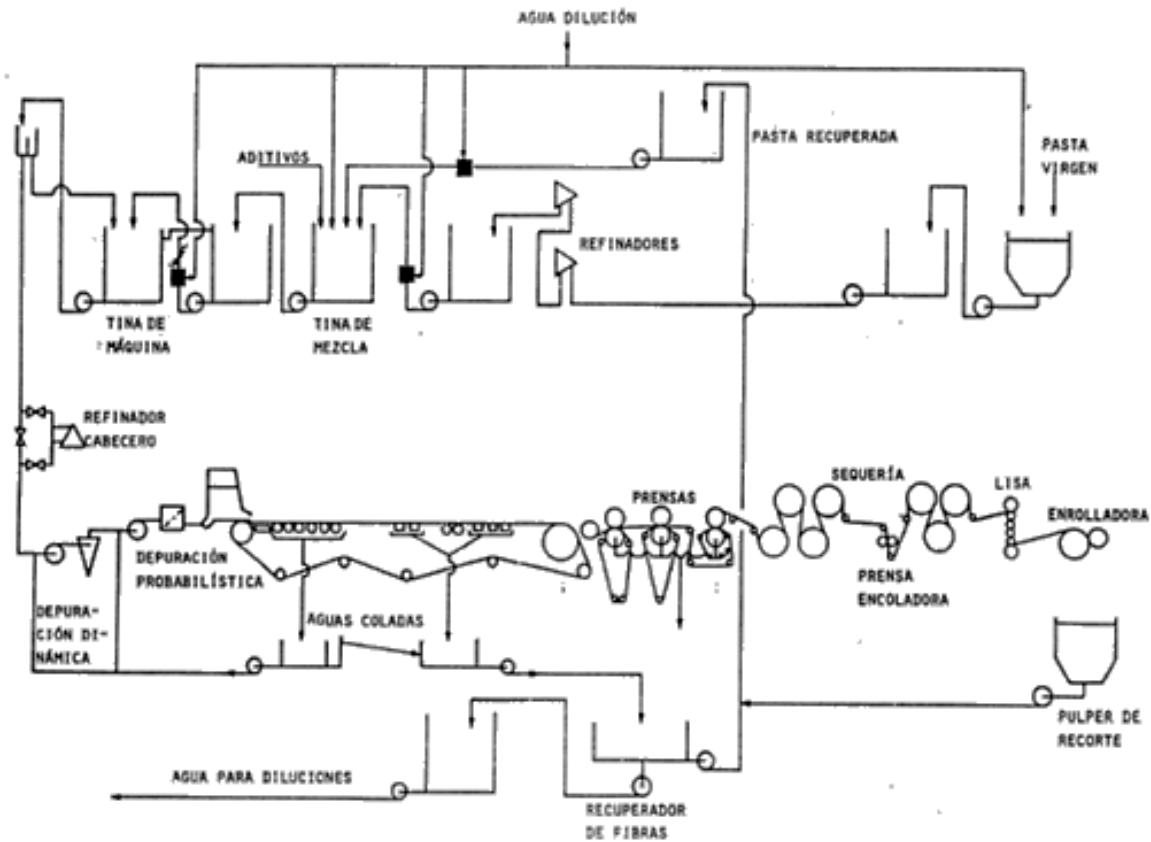


Figura 37 – FUENTE: (22)

DESINTEGRACIÓN

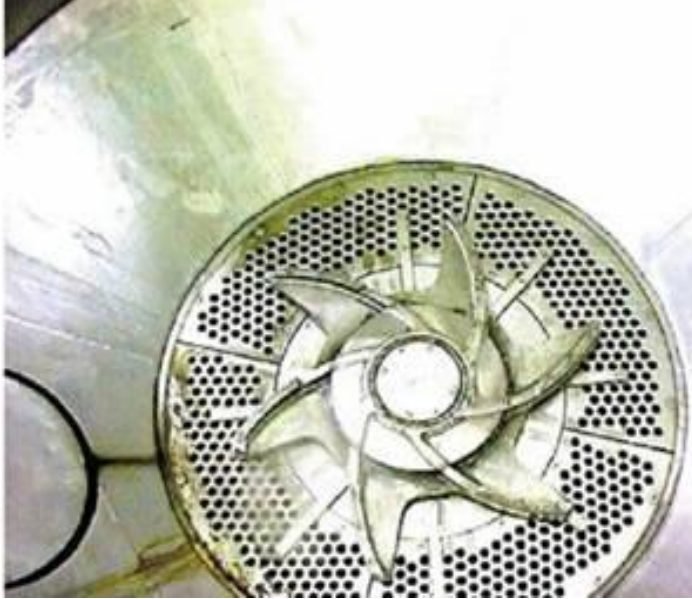
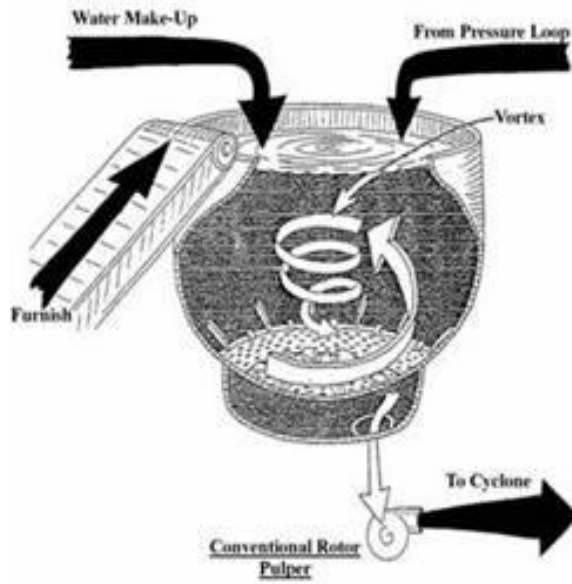


Figura 38 – FUENTE: (6)



Figura 39 – FUENTE: (6)

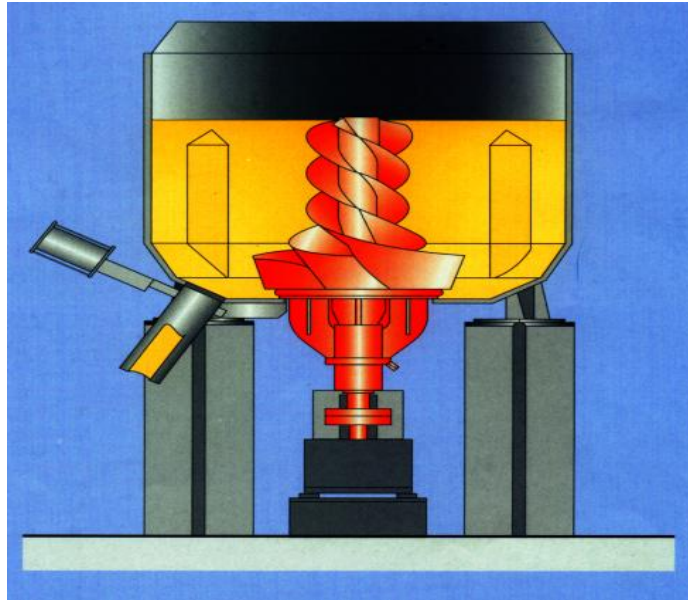


Figura 40 – FUENTE: (48)

	\emptyset cuba / \emptyset rotor	v (m/s)	Pot. abs. (kW/m ³)	Pot. ins. (kW/m ³)
Convencionales	3-4	15-17	5-10	6-15
Helicoidales	≈ 2,5	11-14	10-20	14-30

Tabla III

Tipo	Clasificación	
Tipo I	Fácilmente desintegrable	Pastas húmedas, recorte de papel sin encolar, roturas de prensas, papel tisú, papel de fumar, papel de periódico.
Tipo II	Medianamente desintegrable	Pastas al 90% (sulfato o bisulfito – cruda y blanqueada -, semiquímica), algún tipo de papelote sin mezclar (cartón, revista, etc.).
Tipo III	Mayor dificultades de desintegración	Pasta mecánica vieja, papeles resistentes a grasas, papel encolado, papel estucado, cartón ondulado, papelote mezclado.
Tipo IV	Difícil desintegración	Papelote resistente en húmedo.

Tabla IV

TRITURADORES SECUNDARIOS

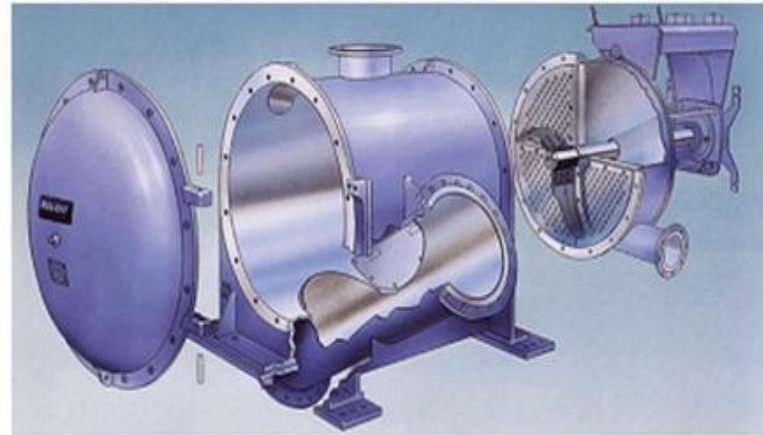
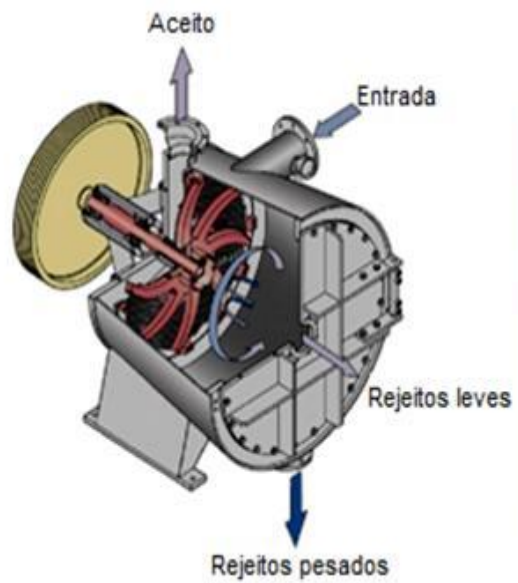


Figura 41 – FUENTE (6)

DESPATILLADOR (“deflaker”)

