



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN**

**PROCESOS DE OBTENCIÓN DE PULPA EN MÉXICO PARA LA  
FABRICACIÓN DE PAPEL Y CARTÓN A PARTIR DE FIBRA RECICLADA.**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

**INGENIERO QUÍMICO**

PRESENTAN:

DANNYFER BECERRIL GARCÍA

JORGE ALEJANDRO PALLARES HERNÁNDEZ

ASESOR: Q. CELESTINO SILVA ESCALONA



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.

AGRADECIMIENTOS:

Es un placer dedicarles estas palabras  
Tanto pensamientos, sentimientos e intenciones  
A todas aquellas personas especiales  
Que me apoyaron y aliviaron mis horas amargas.

Comenzando por Dios Nuestro Señor,  
Y mis padres que en mi han forjado  
Con sacrificio y esfuerzo, alguien de valor  
Quiero decirles que mi corazón les he entregado.

No olvidaré a profesores, amigos y compañeros  
Parte de esta Gran Universidad Divina  
Por las historias y momentos sinceros  
¡Adiós muchachos "Panas de mi vida"!

GRACIAS:

DANNYFER BECERRIL GARCÍA

## AGRADECIMIENTOS:

Primero que nada a Dios, por todas las virtudes que me ha dado y por permitirme llegar con bien hasta estas instancias.

A mis Padres, por toda una vida de apoyo incondicional, por esa comprensión, por ese amor y sobre todo que con su ejemplo de perseverancia y honestidad, hicieron de mi un hombre cabal.

A mis Hermanos, por su compañía y apoyo.

A mi Esposa, por darme la dicha de ser padre, por todo ese apoyo, amor y comprensión.

A mi hija, por todas las alegrías y por ser ese estímulo que necesito en los malos momentos.

A mis amigos, por todos los buenos y malos momentos juntos.

A esta maravillosa Institución por la sabiduría y el carácter adquirido.

JORGE ALEJANDRO PALLARES HERNÁNDEZ.

<b><u>Contenido</u></b>	1
1. Objetivo e introducción	3
2. Antecedentes	6
2.1 El mercado	6
2.2 Aspectos económicos	7
3. Aspectos de mercado de la celulosa y el papel	9
3.1 Lista de las principales industrias de papel y celulosa en México	13
3.1.1 Localización de las principales industrias de papel y celulosa en México	14
3.2 Datos estadísticos de la industria de la celulosa y el papel	16
3.2.1 Producción total de celulosa	16
3.2.2 Producción total de papel	18
3.2.3 Producción de papel por tipos	20
3.3 Participación relativa del consumo de materias primas fibrosas en la producción de papel	23
3.3.1 La recolección y el reciclado en México	27
4. Generalidades del proceso de reciclaje de papel	29
4.1 Empleo de fibras recicladas para producir papel	30
4.2 Fibras secundarias	31
4.2.1 Grados de papel desperdicio	32
4.3 Selección de papel	35
4.4 Pasos requeridos en un proceso de reciclado de material	36
4.4.1 Abastecimiento de material	37
4.4.2 Desfibrado de material	37
4.4.3 Eliminación de contaminantes	38
4.4.4 Destintado	38
4.4.5 Blanqueo	39
4.5 Fibras secundarias alternas, celulósicas no maderables	39
5. Particularidades en los procesos de reciclado del papel	41
5.1 Tintas	41
5.1.1 Destintado de fibras secundarias	42
5.1.2 Problemas relacionados con el uso de fibra secundaria en el destintado	44
5.1.3 Factores que inciden sobre el proceso de destintado	45
5.2 Eliminación de impurezas	46
5.2.1 Contaminantes adhesivos o pegajosos “stickies”	47
5.3 Etapas para reciclado de papel desperdicio	50
5.3.1 El pulpeo	52

5.3.2 Equipos de prelimpieza de la pasta	57
5.3.3 Depuración	62
5.3.4 Flotación	66
5.3.5 Lavado	74
5.3.6 Procesos de blanqueo de fibras secundarias	78
5.3.6.1 Blanqueo con cloro	79
5.3.6.2 Blanqueo con hipoclorito	80
5.3.6.3 Blanqueo con peroxido de hidrógeno	81
5.3.6.4 Blanqueo con hidrosulfito de sodio	82
5.3.6.5 Blanqueo con FAS (ácido formamidin sulfónico)	83
5.3.7 Dispersión	86
6. Principales métodos de producción de pulpa a partir de fibras secundarias	92
6.1 Método mecánico	92
6.1.1 Etapas que involucra el proceso mecánico	93
6.1.2 Variantes del proceso mecánico	95
6.1.2.1 Sistema Black Clawson	96
6.1.2.2 Sistema Voith-Morden	98
6.1.2.3 Sistema Beloit-Jones Belcor	100
6.1.2.4 Sistema fiberizador Escher Wyss	102
6.2 Método químico-mecánico de producción de pulpa con fibras secundarias	104
6.2.1 Descripción	104
6.2.2 Fases del método químico-mecánico	106
7. Elaboración del producto	110
7.1 Dilución de la pasta	110
7.2 Formación del producto	110
7.3 Prensado del producto	111
7.4 Secado del producto	111
7.5 Acabado del producto	111
7.6 Tipos de papeles fabricados con papel desperdicio	112
Conclusiones	113
Bibliografía	114

## **CAPITULO 1: OBJETIVOS E INTRODUCCIÓN.**

### **OBJETIVO GENERAL.**

- ◆ Mostrar el panorama en general del reciclaje del papel y cartón, así como la obtención de fibra secundaria en México y mencionar los principales procesos y equipos empleados en sus diversas etapas para la obtención de la fibra secundaria a nivel nacional.

### **OBJETIVOS PARTICULARES.**

- ◆ Detallar las etapas más importantes que participan en los diferentes procesos, así como las variables que tienen influencia para la obtención de una pasta de buena calidad.
- ◆ Mostrar al lector que recurrir al reciclaje del papel y cartón ayuda a disminuir la deforestación de los bosques.
- ◆ Exponer que la industria del reciclaje del papel optimiza y ahorra insumos como agua y energía, lo cual no perjudica los desarrollos urbanos cercanos a este tipo de plantas.

## **1.- INTRODUCCION**

Papel reciclado y aspectos ambientales:

Estos temas resulta de gran interés en los momentos que vive nuestro país, con la definición real de que el medio ambiente es el foro y escenario de nuestra vida, con el medio ambiente como reto de la sociedad moderna, sociedad de hombres y mujeres inmersos en la cultura ambientalista, con valores, creencias y compromisos con la naturaleza.

Nuestro futuro depende de la conservación del medio ambiente, por lo que nos llena de orgullo el poder presentar este trabajo que pueda ampliar los horizontes de nuestra manera de pensar, nos sentimos honrados el que el presente sea un medio para que ustedes consulten sobre el tema.

Vivimos en una época de cambios, una época orientada a la ruptura constante de paradigmas, como que desecho es igual a basura. El nuevo paradigma es que desecho es igual a reciclar, donde reciclar es igual a volver a usar, y donde reciclar es salvar árboles.

El proceso de reciclado de papel ofrece una opción seria para lograr un desarrollo sustentable del medio ambiente, desarrollo que satisfaga las necesidades del presente, sin comprometer a las futuras generaciones, de satisfacer sus necesidades. El proceso de reciclado de papel disminuye el ritmo de explotación de materiales renovables y no renovables, al mismo tiempo que fomentan el desarrollo de actividades económicas que benefician a diferentes estratos sociales.

Desde hace algunos años, según la Cámara Nacional de las Industrias de la Celulosa y el Papel, todas las empresas se han dedicado a la fabricación de papeles domésticos de primera calidad partiendo del uso de fibras de papel reciclado.

De esta manera se promueve mediante las empresas la recolección, selección y reuso de cientos de miles de toneladas anuales de este tipo de materiales que alguna vez fueron utilizados como papelería de oficinas, revistas, libretas, papel para computadora, cajas de cartón, papel periódico, recortes de imprentas y editoriales de libros, diccionarios, etc.

Al procesar en plantas de destintado cientos de miles de toneladas anuales de papel reciclado, se preserva la existencia de millones de árboles maduros y se eliminan muchos metros cúbicos de basura depositados en los tiraderos al aire libre.

Además la mayoría de las empresas dedicadas a este rubro promueven la reforestación en áreas del sur de la ciudad de México, así como en las ciudades aledañas a cada planta de papel.

La celulosa para producir papel puede obtenerse a partir de muchas plantas diferentes, pero si una planta es o no adecuada para este uso, depende principalmente de su estructura, que incluye tanto la composición química como morfológica de sus células, así como las alteraciones sufridas por dichas fibras durante los procesos que se someten para su futura utilización en la elaboración de papel.

Las fibras de cualquier planta podrán ser convertidas en papel, pero la economía de su empleo depende de la disponibilidad, facilidad de almacenaje, requerimiento de transporte, calidad de sus fibras y rendimiento.



El deterioro ambiental, la reducción de las áreas forestales y la posibilidad de que en unos años mas se reduzca considerablemente la producción de celulosa virgen, generan la necesidad de no utilizar mas la madera para producir papel, a esto agregamos el incremento en los costos de fabricación, transportes, etc.

Para utilizar una fibra secundaria se requiere de un proceso que dé como resultado, características fisicoquímicas de fibras utilizables para la adecuada fabricación del papel. Esto se logra no afectando la naturaleza de la fibra y retirando contaminantes indeseables de la misma como lo son gomas, tintas, parafinas, cenizas, grapas, etc.

La importancia de la selección del tipo de fibra secundaria es para obtener una calidad homogénea en el papel producido, intentando en la medida de lo posible, que dichas fibras sean al menos limpias y clasificadas.

Existen diferentes grados de fibras secundarias en el mercado, así como diferentes tipos de contaminantes que las identifican. Los materiales de desecho cuentan con características particulares (kraft, diferentes impresos, papel metálico, barnices, papel con resistencia en húmedo, laminaciones de papel con diferentes sustratos, etc.) que es necesario tratar de eliminar para la carga de fibras deseada.

## **CAPITULO 2: ANTECEDENTES.**

### **2.- ANTECEDENTES GENERALES.**

Es sin duda el papel un artículo imprescindible en el proceso de desarrollo de cualquier país; participa esté en labores de comunicación, embalaje de productos y hasta en áreas cosméticas y es tan basta esta industria que ya supera el 1% de la derrama mundial monetaria y este producto es manufacturado en más de 90 países y se consume en todo el globo terráqueo. Se pronostica que esta industria tendrá una época de crecimiento considerable en el siglo XXI, ya que la demanda de papel, cartón y derivados a nivel mundial incrementará alrededor del 3% en tasa anual.

Para estos años cada habitante se encontrará consumiendo 45 kilogramos de papel, que es casi el doble que el que consumía un habitante promedio de clase media hacia la década de los 50's. Hablando en lo referente al panorama nacional la tasa de crecimiento del papel corrugado y empaques es cerca del 4% comparado con la década de los años 80's.

El desarrollo de la industria papelera no siempre ha sido sustentable, pero debido a factores económicos y ambientales, se esta proponiendo el empleo de materiales reciclables como materia prima, tal es el caso de la denominada fibra secundaria por que proviene de fuentes de desperdicio.

#### **2.1.- EL MERCADO.**

Nuestro mercado es vasto ya que es necesario dar satisfacción a una demanda importante y creciente. La capacidad instalada en nuestro país para la fabricación de papel aún es suficiente; no siendo así para las plantas de obtención de celulosa, ya que en nuestro país apenas se produce el 20 % de celulosa que se necesita para la producción del papel. Dicho esto, es importante mencionar que el 80% restante de la celulosa se importa; por eso es importante redoblar esfuerzos para no depender en gran medida de la celulosa importada y utilizar en mayor escala fibra secundaria nacional.

Gracias a la gran capacidad instalada para la fabricación de papel y la importación de celulosas, actualmente no existe un desabasto de papel en nuestro mercado.

Dichas actividades tanto de servicio, comercial e industrial hace que para nuestro país el mayor consumo aparente situado en primer lugar es el papel para empaque, seguido del papel escritura e impresión y finalmente los de tipo facial, sanitario y especiales.

## **2.2.- ASPECTOS ECONÓMICOS.**

Ahora tratamos factores económicos, como los consumos energéticos para la transformación de este tipo de papel desperdicio. Es decir que para tratar este papel en primer lugar debemos considerar una calidad requerida en nuestro producto, la tecnología que nos permita obtener dicha calidad sin perder de vista las características del papel desperdicio y su calidad que se emplea como materia prima.

Posteriormente debemos fijar una capacidad instalada, el ordenamiento y acomodo de equipos de la maquinaria, así como su factor de servicio; con lo anterior obtendremos una potencia instalada y su relación con la consumida, es decir que se recomienda un cierto grado de sobre diseño para satisfacer:

- ◆ Un incremento futuro en la producción.
- ◆ Operaciones discontinuas.
- ◆ Equipo de relevo.

Considerando lo anterior se puede determinar los costos de producción que genera una planta.

El CEE, (consumo específico de energía) es en verdad un factor importante en el ahorro de dinero entre los procesos que son para fibras vírgenes y los que son para fibras secundarias.

Enseguida se muestra la tabla 2.1, de valores de consumo específico de energía de plantas de preparación de pastas de papel desperdicio, dependiendo de las características del proceso.

TABLA 2.1 VALORES DE CONSUMO DE ENERGÍA EN LA PREPARACIÓN DE LAS PASTAS ELABORADAS CON PAPEL DESPERDICIO.

PROCESO	C.E.E.	Kwh./Ton
Instalaciones dotadas de depuración a baja densidad, incluyendo la molienda y la depuración final en el sistema de entrada, según la demanda de refinación.	240	300
Instalaciones con depuración a consistencia media, incluyendo sistema de entrada, de acuerdo a la complejidad de las etapas de depuración.	120	270
Sistemas modernos multietapas de depuración a consistencia media con tratamiento de rechazos a alta consistencia	250	280
Instalaciones de destintado, en dependencia del tamaño de la planta, necesidad de molienda, depuración a baja densidad y sistemas de entrada.	240	450

Fuente [9]

Si nos remitimos al punto de vista económico, tenemos que el empleo de fibras secundarias ayuda a reducir los costos en las materias primas en comparación a las fibras vírgenes, además los costos en relación al CEE, representa alrededor de un 40% de ahorro al comparar contra procesos en lo que emplean fibras vírgenes.

El comentario anterior es un argumento válido y contundente que apoya la reutilización del papel, mediante el aprovechamiento del desperdicio con la finalidad de producir empaques corrugados.

Se debe observar que el nivel de vida y el surgimiento de otros productos como lo son los plásticos, son una causa para emplear papel desperdicio para fabricar empaques.<sup>[10]</sup>

En la actualidad en nuestro país se puede decir que vivimos una época del embalaje impulsado por el reciclaje de materiales.

Lo anterior es importante, pues en países de Europa apenas están comenzado a sustituirse las cajas de madera y sacos de algodón por paquetes de papel y ya con una buena frecuencia se emplean para envolver, almacenar y para mil usos, todo tipo de papeles y cartones que son reciclables.<sup>[5 Y 9]</sup>

### CAPÍTULO 3: ASPECTOS DE MERCADO DE LA CELULOSA Y EL PAPEL.

#### 3.- PANORAMA MUNDIAL.

El consumo de papel desperdicio en cada país esta en función de:

- ◆ La política forestal.
- ◆ La política ecológica.
- ◆ Situación económica.
- ◆ Política de mercado.
- ◆ Cultura para el uso de nuevos productos.

El manejo de papel desperdicio requiere de:

- ◆ Sistemas de recolección.
- ◆ Sistemas de clasificación.
- ◆ Desarrollos tecnológicos.
- ◆ Recursos humanos.
- ◆ Investigación.

La Producción mundial de papel es 314,941 miles de toneladas y el consumo mundial de papel desperdicio es 126,414 miles de toneladas, lo cual nos da un **40.14%** de reciclaje mundial.

La figura 3.1 nos muestra la producción mundial de papel y consumo de papel desperdicio y la tabla 3.1 nos muestra algunos de los países más representativos y su situación actual en el ámbito del papel desperdicio.<sup>[1]</sup>

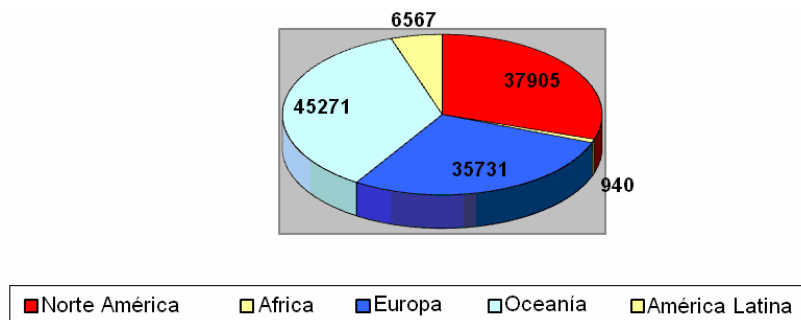


FIGURA 3.1 PRODUCCIÓN DE PAPEL DESPERDICIO EN EL MUNDO

**TABLA 3.1 PRODUCCIÓN Y CONSUMO DE PAPEL DESPERDICIO EN EL MUNDO.**

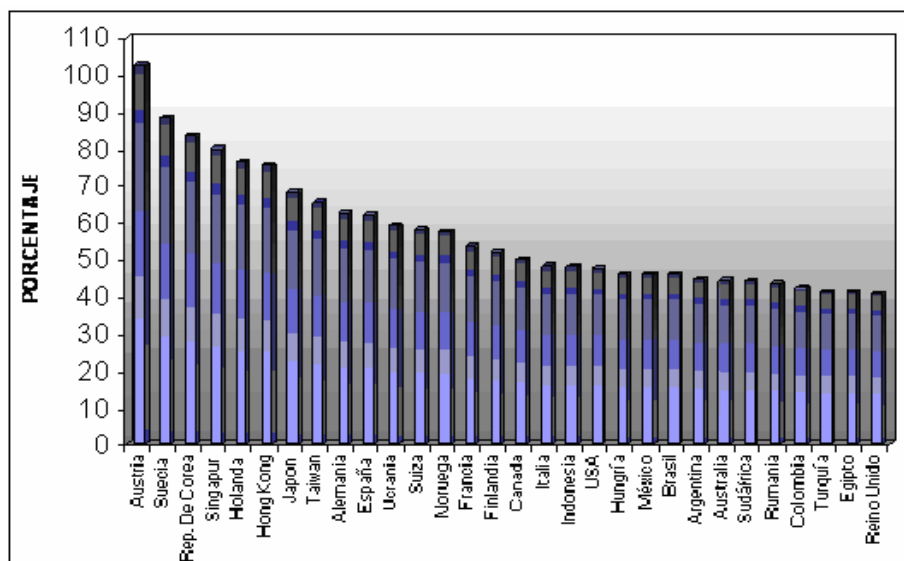
PAIS	CONSUMO PERCAPITA DE PAPEL (1000 ton)	PRODUCCION DE PAPEL (1000 ton)	PAPEL DESPERDICIO	
			RECUPERACION (1000 ton)	CONSUMO (1000 ton)
Inglaterra	204	6476	5050	4655
Japón	237	29888	16211	15944
Corea	113	7750	3869	5832
México	41.6	2950	1700	2600
Brasil	28	5600	1630	1671
Chile	41.9	569	226	226
EEUU	336	85855	41103	34213
Canadá	232	18723	3057	4656

Fuente [3]

**PAÍSES RECOLECTORES Y RECICLADORES DE FIBRA SECUNDARIA MÁS IMPORTANTES DEL MUNDO.**

En la figura 3.2 y la tabla 3.2 se observan los países recolectores más importantes del mundo, en la tabla podemos observar que ocupamos el lugar numero 21, de los 30 que presenta la tabla; lo cual es un buen índice de recolección, aun que podría ser mejor si inculcamos una cultura del reciclaje y se legisla al respecto, ya que el índice de recolección no es siquiera del 50 %.

A diferencia de la recolección, en nuestro país tenemos un excelente índice de utilización. En la figura 3.3 y la tabla 3.3 se observa un 3er lugar en cuanto a índice de utilización se refiere, no obstante el 83% de utilización que tenemos se obtiene empleando fibra secundaria importada, la cual para tener una industria mas rentable tendríamos que prescindir de la fibra importada y elevar nuestro índice de recolección.



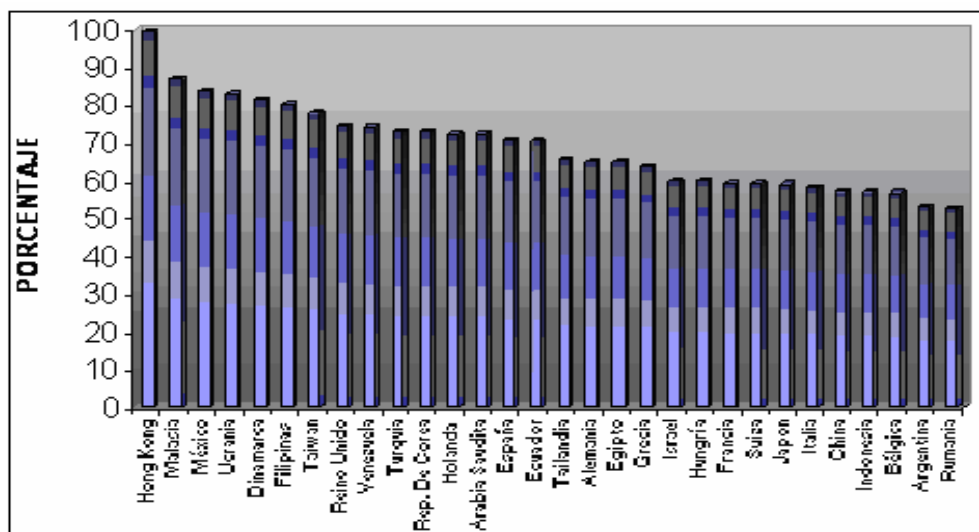
Fuente [3]

**FIGURA 3.2 INDICE DE RECOLECCIÓN DE FIBRA SECUNDARIA A NIVEL NACIONAL.**

**TABLA 3.2 INDICE DE RECOLECCIÓN DE FIBRA SECUNDARIA POR PAISES.**

LUGAR	PAIS	CONSUMO APA-RENTE DE PAPEL (000 T.M.)	RECOLECCION DE FIBRA SECUNDARIA NACIONAL (000 T.M.)	INDICE DE RECOLECCION %
1	Austria	2,088	2,141	102.5
2	Suecia	2,276	2,010	88.3
3	Rep. De Corea	8,243	6,875	83.4
4	Singapur	683	546	79.9
5	Holanda	3,361	2,561	76.2
6	Hong Kong	1,103	832	75.4
7	Japón	31,426	21,507	68.4
8	Taiwán	5,187	3,396	65.5
9	Alemania	19,442	12,169	62.6
10	España	7,194	4,474	62.2
11	Ucrania	1,074	635	59.1
12	Suiza	1,664	968	58.2
13	Noruega	834	481	57.7
14	Francia	11,079	5,931	53.5
15	Finlandia	1,489	777	52.2
16	Canadá	7,299	3,649	50.0
17	Italia	11,334	5,474	48.3
18	Indonesia	5,408	2,600	48.1
19	USA	92,257	43,818	47.5
20	Hungría	819	377	46.0
21	México	6,088	2,801	46.0
22	Brasil	7,303	3,360	46.0
23	Argentina	1,958	875	44.7
24	Australia	4,122	1,833	44.5
25	Sudáfrica	2,147	949	44.2
26	Rumania	601	261	43.4
27	Colombia	1,141	482	42.3
28	Turquía	3,287	1,376	41.3
29	Egipto	1,287	530	41.2
30	Reino Unido	12,678	5,172	40.8

Fuente [3]



Fuente [3]

**FIGURA 3.3 INDICE DE UTILIZACIÓN DE FIBRA SECUNDARIA NACIONAL E IMPORTADA.**

**TABLA 3.3 INDICE DE UTILIZACIÓN DE FIBRA SECUNDARIA NACIONAL E IMPORTADA.**

LUGAR	PAIS	CONSUMO DE FIBRA SECUNDARIA NAC. E IMP. (000 T.M.)	RECOLECCIÓN TOTAL DE FIBRA (000 T.M.)	INDICE DE UTILIZACIÓN %
1	Hong Kong	197	198	99.4
2	Malasia	1,215	1,395	87.1
3	México	4,112	4,931	83.4
4	Ucrania	635	767	82.8
5	Dinamarca	363	446	81.4
6	Filipinas	850	1,062	80
7	Taiwán	4,284	5,498	77.9
8	Reino Unido	5,172	6,939	74.5
9	Venezuela	321	432	74.3
10	Turquía	1,413	1,939	72.9
11	Rep. De Corea	8,365	11,492	72.8
12	Holanda	2,561	3,538	72.4
13	Arabia Saudita	220	305	72.1
14	España	4,474	6,351	70.5
15	Ecuador	100	142	70.4
16	Tailandia	2,210	3,373	65.5
17	Alemania	12,169	18,688	65.1
18	Egipto	530	818	64.8
19	Grecia	190	297	64
20	Israel	240	400	60
21	Hungría	377	630	59.8
22	Francia	5,931	9,981	59.4
23	Suiza	968	1,633	59.3
24	Japón	18,753	31,792	59
25	Italia	5,474	9,413	58.2
26	China	28,812	50,294	57.3
27	Indonesia	4,802	8,433	56.9
28	Bélgica	921	1,621	56.8
29	Argentina	898	1,696	53
30	Rumania	261	499	52.3

Fuente [3]



### 3.1.- LISTA DE LAS PRINCIPALES INDUSTRIAS DE PAPEL Y CELULOSA EN MÉXICO.

En la presente lista se encuentran las principales empresas productoras de papel y celulosa EN MEZCLA DE FIBRA VIRGEN Y RECICLADA:

TABLA 3.4 LISTA DE INDUSTRIAS PRODUCTORAS DE PAPEL A PARTIR DE FIBRA SECUNDARIA Y MEZCLAS CON PASTA VÍRGEN.