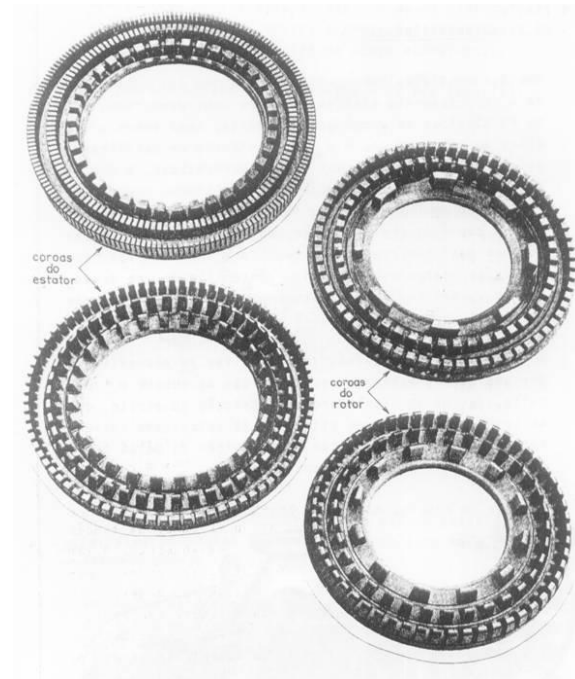
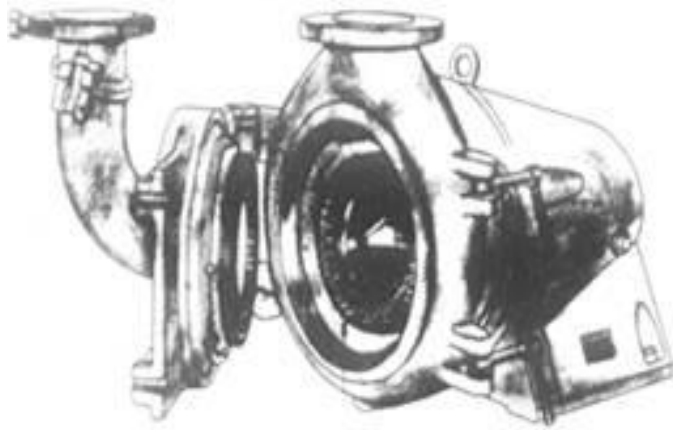
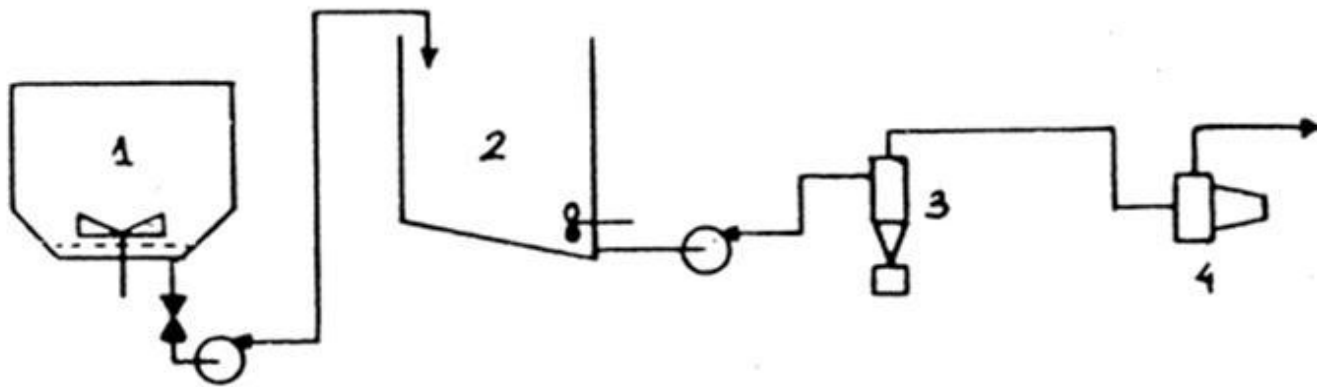


Figura 42 – FUENTE: (6)



1. Pulper
2. Tina de descarga
3. Depurador de alta consistencia
4. Despastillador

Figura 42 – FUENTE: (47)

DEPURACIÓN DE FIBRAS VIRGENES Y RECICLADAS

Tipos de impurezas:

Impurezas pesadas

Impurezas ligeras

Impurezas voluminosas

DEPURADORES PROBABILÍSTICOS

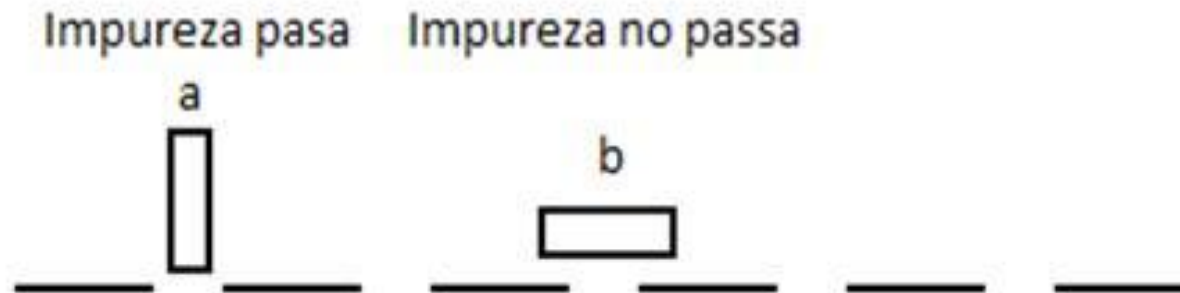


Figura 43 – FUENTE: (47)

$$p = h (ra - rp)^2 / ra^2$$

Siendo:

p: probabilidad de que una partícula pase

h: índice de vacío (relación entre la superficie abierta y la superficie total del tamiz)

ra: radio del agujero

rp: radio de la partícula

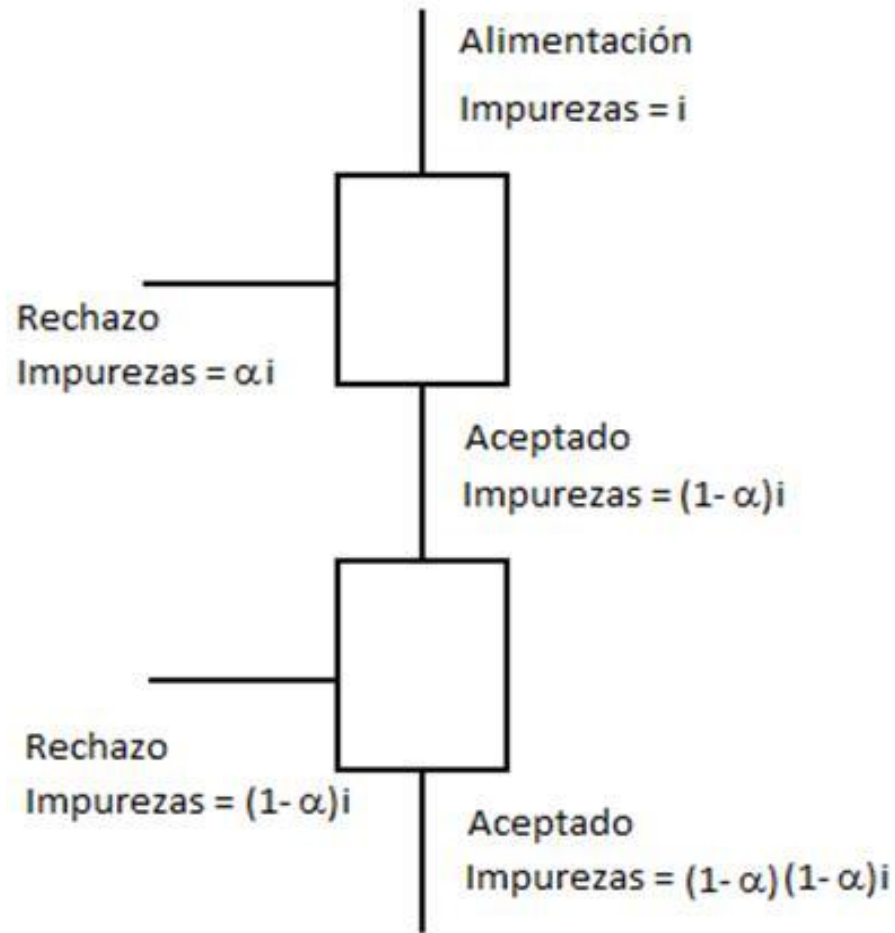


Figura 48 – FUENTE: (47)

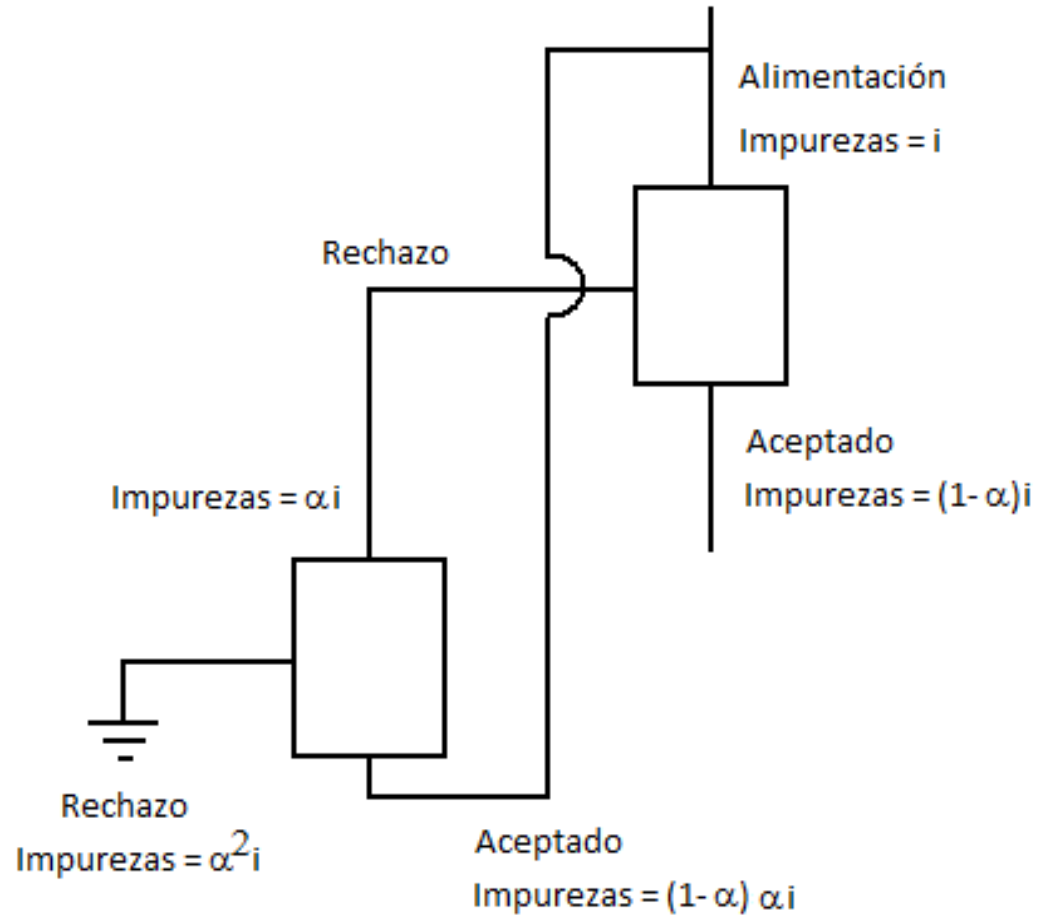


Figura 49 – FUENTE: (47)

Vibrantes planos

	Pasta diluida		Pasta espesa
Cantidad de paso (t/24 h) *	3 – 33	4,5 – 90	5 – 65
Consistencia (%)	< 2	< 2	2 – 4,5
Diámetro perforaciones (mm)	1,4 – 4	1,4 – 10	5 – 10
Ancho ranuras (mm)	0,6 – 1,6		
Consumo agua rociadores l/min)	10 – 30	20 – 60	20 – 60
Presión agua rociadores (bar)	≈ 2	≈ 2	≈ 2
Vibración (Hz)	≈ 12,5	≈ 25	≈ 12,5
Potencia motor (kW)	1,1 – 3	≈ 1,5	1,1 - 3

(*) En función del tipo de pasta, consistencia y perforación del tamiz

Tabla V

Depuradores bajo presión

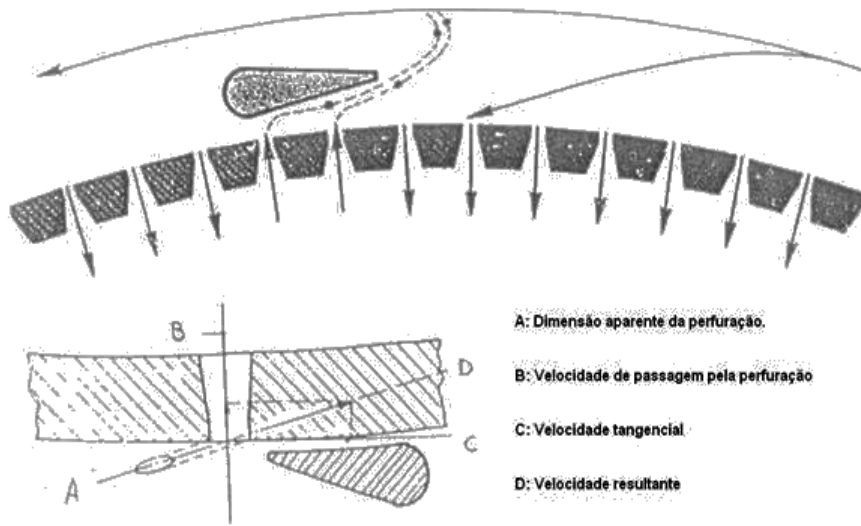


Figura 51 – FUENTE: (47)

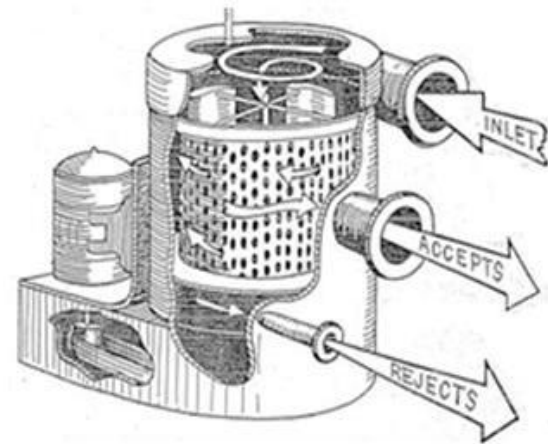


Figura 52 – FUENTE: (48)

Depuradores bajo presión

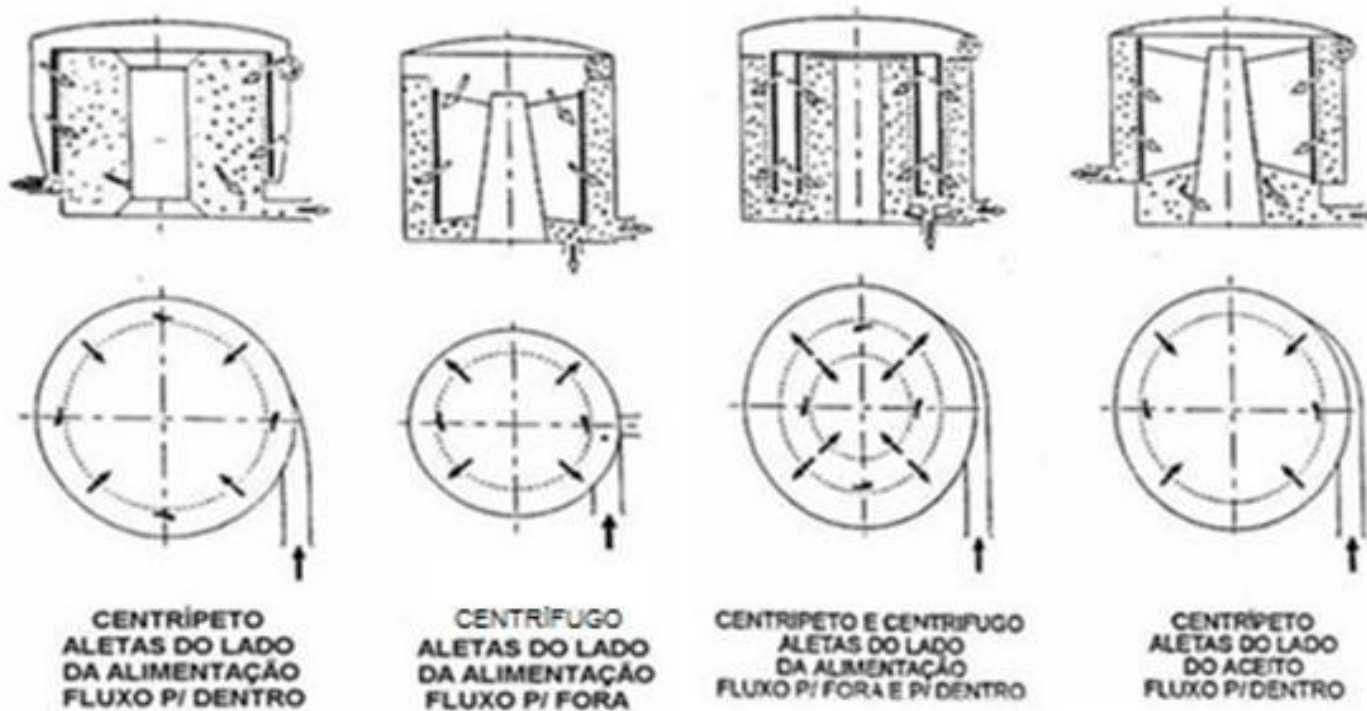


Figura 53 – FUENTE: (6)

Depuradores bajo presión

Abertura de las perforaciones (mm) (*)		
Diámetro	0,8÷4	
Longitud		50÷70
Anchura		0,2÷2
Distancia		
Entre ejes de agujero	2÷10 Ø perf.	
Entre ranuras paralelas		2÷25 mm
Entre ranuras consecutivas		10÷20 mm
Índice de vacío (%)	10÷20	7÷13 (**)
Velocidad de paso (m/s)	0,5÷1,5	0,5÷1,5

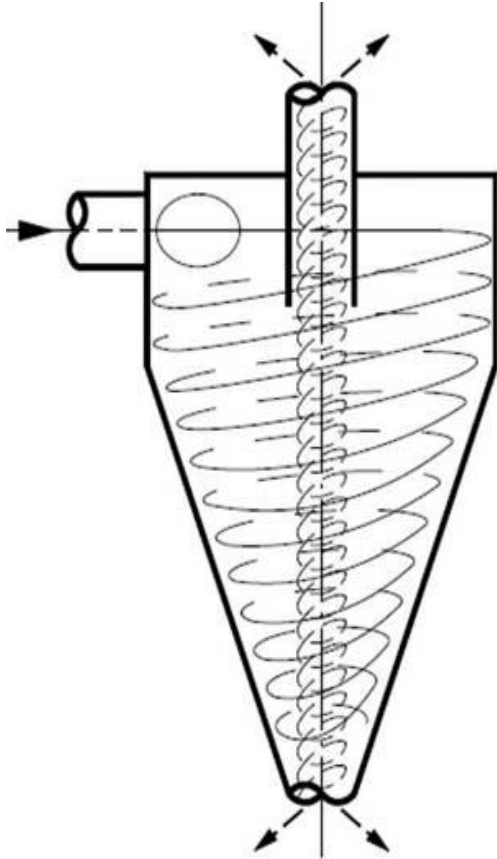
(*) La elección del tamaño de la perforación es función de la longitud de las fibras a tratar y de la resistencia de la suspensión. Como regla general con las más finas no se puede sobrepasar los 8 g/l;

(**) El caudal de un depurador con ranuras es del orden del 30÷50 % inferior al de un depurador con perforaciones circulares del mismo índice de vacío.

Tabla VI

$$F_c = \frac{mv^2}{r}$$

DEPURADORES CENTRÍFUGOS



$$K = v.r ,$$

Donde:

“K”: constante;

“v”: velocidad de la pasta;

“r”: rayo transversal del depurador.

El aumento de velocidad tiene como efecto incrementar la fuerza centrífuga.

Dicho fenómeno físico es dado por la ecuación:

$$F_c = \frac{mv^2}{r}$$

Depuración a alta consistencia

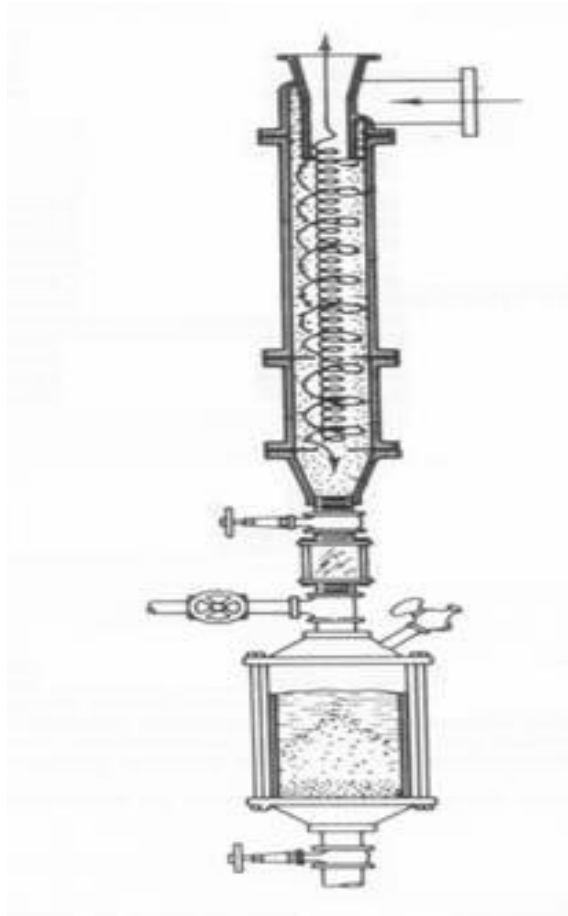


Figura 54 – FUENTE: (6)

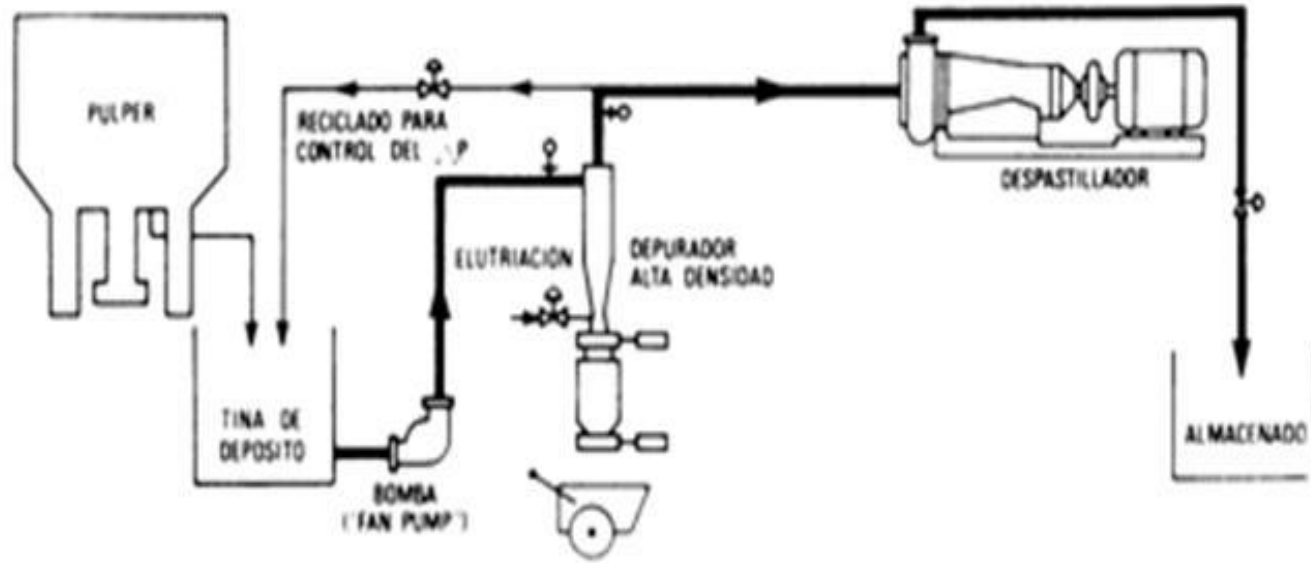


Figura 55 – FUENTE: (50)