No.	Empresas registradas ante la Cámara Nacional de las Industrias de las Celulosa y del Papel (CNICP).
01	Alfa Celulosa De México, S.A. De C.V.
02	Cartonajes Estrella, S.A. De C.V
03	Cartones Ponderosa, S.A. De C.V.
04	Cartones Superfinos, S.A.
05	Celulosa De Fibras Mexicanas, S.A. De C.V.
06	Celulosa Y Corrugados De Sonora, S.A. De C.V.
07	Cía. Industrial Papelera Poblana, S.A. De C.V
08	Cía. Papelera El Fénix, S.A. De C.V.
09	Cía. Papelera Maldonado, S.A.
10	Corporación De Papeles Mexicanos, S.A. De C.V.
11	Corrugados Tehuacan, S.A. De C.V
12	Empaques De Cartón United, S.A. De C.V
13	Empaques Modernos De Guadalajara, S.A. De C.V.
14	Empaques Modernos San Pablo, S.A. De C.V
15	Fábrica De Papel San José, S.A. De C.V.
16	Fábrica De Papel Santa Clara, S.A. De C.V
17	Fábricas De Papel Potosí, S.A. De C.V
18	Fábricas De Papel Tuxtepec, S.A. De C.V
19	Industrial Papelera Mexicana, S.A. De C.V
20	Industrial Papelera San Luis, S.A. De C.V
21	Kimberly Clark De México, S.A. De C.V
22	Loreto Y Peña Pobre, S.A. De C.V (Procter & Gamble)
23	Madrueno y Cía., S.A. De C.V.
24	Manufacturas 8-A, S.A. De C.V
25	Manufacturas Gargo, S.A. De C.V.
26	Manufacturera De Papel Bidasoa, S.A. De C.V
27	Mexicana De Papel Periódico, S.A. De C.V
28	Papelera Altamira, S.A. De C.V.
29	Papelera De Chihuahua, S.A. De C.V.
30	Papelera Del Nevado, S.A. De C.V.
31	Papelera Iruña, S.A. De C.V.
32	Papelera Veracruzana, S.A. De C.V.
33	Papeles Higiénicos De México, S.A. De C.V.
34	Papeles Higiénicos Del Centro, S.A. De C.V.
35	Papeles Lozar, S.A. De C.V.
36	Pondercel, S.A. De C.V.
37	Productora Nacional De Papel Destintado, S.A. De C.V.
38	Smurfit Cartón Y Papel De México, S.A. De C.V.
39	Sonoco De México, S.A. De C.V.
40	Unipak, S.A. De C.V

Fuente [11]

### **3.1.1.- LOCALIZACIÓN DE LAS PRINCIPALES INDUSTRIAS DE PAPEL Y CELULOSA EN MÉXICO.**

La industria del papel y la celulosa como todas las distintas industrias buscan la mejor localización para sus plantas de producción, tomando en cuenta las bases de diseño: capacidad de la planta, características de la materia prima, características del producto terminado, servicios auxiliares y obras de infraestructura disponibles; otro punto importante en la definición de la localización de una planta es la zona de influencia, la cual se define como la zona en donde se tienen el mayor porcentaje del mercado de al producción. En base a esta breve introducción podemos explicar la distribución de las distintas plantas de papel y celulosa del país.

En la actualidad en esta industria existen tres tipos de plantas: plantas de papel, plantas de celulosa y papel, y plantas de celulosa (grado no papelerero). Como podemos ver en la figura 3.4, en el territorio nacional tenemos distribuidas a lo largo y ancho del país 1 planta de celulosa (grado no papelerero), 7 plantas de celulosa y papel, y 56 plantas de papel; también podemos ver que las plantas de celulosa y papel de encuentran en el interior de la republica, debido a que la materia prima para la celulosa: la madera, se obtiene de plantaciones forestales comerciales que se encuentran en varios estados del país.

Es importante destacar la gran concentración de plantas productoras de papel en el centro del país, esto obedece a la alta demanda de papel y/o cartón en esta zona; el abasto de materia prima (celulosa) para esas plantas esta solucionado, ya que todas las plantas del país y especialmente las del centro utilizan la fibra secundaria en mas de 50% de su producción.



### **3.2.- DATOS ESTADÍSTICOS DE LA INDUSTRIA DE LA CELULOSA Y EL PAPEL.**

Con la finalidad de transmitir el mensaje que deseamos comunicar de manera eficiente se han dividido los datos estadísticos en los siguientes subtemas:

#### **3.2.1.- PRODUCCIÓN TOTAL DE CELULOSA.**

Desde la invención del papel, diversas fibras se han usado en su fabricación, como son trapo de lino, algodón y algo de paja; pero hasta hace poco más de un siglo la industria papelera comenzó a usar la madera como materia prima. La disponibilidad de grandes cantidades de esta nueva materia prima permitió que las cantidades elaboradas de pastas y derivados se expandieran progresivamente con el transcurso de los años. Las producciones mundiales de pasta celulósica de la madera y el papel, cartón y manipulados han aumentado en las últimas décadas, siendo el crecimiento mucho mayor en países desarrollados. Todo ello ha llevado consigo un consumo de madera de la misma magnitud que el petróleo y el cereal y aun mayor que el de acero.

En los últimos años ha habido un importante incremento en la demanda de papel. La actual producción de pasta no puede hacer frente a la demanda, que sigue creciendo drásticamente. Además, cada vez se tiende más a una disminución en la tala masiva e indiscriminada de árboles para evitar el problema de la despoblación forestal. Esto conduce a un progresivo aumento de la escasez de materia prima y puede dar lugar a una gradual deforestación en algunas áreas del planeta.

Muchos mitos existen en torno a la producción y uso del papel en México. Se piensa, por ejemplo, que al reciclar el papel se evita la tala de bosques naturales, pero esto es falso, puesto que para producir papel no se utiliza madera proveniente de bosques naturales, sino que se importa celulosa de plantaciones comerciales de otros países.

En varios países del mundo las iniciativas de reutilización del papel, de no desperdiciarlo, de aprovecharlo al máximo posible, han obtenido una gran simpatía y respaldo de las comunidades. Se percibe incluso una tendencia internacional para promover el reciclaje del papel con el argumento primero de que esto evitará la tala de miles o millones de árboles, o que garantizará la sobre vivencia de enormes superficies de bosque, si se toma en cuenta toda la madera que se necesita para producir papel y con ello atender las necesidades y demandas de la población en esta materia.

Esta situación no es aplicable en el caso de México, puesto que nuestro país apenas produce 20% de la celulosa que requiere para producir el papel que la población necesita, por

lo que tiene que importar el 80% faltante de este insumo. Incluso ese 20% que produce no proviene de bosques naturales, sino de plantaciones forestales comerciales que se encuentran en varios estados del país.

México consume anualmente un promedio de un millón 200 toneladas de fibra virgen (no se incluye reciclado). Específicamente durante 2003, en el país se produjeron 334 mil toneladas de celulosa y se importaron 736 mil más, de las cuales 89% provino de Estados Unidos y el resto de diversos países como Canadá, Brasil y Chile, entre otros. Tan sólo la industria editorial utiliza un promedio anual de 100 mil 350 toneladas de papel.

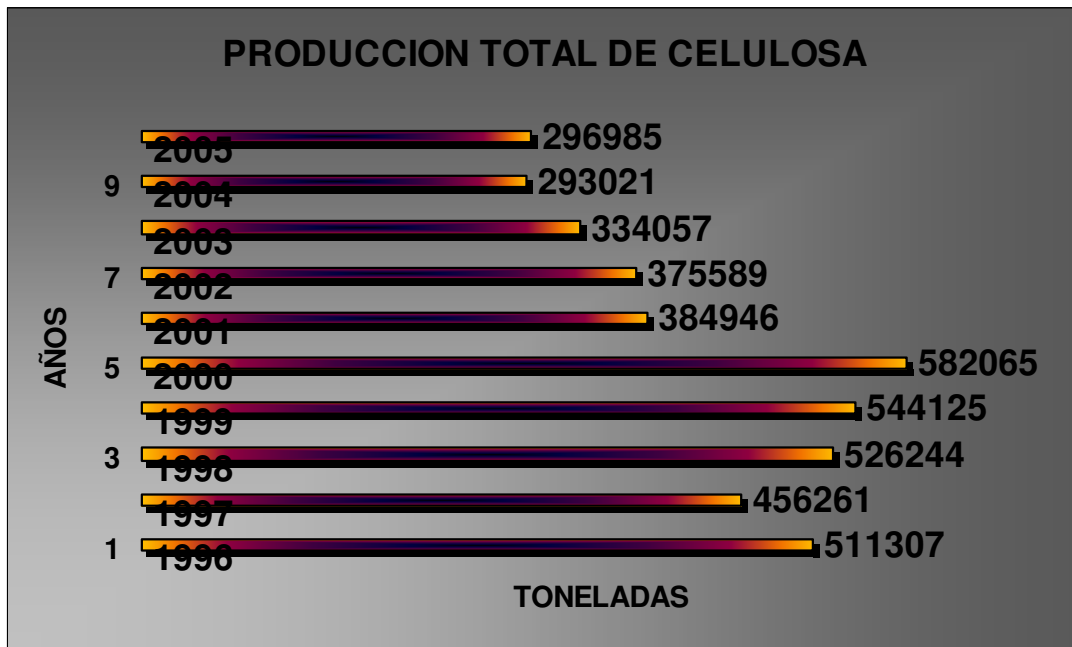
La tabla 3.5 y la figura 3.5 muestra el comportamiento de la producción total de celulosa de 1996 al 2005, en el cual podemos observar que de 1996 a 1997 hubo una caída de 10.8% en la producción total; y a partir de 1997 al 2000 la producción tuvo una ligera recuperación, ya que tuvo un crecimiento sostenido durante este periodo.

El año 2000 fue el más productivo para el periodo que se muestra en la tabla, con una producción total de celulosa de 582 065 toneladas; sin embargo a partir de este año hubo una disminución mucho más importante en la producción total de celulosa, ya que el índice de crecimiento compuesto en el periodo 1996-2005 es de -5.9%, esta caída en la producción de celulosa se debe al incremento en la utilización de fibra secundaria como materia prima para la fabricación de papel.

TABLA 3.5 PRODUCCIÓN TOTAL DE CELULOSA.

<b>PRODUCCIÓN TOTAL DE CELULOSA (Toneladas Métricas)</b>										
<b>CONCEPTO</b>	<b>1996</b>	<b>1997</b>	<b>1998</b>	<b>1999</b>	<b>2000</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>
Producción Tons.	5 113 07	4 562 61	5 262 44	5 441 26	5 820 65	3 849 46	3 755 89	3 340 57	2 930 21	2 969 85
Variación Tons.	9 078 2	-5 504 6	6 998 3	1 788 2	3 793 9	-1 971 19	-9 357	-4 153 2	4 103 6	3 964
Variación (%)	21.6	-10.8	15.3	3.4	7.0	-33.9	-2.4	-11.1	-12.3	1.4

Fuente [3]



Fuente [3]

FIGURA 3.5 PRODUCCIÓN TOTAL DE CELULOSA.

### 3.2.2.- PRODUCCIÓN TOTAL DE PAPEL.

Para producir una tonelada de papel se requiere de 1.12 toneladas de fibra (celulosa), y en el proceso de producción de papel se registra una merma de 12% de la celulosa respecto del total de fibra utilizada, para producir 70 mil toneladas de papel se requieren aproximadamente 78 mil 400 toneladas de celulosa.

En cuanto a la materia prima que se necesita para producir celulosa “la madera”, se ocupan entre 5 y 6 metros cúbicos para obtener una tonelada de celulosa. La precisión de este volumen depende de la especie, la edad y diámetro del árbol, a partir de lo cual puede determinarse un promedio de individuos por tonelada:

- ◆ De madera de coníferas referidas a árboles maduros de una edad promedio de 60 años, una tonelada de celulosa equivale en promedio a 14.28 árboles. La relación sería de 1 millón 100 mil árboles para producir 78,400 toneladas de celulosa.
- ◆ De madera de encino, referida a árboles maduros de una edad promedio de 50 años, una tonelada de celulosa equivale en promedio a 10.20 árboles. Aquí la relación sería de 799 mil 600 árboles para producir 78,400 toneladas de celulosa.

En México producir celulosa y/o papel a partir de fibra virgen de madera resulta caro, ya que la industria de celulosa y papel en México trabaja, en 80% de los casos con tecnología de baja escala competitiva, además de que para algunos industriales la fuente de abastecimiento de madera se ubica a más de 400 kilómetros de sus instalaciones, lo que encarece el costo de producción por los fletes del transporte, y está adaptada básicamente para procesar madera de fibra larga (coníferas).

Debido a lo anterior, la mayor parte de la materia prima producida en el país se obtiene en bosques naturales, aunque poco a poco se está incrementando el volumen que procede de plantaciones.

Dentro de los costos de producción que inciden fuertemente en los costos del proceso de fabricación de celulosa de madera se incluye el gasto de energía eléctrica, combustibles, gas, agua, agentes químicos y equipos de tratamiento de efluentes.

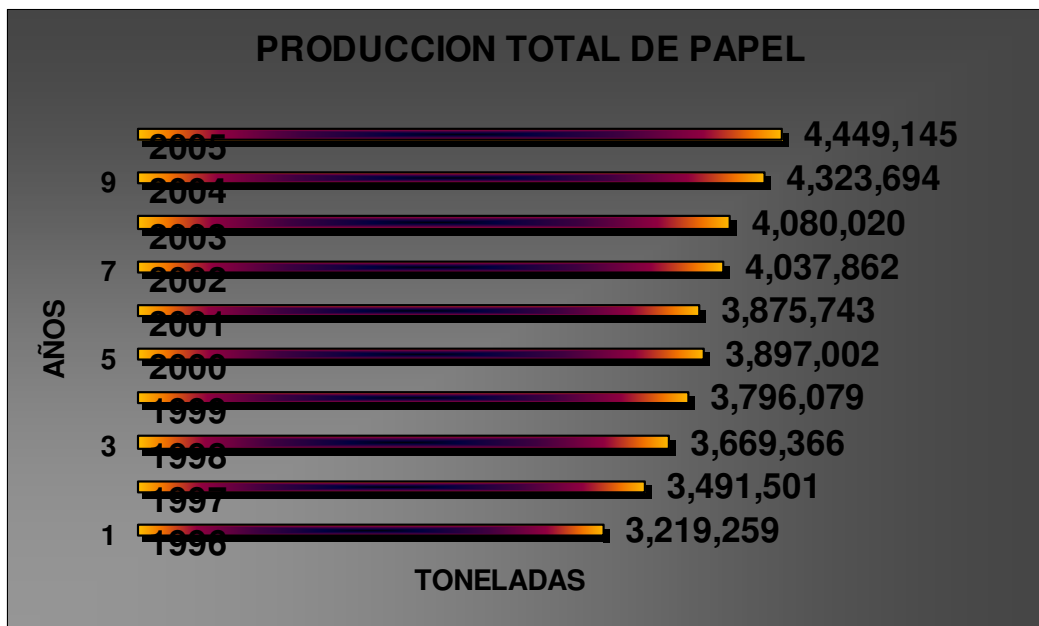
Por el momento es más económico reciclar usando papel usado, sobre todo porque disminuye sustancialmente el consumo de energía. Pero el proceso de reciclaje tiene límites, ya que la fibra se va desgastando hasta llegar a perderse en su totalidad, por lo que debe agregarse fibra virgen que permita enriquecer la mezcla de las fibras usadas para hacer papel.

En la tabla 3.6 se puede observar el comportamiento de la producción total de papel a partir de 1996 hasta 2005, en la cual podemos percatarnos del crecimiento sostenido que tiene la industria del papel, dando como índice de crecimiento compuesto en el periodo 1996-2005 de 3.7%.

TABLA 3.6 PRODUCCIÓN TOTAL DE PAPEL.

<b>PRODUCCIÓN TOTAL DE PAPEL (Toneladas Métricas)</b>										
CONCEPTO	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Producción Tons.	3219259	3491501	3669366	3796079	3897002	3875743	4037862	4080020	4323694	4449145
Variación Tons.	172106	272242	177865	126713	100923	-21259	162119	42158	243674	125451
Variación (%)	5.6	8.5	5.1	3.5	2.7	-0.5	4.2	1.0	6.0	2.9

Fuente [3]



Fuente [3]

*FIGURA 3.6 PRODUCCIÓN TOTAL DE PAPEL.*

### 3.2.3.- PRODUCCIÓN DE PAPEL POR TIPOS.

La producción de papel se clasifica en 4 tipos que son: escritura e impresión, empaque, sanitario y facial, y papeles especiales; la tabla 3.7 muestra la producción de papel por grupos de 1996 al 2005, en donde vemos que la fabricación de papel para escritura e impresión ha tenido un crecimiento de 20.8%, con un índice de crecimiento anual de 2.5% promedio, ya que la población mexicana se encuentra en un índice alto de crecimiento, cada vez hay más población demandante de este tipo de papel para las escuelas, lectura de periódicos, etc.

El papel para empaque como son sacos, bolsas, envoltura, corrugado, cartoncillo recubiertos y sin recubrir, durante el período 1996 al 2005 presentó un incremento en la producción de 35.7%, cabe destacar que fue un crecimiento sostenido durante todo el periodo. La producción de este tipo de papel muestra un continuo crecimiento, con un índice de crecimiento anual de 3.5% promedio.

Por lo que respecta a la producción de papel sanitario y facial ha presentado un fuerte crecimiento en todo el período de 1996-2005 excepto en el 2001 que hubo una caída en la producción de 0.3% con respecto al año 2000, el incremento en la producción en el período ha



sido de 73.7% debido a que la población mexicana ha crecido y por consiguiente la demanda de este tipo de papel.

Para los papeles especiales como son papel glassine, china, crepé, base para siliconar, papel cigarrillo, la producción ha tenido un comportamiento bastante incierto durante el periodo, ya que año con año la producción se mostró impredecible y no con un crecimiento como los demás tipos de papeles.

**TABLA 3.7 PRODUCCIÓN DE PAPEL POR TIPOS**

PRODUCCIÓN DE PAPEL POR TIPOS (Toneladas Métricas)										
TIPOS	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
<b>1. PAPEL ESCRITURA E IMPRESIÓN</b>	<u>808387</u>	<u>915949</u>	<u>931276</u>	<u>945449</u>	<u>943047</u>	<u>897099</u>	<u>894855</u>	<u>886389</u>	<u>942734</u>	<u>977027</u>
1.1 Papel	778220	892395	909338	926545	914726	878388	880074	870638	923056	956211
1.1.1 Aéreo y copia	1527	838	855	1762	2404	1726	2143	2903	3389	2085
1.1.2 Bond	444732	551578	541495	617870	602725	597656	630325	631177	632286	661825
1.1.3 Ediciones	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.1.4 Recubierto	62192	53875	55473	59740	54832	40337	50834	43247	35260	35650
1.1.5 Periódico	269769	286104	311515	247173	254765	238669	196772	193311	252121	255931
1.1.6 Libros de Texto	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.2 Cartulina	30167	23554	21938	18904	28321	18711	14781	14751	19678	20816
1.2.1 Sin Recubrir	18595	10951	10371	5215	17503	13093	9388	9388	13110	14160
1.2.2 Recubierta	11572	12603	11567	13689	10818	5618	5393	5393	6568	6656
<b>2. EMPAQUE</b>	<u>1890565</u>	<u>1956656</u>	<u>2093492</u>	<u>2167651</u>	<u>2235317</u>	<u>2247755</u>	<u>2378841</u>	<u>2399218</u>	<u>2529228</u>	<u>2566417</u>
2.1 Papel	1609412	1685911	1771917	1822598	1879750	1905039	2038432	2056588	2158757	2190329
2.1.1 Sacos	181033	179219	175863	180920	181859	146764	151828	150044	149783	137062
2.1.2 Bolsas	41756	37126	31091	30547	19040	33933	47729	52846	72327	66332
2.1.3 Envoltura	39764	42860	40050	25975	29542	27104	26815	28258	32586	38518
2.1.4 Liner	786940	825128	869969	882901	917356	951271	1039724	1053874	1077262	1058126
2.1.5 Corrugado medio	529234	566795	612931	654327	678436	701018	721977	725130	780502	852491
2.1.6 Conos y tubos	30685	34783	42013	47928	53517	44949	50359	46436	46297	37800
2.2 Cartoncillo	281153	270745	321575	345053	355567	342715	340409	342630	370471	379088
2.2.1 Duplex sin recubrir	8023	8003	5872	6355	9081	9358	9448	9638	6494	6671
2.2.2 Duplex recubierto	265567	255032	307480	328224	334382	323999	320407	318521	353511	360455
2.2.3 Gris	7563	7710	8223	10474	12104	9359	10554	14471	10466	8962
2.2.4 Cartoncillo líquidos comestibles	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>3. SANITARIO Y FACIAL</b>	<b>493500</b>	<b>595476</b>	<b>621566</b>	<b>661522</b>	<b>691213</b>	<b>688694</b>	<b>725827</b>	<b>757972</b>	<b>811968</b>	<b>857273</b>
<b>4. ESPECIALES</b>	<b>26807</b>	<b>23420</b>	<b>23032</b>	<b>21457</b>	<b>27457</b>	<b>42195</b>	<b>38339</b>	<b>37441</b>	<b>39764</b>	<b>48428</b>
<b>TOTAL</b>	<b>3219259</b>	<b>3491501</b>	<b>3669366</b>	<b>3796079</b>	<b>3897002</b>	<b>3875743</b>	<b>4037862</b>	<b>4080020</b>	<b>4323694</b>	<b>4449145</b>

Fuente [3]

### **3.3.- PARTICIPACION RELATIVA DEL CONSUMO DE MATERIAS PRIMAS FIBROSAS EN LA PRODUCCION DE PAPEL.**

La Tablas 3.8 y 3.9 muestran la participación del consumo de las distintas materias primas fibrosas para la fabricación de papel, en la cual encontramos 5 grupos de materia prima: celulosa química de madera, celulosa química de plantas anuales, pulpas mecánicas, otras pulpas y fibra secundaria.