REFINACIÓN

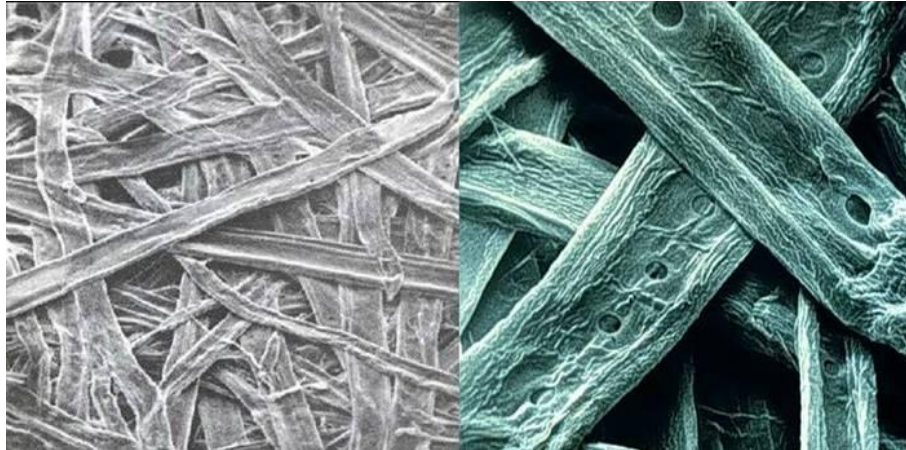


Figura 56 – FUENTE (7)

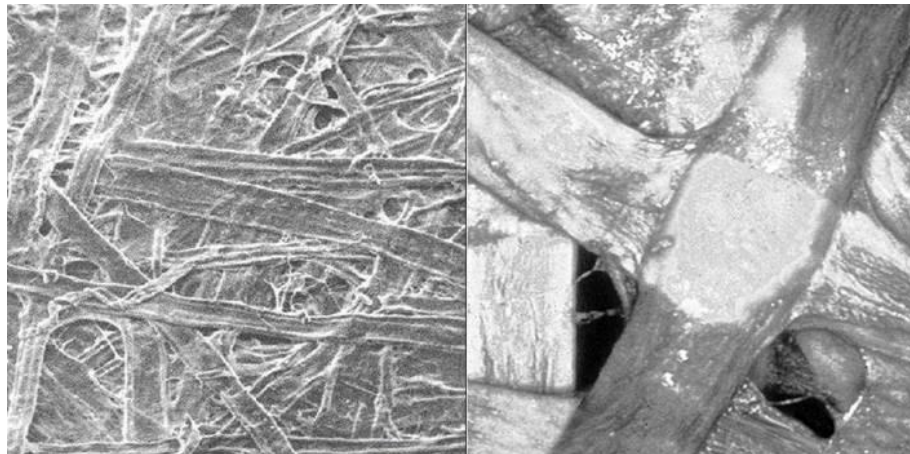
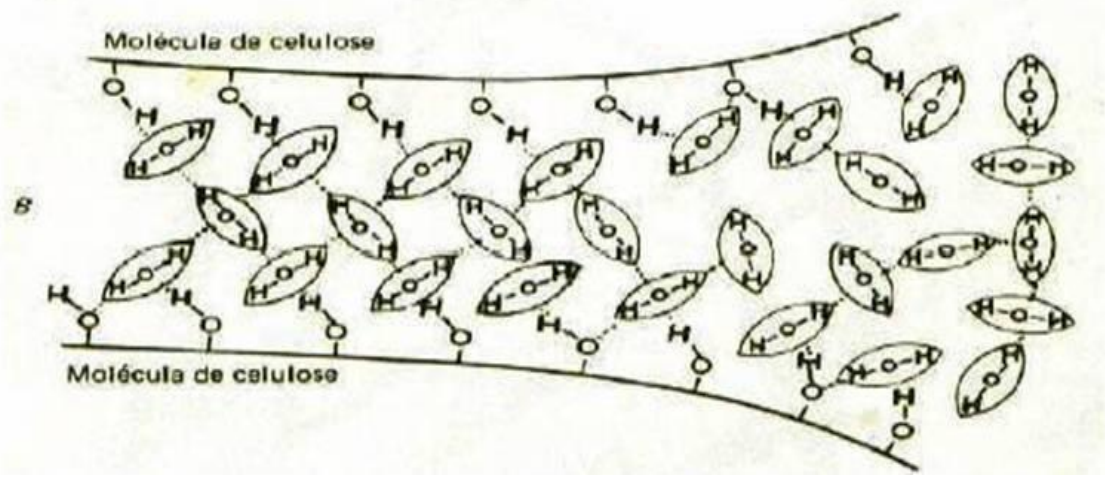
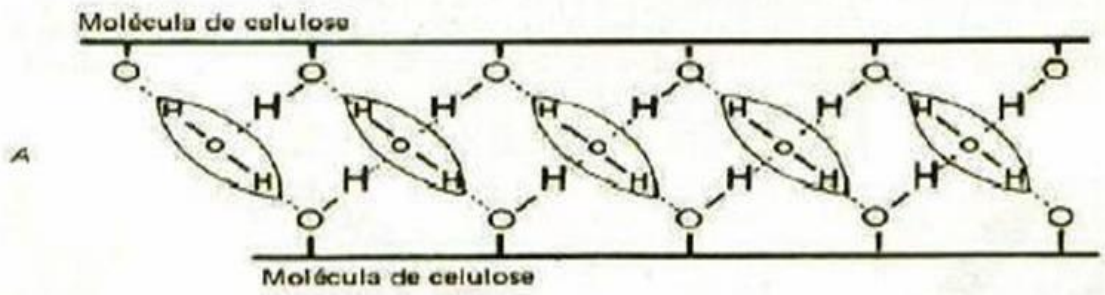


Figura 57 – FUENTE (7)



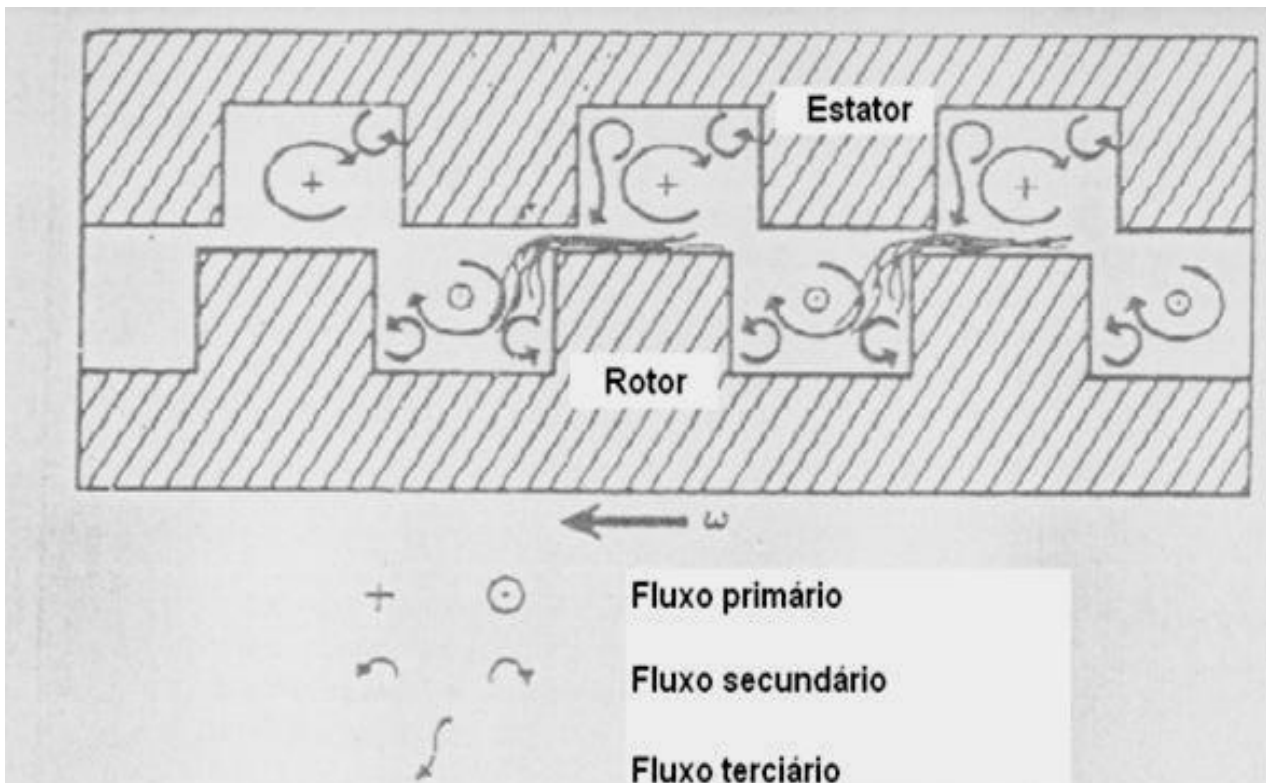
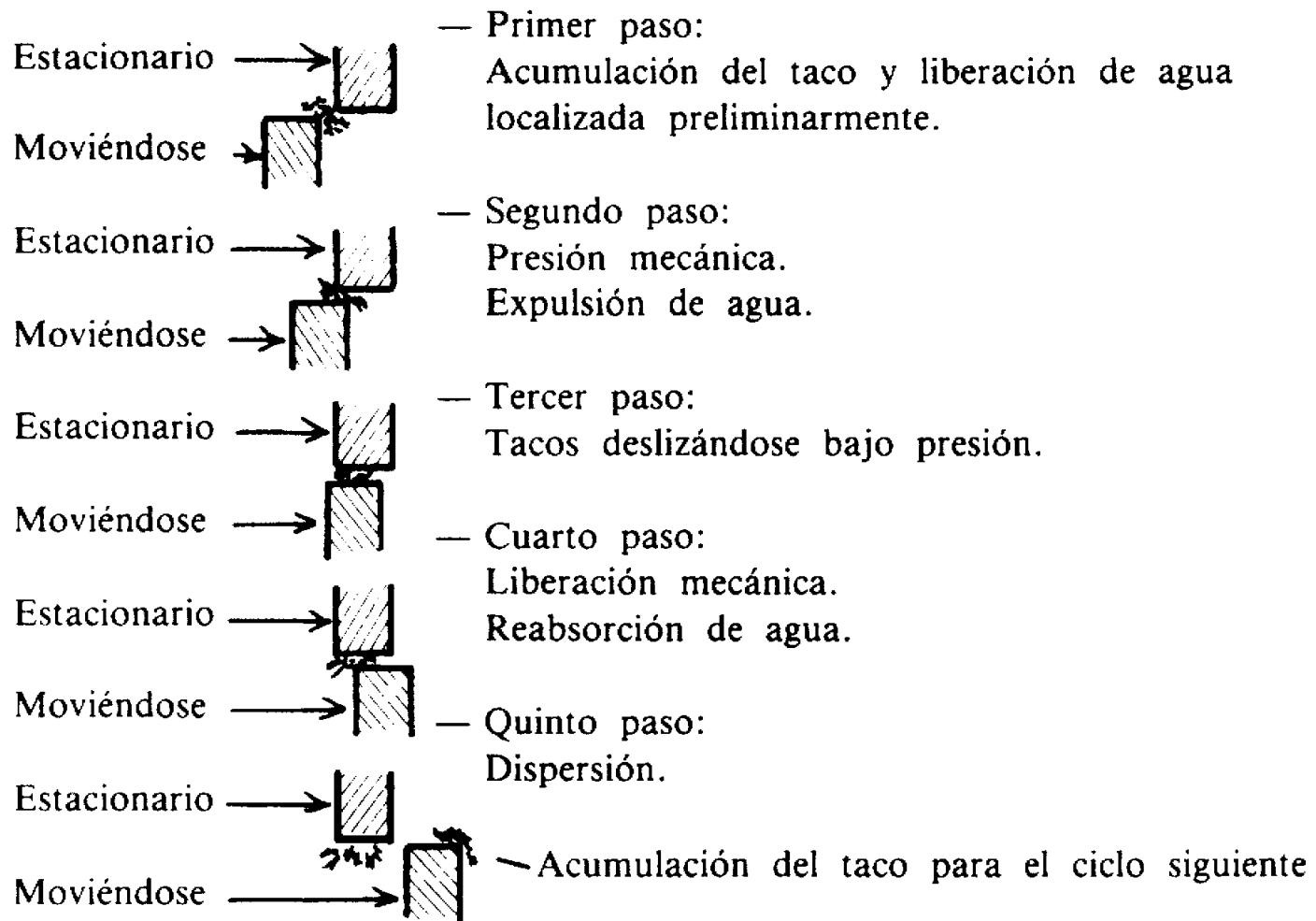
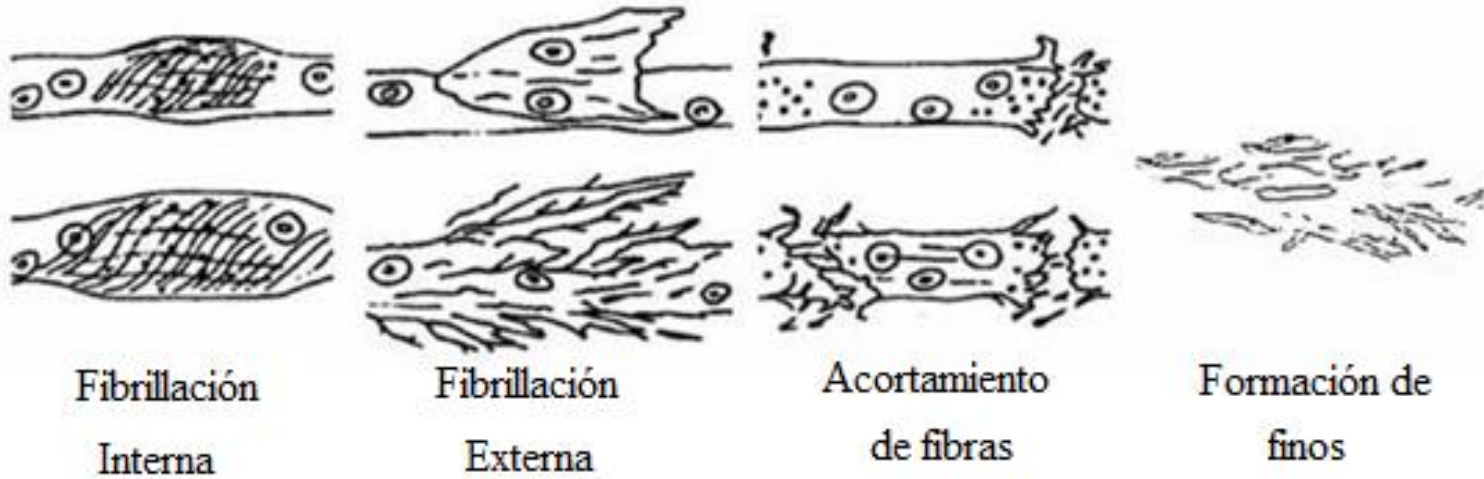


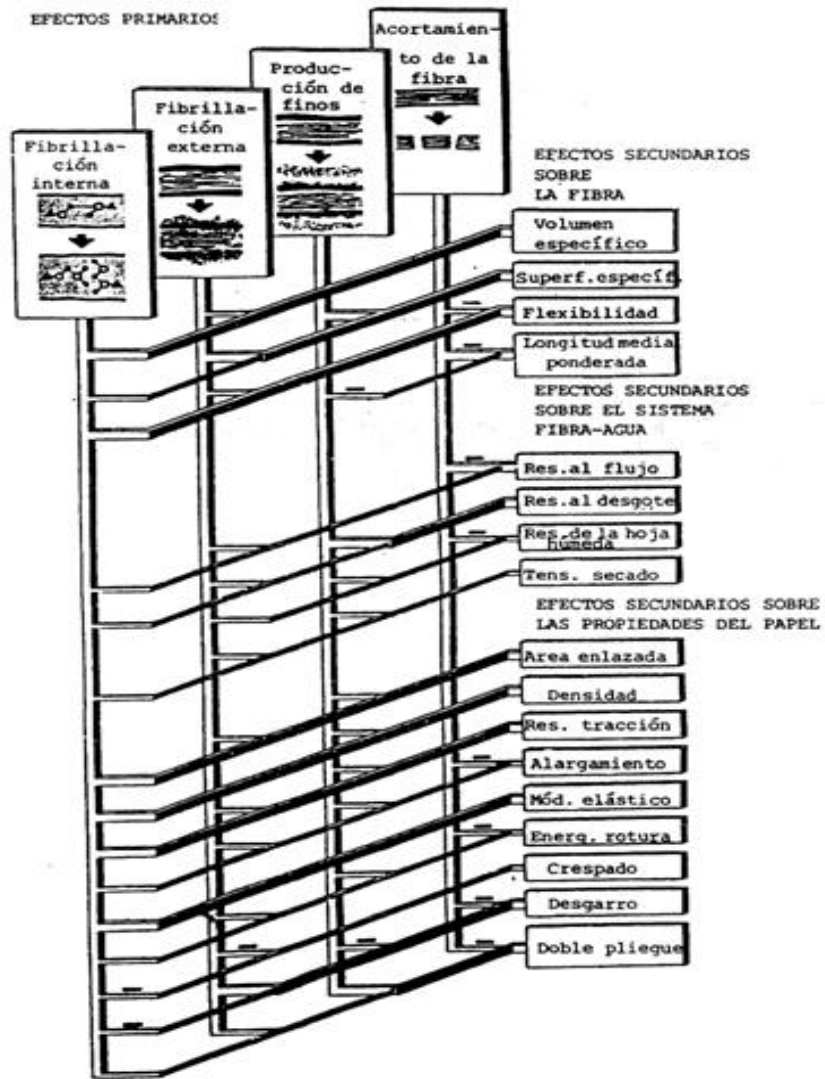
Figura 59 – FUENTE: (47)



EFFECTOS DEL REFINADO



EFFECTOS PRIMARIOS



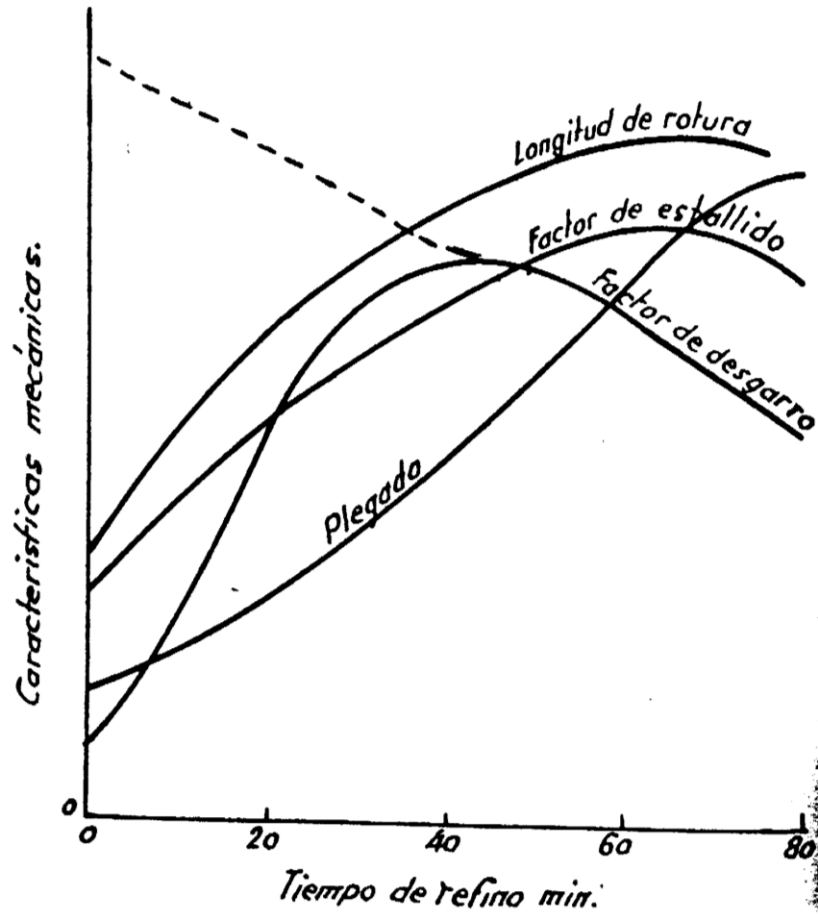


Figura 63 – FUENTE: (6)

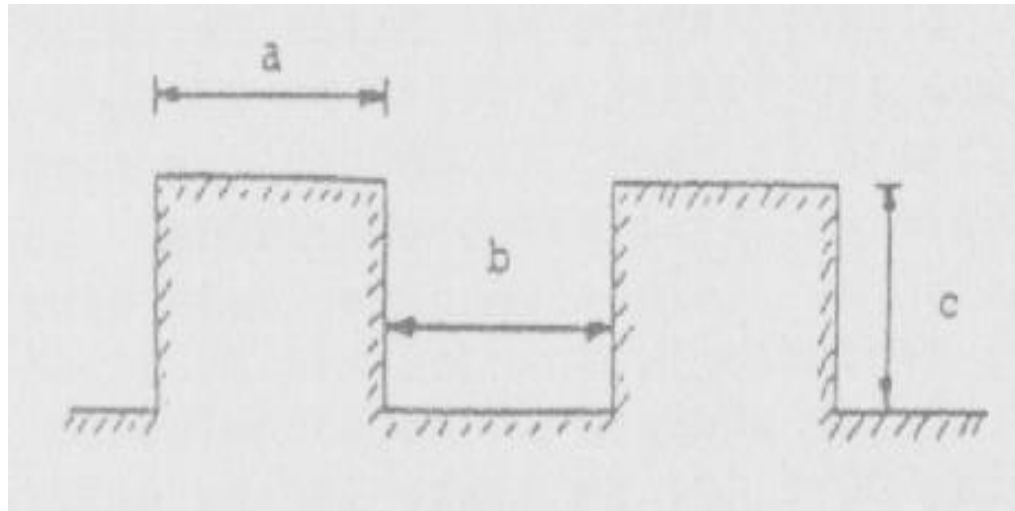


Figura 64 – FUENTE (47)