En primer lugar la celulosa química de madera ha tenido fluctuaciones a lo largo del periodo, con una tendencia a disminuir su participación en la producción de papel. La celulosa de plantas anuales al igual que la celulosa química de madera ha tenido una disminución en la participación de la fabricación de papel, aun que la caída en la participación en este grupo en mucho mas notoria, ya que en 2005 su participación disminuyo en un 47.6 % con respecto a 1996. Ya para finalizar con los 4 grupos de materia prima de fibra virgen que abastecen la fabricación de papel, tenemos a las pulpas mecánicas y otras celulosas, las cuales tienen una participación menor y una tendencia a mantener su nivel de participación, así lo muestra nuestra tabla desde 2002 a la fecha.

La participación de la fibra secundaria en el periodo analizado ha diferencia de las fibras vírgenes, ha tenido una crecimiento sostenido; este crecimiento se debe a políticas ambientales, mejora en los procesos de reciclaje, abasto y economía de la materia prima.

Para la mejor comprensión de este apartado se incluye la figura 3.7 y la tabla 3.10 en donde podemos apreciar el volumen del consumo de materias primas fibrosas.

**TABLA 3.8: PARTICIPACIÓN RELATIVA DEL CONSUMO DE MATERIAS PRIMAS FIBROSAS EN LA PRODUCCIÓN DE PAPEL.**

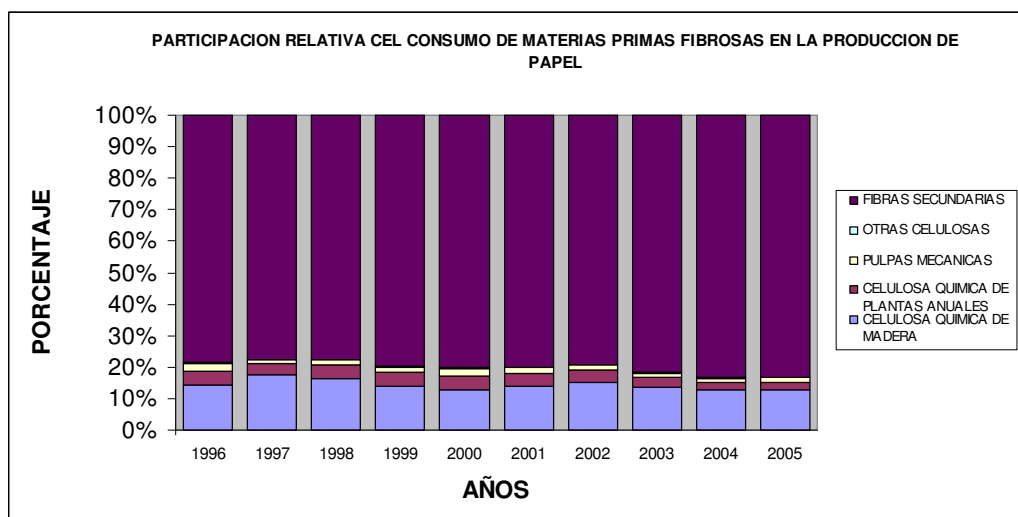
PARTICIPACIÓN RELATIVA DEL CONSUMO DE MATERIAS PRIMAS FIBROSAS EN LA PRODUCCIÓN DE PAPEL										
MATERIAS PRIMAS	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
<b>1. CELULOSA QUÍMICA DE MADERA</b>										
a) Al sulfato										
Blanqueada de fibra larga	14.5	17.4	16.3	13.8	12.8	13.9	15.1	13.4	12.8	12.9
Blanqueada de fibra corta	5.6	8.1	6.3	5.4	5.3	6.9	7.1	5.8	5.5	5.7
Semiblanq. de fibra larga	5.8	6.8	7.1	6.2	5.8	6.3	6.7	6.3	6.2	6.3
Sin blanquear de fibra larga	-	-	-	-	-	-	-	0.1	-	-
	3.1	2.5	2.9	2.2	1.7	0.7	1.3	1.2	1.1	1.0
b) Al sulfito										
Blanqueada	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sin blanquear	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>2. CELULOSA QUÍMICA DE PLANTAS ANUALES</b>										
a) De bagazo										
Blanqueada	4.2	3.5	4.4	4.7	4.5	4.0	4.0	3.5	2.2	2.2
Sin blanquear	4.2	3.5	4.4	4.7	4.5	4.0	4.0	3.5	2.2	2.2
b) Otras	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>3. PULPAS MECANICAS</b>	2.4	1.9	1.6	1.6	2.4	2.1	1.5	1.2	1.5	1.5
<b>4. OTRAS CELULOSAS</b>	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
<b>SUBTOTAL DE CELULOSAS</b>	21.4	22.9	22.4	20.2	19.8	20.1	20.7	18.2	16.6	16.7
<b>5. FIBRAS SECUNDARIAS</b>	78.6	77.1	77.6	79.8	80.2	79.9	79.3	81.8	83.4	83.3
a) Del color natural de la pasta	46.3	45.8	45.8	46.4	48.2	49.2	50.0	49.3	49.1	48.8
b) Blanco	11.7	10.4	11.9	13.7	12.9	11.8	11.8	13.7	13.8	14.1
c) Tarjeta de tabular	0.6	0.1	0.1	0.1	-	-	-	-	-	-
d) Periódico	17.8	19.0	18.0	17.8	17.5	16.8	15.7	17.0	18.5	18.9
e) Gris y otros	2.2	1.8	1.8	1.8	1.6	2.1	1.8	1.8	2.0	1.5
<b>TOTAL</b>	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Fuente [3]

**TABLA 3.9 PARTICIPACIÓN RELATIVA DEL CONSUMO DE MATERIAS PRIMAS FIBROSAS EN LA PRODUCCIÓN DE PAPEL.**

PARTICIPACIÓN RELATIVA DEL CONSUMO DE MATERIAS PRIMAS FIBROSAS EN LA PRODUCCIÓN DE PAPEL.										
MATERIAS PRIMAS	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
CELULOSA QUÍMICA DE MADERA (%).	14.5	17.4	16.3	13.8	12.8	13.9	15.1	13.4	12.8	12.9
CELULOSA QUÍMICA DE PLANTAS ANUALES (%).	4.2	3.5	4.4	4.7	4.5	4.0	4.0	3.5	2.2	2.2
PULPAS MECÁNICAS (%).	2.4	1.9	1.6	1.6	2.4	2.1	1.5	1.2	1.5	1.5
OTRAS CELULOSAS (%).	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
FIBRAS SECUNDARIAS (%).	78.6	77.1	77.6	79.8	80.2	79.9	79.3	81.8	83.4	83.3
TOTAL (%):	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Fuente [3]



Fuente [3]

**FIGURA 3.7 PARTICIPACIÓN RELATIVA DEL CONSUMO DE MATERIAS PRIMAS FIBROSAS EN LA PRODUCCIÓN DE PAPEL**

**TABLA 3.10 VOLUMEN DEL CONSUMO DE MATERIAS PRIMAS FIBROSAS EN LA PRODUCCIÓN DE PAPEL.**

VOLUMEN DEL CONSUMO DE MATERIAS PRIMAS FIBROSAS EN LA PRODUCCIÓN DE PAPEL (Toneladas Métricas)										
MATERIAS PRIMAS	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
<b>1. CELULOSA QUÍMICA DE MADERA</b>										
a) Al sulfato	545994	689929	674998	588434	562232	613339	694112	619307	629569	652614
Blanq. fibra larga	210620	319759	261389	231069	232780	303329	325440	270523	270774	287120
Blanq. fibra corta	219153	269228	292406	262464	252603	277723	307541	289469	303636	313534
Semiblanq fibra larg.	105	32	1702	1	-	-	-	4824	-	-
Sin blanq. fibra larg.	116116	100910	119501	94900	76849	32287	61131	54491	55159	51960
b) Al sulfito	1305	54	76	24	82	410	0	0	0	0
Blanqueada	1051	54	76	24	82	410	0	0	0	0
Sin blanquear	254	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>2. CELULOSA QUÍMICA DE PLANTAS ANUALES</b>										
a) De bagazo	153813	137078	181454	194891	199594	176630	184190	161268	109406	112818
Blanqueada	153813	137078	181454	194891	199594	176630	184190	161268	109406	112818
Sin blanquear	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
b) Otras	40	71	29	-	-	-	-	-	-	-
<b>3. PULPAS MECANICAS</b>	91361	77041	65913	69839	101816	91628	67603	57256	73829	74941
<b>4. OTRAS CELULOSAS</b>	12261	4203	3761	3979	4003	3576	4105	4450	6053	4832
<b>SUBTOTAL DE CELULOSAS</b>	<b>804774</b>	<b>908376</b>	<b>926231</b>	<b>857167</b>	<b>867727</b>	<b>885583</b>	<b>950010</b>	<b>842281</b>	<b>818857</b>	<b>845205</b>
<b>5. FIBRAS SECUNDARIAS</b>	<b>2951539</b>	<b>3059923</b>	<b>3209686</b>	<b>3392174</b>	<b>3522071</b>	<b>3539770</b>	<b>3638434</b>	<b>3779123</b>	<b>4111719</b>	<b>4210577</b>
a) Del color natural de la pasta	1738261	1815818	1895174	1973610	2117022	2179531	2290692	2275984	2420756	2465808
b) Blanco	439312	416365	495157	584062	564134	520486	542209	633872	682060	714388
c) Tarjeta de tabular	21181	2160	1657	1699	1517	1817	1435	1434	1468	1424
d) Periódico	669659	753710	744565	754246	769480	744533	721576	785986	908028	953375
e) Gris y otros	83126	71870	73133	78557	69918	93403	82522	81847	99407	75582
<b>TOTAL</b>	<b>3756313</b>	<b>3968299</b>	<b>4135917</b>	<b>4249341</b>	<b>4389798</b>	<b>4425353</b>	<b>4588444</b>	<b>4621404</b>	<b>4930576</b>	<b>5055782</b>

Fuente [3]

### 3.3.1.- LA RECOLECCIÓN Y EL RECICLADO EN MÉXICO.

Hoy en día el papel reciclado se emplea para la fabricación de todo tipo de papeles: bond, prensa, empaque, cajas de cartón, cartoncillo y tissue para papel higiénico. Algunas líneas de producción de papel requieren el uso de fibra virgen, cuando se trata de papeles bond de alta calidad, papel couché para revistas, glassine para alimentos y papeles para sacos, entre otros.

El uso de papel reciclado obedece a la insuficiencia de celulosa para hacer papel en el país, puesto que la demanda de fibras es del orden de los 5 millones de toneladas anuales y sólo se producen en el país 400 mil toneladas de celulosa, por lo que el déficit debe cubrirse con fibra secundaria tanto nacional como importada.

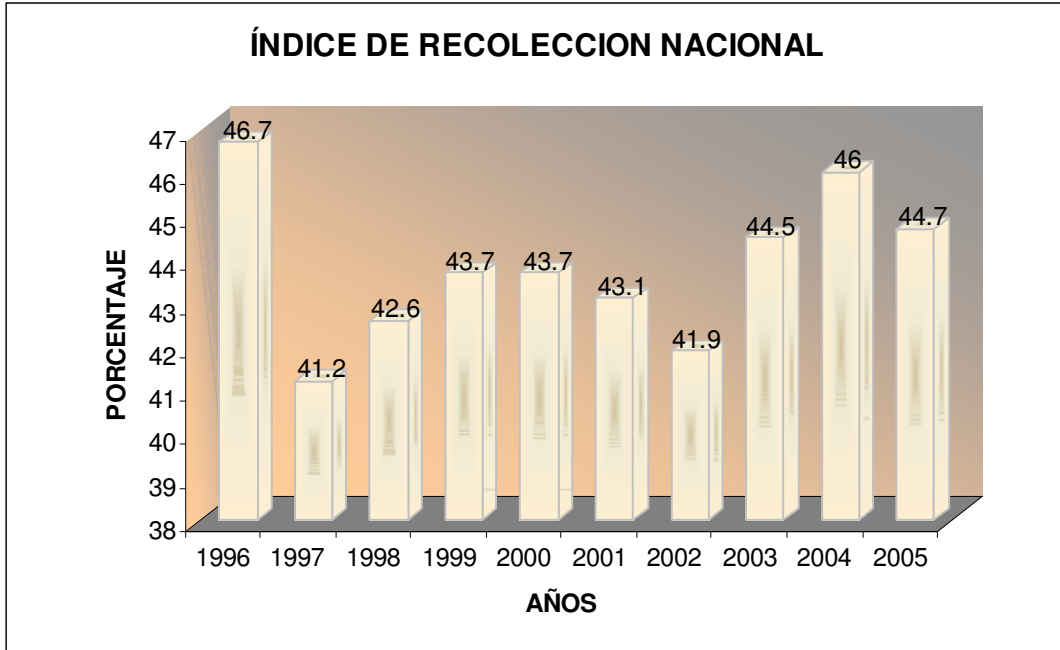
En las figuras 3.8 y 3.9 se observa el comportamiento del índice de recolección, en donde este índice se define como el porcentaje del papel producido entre el papel recolectado y el índice de utilización de fibra secundaria, en este caso este índice se define como el porcentaje del papel recolectado entre el papel utilizado, a lo largo del periodo 1996 al 2005; en cuanto al índice de recolección a tenido algunas fluctuaciones, ya que en 1996 se logro el mayor índice para después tener un caída de mas de 5% y de hay en adelante el índice de recolección ha ido creciendo muy lentamente.

En cuanto al índice de utilización ha tenido un crecimiento sostenido a lo largo del periodo, lo que nos ha permitido ser uno de los países más importantes del mundo en cuanto a reciclaje de papel.

TABLA 3.11 LA RECOLECCIÓN Y EL RECICLADO EN MÉXICO

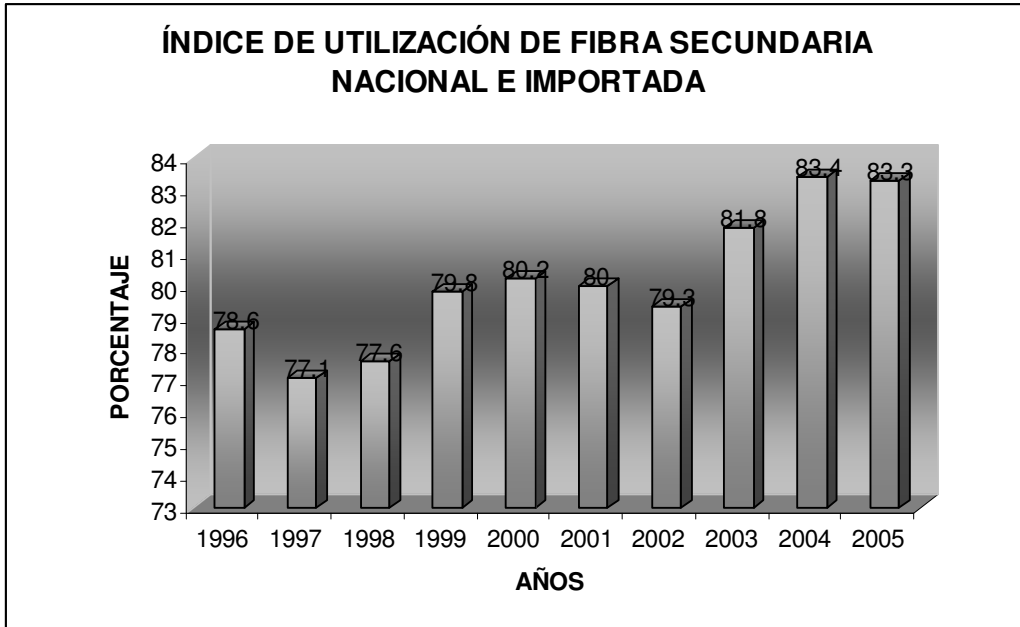
<b>LA RECOLECCIÓN Y EL RECICLADO EN MÉXICO</b> (Toneladas Métricas)										
Índices	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Índice de recolección nacional	46.7	41.2	42.6	43.7	43.7	43.1	41.9	44.5	46.0	44.7
Índice de utilización de fibra secundaria nacional e importada.	78.6	77.1	77.6	79.8	80.2	80.0	79.3	81.8	83.4	83.3

Fuente [3]



Fuente [3]

FIGURA 3.8: ÍNDICE DE RECOLECCIÓN ANUAL.



Fuente [3]

FIGURA 3.9: ÍNDICE DE UTILIZACIÓN DE FIBRA SECUNDARIA NACIONAL E IMPORTADA.



## **CAPITULO 4: GENERALIDADES DEL PROCESO DE RECICLAJE DE PAPEL.**

### **4.- GENERALIDADES DEL PROCESO DE RECICLAJE DE PAPEL.**

El objetivo del proceso de reciclado de papel es separar y eliminar las tintas de impresión, así como otro tipo de contaminantes presentes en la materia prima, dejando en libertad a las fibras con buenas propiedades físico-mecánicas, para su empleo en la fabricación del papel.

Existen plantas con equipos en operación como los púlpers de alta consistencia (12 – 15%) para obtener una interacción Fibra-Fibra y lograr un buen despastillado, no fraccionando los contaminantes y separando las tintas de las fibras, pero sin dañarlas.

Para lograr la mejor desfibración y separación de los contaminantes, es necesario considerar las siguientes variables:

- a) Consistencia de operación.
- b) Tipo de púlper.
- c) Productos químicos.
- d) Temperatura.
- e) pH.
- f) tiempo de pulpeo.

La desfibración ocurre por atrición (acción hidromecánica que ocurre en las cercanías del impulsor) como por desfibración hidráulica (interacción de las fibras). El fenómeno de atrición es el responsable de que los contaminantes sean desintegrados, por lo que es recomendable evitarlo lo mas posible, esto se logra aumentando la consistencia, con lo que la desfibración hidráulica aumenta.

Objetivo del tratamiento químico en el desfibrado:

- 1.- Desanclar la tinta de las fibras.
- 2.- Dispersar las partículas de tinta desanclada.
- 3.- Facilitar la posterior flotación de estas partículas.
- 4.- Blanquear y limpiar la pasta.

#### 4.1.- EMPLEO DE FIBRAS RECICLADAS PARA PRODUCIR PAPEL.

Antes que nada deberá de entenderse como fibras secundarias a las fibras de reciclaje ya que debido a su importancia se esta comenzando a hacer mucha referencia de ellas por un sin numero de razones como:

- ◆ Escasez de recursos maderables a nivel mundial.
- ◆ Interés de los gobiernos en racionalizar el empleo de la madera como materia prima al fabricar papel.

Las selvas en el mundo mueren a un ritmo de cerca de 3,500 metros cuadrados por segundo y se pierden 26,000 millones de toneladas de suelo fértil productivo y por ende los desiertos aumentan 6,000,000 de hectáreas por año, a razón de 2,000 metros cuadrados por segundo.

El mundo esta haciendo conciencia un poco más en cuestiones ecológicas y se ha notado un cambio significativo principalmente durante las dos décadas más recientes. En países del noreste de Europa como Alemania y del norte de América como los Estados Unidos y Canadá se han aplicado en el tema de reciclaje, ya que en Estados Unidos aproximadamente 200 millones de toneladas de basura son producidas cada año y solo cerca del 20 % se recupera y recicla, de esa cantidad de basura poco menos de la mitad la conforman sólidos como el cartón y el papel.

Por otro lado en países como México se generan cerca de 15,000 toneladas al día de desperdicio que conforman al año 5.5 millones de toneladas de desperdicio, de las cuales no se recicla un porcentaje significativo ni comparable al de los países anteriormente señalados.

Es por lo anterior que se deben imponer estímulos económicos como en los Estados Unidos, en donde el gobierno federal incentiva a la industria del reciclaje de materiales, favoreciendo que las empresas empleen este desperdicio como materia prima y ahora las leyes establecen que papeles de muchos tipos y grados y en especial para revistas impresas deberán de contener entre 25 y 50 % de fibra secundaria en la composición fibrosa, que por contra parte el lector y los impresores están demandando una alta calidad en el producto, para no demeritar sus publicaciones.

A pesar de lo anterior en ciertos estados de la unión americana existe una resistencia al cambio, por tratar de mejora la calidad del papel, este porcentaje de fibra secundaria en el producto final tiene a bajar. También se han desarrollado procesos de

manufactura que permiten la producción de papel con incorporación de fibra secundaria si perjudicar la calidad, gracias a los procesos de destintado y reciclado se esta permitiendo obtener papel de alta calidad empleando fibras secundarias como una gran parte en la composición en el producto terminado.

La importancia ambiental de todo el proceso de reciclaje es muy evidente, ya que los papeles y cartones usados se aprovechan como materia prima en la industria papelera. De no ser así, se convertirían en desperdicios urbanos, lo que obligaría a construir nuevos vertederos sanitarios en las ciudades.

Por otra parte, le aprovechamiento de los papeles y cartones usados para fabricar nuevos productos permite un considerable ahorro de materia prima, aspecto que favorece los sistemas de fabricación de productos de papel con fibra reciclada.

#### 4.2.- FIBRAS SECUNDARIAS.

En pocas palabras, ya que nos hemos referido mucho a las denominadas fibras secundarias, debemos de recordar que no son más que papeles usados, viejos y recortes que ya han pasado por un proceso de fabricación determinado, lo cual ya hemos mencionado que el aprovechamiento de este material celulósico represente un factor económico, ecológico y social de gran importancia para la industria de la manufactura del papel, obviamente por su aporte a la preservación de recursos energéticos y naturales. La tabla 4.1 muestra las clases de fibra secundaria.

TABLA 4.1 CLASES DE FIBRA SECUNDARIA.

<b>CLASES DE FIBRA SECUNDARIA</b>		
<b>SUSTITUTOS DE PULPA</b>	<b>CLASES DE DESTINTADO</b>	<b>CLASES A GRANEL</b>
Sulfato blanqueado no impreso	Sulfato blanqueado impreso	Recortes de corrugados viejos
Sobres blancos rígidos	Papel de computadora impreso	Recortes de cajas de cartón
Blanco flexible recubierto	Lcpo y xerox	Kraft de doble forro
Papel periódico blanco no impreso	Papel registro a colores clasificado	Periódico viejo
Impresos de publicación en blanco	Papel registro blanco clasificado	Papel mixto
Cortes de sobres kraft	Reserva de libros recubiertos	Sacos kraft

Fuente [2]

Una de las fibras secundarias de mayor importancia es el papel desperdicio y debido a que es un material sustituto de la pulpa de madera, depende de la calidad deseada final de producto que se establece en que porcentaje se mezclará con fibras vírgenes.

También en estas mezclas de fibras celulósicas nos podemos encontrar con fibras de recuperación que son de una naturaleza compleja y no definida aún del todo y a pesar de estas limitantes tiene una gran participación en el proceso de manufactura.

Todo lo anterior como ya se había comentado va en detrimento de la calidad del producto, como por ejemplo en las propiedades de las hojas hechas con fibras secundarias, son inferiores, es caso del papel periódico que presenta una menor resistencia a la explosión de cerca del 15% en relación al papel que se produce a partir de fibras vírgenes, también la resistencia a la tracción baja un 10% y el índice de rasgado un 6%.

Generalmente el papel de reciclaje se destina a cartones, papel onda y papel para envoltura y si el proceso de destintado es excelente se puede emplear en papel periódico, de escritura e impresión.

#### **4.2.1.- GRADOS DE PAPEL DESPERDICIO.**

##### **MATERIAL PROHIBITIVO:**

Para determinar los grados de papel desperdicio es necesario definir lo que es un material prohibitivo: Se le denomina así a todo aquel material que este presente en la paca en cantidad tal que impedirá el reuso de esta paca, por ser inadecuado su uso, ya que no nos podrá permitir alcanzar una calidad deseada del producto final y causar daños físicos a los equipos, como ejemplos de este material prohibitivo destacamos:

- Metales.
- Materiales pegajosos adheridos a las pacas, STICKIES.
- Ceras.
- Tintas.
- Todo material ajeno al papel.

## PAPELES DE DESPERDICIO MEZCLADOS.

Son los que tienen calidades de papel desperdicio de diferentes tipos, como desde material prohibitivo hasta fibras muy buenas para la reutilización.

Cuando es el caso de contar con material prohibitivo debemos procurar que este no sea mayor al 2%.

## DESPERDICIO DE CORRUGADO:

Contiene papeles fuertes como Kraft con doble recubrimiento y un centro ondulado, también tenemos cortes corrugados con recubrimiento doble (cortes corrugados Kraft nuevos). En estos caso el material prohibitivo no deberá exceder del 5%.

## ENTRADAS DIRECTAS:

Se trata de papeles blancos sin imprimir de una blancura considerablemente uniforme y sin la presencia de material prohibitivo, dónde el desperdicio no sobrepasará del 0.5%.

## GRADOS DESTINTADOS:

Se conforman de papeles que han sido impresos o que tienen color o contenido de pasta mecánica y que se deberán tratar en un proceso de destintado eliminando así el color, la tinta de impresión y las impurezas en el cual el material prohibitivo y rechazos no serán mayores al 0.25%.

## PERIÓDICOS.

Formado por periódicos en pacas, escogidos, frescos y secos, sin ser quemados al sol y sin incluir papeles de revistas, papeles blancos, excedentes de prensa y papeles distintos de los periódicos en donde se contiene no más del porcentaje normal de secciones de rotograbado y en color.

## DESPERDICIOS.

Los papeles que se procesan o se tratan de manera tal que son inadecuados para su consumo en el grado especificado.

De acuerdo con la clasificación de papeles y cartones de la cámara nacional de la industria de la celulosa y el papel, tenemos a continuación la tabla 4.2, se presenta para observar el tipo de desperdicio producido por cada tipo de papel que se manufactura en el mercado interno y externo.

GENERACION DE DESPERDICIO DEPENDIENDO DEL TIPO DE PAPEL.

TABLA 4.2 GENERACION DE DESPERDICIO DEPENDIENDO DEL TIPO DE PAPEL.

MERCADO (Producidos localmente)	TIPO DE PAPEL	DESPERDICIO PRODUCIDO
EMPAQUE	Liner	Kraft
	Médium	
	Sacos	Bolsa
	Bolsa	
	Envoltura	Comercial
	Bolsa Cartoncillo	Gris comercial, viruta y Manila
ESCRITURA E IMPRESIÓN	Copia y Bond	Archivo
	Ediciones	Viruta y revista
	Recubierto	Viruta y couché
	periódico	periódico
	Libro de Texto	
	Cartulina	Viruta y couché
SANITARIO Y FACIAL	Tissue	No se recupera
ESPECIALIDADES		Prácticamente no se recupera.
IMPORTACIONES		
	periódico	periódico
	Recubierto	Couché
	T. Tabular	T. Tabular
	Cartoncillo (Milk Borrad)	comercial
Especialidades		No se recupera

Fuente [2]

Es posible el empleo de varios tipos de papel desperdicio como pulpa para grados de empaque, alguno de los que se emplea de manera más común son las cajas corrugadas, recorte nuevo de kraft, corrugados de doble forro, kraft sin blanquear usado, recortes mezclados de kraft, desperdicio de bolsas de papel, desperdicio de bolsas multicapas kraft, recortes de envoltura café nueva sin blanquear, envolturas y recortes de cartón de cajas.

En algunas operaciones se contempla el empleo de cierto porcentaje de periódico viejo, desperdicio mezclado de oficinas y desperdicio mezclado de papel como relleno en la capa intermedia de una hoja de tres capas.

#### 4.3.- SELECCIÓN DEL PAPEL.

El papel desperdicio es llevado a la planta empacadora en bolsas, cestos, atados o en forma de pacas, el cual puede recolectarse de las distintas fuentes de abastecimiento.

En muchas de las plantas modernas de escogido se tienen varios pasos en donde el papel de desperdicio se transporta por medio de bandas a la sección de escogido en donde son abiertas las pacas, bolsas o atados y es entonces en donde el papel suelto se coloca nuevamente sobre bandas móviles.

Conforme las bandas llevan el desperdicio a través de la sección de escogido, los escogedores establecidos a determinados intervalos de distancia a lo largo de la banda separan la calidad específica del papel que se está recolectando y la dejan caer en un recipiente apropiado, o bien las pacas pueden abrirse y el papel de desperdicio se puede separar en las varias clases requeridas, sin la necesidad del uso de una banda transportadora.

La selección de la materia prima se debe cumplir con lo siguiente:

- ◆ Separación apropiada de diferentes tipos o clases de papel.
- ◆ La separación de materiales contaminantes que pueden inutilizar el papel desperdicio.
- ◆ Selección de una calidad determinada de materia prima para la producción de un producto diferente.

Generalmente los escogedores son del sexo femenino con una experiencia de entre 6 meses a un año con la finalidad de que desempeñen su trabajo satisfactoriamente, ya que esta es una labor vital el separar materiales contaminados y clasificar el desperdicio apropiadamente. Debido a esto el PRE-escogido es un factor y requisito muy importante para obtener un papel desperdicio de buena calidad, por esto se necesita gente con experiencia, puesto que aun así es difícil la identificación de materiales objetables.

Los escogedores separan el papel en muchas calidades de este, tantas les sea posible de manera que se pueda emplear por las fábricas de una manera muy ventajosa, como sustituto de pulpa, como materia prima en la fabricación de papel o como relleno en fabricas de cartón.

Es muy aconsejable el que exista una cooperación entre los consumidores de papel y sus abastecedores, si el comerciante en desperdicio entiende los problemas de las fabricas consumidoras, puede recomendar la calidad correcta y producir en su planta paquetes especiales para satisfacer las necesidades de sus clientes.

#### 4.4.- PASOS REQUERIDOS EN UN PROCESO DE RECICLADO DE MATERIAL.

Principalmente son los siguientes.

- Abastecimiento de material.
- Desfibrado de material.
- Eliminación de contaminantes.
- Destintado.
- Blanqueo.



Fuente [12]

FIGURA 4.1 SERIE DE FOTOGRAFÍAS QUE MUESTRAN LA MANERA EN QUE SE RECIBE LA MATERIA PRIMA.



#### **4.4.1.- ABASTECIMIENTO DE MATERIAL**

Las fabricas que poseen procesos de destintado reconocen la importancia del abastecimiento oportuno del material, es decir que la recepción debe ser oportuna, el almacenamiento, la calidad en el material a emplear dependiendo del tipo de papel a manufacturar, es de gran importancia ya que por esto se tiene que definir el tipo de material a usar, ya que se debe de cuidar la calidad y el grado de material por aceptar para evitar altos grados de contaminantes en los materiales recolectados; lo anterior es un problema muy frecuente en las plantas de destintado puesto que se tienen que dedicar a la tarea de buscar a los proveedores adecuados, que surtan el material que se solicita y que si el material no es bien revisado por control de calidad puede ocasionar problemas serios en el proceso.

La selección de un proveedor adecuado es el resultado de un programa previo de proveedores para asegurarse de la calidad adquirida en el material reciclado es la adecuada para el proceso.

#### **4.4.2.- DESFIBRADO DE MATERIAL.**

Particularmente todas las fabricas productoras de papel cuentan con hidrapúlpers de bajo consistencia con un 5% a 8%, pero hoy en día tenemos hidrapúlpers que pueden manejar materiales con una consistencia mayor del 12% al 15% y con mayor eficiencia en el desfibrado y en el pulpeo.

La tinta se dispersa de manera eficiente y en ocasiones se puede redepositar en la fibra, lo cual deberá ser evitado con un tratamiento posterior de blanqueo.

En algunos caso se han manejado consistencias de hasta 20% y con un grado muy aceptable de desfibrado. Mediante estos sistemas se promueve una excelente remoción de contaminantes y debido a un grado alto de de desfibrado se pierde resistencia a la tensión por parte de la fibra, por lo que debe de ser bien analizado el sistema de pulpeo que se necesitará instalar.

#### **4.4.3.- ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES.**

Se trata de un problema importante por resolver en un sistema de reciclado, el cual es la eliminación eficiente de contaminantes como plásticos, adhesivos de contacto, estirenos, etc., se deben de remover de manera ágil estos contaminantes del sistema para ahorrarse problemas en etapas posteriores.

Se han logrado avances en el diseño de sistemas de limpieza, como lo son los centricleaners, Cribas vibratorias, etc., las cuales en combinación adecuada remueven los contaminantes ligeros y pesados del sistema.

#### **4.4.4.- DESTINTADO.**

La tinta se remueve de la fibra mediante una secuencia de acción mecánica y química en el púlper. Son muchas las plantas en donde el sistema de lavado remueve la tinta que se encuentra en suspensión con un tamaño de partícula de 10 micras o con un elevado contenido de cenizas en la fibra, en este caso el sistema de lavado ofrece una alta eficiencia.

Debido a la evolución en impresiones flexo gráficas xero-gráficas, impresiones láser, etc. Los beneficios de la flotación deben de ser considerados. Los papeles impresos con tintas de flexografía siguen causando problemas en sistemas de flotación, es por lo cual que la mejor alternativa en la actualidad es la combinación del lavado y la flotación.

Es necesario tener un especial cuidado en la química de estos dos sistemas, ya que el lavado requiere una dispersión apropiada y la flotación un colector apropiado, estos dos sistemas son diferentes pero afortunadamente se han desarrollado procesos con formulaciones químicas balanceando las necesidades y se continúan desarrollando métodos de lavado y flotación para hacer eficiente un completo sistema de destintado.

Muchos de los desarrollos de flotación incluyen un mejor tamaño de partícula un control de mezclado más cerrado, celdas más compactas y la aeración mecánica, ha sido sustituida por mecanismos hidráulicos.

Hablando de la dispersión, se ha desarrollado con la combinación de la energía térmica y mecánica, rompiendo el residual de tinta y los contaminantes como los "STICKIES" (astillas de mayor tamaño) así lográndose una mejor dispersión de la tinta y la remoción de los contaminantes.

#### **4.4.5.- BLANQUEO.**

Para necesidades de una blancura no muy elevada, se usa comúnmente hidrosulfito de sodio y es suficiente, pero al necesitar un grado superior de blancura es empleado el peróxido de hidrógeno.

El blanqueo es necesario para compensar o estabilizar el efecto de amarillamiento de las pastas mecánicas por el peróxido de sodio o sosa cáustica empleado en la formulación típica de un destintado para el incremento de la blancura de pastas químicas.<sup>[2]</sup>

#### **4.5.- FIBRAS SECUNDARIAS ALTERNAS, CELULÓSICAS NO MADERABLES.**

##### **OTROS PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE PULPA**

Existen otros tipos de procesos de producción de pulpa de papel a partir de productos no convencionales. Estos son: fibras no leñosas, trapo y borra de algodón.

##### **FIBRAS NO LEÑOSAS**

Las fibras no leñosas se emplean como sustitutas de la madera, y la producción a nivel industrial se está investigando en los últimos tiempos, pues presentan la ventaja del corto tiempo necesario para su obtención a partir de plantaciones forestales (selvicultura), y además de ser posible su plantación en zonas de difícil obtención de especies madereras.

Las fibras utilizadas son:

- ◆ Desperdicios agrícolas y agroindustriales, entre los que figuran las pajas de los cereales y el arroz y el bagazo de la caña de azúcar.
- ◆ Plantas silvestres, entre las que figuran el bambú, las cañas y el esparto.
- ◆ Cosechas de fibras cultivadas, entre ellas las fibras de hojas, las fibras de lino.

Estas fibras se suelen utilizar solas o mezcladas con pulpa Kraft adquirida, para conseguir las características requeridas. A menudo, se emplean para fabricar papeles especiales, de alto valor añadido, y con producciones reducidas. La producción masiva está en fase de estudio, donde se incluyen estudios de viabilidad sobre la producción y disponibilidad continuada de materias primas.

Los métodos de tratado de estas materias primas, una vez acondicionadas, es similar a los procesos descritos, con las modificaciones pertinentes que requieren las características diferenciales entre productos madereros y fibras no leñosas.

#### TRAPOS Y BORRAS DE ALGODÓN

La utilización de trapos viejos y de borras de algodón, materia prima exclusiva en los primeros momentos de la fabricación de papel, se reducen ahora a papeles de altísima calidad y producción muy limitada, para usos muy especiales u ornamentales.

## **CAPITULO 5: PARTICULARIDADES EN LOS PROCESOS DE RECICLADO DEL PAPEL.**

En este capítulo haremos mención de algunas etapas importantes en el proceso del reciclaje del papel.

Primero definiremos que son las tintas, para después profundizar en el destintado y sus diferentes problemas, también haremos mención de la eliminación de impurezas y ya por último hablaremos del reciclado de papel desperdicio, detallaremos cada una de sus etapas y mostraremos los equipos más utilizados en nuestro país.

### **5.1.- TINTAS.**

Se define como tinta a la sustancia coloreada fluida o semifluida constituida por pigmento (color), resina (brillo), aceite (vegetales y/o minerales), solventes, agentes secantes, humectantes, ceras, etc.

1. Heat-set (Se traduce al Español como fijadas con calor) utilizan resinas sintéticas de alto punto de ebullición.
2. Quick-set (Se traduce al español como de rápida fijación) utiliza resinas de alto peso molecular en aceite secante y solvente.
3. Metálicas utilizan compuestos de aluminio y bronce en resinas sintéticas compatibles.

TINTAS:

1. Tintas (tipografía, litografía)
2. Pigmentos
3. Vehículo (resinas y aceite)
4. Agentes secantes o humectantes, ceras, solventes, etc.
5. Toner (LASER, fotocopia) tamaño partícula 5 – 25 micras.

## CLASIFICACIÓN DE TINTAS:

TABLA 5.1 CLASIFICACIÓN DE LAS TINTAS.

PROCESO DE IMPRESIÓN	COMPONENTES PRINCIPALES	MECANISMO DE SECADO	TAMAÑO DE PARTICULA
<b>Tipografía</b>	Pigmento/aceite	Penetración del Vehículo en el papel	1-5
<b>Rotograbado</b>	Pigmento/resina/solvente	Evaporación	2-30
<b>Litografía</b>	Pigmento/aceite resinoso	Penetración y curado	2-100
<b>Flexografía</b>	Pigmento/resina/agua	Penetración de agua en papel, disolución de la resina en función del pH	0.3-2
<b>Láser/fotocopiadora</b>	Pigmento/resina/estearato de Zn (S)	Polimerización de monómeros por radiación	5-25

Fuente [5]

Enseguida presentamos la siguiente tabla donde se muestra el consumo de tinta en el mundo:

TABLA 5.2 CONSUMO DE TINTAS A NIVEL MUNDIAL.

REGIÓN	%
<b>Norte América</b>	39*
<b>Sur de América</b>	2
<b>Europa</b>	33
<b>Asia</b>	24
<b>Resto del mundo</b>	2

Fuente [5]

\*de esta fracción mas del 90% se consume en EEUU.

El consumo en EEUU es de 45% en ofset y otra gran parte en flexografía.

### 5.1.1- DESTINTADO DE FIBRAS SECUNDARIAS.

Como ya comentamos anteriormente el empleo de fibras secundarias para la fabricación del papel se ha dado por cuestiones de índole económica, legislativa y ecológicas, por lo que se espera que se siga presentando un crecimiento significativo en el uso de fibras destintadas como materia prima en la fabricación del papel.

El uso de fibras destintadas en papeles de escritura, impresión, tissue y papeles finos se esta incrementando también; por citar un ejemplo, en Estados Unidos la mayoría de los productores de fibras destintadas las destinan a la fabricación de papeles de escritura, impresión; mientras que en México se destinan a la producción de papel tissue y papel de escritura e impresión.

Debido a las dificultades económicas que tenemos en nuestro país, se está impulsando a la industria a la búsqueda de nuevas alternativas de reducción de costos, pese a que en los últimos años la industria papelera ha perdido parte del mercado interno y que sus fuentes de abastecimiento de materias primas se siguen rezagando ante la demanda, la producción y la capacidad instalada para la fabricación de papel, que siguen creciendo.

Es muy importante el hacer de nuestro país un mercado autosuficiente y más si se trata de materiales de reciclaje.

El costo de operación en la producción de fibras destintadas puede reducirse a los empleados para producir fibras vírgenes, ya que una planta eficiente de destintado con un suministro económico de material reciclado produce fibras destintadas para papeles finos a un costo de entre 3000 y 4000 pesos Mexicanos/tonelada y el costo de operación para producir fibra virgen kraft es de entre 4000 y 6000 pesos Mexicanos/tonelada y el precio en el mercado de la pulpa kraft llega a ser mayor a los 7000 pesos Mexicanos/tonelada, haciendo un análisis de costo para fibras secundarias destintadas es menor que para fibras vírgenes.

El costo unitario del capital para fibras destintadas para papeles finos es de alrededor de 3 millones de pesos Mexicanos/toneladas diarias y es algo menor al costo unitario de casi 6 millones de pesos Mexicanos/tonelada diaria para fibras vírgenes, aquí es donde se reflejan los ahorros y el ¿por que? del auge del empleo de fibras secundaria para producir papel.

A lo anterior se le suma la escasez de los recursos maderables y las cuestiones ecológicas, además como ya se ha comentado el gobierno pretende incentivar el empleo de material reciclado en la industria.

A pesar de que aún en nuestro país no contamos con leyes adecuadas que estimulen el empleo de fibras secundarias, se espera que se haga en un futuro.

Además debemos de tomar en cuenta que a nivel mundial el empleo de fibra secundaria destintada es una practica muy generalizada en la cual no debemos rezagarnos.

Su objetivo es el de remover la tinta de impresión mediante una acción químico-mecánica desarrollada en dos etapas:

- 1.- Disolución de la unión tinta-papel.
- 2.- Separación de los componentes de la tinta de la suspensión fibrosa.

El empleo de tecnología de lavado y/o flotación depende de los siguientes factores:

- ◆ La materia prima.
- ◆ Calidad del producto deseado.
- ◆ Requerimientos tecnológicos de cada región.

#### **5.1.2.- PROBLEMAS RELACIONADOS CON EL USO DE FIBRA SECUNDARIA EN EL DESTINTADO:**

1. Trabajar con fibras endurecidas en las capas externas "HORNIFICACIÓN".

La Hornificación es la pérdida de hinchamiento de la pared celular como resultado del ciclo de secado e hidratación de fibras: se asocia con un endurecimiento de las fibras, las cuales reducen su habilidad para formar uniones interfibrilares.

Este fenómeno se presenta principalmente en las pulpas de bajo rendimiento y se origina por la eliminación de agua de las capas externas de la fibra debido a la ausencia de lignina y hemicelulosa entre los elementos interfibrilares.

Este fenómeno parece ser originado por el incremento de uniones cruzadas entre microfibrillas debido a los puentes de hidrógeno formados durante el secado y no destruidos durante la rehidratación.

Este fenómeno puede prevenirse mediante:

- a: Sustitución parcial de los grupos OH de la celulosa por grupos que no formen puentes de hidrógeno.
- b: Secando la pulpa en presencia de aditivos que hagan voluminosa la pared celular y de esta forma sustituir el efecto del gel lignina-hemicelulosa.

2. Incremento de finos.- Queremos decir que al emplear este tipo de fibra en ocasiones hay una presencia excesiva de contaminantes que tienen tamaños de partícula muy pequeños dificultando operaciones tan simples como la limpieza.



3. Componentes de tinta.- Cada vez más las tintas se formulan de manera que tengan un mejor desempeño sobre la superficie del papel, incrementando su anclaje a las fibras de la hojas, lo que hace aún más complicado la eliminación de todos los componentes de la tinta encontrados en el papel desperdicio.
4. Presencia de adhesivos "stickies" (hot-melts, ceras, etc.).- este tipo de impurezas son muy difíciles de eliminar del papel desperdicio, ya que se pegan eficientemente a las fibras del papel y sobretodo en el caso de los stickies, la forma geométrica que es muy diferente complica su remoción..
5. Calidad deficiente de la hoja.- Depende de la calidad de materia prima que se obtenga y de la tecnología empleada en el proceso.
6. Dificultades durante la fabricación del papel.

Las siguientes son CIRCUNSTANCIAS QUE INFLUYEN SOBRE LA CALIDAD DEL PRODUCTO RECICLADO:

- ◆ Costo. El costo de la materia prima siempre va ligado a la calidad de la misma.
- ◆ Investigación y desarrollo. Con la cual se pueden aprender técnicas que ayuden a que el proceso tenga un mejor desempeño y el correcto aprovechamiento de la materia prima sea el óptimo.

"En pocas palabras el uso del papel desperdicio para recuperar fibras se enfrenta al éxito alcanzado por el papel durante su uso anterior". Con lo que queremos decir que la factibilidad de el reciclaje de papel depende del empleo que haya tenido papel desde un principio.

### **5.1.3.- FACTORES QUE INCIDEN SOBRE EL PROCESO DE DESTINTADO:**

Enseguida mostramos los principales factores:

- ◆ **PRECIO DEL PAPEL DESPERDICIO:** Es el costo de la materia prima la que influye de manera directa sobre el proceso, ya que dependiendo de la calidad

de esta o del grado de contaminación que tenga, se determinará el proceso de destintado a emplear o la cantidad de químicos. Esto a su vez depende de los siguientes factores:

- Disponibilidad de papel desperdicio.- Se refiere a la abundancia o escasez de este material en el mercado, lo que hará que su costo fluctúe.
- La calidad del papel desperdicio.- Como se ha señalado esto también es un factor importante que influye en el costo del papel desperdicio.
- ◆ **TECNOLOGÍA:** La tecnología existente o con la que se podrá contar para su aplicación en el proceso de destintado, depende de los recursos destinados para inversión de la misma compañía y además de las técnicas de conversión, nuevas tintas y nuevas técnicas de recubrimiento.
- ◆ **CALIDAD DE LA PULPA DESTINTADA:** Acorde con la calidad que se requiere para una pulpa destintada será el nivel de sofisticación del proceso de destintado, esto esta determinado a su vez por la aceptación en el mercado de la pulpa destintada y de la tecnología disponible para tal tarea.

Tocando el tema referente a la calidad del mismo hablaremos de la eliminación de impurezas.

## **5.2.- ELIMINACIÓN DE IMPUREZAS.**

Una de las exigencias del papel es la limpieza, para lograr este objetivo debe eliminarse de la mezcla fibrosa cualquier otro tipo de material extraño:

- ◆ Separación de partículas muy pesadas al inicio del proceso.
- ◆ Separación de partículas ligeras de gran tamaño.
- ◆ Separación de las partículas de tamaño similar a las fibras pero de alto peso específico.
- ◆ Eliminación de partículas de tamaño similar o menor a las fibras y de peso específico menor a ellas.

La capacidad visual del ojo humano es importante, ya que cerca de 50 micras, el ojo no detecta formas, pero si los efectos.

Retomando un poco los PROBLEMAS RELACIONADOS CON EL USO DE FIBRA SECUNDARIA:

- ◆ Trabajar con fibras endurecidas en las capas externas. “Hornificación”.
- ◆ Incremento de finos.
- ◆ Componentes de tinta.
- ◆ Presencia de adhesivos, stickies, hot-melts, ceras, etc.
- ◆ Calidad deficiente de la hoja.
- ◆ Dificultades durante la fabricación del papel.