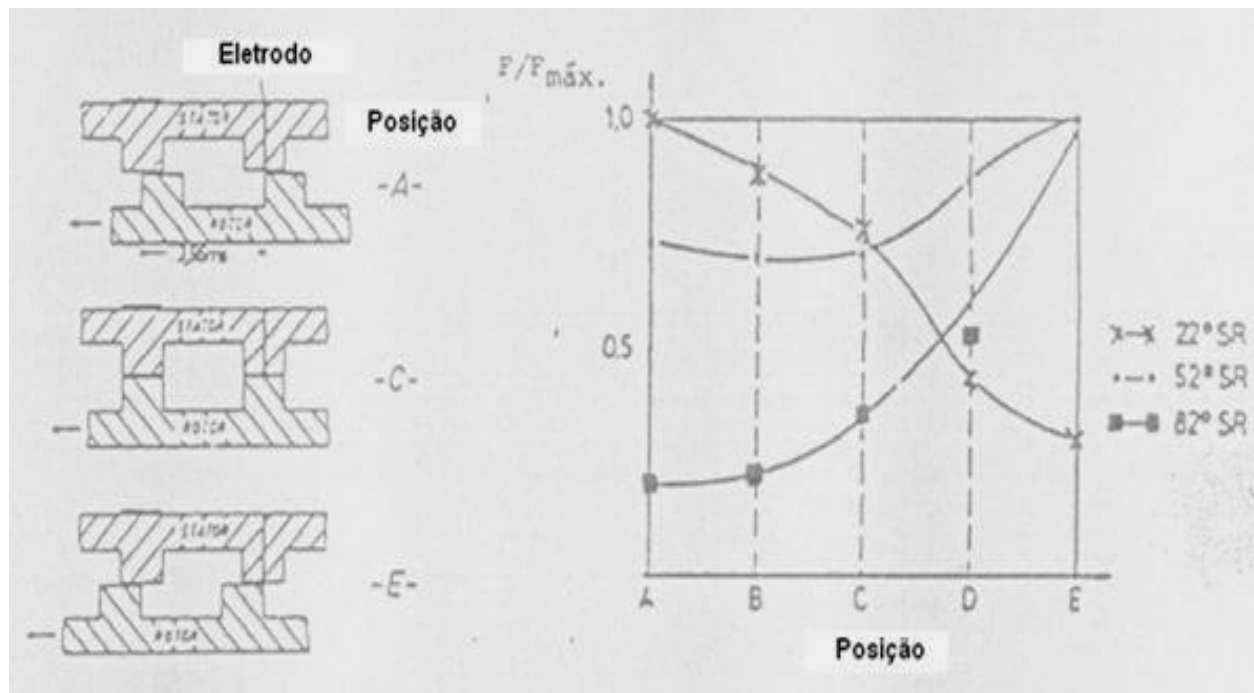


Figura 65 – FUENTE: (47)

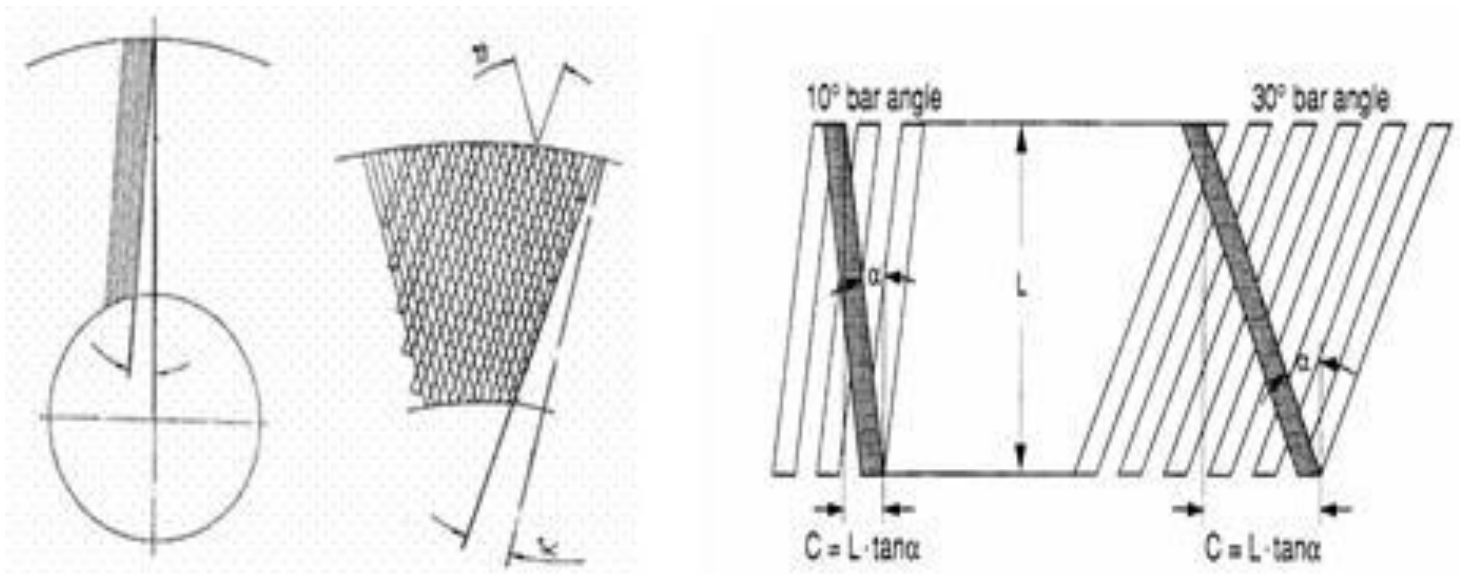


Figura 66 – FUENTE: (7)

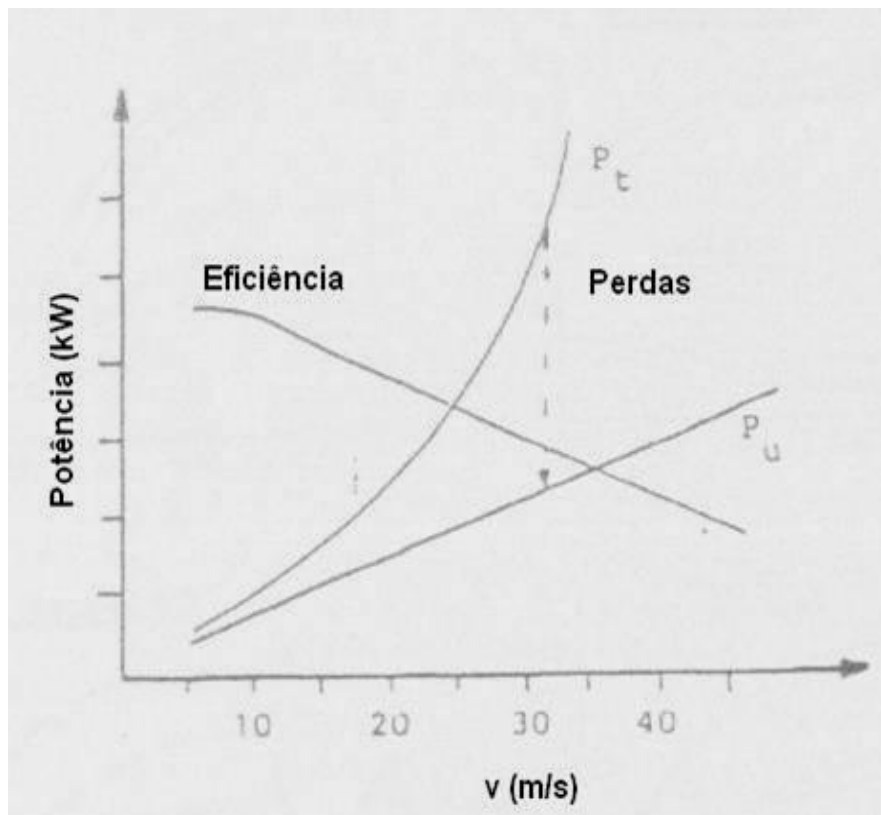


Figura 67 – FUENTE: (47)

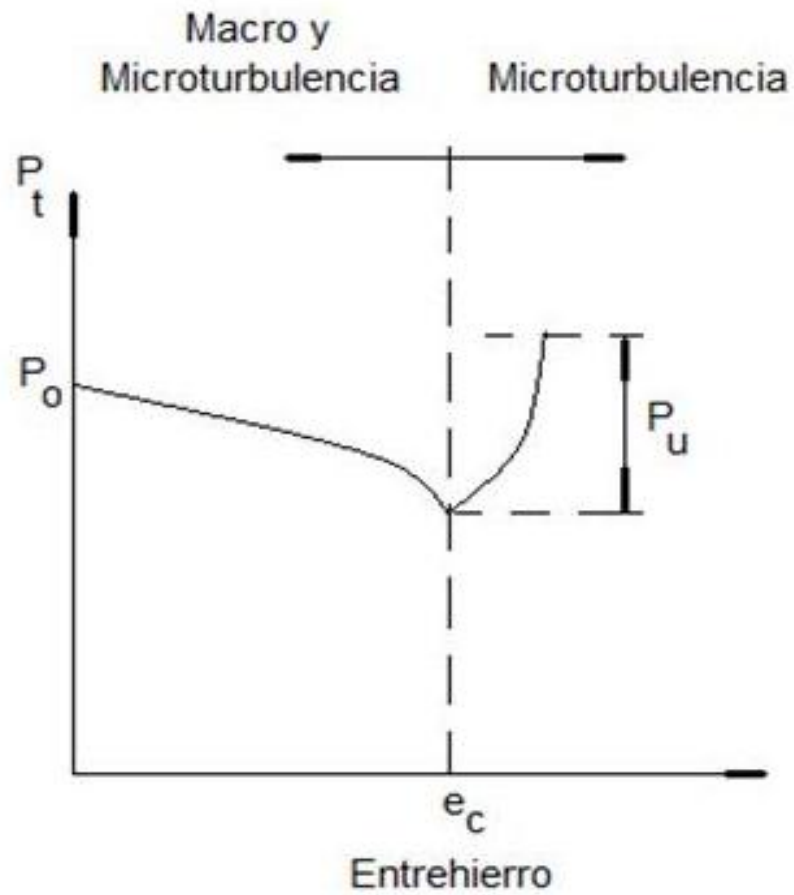


Figura 68 – FUENTE: (47)