Observamos que entre ellos encontramos a los STIKIES, o pegajosos, los cuales son un gran problema a tratar. A continuación mostramos las áreas de estudio sobre los stickies:

- ◆ Estudios de las fuentes de adhesivos.
- ◆ Clasificación de los adhesivos.
- ◆ Cuantificación de material adhesivo.
- ◆ Disminución de la propiedad adhesiva de los stickies mediante la aplicación de productos con alto potencia de carga eléctrica superficial.
- ◆ Control de la adhesividad de los stickies mediante la acción de solventes selectivos.

#### **5.2.1.- CONTAMINANTES ADHESIVOS O PEGAJOSOS “STICKIES”.**

El material adhesivo que se conoce como “Stickies”, se considera contaminante en el reciclado de papel desperdicio, tiene diferentes fuentes de origen como es en la formulación y usos del papel, como papel mezclado de oficina, papel periódico, etc. y además con ello diferentes formas de manifestarse durante el proceso.

En términos generales se puede mencionar que en los depósitos de adhesivos se encuentran del tipo estireno butadieno, acrilatos de vinilo, poliéster, etc., materiales que normalmente se encuentran en las formulaciones de tintas, adhesivos, hot melts y barnices.

Este material pegajoso presente en el sistema que proviene de diferentes orígenes provoca los siguientes problemas:

- ◆ Disminución en la calidad del producto.
- ◆ Comprimido de las hojas.
- ◆ Ensuciamiento de telas y fieltros.

El sistema de eliminación de stickies debe de tener en cuenta entre otros muchos factores: el tamaño, forma y adhesividad.

Las características mas importantes de los stickies en relación a la formación de los depósitos son:

- ◆ La tensión superficial.
- ◆ La carga superficial.

La energía superficial de la mayoría de los adhesivos se encuentra entre 20 y 40 dinas/cm., por ello, se pueden adherir a cualquier superficie que tenga mayor energía superficial.

*TABLA 5.3 RELACIÓN DE DIFERENTES MATERIALES Y SU ENERGÍA SUPERFICIAL.*

<b>MATERIALES</b>	<b>ENERGÍA CRÍTICA SUPERFICIAL, dinas/cm.</b>
Teflón	18
	30
Pigmento de tinta de impresión	38
Poliéster	43
Poliamida	45
Agua	72
Celulosa	200
Caolín	500 – 600
Cobre	2700
Níquel	3500

Fuente [6]

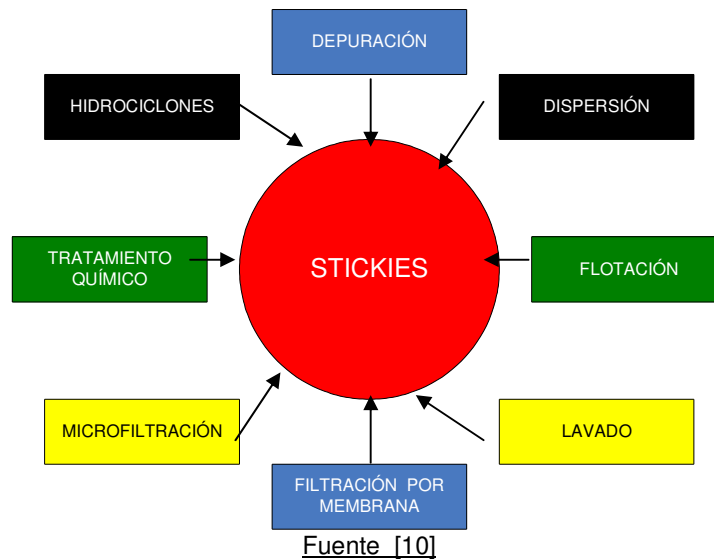


FIGURA 5.1 SE MUESTRAN LOS DIFERENTES MECANISMOS DE ELIMINACIÓN DE LOS STICKIES.

- ◆ La MICROFILTRACIÓN y la FILTRACIÓN por MEMBRANA son mecanismos muy similares en las que se eliminan los stickies por procesos físicos de tamaño de partícula, similares a la ósmosis.
- ◆ El TRATAMIENTO QUÍMICO es empleado para la desestabilización de las partículas de los stickies para convertirlas en materia fácilmente eliminable.
- ◆ El LAVADO, DEPURACIÓN, DISPERSIÓN y FLOTACIÓN son Métodos principalmente físicos que se tratarán más adelante con detalle.

Todos los esfuerzos muestran con claridad la importancia y actualidad del tema, en segundo lugar, la dificultad del mismo, y finalmente la necesidad de profundizar en el conocimiento de las propiedades de los adhesivos como: tensión superficial y carga eléctrica en la superficie de la partícula, lo cual conduce a reflexionar sobre el desarrollo de fenómenos regidos por procesos electrocinéticos como:

- ◆ Electroforesis
- ◆ Electro-osmosis.
- ◆ Potencial de corriente eléctrica.
- ◆ Potencial de sedimentación.

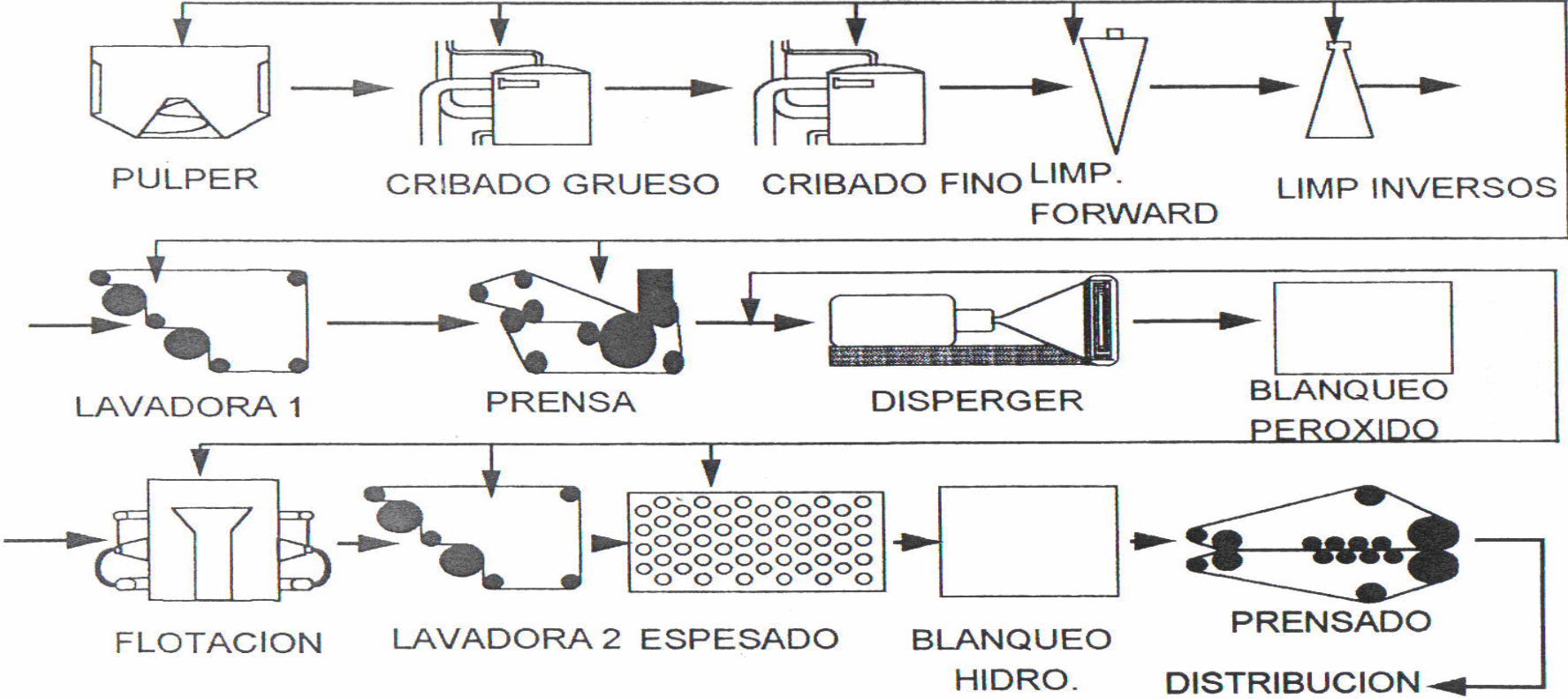
### 5.3.- ETAPAS PARA RECICLADO DE PAPEL DESPERDICIO

Como ya se mencionó anteriormente, el proceso del reciclado del papel tiene como principal tarea la de separar y eliminar las tintas de impresión y otras clases de contaminantes que también llegan a presentarse en la materia prima, dejando de esta manera las fibras con buenas propiedades físico mecánicas para que puedan emplearse en la fabricación de papel.

Para lo anterior es necesario que nuestro material circule por la siguientes etapas:

- ◆ Pulpeo
- ◆ Depuración y Limpieza.
- ◆ Lavado.
- ◆ Extracción por FLOTACIÓN.
- ◆ Blanqueo.
- ◆ Dispersión

### PROCESO COMÚN DE RECICLAJE DE PAPEL



Fuente [4]

FIGURA 5.2 EJEMPLO DE UN PROCESO DE RECICLAJE DE PAPEL.

### 5.3.1.- EL PULPEO

Se le denomina como pulpeo a la elaboración de una mezcla que generalmente y a grandes rasgos se trata de agua y papel desperdicio con la finalidad de hacer una pasta o pulpa que haga fácil su manejo y se pueda trabajar con ella y someter a los procesos destinados para su destintado.

#### APLICACIÓN DEL PULPEO.

- ◆ Desintegración del papel.
- ◆ Separación de las tintas de las fibras.
- ◆ Crear una suspensión bombeable para facilitar su limpieza posterior.
- ◆ Humectación posterior, ya sea en un tanque de descarga del púlper o un tanque pulmón)
- ◆ Tratamiento de los contaminantes, aunque esto depende del tipo de púlper.

#### TIPOS DE PULPEO.

- ◆ Pulpeo de baja consistencia en BATCH.
- ◆ Pulpeo de baja consistencia en CONTÍNUO.
- ◆ Pulpeo de alta consistencia en BATCH.
- ◆ Pulpeo de alta consistencia en CONTINUO.

A grandes rasgos un púlper se trata de un tanque con un rotor en donde se incorpora el papel desperdicio y mediante la adición de agua se va formando una pasta.

Para efectos del destintado se ha comprobado la eficacia del pulpeo a alta densidad.

#### EFFECTOS PARA UN PULPEO DE ALTA DENSIDAD:

- ◆ Fricción entre las mismas fibras.
- ◆ Fricción contra el rotor.
- ◆ Golpe del papel contra los deflectores de la tina del púlper.
- ◆ Por hidratación mediante la ayuda química.



## EFFECTOS DEL PULPEO DE ALTA DENSIDAD EN LA FIBRA.

- ◆ Mejor separación de la tinta.
- ◆ Tiempo de pulpeo reducido, que generalmente es menor a una hora por BATCH.
- ◆ Mejor interacción fibra-fibra, con lo cual hay una mejora en la remoción de las tintas.
- ◆ Bajo requerimiento de consumo de energía.
- ◆ Trato suave a los contaminantes presentes.

Por lo anteriormente expuesto nos damos cuenta que los púlpers que operan a altas consistencias, tienden a ser más eficaces en la remoción de las tintas por que hay una mayor interacción fibra-fibra y se logra entonces un buen despastillado sin fraccionar los contaminantes y se separan las tintas de las fibras sin dañarlas.

Para tener una mejor desfibración y separación de los contaminantes se necesita tomar en cuenta las siguientes variables:

- ◆ Consistencia de operación.
- ◆ Tipo de púlper.
- ◆ Productos químicos.
- ◆ Temperatura.
- ◆ pH.
- ◆ Tiempo de pulpeo.

La desfibración ocurre por atrición (acción hidromecánica que ocurre en las cercanías del impulsor) como también por desfibración hidráulica (interacción de las fibras). El fenómeno de atrición es el responsable de que los contaminantes sean desintegrados, por lo que es recomendable evitarlo en lo más posible, esto se logra aumentando la consistencia, con lo que la desfibración hidráulica aumenta.

Hay ocasiones en donde en el púlper es necesario el empleo de químicos para favorecer aún más el desfibrado, siendo los siguientes enunciados los principales objetivos del tratamiento químico:

- ◆ Desanclar la tinta de las fibras.
- ◆ Dispersar las partículas de la tinta desanclada.
- ◆ Facilitar la posterior flotación de estas partículas.
- ◆ Blanquear y limpiar la pasta.

## PROCEDIMIENTO TÍPICO PARA LA FLOTACION APLICADA EN EL PULPER.

- 1.- NaOH de 1.0 a 1.5 %.
- 2.- H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> de 0.5 a 0.8%.
- 3.- Silicato de sodio de 2.5 a 4.0%.
- 4.- DTPA de 0.1 a 0.4%.
- 5.- Jabón colector de 0.5 a 1%.
- 6.- Emulsificante 0.1%.
- 7.- Dispersante de 0.1 a 0.3%.

Debido a los diferentes tipos de tintas con los que viene impreso el papel desperdicio, la remoción de estas varía de un proceso a otro, la dureza del agua se debe ajustar, así como el pH que debe andar en los rangos de 10.5 a 11.0, ajustado con la adición de NaOH. La temperatura y el tiempo de pulpeo son otras variables a controlar.

En pruebas de laboratorio se encontró que la influencia de la temperatura es determinante en la remoción de tintas; a una temperatura de 35 a 40°C, los químicos comienzan a trabajar y solo arriba de 50°C y hasta 60/65°C, las tintas son flexibles.

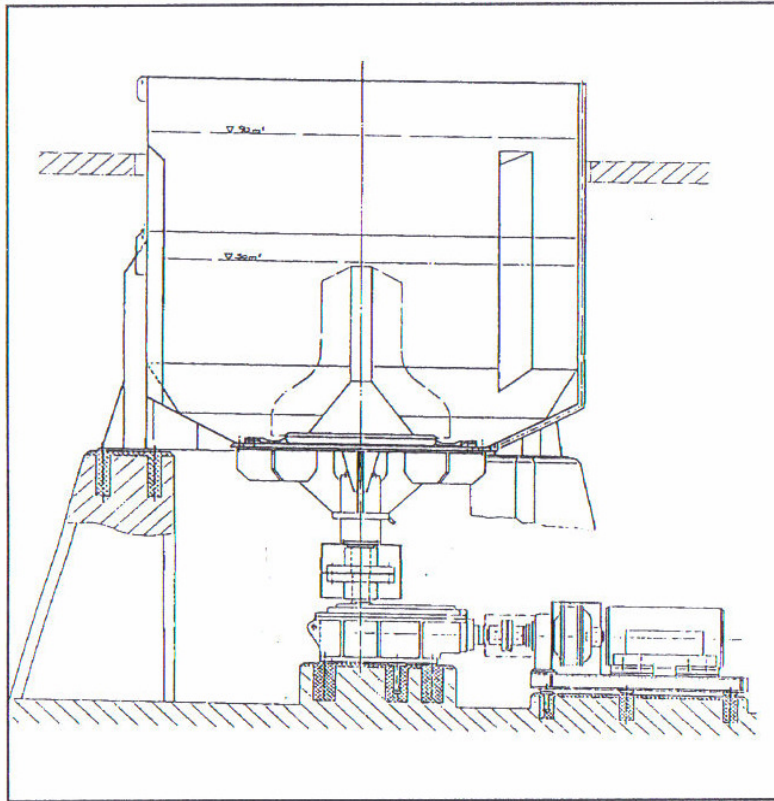
Una vez desprendidas las tintas de las fibras en el púlper, hay que separarlas para dejar limpia la pasta. Esto puede hacerse por flotación y lavado.<sup>[1]</sup>

### PULPER DE ALTA DENSIDAD:

#### VARIABLES:

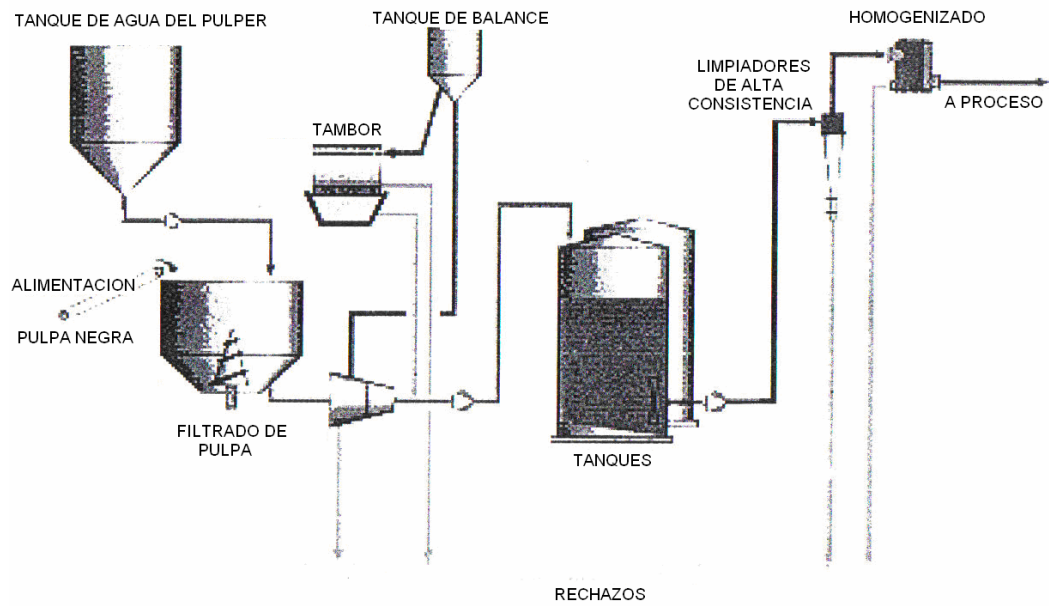
- ◆ Consistencia.
- ◆ Hidratación.
- ◆ Tiempo de desintegración o pulpeo.
- ◆ Energía específica.
- ◆ Temperatura y productos químicos.

Las siguientes figuras muestran los equipos de pulpeo de alta densidad por lotes y continuo, así como sus diagramas de flujo.



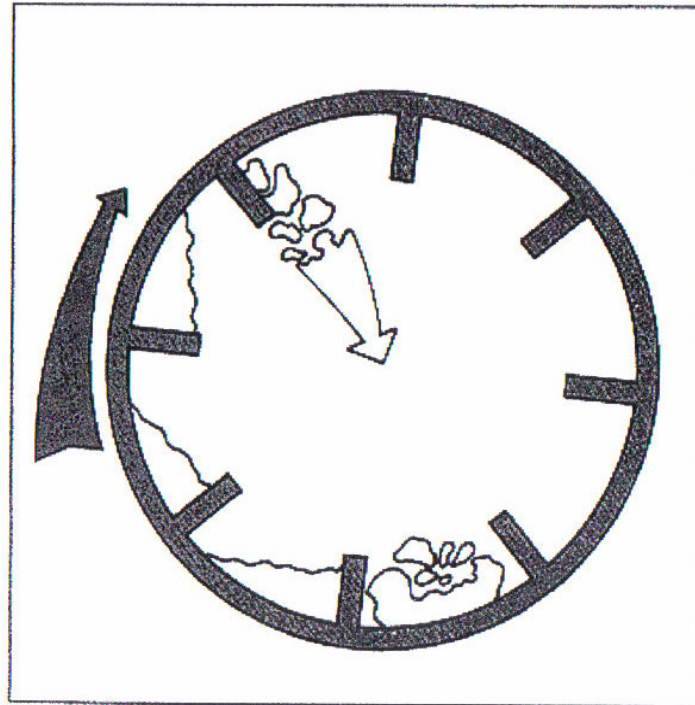
Fuente [4]

FIGURA 5.3 PÚLPER DE ALTA DENSIDAD POR LOTES.



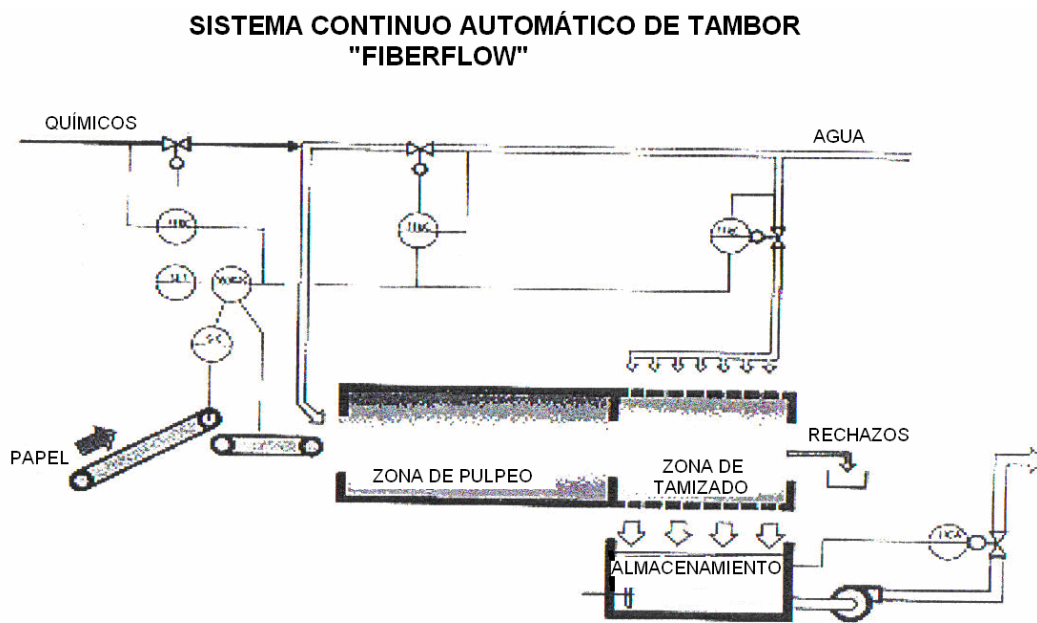
Fuente [5]

FIGURA 5.4 PULPEO DE ALTA DENSIDAD POR LOTES, DIAGRAMA DE FLUJO.



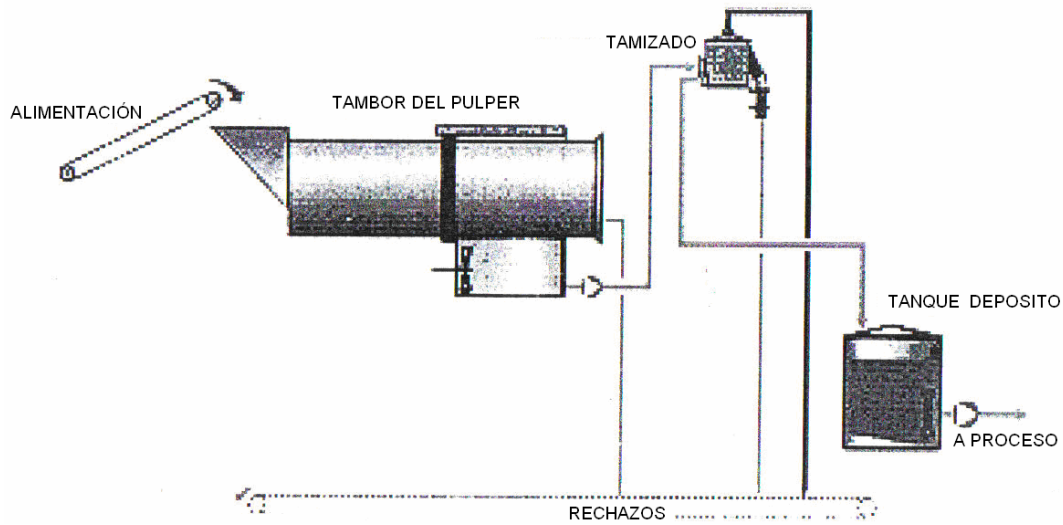
Fuente [4]

*FIGURA 5.5 PULPEO DE ALTA DENSIDAD EN CONTINUO.*



Fuente [5]

*FIGURA 5.6 PULPEO DE ALTA DENSIDAD EN CONTINUO.*



Fuente [5]

*FIGURA 5.7 PULPEO DE ALTA DENSIDAD EN CONTINUO. DIAGRAMA DE FLUJO.*

### 5.3.2.- EQUIPOS DE PRELIMPIEZA DE LA PASTA.

La disposición de equipos de pre-limpieza antes de los depuradores suele ser común para deshacerse de los contaminantes de manera más eficiente de la pasta.

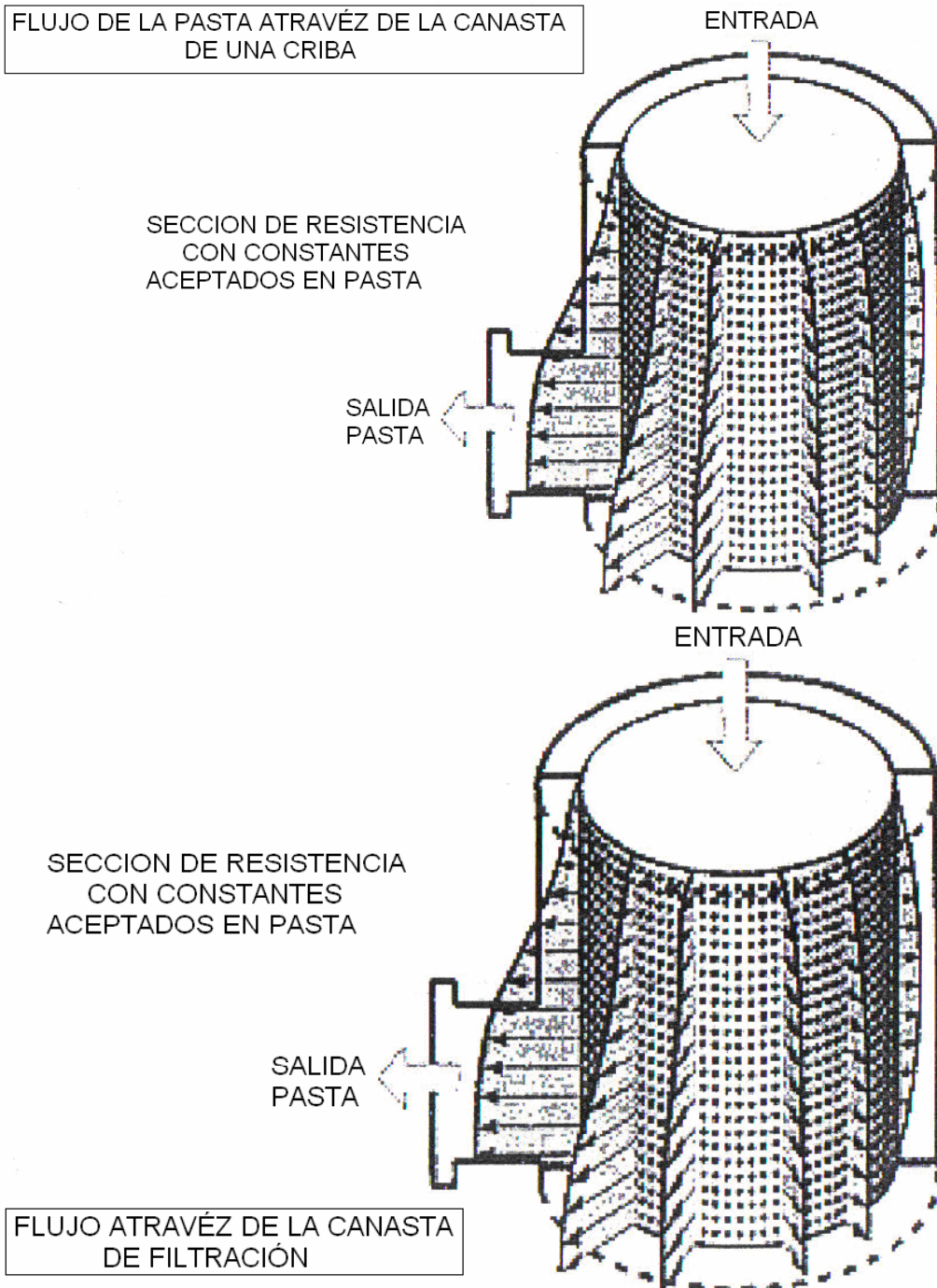
APLICACIÓN:

- Remover contaminantes.

Estos equipos se colocan inmediatamente después del púlper y pueden formar parte del sistema de depuración de la pasta, por lo común son:

- ◆ CRIBAS: Que se trata de una especie de filtro en el que se somete la pasta al contacto con una maya por la que solo pasarán algunas impurezas, pueden ser a presión o no y de diferentes tamaños de orificio dando lugar así a un cribado grueso y fino.
- ◆ LIMPIADORES: Se eliminan impurezas por medio de trampas y fuerzas centrífugas, son de tipos hidrociclones, limpiadores positivos, limpiadores invertidos, limpiadores de alta y baja densidad.

CRIBAS.

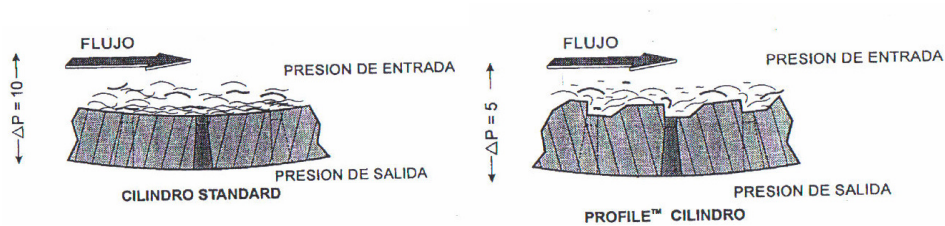


Fuente [4]

*FIGURA 5.8 DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE UNA CRIBA.*

En la figura anterior mostramos como existe la entrada de la pasta al equipo, directamente a la canasta, que tiene ranuras y orificios que gracias a la fuerza centrífuga o ayudadas por una presión inducida salen de la pasta, la cual limpia sale por el lado de los aceptados.

La separación de impurezas de las pasta se da por diferencia de densidades y tamaños en la frontera de la pared de la canasta de la criba.



Fuente [5]

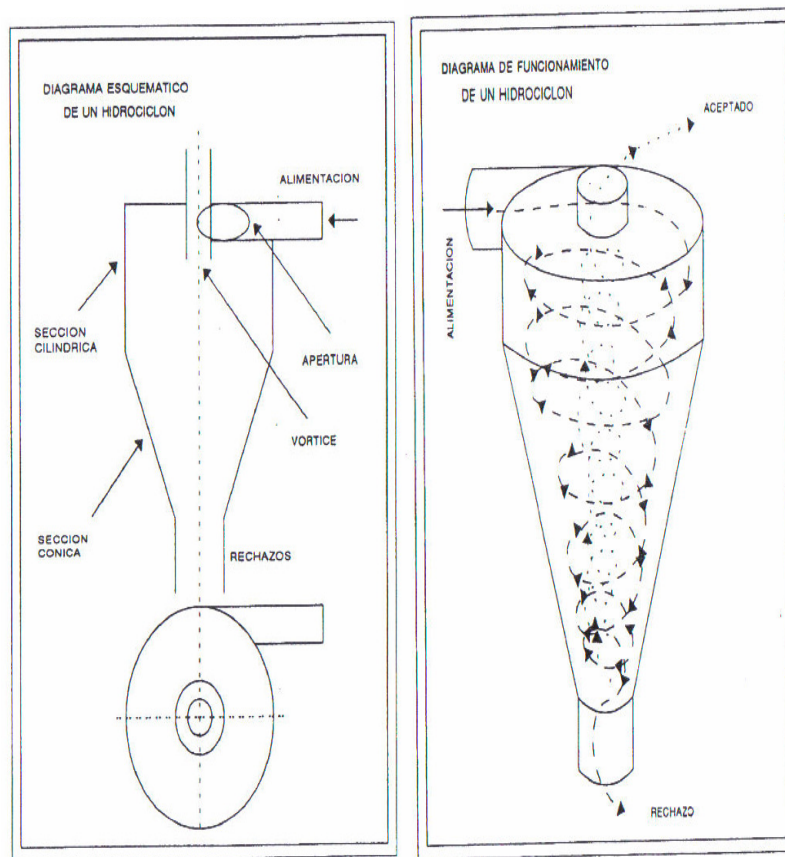
FIGURA 5.9 COMPORTAMIENTO DE LA PASTA EN LA FRONTERA DE LA PARED DE LA CANASTA DE LA CRIBA.



## LIMPIADORES:

Son equipos que generalmente emplean agua para eludir las impurezas y a su vez lavarlas eliminando las impurezas por trampas, un ejemplo de estos equipos son los denominados hidrociclones.

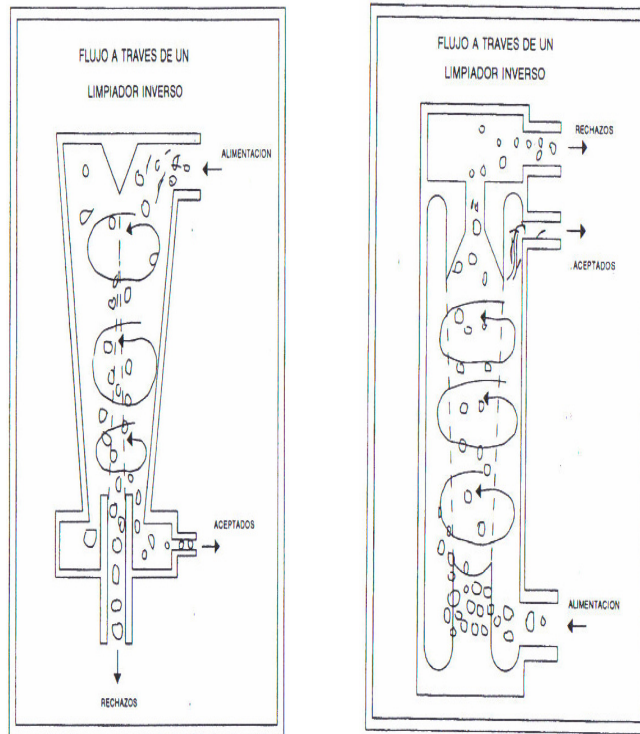
El principio de operación es el mismo, pero existen diferentes tipos de limpiadores y los más comunes en México y en el mundo se presentan a continuación.



Fuente [4]

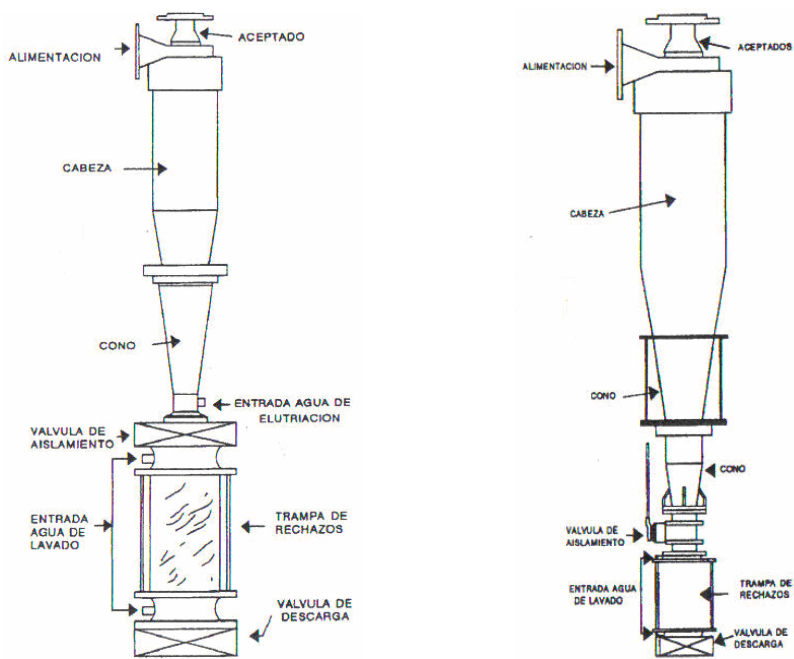
***FIGURA 5.10 LIMPIADORES HIDROCICLONICOS. PRINCIPIO DE OPERACIÓN.***





Fuente [4]

FIGURA 5.11 DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE LOS LIMPIADORES INVERSOS.



Fuente [4]

FIGURA 5.12 LIMPIADOR DE ALTA DENSIDAD Y BAJA DENSIDAD RESPECTIVAMENTE.

### 5.3.3.- DEPURACIÓN.

La depuración es una manera de deshacerse de los contaminantes que se puedan eliminar fácilmente de la pasta, por el principio de diferencias de densidades.

#### APLICACIÓN:

- Remover contaminantes con diferentes gravedades específicas.

En la siguiente tabla se muestran características y ejemplos de contaminantes típicos.

TABLA 5.4 CONTAMINANTES QUE SE PUEDEN REMOVER POR DEPURACIÓN.

Rango de Consistencia		Arriba de 5.5%	Arriba de 2%	Arriba de 1.3%
CONTAMINANTES	<b>Densidad</b>	> 2000 Kg./m <sup>3</sup>	> 1000 Kg./m <sup>3</sup>	< 1000 Kg./m <sup>3</sup>
	<b>Media</b>	> 2000 micrómetros	> 40 micrómetros	> 40 micrómetros
	Ejemplos	Fragmento de metal. Clips. Vidrios. Grava o piedras. Arenas	Arenas. Escamas. Fragmentos de laca. Astillas.	Stickies. Plásticos. Poliestirenos. Ceras.

Fuente [5]

#### SISTEMAS DE LIMPIEZA:

Este proceso consiste en someter a la pasta a una depuración estricta con el fin de separar los materiales pesados. Para poder obtener estos resultados, se presentan diversos métodos y equipos que son empleados con tal fin.

#### LIMPIADOR DE ALTA CONSISTENCIA:

El limpiador de alta consistencia o de alta densidad se acostumbra poner antes y después de depuradores gruesos. El limpiador es del tipo centrífugo de alta consistencia, eliminando material de alta densidad, este material es atrapado en el limpiador, el cual se retiene en una cámara de rechazos que se descarga rápidamente.

#### DEPURACION GRUESA:

El depurador de presión que sigue al limpiador de alta consistencia esta elaborado con agujeros de 1.5 mm de diámetro. Para evitar la acumulación de material indeseable dentro de la unidad, se descarga en forma continua una parte de la pulpa que va a un depurador final, el cual puede ser un depurado a presión, una criba vibratoria o cualquiera de varios dispositivos especializados.

#### LIMPIADOR DE DENSIDAD MEDIA:

El limpiador de densidad media es semejante al de alta densidad y normalmente se instala inmediatamente antes del sistema de depuración fina. Este limpiador es del tipo centrífugo el cual trabaja a consistencias de 1 a 2.5%

El depurador sirve para proteger las depuraciones a presión eliminando el material extraño de densidad media como puede ser tierra, arena, etc., que pasaron por el depurador de alta consistencia y los depuradores gruesos.

El material atrapado por el limpiador se retiene con una cámara de rechazos que se descarga en forma periódica.<sup>[1]</sup>

#### DEPURACION FINA:

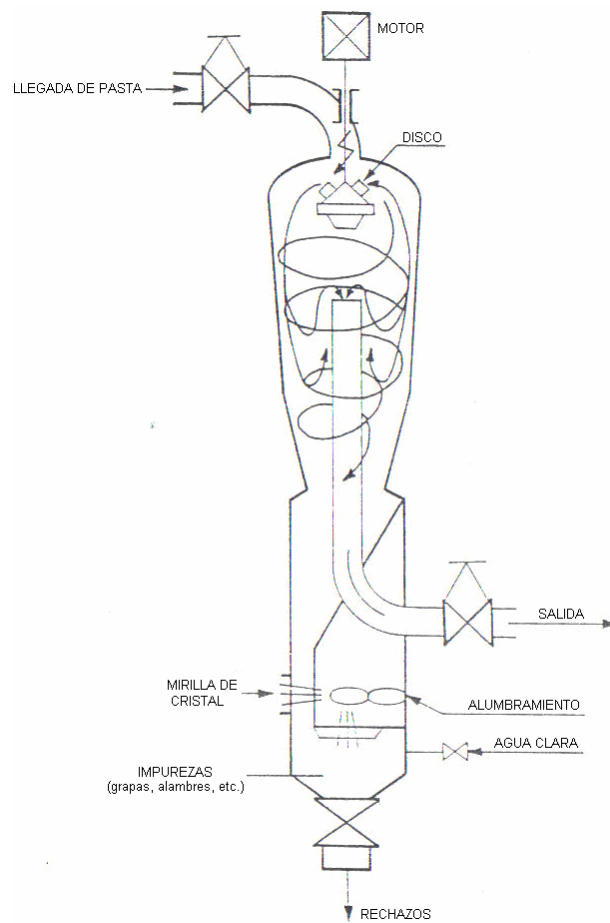
Los depuradores a presión son dispositivos muy eficientes que permiten el funcionamiento entre los límites de 1.5 a 5% con agujeros y ranuras muy pequeños.

Debido a los requisitos de calidad para los productos de fibra reciclada se depura por medio de normas de 0.2 a 0.3 mm, a causa de las ranuras finas es necesario atender el depurador fino primario con un limpiador de media densidad para atrapar basura pesada gruesa y abrasiva, como arena, tierra, vidrio molido y otras partículas pequeñas y pesadas que pueden haber pasado por la criba gruesa.

La limpieza por método centrífugos actúa según el principio de convertir la presión en velocidad, suministrando así la fuerza centrífuga necesaria para la separación.

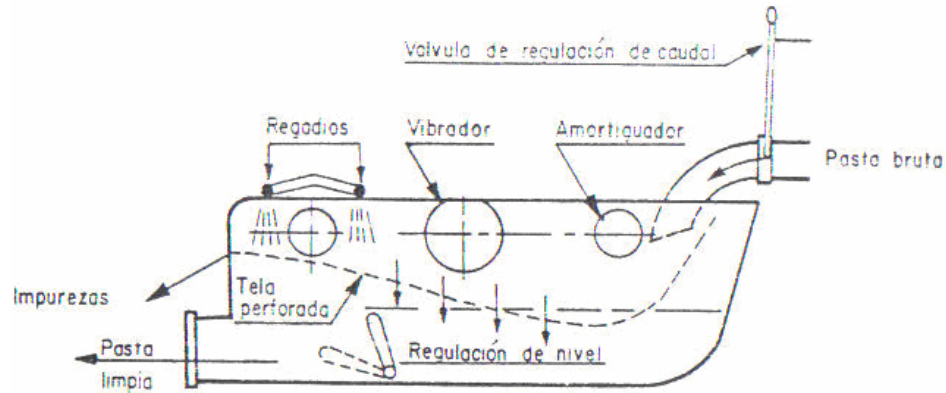
La depuración y limpieza centrifuga finales se pueden efectuar antes o algunas veces después del blanqueo.

A continuación en las figuras 5.13, 5.14 y 5.15 les mostramos los diferentes tipos de depuradores.



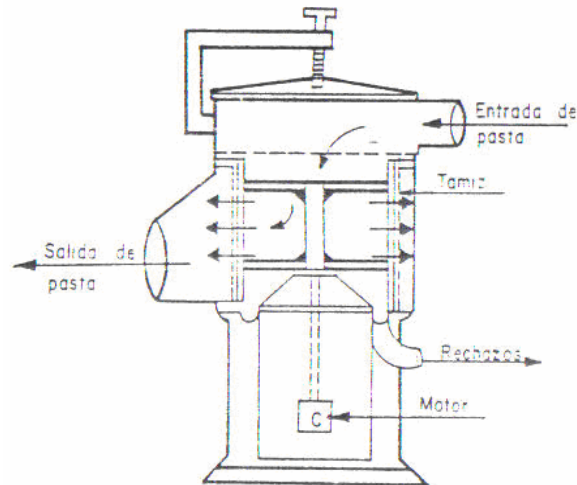
Fuente [4]

FIGURA 5.13 ESQUEMA REPRESENTATIVO DE UN DEPURADOR CENTRÍFUGO.



Fuente [4]

FIGURA 5.14 ESQUEMA REPRESENTATIVO DE UN DEPURADOR PLANO VIBRANTE.



Fuente [4]

FIGURA 5.15 ESQUEMA REPRESENTATIVO DE DEPURADOR SELECTOR.

#### CICLONES NORMALES PARA MATERIALES PESADOS.

Se piensa con frecuencia que la limpieza es la remoción de partículas contaminantes de una pulpa por acción de fuerza centrífuga, sin embargo en esencia el proceso de limpieza implica la rotación rápida de la pulpa dentro del dispositivo limpiador y la clasificación subsiguiente de partículas a causa de sus diferentes densidades. Esto es diferente al proceso de cribado, el cual las partículas se clasifican estrictamente por su tamaño. Los procesos de limpieza son muy importantes en cualquier sistema de fibras secundarias porque permiten la remoción de o partículas muy finas o suaves que no han salido en el cribado.

Se usan dos tipos de limpiadores; los normales para la eliminación de contaminantes más densos que el agua (gravedad específica 1.0) y limpiadores para la remoción de contaminantes menos densos que el agua.

Dentro del equipo los contaminantes que son mas densos que el agua se dirigen hacia la pared a causa de la fuerza centrifuga, la partícula se mueve hacia abajo de la pared y sale del limpiador en la conexión de los rechazos. La pasta y las partículas mas ligeras que el agua pasan hacia el centro del remolino y salen en la conexión de materiales aceptados.

#### LIMPIADORES INVERSOS PARA LIGEROS:

Estos equipos trabajan con el mismo principio que los ciclones normales. Es una limpiador inverso, sin embargo la corriente de rechazos sale del vértice interior del lugar del exterior como se hace con los ciclones normales.<sup>[1]</sup>

#### **5.3.4.- FLOTACIÓN**

El método de flotación utiliza las diferencias físicas de densidad, humectación de los sólidos presentes en la pasta, (ya que los sólidos hidrofóbicos se adhieren a las burbujas de aire y estas son transportadas a la superficie por flotación de las mismas burbujas) y fisicoquímicas de modificación de la tensión superficial, para separar las tintas de las fibras, llevándose a cabo en las celdas de flotación.

La tensión superficial en el destintado es función del tipo y cantidad de jabón aplicado, la acción del jabón consiste básicamente en reducir la tensión superficial del agua, formar la espuma y soportar el desanclaje de las tintas.

El grado de blancura de la pasta destintada depende tanto del tipo de jabón como de su concentración y dureza del agua. Un exceso de jabón origina que el pigmento se emulsione y no se pueda separar por flotación.

El aire tiene una función específica como de medio de transporte de las escamas de contaminantes colectados por el jabón, un control en el aire deberá realizarse en cuanto a la cantidad de aire y el tamaño de burbujas.

El tiempo de residencia de la pulpa en la celda de flotación debe ser suficiente para que la separación se lleve a cabo, es lógico pensar que un mayor tiempo dará

mayor resultado, esto se logra por medio de varias celdas de flotación o por recirculación.

En la flotación se atrapan todas las partículas hidrofóbicas que son separadas de la fibra hacia la superficie y poseen medidas de entre 5 y 500 micrómetros, en estas sustancias se incluyen las tintas, stickies, plásticos, cenizas, cargas, etc.

#### OBJETIVOS PRINCIPALES DE LA FLOTACIÓN:

- ◆ Blancura: Satisfacer normas y valores.
- ◆ Apariencia: Standard de calidad.
- ◆ Stickies: Satisfacer la estabilidad operacional en la máquina de papel.