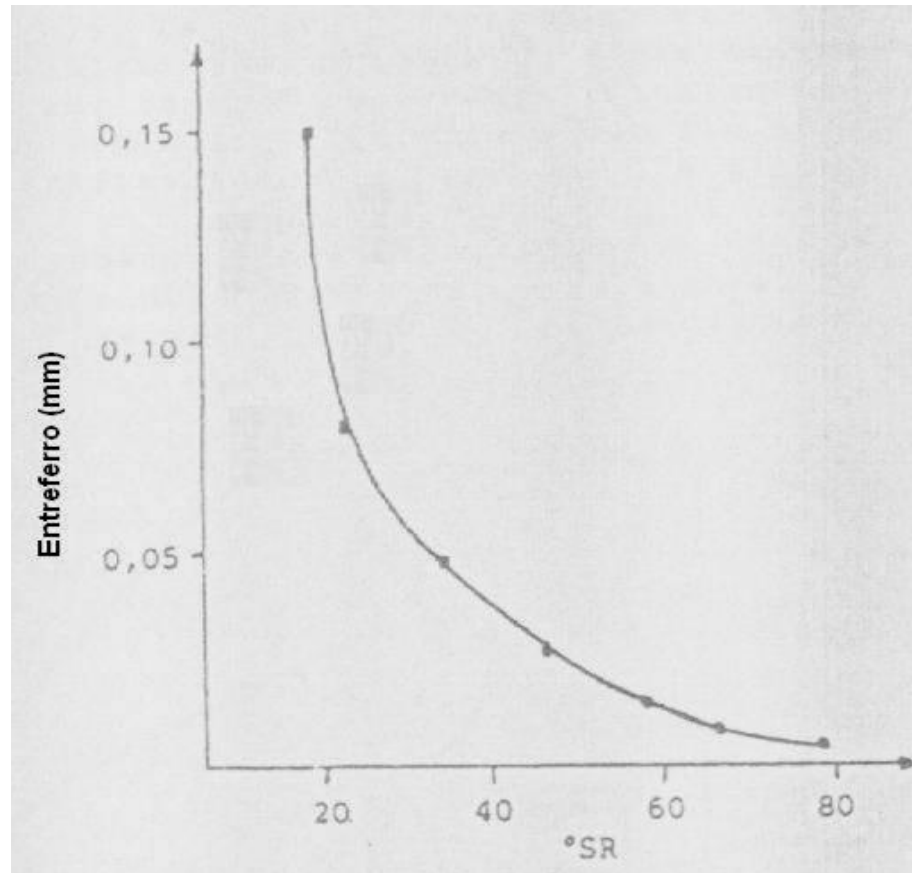


Figura 69 – FUENTE: (47)

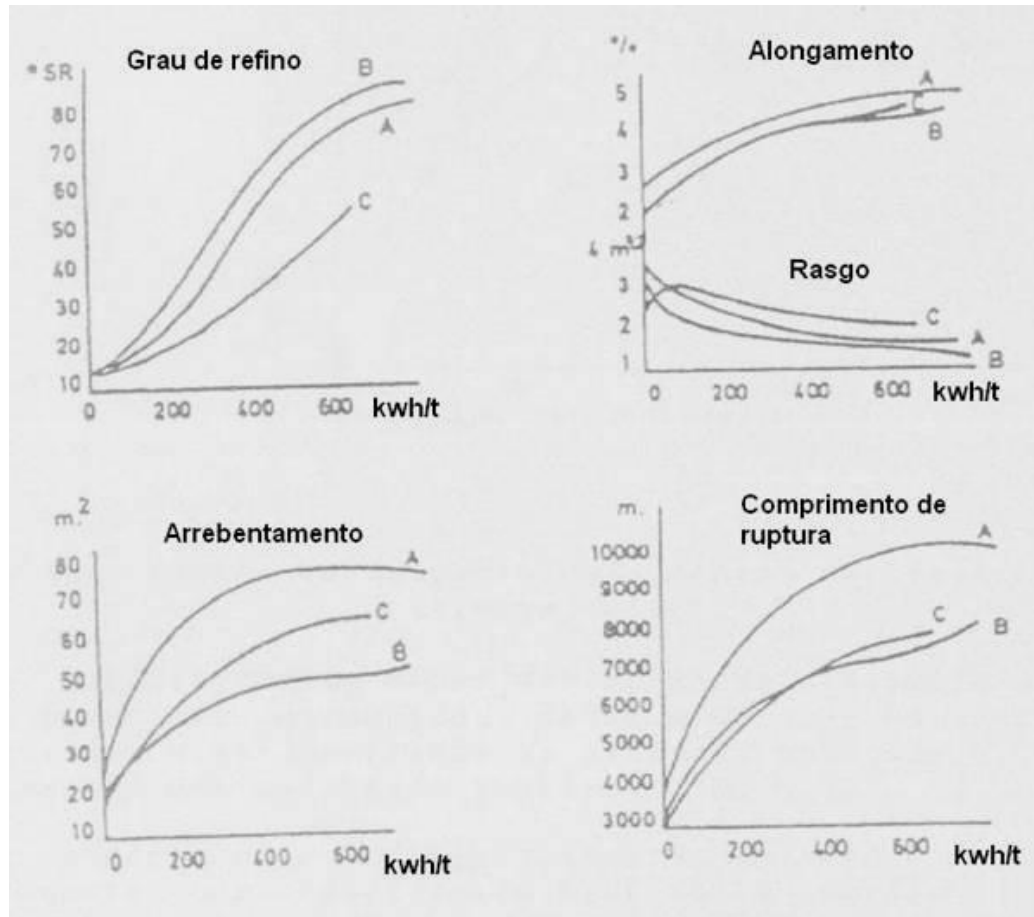


Figura 70 – FUENTE: (47)

Carga específica de borde (“Specific Edge Load”)

$$B_s = P_u / L_c \text{ (Ws/m = J/m)}$$

$$L_c = n \cdot Z_r \cdot Z_s \cdot l \text{ (m/s)}$$

Siendo:

“n” la velocidad de rotación (rps),

“Zr” y “Zs” el número de cuchillas del rotor y estator, respectivamente, y

“l” la longitud de la cuchilla [m].

Cuanto mayor es L_c , mayor el número de impactos de la guarnición contra las fibras y, a potencia constante, más débil será la energía por impacto. Por tanto la carga específica de borde cuantitativa la severidad de los impactos recibidos por las fibras.

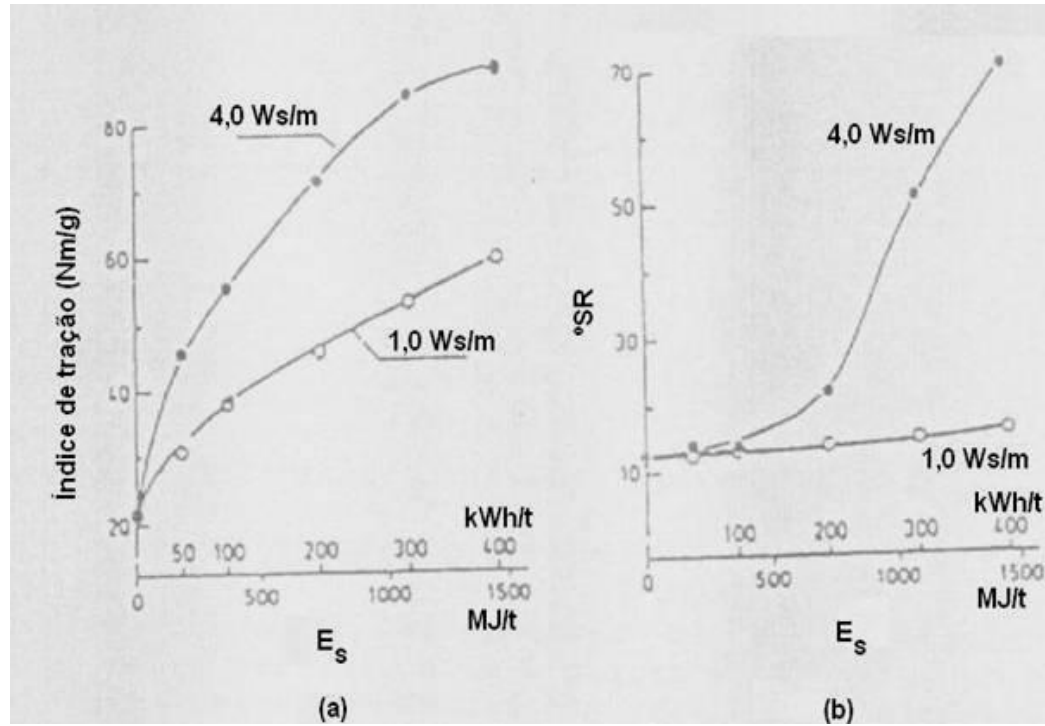


Figura 71 – FUENTE: (47)

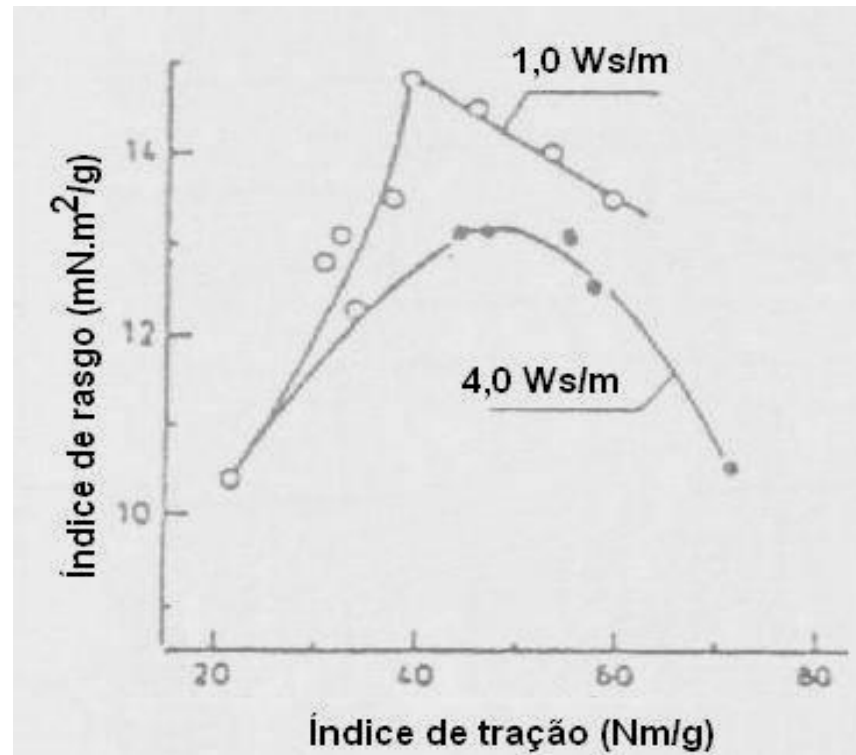
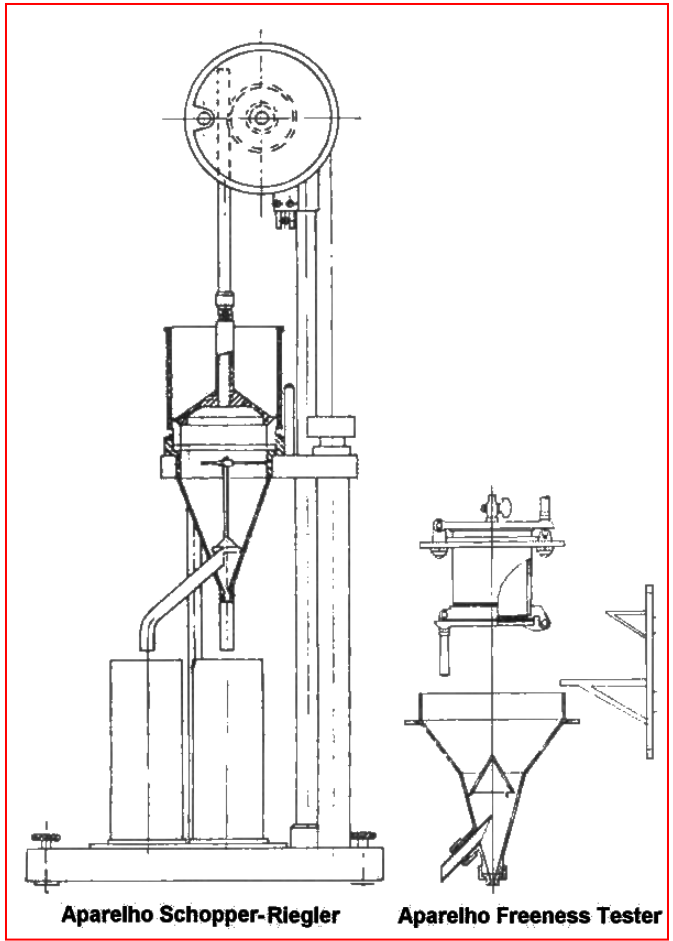