#### PROCESO DE FLOTACIÓN:

- ◆ Aireación de la suspensión y generación de burbujas en un rango de diámetros adecuados.
- ◆ Buena distribución de las burbujas de aire en la suspensión o pasta para lograr una buena atracción de las tintas o partículas.
- ◆ Separación de las burbujas conteniendo las partículas atrapadas. Pueden ser separadas por fuerzas de gravedad o centrifugas en condiciones atmosféricas o bajo presión o vacío

#### EL PROCESO DE FLOTACIÓN Y LA INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA.

- ◆ < 0.1mm: Se adhieren a la fibra (alta pérdida de fibra) no hay despresurización del aire disuelto (flotación total de sólidos)
- ◆ < 0.3mm: No tienen suficiente fuerza ascensional para pasar a través de una red de fibras.
- ◆ < 0.5mm: No deben estar presentes.
- ◆ = 0.5mm o mayores: tamaño mínimo de burbuja que deben estar presentes en el proceso de flotación.

#### FUNCIONES DE UNA CELDA DE FLOTACIÓN.

- ◆ Suministrar pasta (fibras individuales, tintas libres y agua).
- ◆ Suministrar cantidad de aire.
- ◆ Aireación: Mezclar aire con la pasta. Adherencia de las partículas hidrofóbicas a las burbujas.
- ◆ Separación de la espuma (burbujas) y de la pasta limpia.

## PARTES IMPORTANTES DE UNA CELDA DE FLOTACIÓN:

- ◆ Elemento aireador o difusor: Suministro de aire.
- ◆ Tina de flotación: tiempo de residencia y separación de la espuma-pasta.
- ◆ Regaderas corta espuma: limpieza de la celda.
- ◆ Elementos de limpieza: raspadores, etc.
- ◆ Algunas tiene extractores de succión para la espuma.

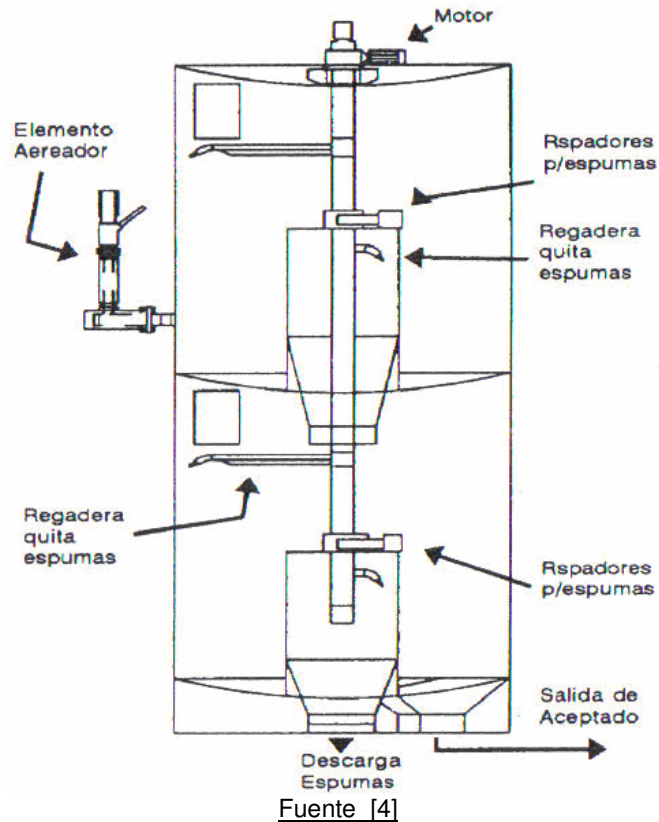


FIGURA 5.16 ESQUEMA DE UNA CELDA DE FLOTACIÓN.

## FUNCIONES DEL ELEMENTO AIREADOR:

- ◆ Suministrar la suspensión acuosa en cantidad, velocidad y turbulencia adecuadas.
- ◆ Suministrar el aire suficiente para que se lleve a cabo la flotación.
- ◆ Suministrar la cantidad y tamaño adecuado de burbujas para el arrastre de las partículas de tinta.

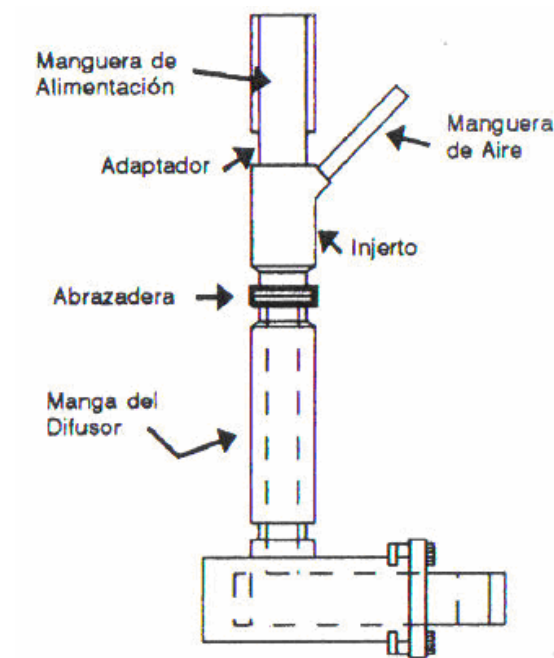


REQUISITOS PARA EL ELEMENTO AIREADOR O DIFUSOR:

- ◆ Aireación por auto-succión, para evitar la necesidad de aire comprimido.
- ◆ Perfecta homogenización entre la pasta y las burbujas de aire que permita a las partículas de tinta entrar en contacto con las burbujas de aire.
- ◆ Generación del tamaño óptimo de burbuja que ajuste al tamaño de la partícula a ser removida.

ELEMENTO DIFUSOR DE AIRE.

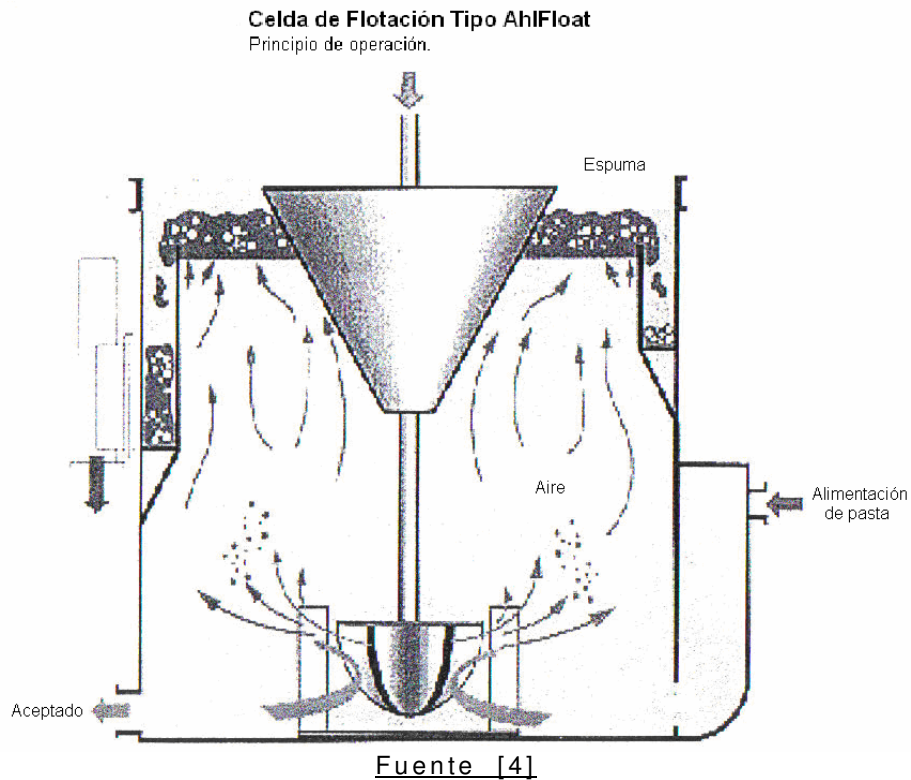
A continuación en la figura la figura 5.17 mostramos el esquema de un areador.



Fuente [4]

FIGURA 5.17 ESQUEMA BÁSICO DE UN AREADOR PARA CELDAS DE FLOTACIÓN.

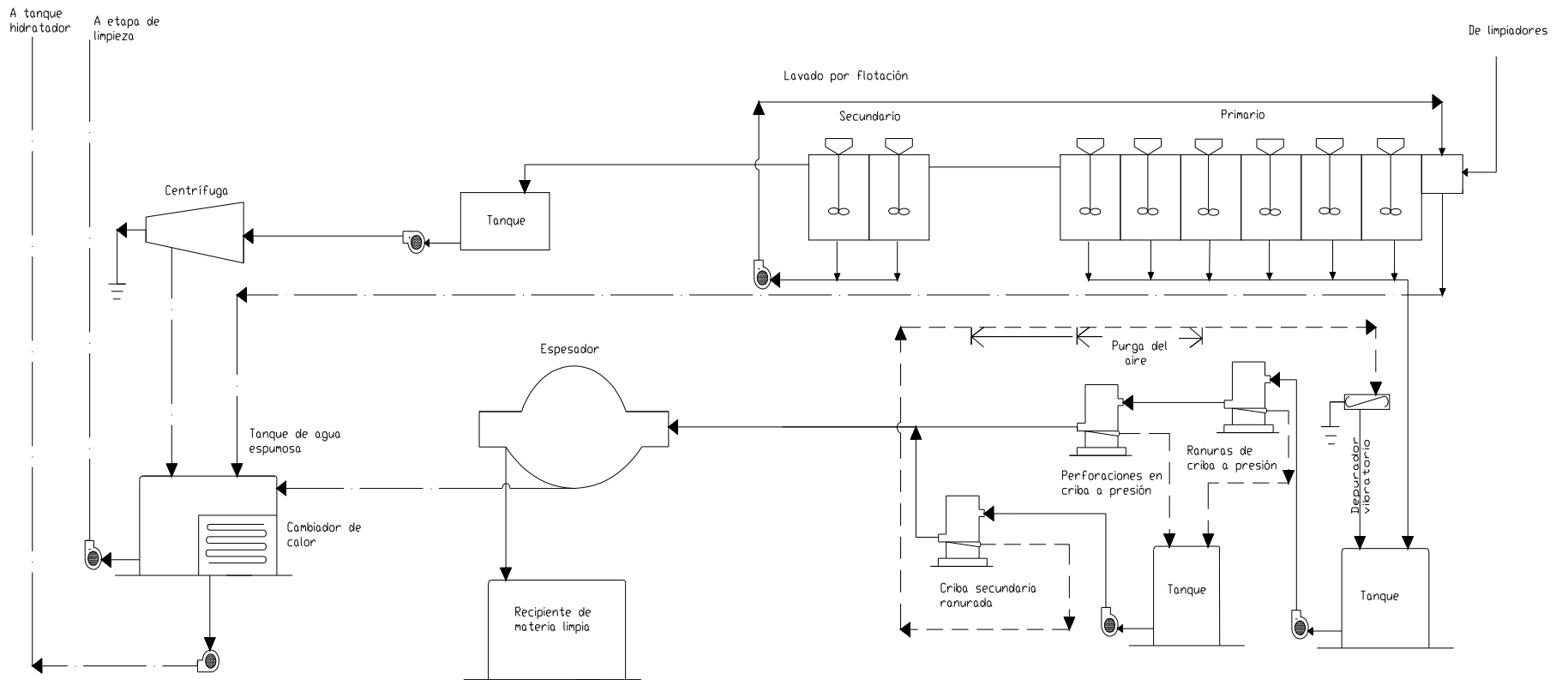
## ILUSTRACION DE CELDA DE FLOTACIÓN:



*FIGURA 5.18 Esta figura muestra una celda de flotación.*

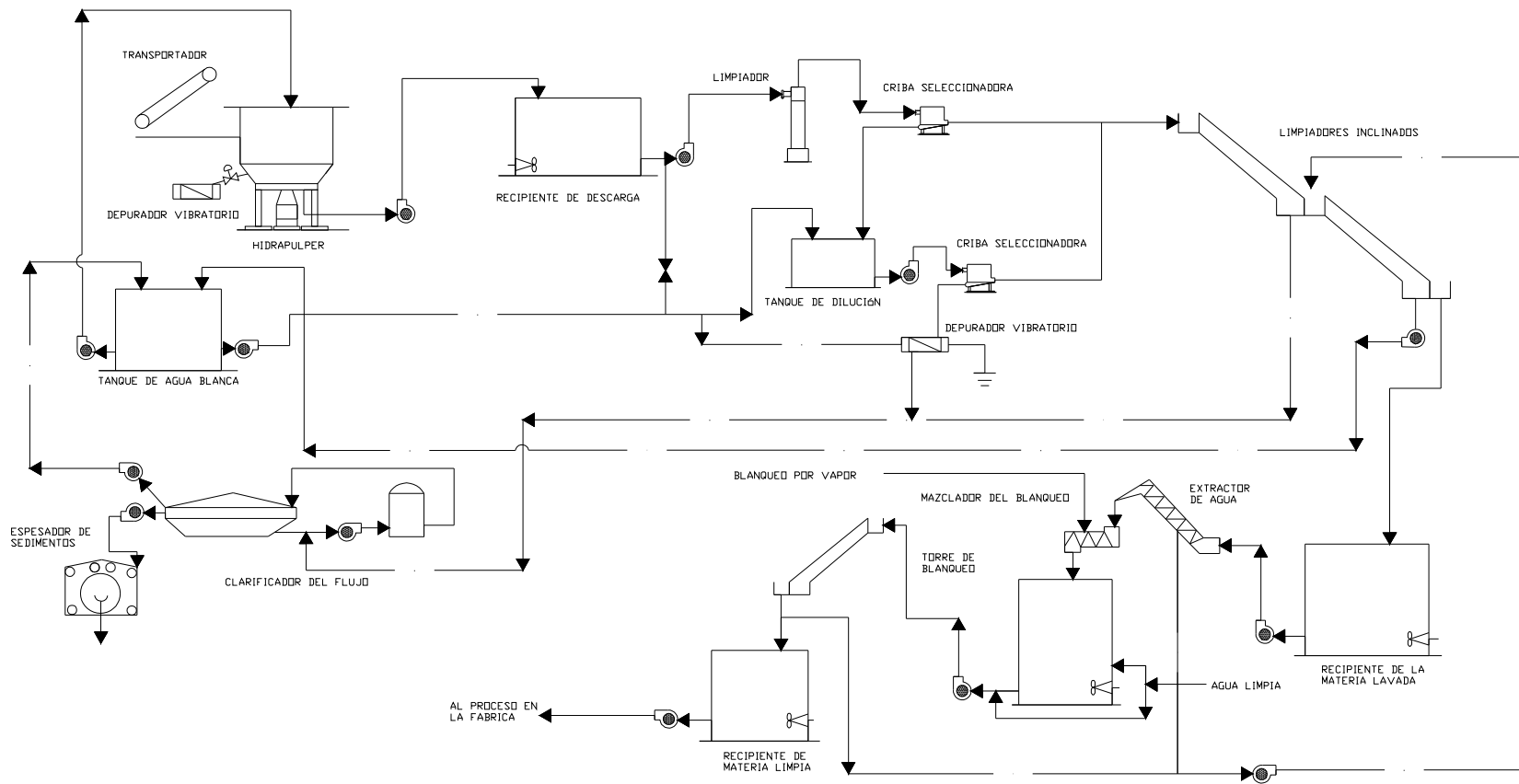
En la figura 5.18 se muestra una celda tipo AhlFloat, en dicha celda la pasta se alimenta por la parte lateral derecha y el aire entra mediante el difusor central, la espuma formada en la superficie es separada por medio de unas mamparas en donde se eliminará posteriormente. La salida de la pasta se encuentra en la parte inferior izquierda.

En la figura 5.19 se muestra el diagrama de un sistema de lavada por flotación y en la figura 5.20 el diagrama de un sistema convencional de destintado por flotación.



Fuente [4]

FIGURA 5.19 Sistema de lavado por flotación



Fuente [4]

FIGURA 5.20 Sistema convencional de destintado por flotación.

## VARIABLES DEL SISTEMA DE FLOTACIÓN.

- Consistencia: La eficiencia de limpieza disminuye cuando la consistencia incrementa. El rango de operación de las celdas de flotación oscila entre 0.9 a 1.3 %. A consistencias más bajas se tiene una pérdida sustancial de fibra.
- Temperatura: Favorece la mezcla de la pasta con el aire ya que disminuye la viscosidad de la pasta. También hace más fácil la separación de las burbujas de la pasta.
- Tamaño de burbuja: El tamaño debe de ser el adecuado para poder atrapar las partículas. Depende del tipo de difusor y de las 2 variables anteriores.
- Tiempo de residencia en la celda: Entre mayor sea se tendrá una mejor remoción de contaminantes así como una ganancia de blancura más alta.

## PARÀMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS QUE DEBEN OBSERVARSE PARA ASEGURAR UNA ELIMINACION EFICIENTE DE TINTAS POR FLOTACIÓN:

### PARÁMETROS FÍSICOS:

Son los que aseguran una separación de los contaminantes y las fibras basándonos en diferencias de densidades.

- ◆ Tamaño y densidad de las partículas.
- ◆ Tamaño y flujo de las burbujas de aire.
- ◆ Consistencia y temperatura de la suspensión.
- ◆ Velocidad y condiciones de flujo en la celda.

### PARÁMETROS QUÍMICOS:

El tomar en cuenta estos razonamiento y controlar los parámetros nos augurarán una separación de los contaminantes presentes en la fibras mediante la modificación de la tensión superficial del agua.

- ◆ Dureza del agua.
- ◆ Peróxido de hidrógeno.
- ◆ Colector

- ◆ Agentes alcalinizantes.
- ◆ Espumantes.
- ◆ Estabilizadores.
- ◆ Agentes de tensión superficial.

### **5.3.5.- LAVADO**

El lavado es una operación unitaria empleada en la industria del papel y sobre todo en aquellas empresas donde se emplea fibra secundaria como materia prima. Se basa de manera principal en la diferencia geométrica de las fibras y los contaminantes, ya que las fibras tienen longitudes de alrededor de 1 milímetro, las partículas de la tinta y las cargas son de aproximadamente 30 veces más pequeñas.

El objetivo primario es el lavado de la pasta de baja consistencia; esto es la extracción de contaminantes muy pequeños como cenizas, finos inactivos y pequeñas partículas de tinta.

El efecto del lavado de la fibra producirá un decremento en la eficiencia o rendimiento del sistema, por la gran cantidad de eliminación de cenizas y finos, así como la correspondiente pérdida de fibra.

El lavado en esencia es una serie de dilución y espesamiento repetidamente con el fin de obtener una fibra limpia. La remoción de partículas de tinta, la remoción de cenizas y finos depende en gran medida del tipo de lavadora que se utilice.

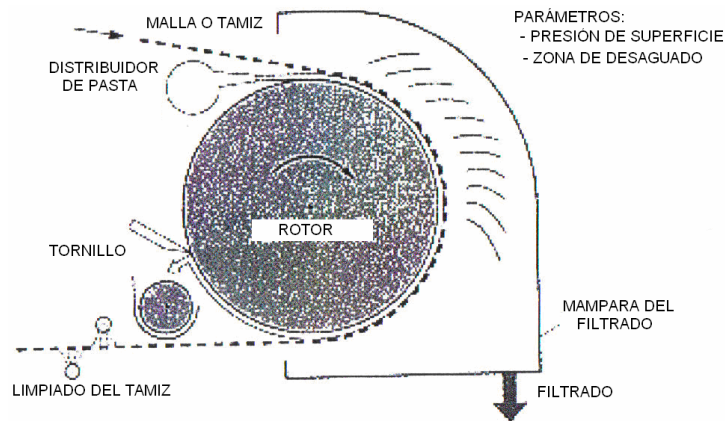
En la siguiente tabla mencionamos algunos tipos de lavadoras empleados de manera muy común en la industria.

TABLA 5.5 RELACIÓN DE ALGUNOS EJEMPLOS DE LAVADORAS Y SU DESEMPEÑO.

CONSISTENCIA						
LAVADORA	ALIMENTACIÓN	ACEPTADO	FILTRADO	Perdida de fibra	Remoción de cenizas	Ganancia de blancura
Side Hill Screen	0.6-1.4%	3-4%	0.22-0.39%	12-18%	60%	NA
Gravity Decaer	0.7-1.2%	4-6%	0.19-0.21%	6-12%	55-70%	1-4 ISO
Inclined-screw extractor	3-3.5%	8-12%	0.45-0.73%	8-12%	45%	NA
Screw press	3.5-4.5%	20-28%	0.26-0.53%	3-5%	35%	NA
Vario Split	0.7-1.2%	10-12%	0.1-0.25%	7-22%	60-85%	3-5 °GE
Ahildecker	0.7-1.2%	1.5-4%	0.25-0.3%	NA	40-95%	3-6.5°GE
<b>DNT</b>	0.9-1.3%	10-13.5%	NA	NA	75-85%	2-3°GE

Fuente [5]

En la figura 5.21 observamos un esquema de como funcionan la lavadoras, en donde por medio de el distribuidor se alimenta la pasta que es presionada con una malla tamiz en donde hay una filtrado y desaguado y la malla retorna sobre un rodillo en donde posteriormente se limpia para volver hacer su función.

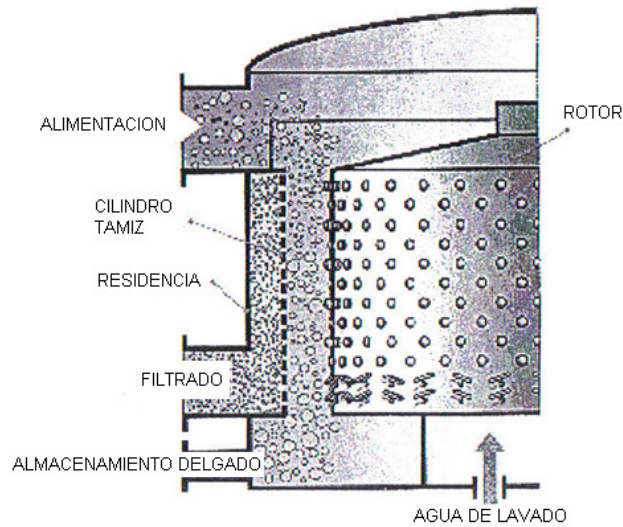


Fuente [4]

FIGURA 5.21 ESQUEMA DE LAVADORA.

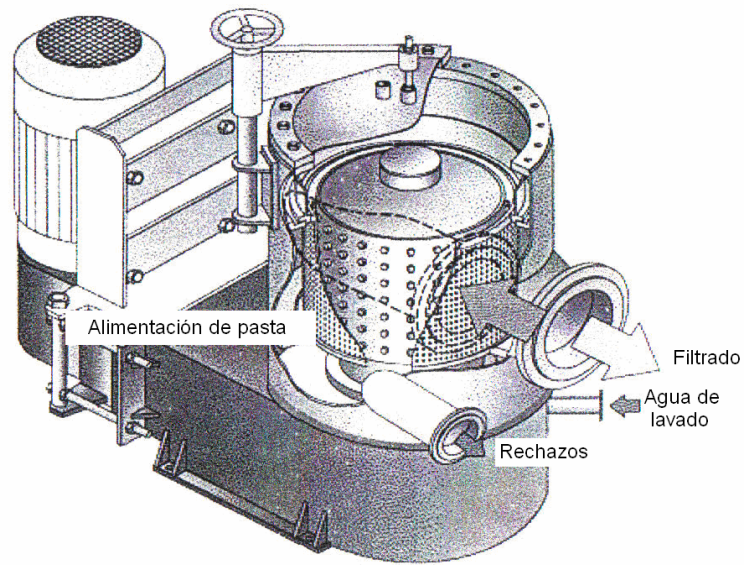
Aquí observamos el principio de operación de lavadoras tipo AhDecker. Por la parte superior se introduce la pasta hacia una cámara que contiene un rotor con perforaciones, donde habrá contacto con el agua de lavado que se introduce por la parte inferior, una vez que la pasta sale por los orificios del rotor se dirige hacia la salida del equipo para continuar su proceso, entre el rotor y la salida del filtrado existe también un tamiz

**Lavadora tipo AlhDecker**  
Principio de operación



Fuente [4]

*FIGURA 5.22 PRINCIPIO DE OPERACIÓN DE LAVADORAS TIPO ALHDECKER*



Fuente [4]

*FIGURA 5.23 LAVADORA TIPO ALHDECKER*



## PARAMETROS DE OPERACIÓN DE LAS LAVADORAS:

Los parámetros de funcionamiento que hay que controlar en el equipo para tener una operación de lavado eficiente son:

- ◆ La consistencia de la pasta.
- ◆ El flujo de alimentación.
- ◆ Velocidad de la máquina.
- ◆ Tensión de la tela o malla.