Figura 72 – FUENTE: (47)



ADITIVOS FUNCIONALES

SULFATO DE ALUMÍNIO (ALAMBRE)

RESINA ENCOLANTE

RESINA CON RESISTENCIA EN HÚMEDO

ALMIDÓN CATIONICO

COLORANTES

OTROS

AYUDANTES DE PROCESO

AGENTE DE RETENCIÓN

ANTIENCRUSTANTE

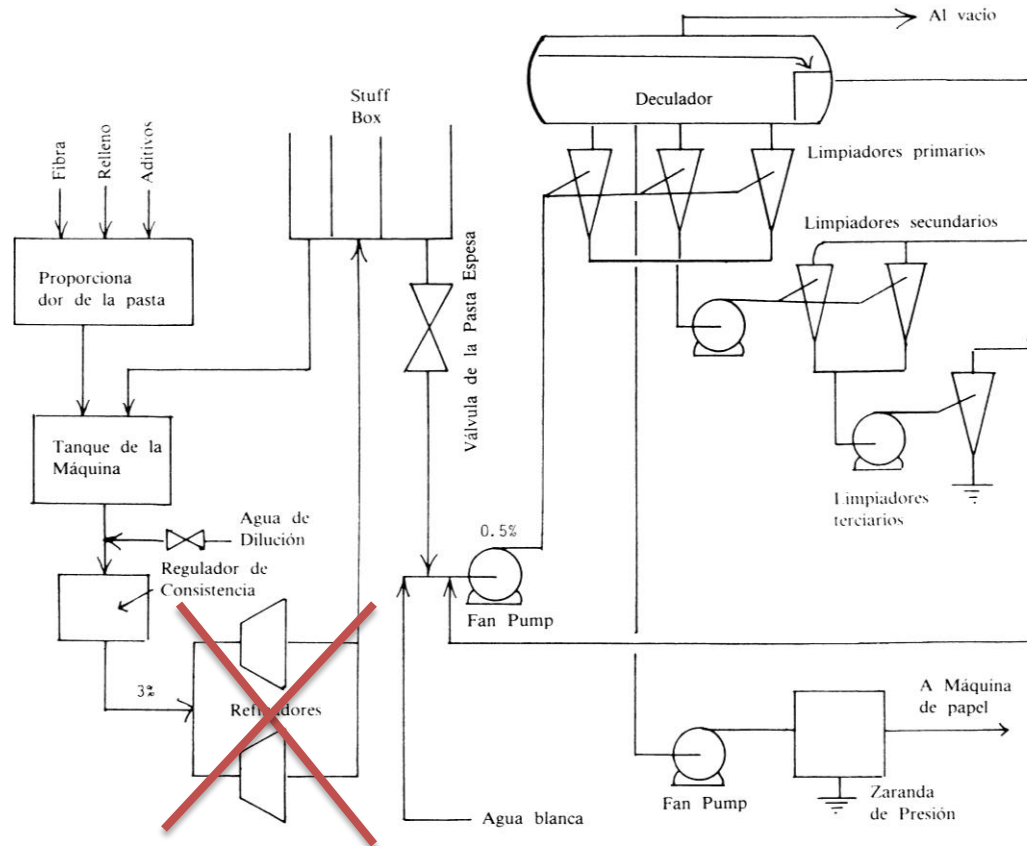
ANTIBACTERICIDA

HIDRÓXIDO DE SÓDIO (SODA CÁUSTICA)

DISPERSANTE

OTROS

CIRCUITO DE APROXIMACIÓN



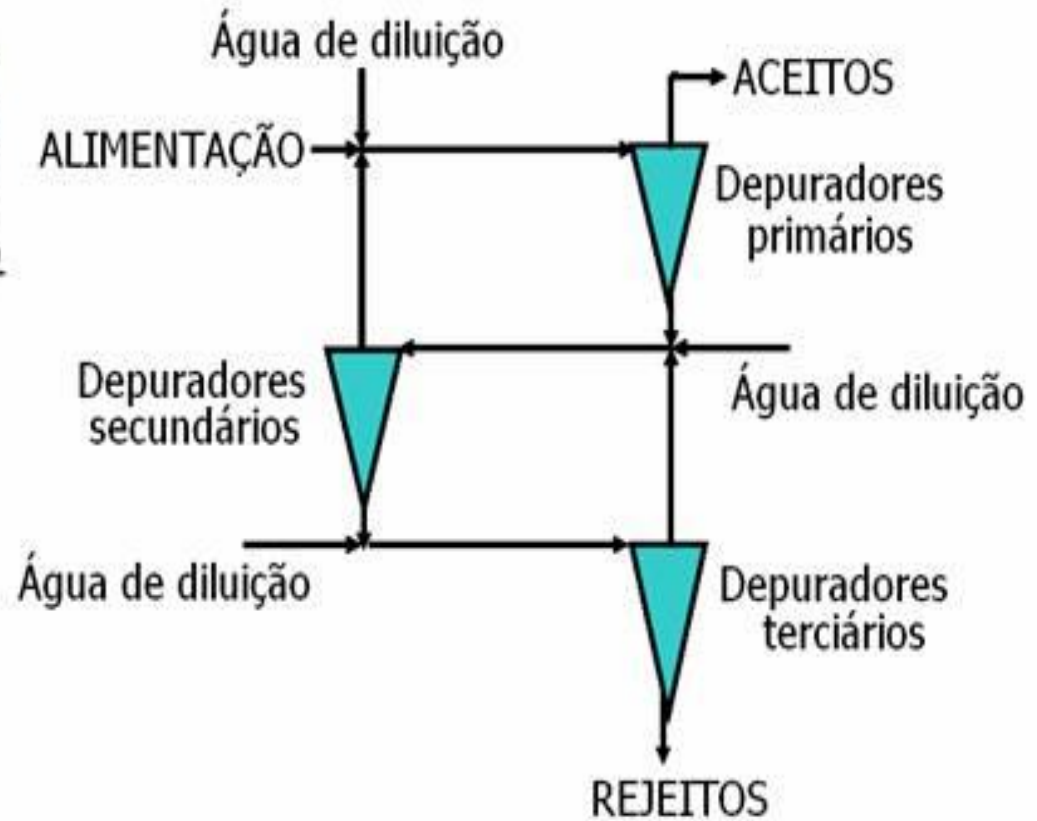
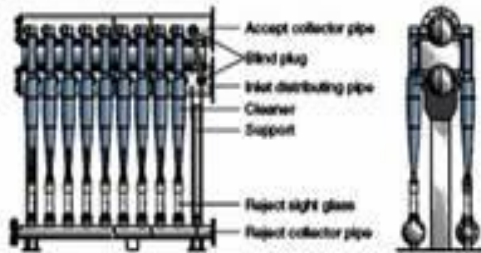
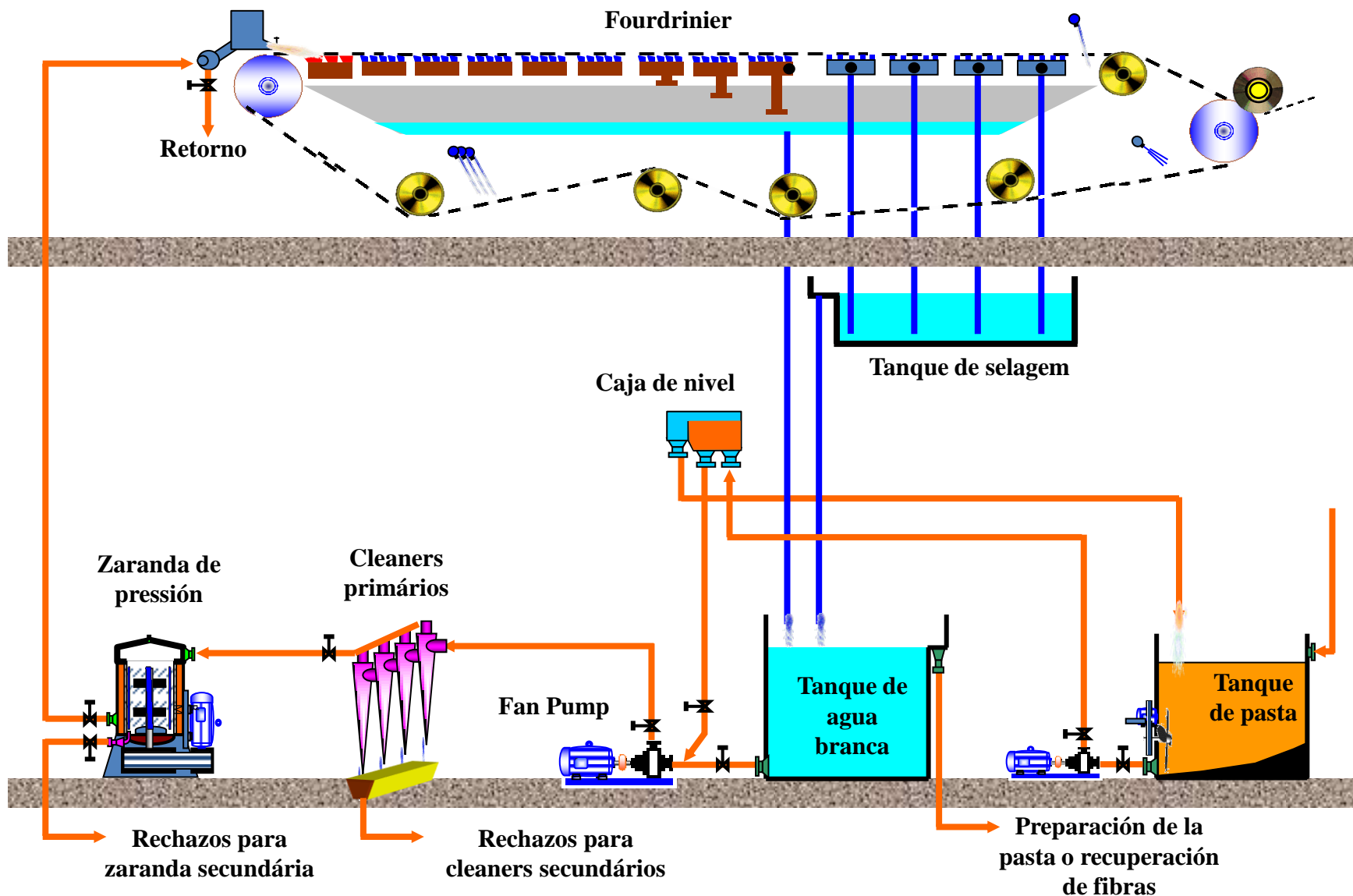


Figura 74 – FUENTE: (6)



FONTE: Prof. Bruno Machado - UNC