El factor que afecta más a la eficiencia de extracción de cenizas y finos es el peso base de la hoja formada en algunos equipos, el flujo y la velocidad. Para un flujo dado y un sistema dado, la velocidad de desaguado y el efecto de filtración (retención de cenizas y finos) depende esencialmente de la hoja de fibra formada.

## PARAMETROS DEL SISTEMA

Estos son los parámetros que hay que cuidar desde el punto de vista del sistema para tener una operación de lavado muy eficiente:

- ◆ Tipo de pasta a tratar.
- ◆ Tratamiento previo de la pasta.
- ◆ Contenido de cenizas y finos en la alimentación.
- ◆ Valor de pH.
- ◆ Temperatura.

Estos parámetros también afecta la remoción de cenizas y finos, así como en la consistencia del aceptado.

El valor de pH tiene un efecto muy pequeño en la pérdida de fibra y en la extracción de cenizas.

El tipo de pasta o fibra a tratar afecta a la consistencia del aceptado, manteniendo un peso bastante constante.

La extracción de cenizas y finos se incrementa cuando la cantidad de finos y cenizas en la alimentación se incrementa (ya sea por contenido de estos o por incremento del flujo).

Los efectos del flujo de entrada en muchos equipos tienen un impacto sobre el chorro de la pasta alimentada. El flujo máximo de alimentación es generalmente de 4000 LPM por metro de ancho útil.

### **5.3.6.- PROCESOS DE BLANQUEO DE FIBRAS SECUNDARIAS.**

La palabra “BLANQUEO” proviene del vocablo anglosajón *blæcan*, que significa “desteñir”. Al final del siglo XVIII la industria pudo disponer de cloro y de hipoclorito de calcio (conocido comúnmente como polvo blanqueador). No es hasta 1930 cuando el cloro se aplicó comercialmente como agente de blanqueo para pulpa.

Los desechos reciclados representan sin duda una fuente muy importante de fibra que es subutilizada especialmente en nuestro país. Tradicionalmente el reciclado del papel se enfocaba a recolectar solamente periódicos, revistas, cartón, etc. La instalación de plantas recicladoras para obtener “pulpas de alta calidad”, han provocado que esta actividad se diversifique en su recolección.

Por otra parte, el bajo nivel de conciencia de reciclaje de nuestra población provoca que las compañías que se dedican a la recolección de fibra secundaria, inviertan recursos importantes en la separación de papeles, incrementando el costo de cada tipo de papel. Aunado a esto las nuevas tecnologías de impresión, el uso de pigmentos, tintas, plásticos, diferentes tipos de papel traen como consecuencia que la fibra reciclada sea una mezcla de fibras de diferentes procesos de obtención, es decir nos encontramos cantidades considerables de kraft, sulfito, etc.

Estos son los problemas a los que se enfrentan día con día las plantas de reciclado de papel, de ahí la importancia de seleccionar adecuadamente el proceso o procesos de blanqueo, a fin de obtener las blancuras requeridas.

La celulosa y las hemicelulosas son de color blanco y no contribuyen al color de la pulpa, aunque cuando estas no se blanquean los grupos funcionales predominantes en la lignina son los cromóforos, que mediante un mecanismo de oxidación se convierten en estructuras químicas capaces de absorber la luz; estos compuestos son los responsables del color de la pulpa.

De aquí que el principal objetivo del blanqueo de pulpa sea incrementar su blancura, ya sea por la modificación de los grupos cromofóricos o eliminando la lignina. Este último método es el más utilizado. Para producir pulpas de alta calidad y estables, se deben utilizar métodos de blanqueo que eliminen la lignina residual de la pulpa.

Los reactivos que se requieren para el blanqueo de pulpa se pueden clasificar en agentes de oxidación y agentes de reducción, como se muestra en la siguiente tabla:

TABLA 5.6 SE PRESENTAN LOS REACTIVOS OXIDANTES Y REDUCTORES MÁS USADOS COMERCIALMENTE.

REACTIVOS OXIDATIVOS		REACTIVOS REDUCTIVOS	
NOMBRE	FORMULA	NOMBRE	FORMULA
Cloro	Cl <sub>2</sub>	Ditionato de sodio	NaS <sub>2</sub> O <sub>4</sub>
Hipoclorito de sodio	NaOCl	Ditionato de zinc	ZnS <sub>2</sub> O <sub>4</sub>
Hipoclorito de calcio	Ca(OCl) <sub>2</sub>	Bisulfito de sodio	NaHSO <sub>3</sub>
Dióxido de cloro	ClO <sub>2</sub>	Dióxido de azufre	SO <sub>2</sub>
Peroxido de hidrogeno	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Borhidrato de sodio	NaBH <sub>4</sub>
Peroxido de sodio	Na <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Ditionato de calcio	CaS <sub>2</sub> O <sub>4</sub>
Oxigeno	O <sub>2</sub>	Ditionato de aluminio	Al <sub>2</sub> (S <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>
Ozono	O <sub>3</sub>		
Clorito de sodio	NaClO <sub>2</sub>		
Acido peracetico	CH <sub>3</sub> CO <sub>3</sub> H		
Monóxido de cloro	Cl <sub>2</sub> O		
Acido tioglicolico	CH <sub>2</sub> SHCOOH		
Hidrogeno	H <sub>2</sub>		
Permanganato de potasio	KMnO <sub>4</sub>		

Fuente [5]

### 5.3.6.1.- BLANQUEO CON CLORO.

El cloro reacciona con la lignina por sustitución y por oxidación. En la primera, el cloro sustituye el hidrogeno en la molécula orgánica, con formación simultanea de una molécula de acido clorhídrico.



En la oxidación se forma oxígeno elemental, que es susceptible de reaccionar después con la pulpa:



En la reacción se añaden cantidades pequeñas de cloro a los dobles enlaces de la lignina. La cloración normalmente se realiza a consistencia baja (2.5 a 3.5%) para facilitar la disolución y mezclado del cloro gaseoso y disipar el calor de la reacción. Tradicionalmente, la etapa de cloración se realiza con agua fresca de dilución en condiciones ambientales.

Por lo regular las fabricas que utilizan agua fresca realizan la cloración con una temperatura de 20 a 30°C, mientras que las que reusan su efluente operan hasta a 60°C. el tiempo y la temperatura están directamente interrelacionado. Desgraciadamente, la mayoría de las torres de blanqueo existentes de cloración son de tiempo de retención fijo, proporcionando entre 45 y 90 minutos bajo condiciones normales de operación.

### 5.3.6.2.- BLANQUEO CON HIPOCLORITO

El hipoclorito destruye ciertos grupos cromóforos de la lignina y tiene una aplicación limitada para el blanqueo de pulpas de alto rendimiento, donde es importante la conservación del rendimiento de la pulpa. Después de una rápida reacción inicial, el reactivo ataca vigorosamente a la lignina, también la celulosa se ve afectada.

La solución de hipoclorito se prepara por la presencia de cloro en una solución acuosa de hidróxido de sodio o calcio. El cloro se disocia a iones cloruro e hipoclorito de acuerdo a la siguiente reacción:



Debido a su carga negativa, el Ion hipoclorito (ClO) es un núcleo filo, en contraste con el acido hipocloroso (HOCl) y el cloro (Cl<sub>2</sub>) que son electrófilos. En consecuencia el hipoclorito ataca principalmente a las posiciones que tienen carga

positiva, especialmente a los átomos carbono-carbonil y carbones B<sup>-</sup> y g<sup>-</sup> en dobles enlaces conjugados con grupos carbonil y carboxil.

Tales grupos se forman en la lignina durante el proceso Kraft y el preblanqueado. Como resultado de estas reacciones, la lignina se fragmenta a ácidos carboxílicos de bajo peso molecular y posteriormente se disuelve. A consecuencia de la destrucción de los grupos cromofóricos y la disolución de la lignina, se incrementa la blancura de la pulpa.<sup>[2]</sup>

Como en todos los procesos de blanqueo, el tiempo y la temperatura son dos variables relacionadas. El tratamiento con hipoclorito se suele llevar a cabo de 35 a 40°C, con un tiempo de retención de 1 a 2 horas. El control del pH es esencial durante el blanqueo con hipoclorito para proteger la celulosa de la degradación. Normalmente se adiciona un exceso de sosa cáustica a la solución de hipoclorito para asegurar que el pH final sea mayor a 9 unidades.

Recientemente se ha hecho énfasis en la recirculación de efluentes de blanqueo, por lo que ha aumentado el interés por la etapa “hipoclorito en caliente”. Algunas fabricas han encontrado que, con un buen mezclado, el blanqueo con hipoclorito se puede realizar satisfactoriamente a 70°C en menos de 10 minutos. Es esencial un buen control en la dosificación de reactivo puesto que el hipoclorito se consume totalmente.

### **5.3.6.3.- BLANQUEO CON PEROXIDO DE HIDROGENO.**

El peroxido de hidrogeno es un agente de blanqueo no desinfectante, blanquea por oxidación de los grupos cromóforos; es ideal en pulpas con altos contenidos de pasta mecánica. Cuando se trabaja con pasta mecánica, la lignina se oxida y la fibra se amarillenta lo cual la blancura baja.

El peroxido no es eficiente si se usa como agente de blanqueo en el púlper, pues las tintas y cargas reducen su eficiencia, pero si es importante para controlar la presencia de grupos cromóforos, balanceando su formación y destrucción. Para el blanqueo con peroxido es necesario un entorno alcalino para aumentar su eficiencia de acuerdo a la reacción:



EL ANION PEROXIDRILLO (HOO) es el agente de blanqueo activo. Para conseguir el mejor aprovechamiento del peroxido, es importante maximizar la cantidad de HOO. Las opciones son de elevar el pH con sosa, elevar la temperatura, reducir las reacciones de competencia e incrementar la cantidad de peroxido. Las reacciones de competencia son aquellas que también pueden descomponer el peroxido, tales como la presencia de iones de metales pesados como Fe, Cu, Mn.



Se ha identificado que los productos y condiciones de descomposición de peroxido contribuyen a la perdida de blancura de la pulpa virgen, razonablemente puede esperarse un efecto semejante en la pulpa reciclada.

La descomposición del peroxido puede reducirse con la adición de quelantes y silicato de sodio, estos químicos no estabilizan al peroxido por si solo, pero estabilizan el ambiente en el cual trabaja.

Algo importante que se debe tomar en cuenta es el consumo de peroxido, el cual se ve incrementado en la presencia de la sosa, pero la blancura no se incrementa proporcionalmente. Se alcanza un optimo entre 1.3 y 2.5% de peroxido y de 2.0 a 2.5% de sosa, dependiendo del tipo de papel, por debajo de estos valores el blanqueador no funciona adecuadamente, pero cuando la sosa es excesiva el amarillamiento precede sobre el blanqueo y por esto la blancura disminuye.

#### **5.3.6.4.- BLANQUEO CON HIDROSULFITO DE SODIO.**

Dentro de los agentes de blanqueo reductores, el mas utilizado es comercialmente es el hidrosulfito de sodio ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ ). El blanqueo con hidrosulfito regularmente se lleva a cabo a bajas consistencias, encontrándose un optimo 4%, debido a que el hidrosulfito se oxida fácilmente con el aire, una gran parte del hidrosulfito se pierde en esta reacción.

Para darnos cuenta de una idea de la cantidad de hidrosulfito que se pierde por efecto del aire contenido en la pasta observemos la siguiente figura.

En el blanqueo reductivo, el hidrosulfito es oxidado a sulfito de acuerdo a la siguiente reacción:

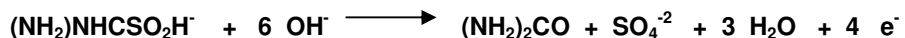


Esta reacción nos indica que puede ser mas eficiente si se incrementa el pH a alrededor de las 9 unidades, pero si observamos en la figura siguiente que hay una discrepancia, ya que el optimo es un pH de entre 5 y 6 unidades, esto se debe a que las estructuras cromóforas reaccionan más fácilmente en condiciones acidas o debido también a que algunos grupos cromofóricos se forman mas rápido en condiciones alcalinas que el efecto hidrosulfito.

Para un blanqueo optimo con hidrosulfito se debe controlar la temperatura, para observar claramente este efecto observemos la siguiente figura.

#### 5.3.6.5.- BLANQUEO CON FAS (ÁCIDO FORMAMIDIN SULFINICO).

En los últimos años algunas plantas están cambiando o integrando como una nueva etapa de blanqueo reductivo al FAS como sustituto de hidrosulfito. La reacción del FAS es la que sigue:



Como podemos observar el FAS se activa con sosa a un grado en el cual el pH final de la reacción de blanqueo queda entre 7 y 8 unidades. Al igual que en los procesos de blanqueo con hidrosulfito y peroxido, la temperatura y el tiempo de reacción son de suma importancia.

En algunas investigaciones de blanqueo Hidrosulfito vs. FAS muestran resultados muy interesantes, principalmente en fibras con alto contenido de pasta mecánica y de coloraciones muy fuertes que con hidrosulfito no se puede blanquear, esto se debe principalmente al poder reductivo (equivalente Redox) mientras que para el hidrosulfito es de 2 eq/mol para el FAS es de 4 eq/mol, solo igualado por el blanqueo por oxígeno.

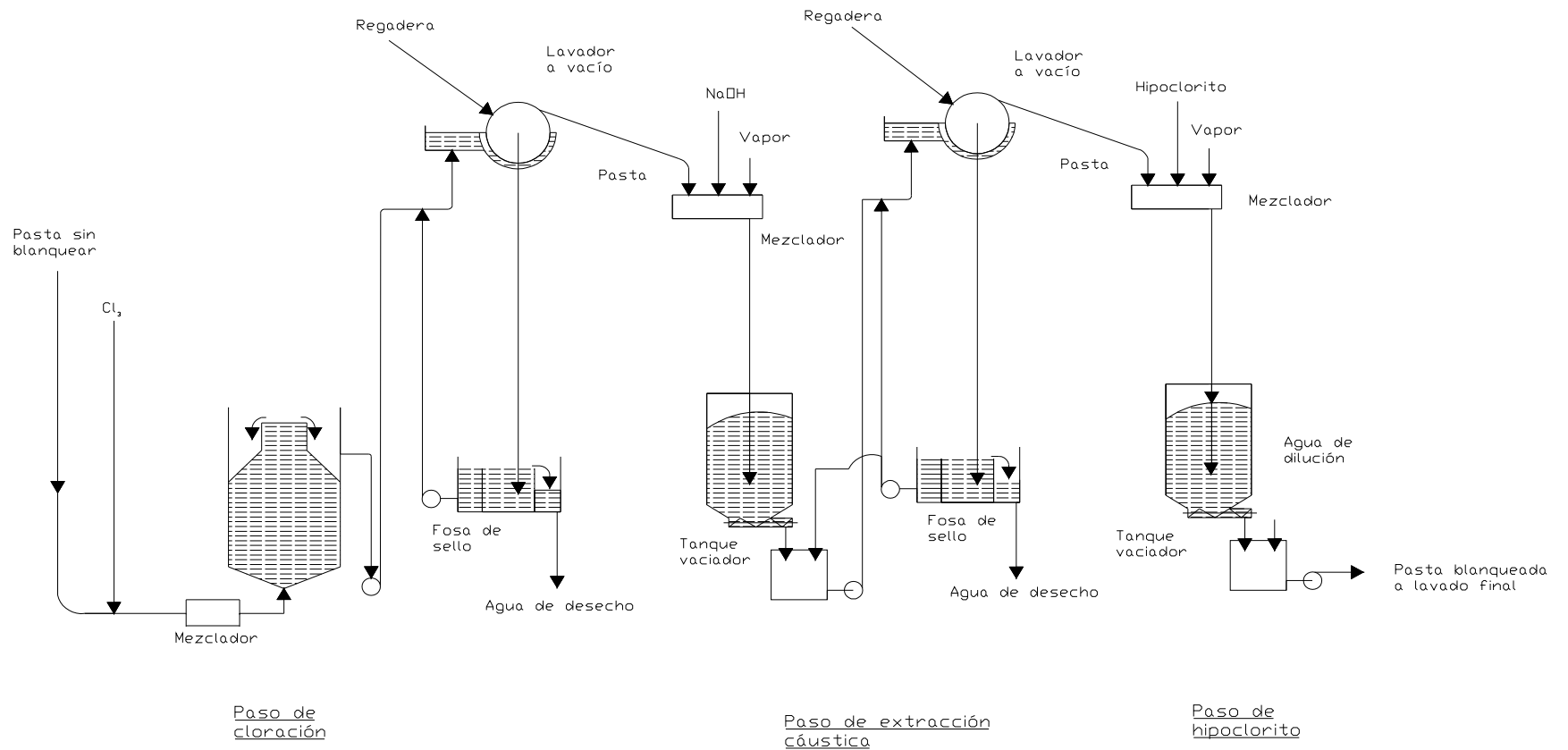
Si bien es cierto que las tendencias en blanqueo se orientan hacia el menor impacto ecológico, ya sea por cuestiones regulatorias o ambientales, el proceso o procesos que se elijan para los diferentes tipos de papel, también deben de tomar en cuenta los riesgos que implican el manejo de todos estos productos químicos.

Podemos decir que las plantas que manejan fibra reciclada, dependiendo de sus necesidades de blancura y limpieza y su fuente de materia prima necesitan de 2 o más etapas de blanqueo, ya sean oxidativas o reeducativas o una mezcla de ambas; para grados especiales como lo son el papel para escritura en ocasiones se requiere hasta de 3 etapas de blanqueo.

Es importante hacer notar que después de una etapa de blanqueo es importante hacer un lavado, ya que se puede ganar hasta 3 puntos de blanqueo adicional solo por realizar el lavado.

En la figura 5.24 se muestra un proceso de blanqueo en tres pasos.





Fuente [5]

FIGURA 5.24 PROCESO DE BLANQUEO EN TRES PASOS.

### 5.3.7.- DISPERSIÓN.

La dispersión es una operación que se emplea en cualquier parte del proceso y es utilizada para la homogenización de la pasta y para la incorporación de químicos en la mezcla, generalmente para el blanqueo.

Funciones y variables de un dispersor:

TABLA 5.7 FUNCIONES Y PARÁMETROS DE OPERACIÓN DE LOS DISPERSORES.

<b>FUNCIONES</b>	<b>PARÁMETROS DE OPERACIÓN</b>
Separación de tintas residuales	Energía específica de dispersión
Reducción de tamaños de partículas de los Stickies	Consistencia de pasta: - Entrada, - Salida
Tratamiento de la fibra (afecta tanto a propiedades físicas como: frenes, resistencia a la tensión y al corte)	Temperatura
Transporte de la pasta	Tipo de rotores o estatores (fillings)
Mezcla de los químicos de blanqueo	Tipo de dispersor (discos o kneader)

Fuente [4]

#### VARIABLES QUE AFECTAN A LA DISPERSIÓN.

- ◆ **CONSISTENCIA:** Se puede tener una dispersión a consistencia media (10 – 14%) y a altas consistencias (25 – 35%).
- ◆ **TEMPERATURA:** Los rangos pueden estar entre 50°C a 90°C. Entre mayor sea la temperatura se obtiene un mejor efecto de dispersión.

Las dos variables anteriores impactan directamente sobre la viscosidad de la pasta.

- ◆ **FUERZAS DE CORTE:** dependen directamente de la velocidad del rotor, así como la velocidad diferencial de velocidad entre el rotor-estator.

#### EFFECTOS SOBRE LA FIBRA Y CONTAMINANTES:

- ◆ **FREENESS:** Disminución.
- ◆ **RESISTENCIA A LA TENSIÓN:** Incrementa.
- ◆ **RESISTENCIA AL CORTE:** Incrementa.
- ◆ **BLANCURA:** Se tiene regresión inmediatamente después de la dispersión. Si se utilizan químicos para el blanqueo se revierte. Aun más cuando la pasa a un sistema de lavado y flotación.
- ◆ **CURLING:** Se ve reducido por el efecto mecánico.

El efecto que tiene la dispersión sobre los contaminantes:

- ◆ **ÁREA SUCIA:** Disminuye conforme incrementa la energía específica, por disminución de tamaño de las partículas como tintas y otros. Se necesita una energía de cerca de 30 kWh/ton
- ◆ **STICKIES:** Reducción en el tamaño y cantidad de los mismos. Disminuyen cuando incrementa la energía específica. Energía necesaria de 60 kWh/ton (kneader 45 a 50 kWh/ton).

En la figura 5.25 observamos bajo microscopio que la dispersión no solo homogeniza la pasta sino que favorece a que las fibras de alineen formando un patrón que facilitará la eliminación de contaminantes.

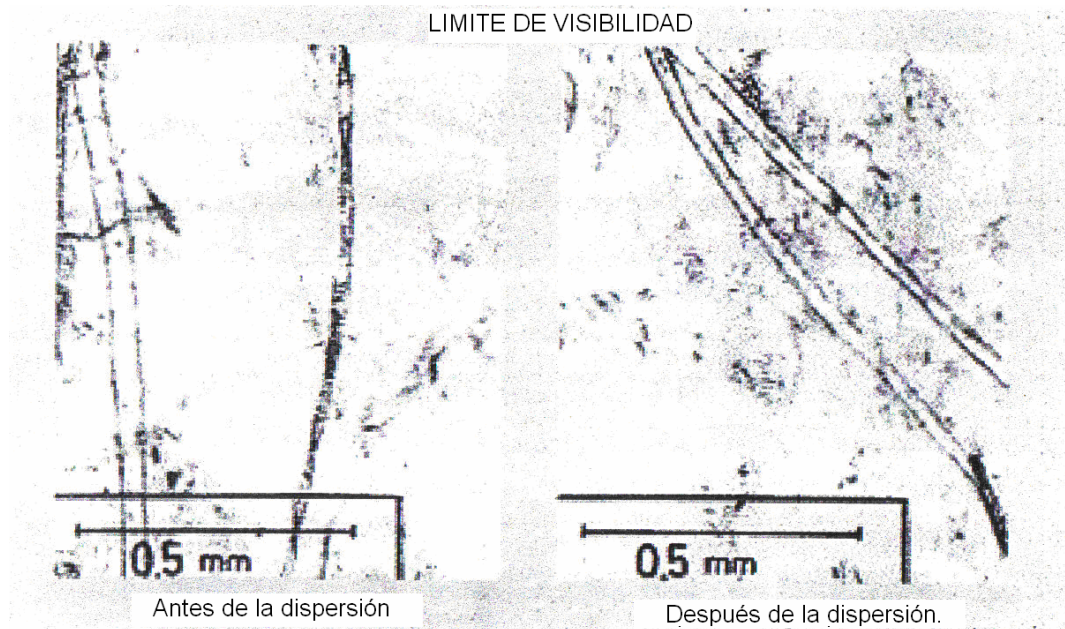


FIGURA 5.25 COMPARACIÓN DE FIBRAS ANTES Y DESPUÉS DE LA DISPERSIÓN.

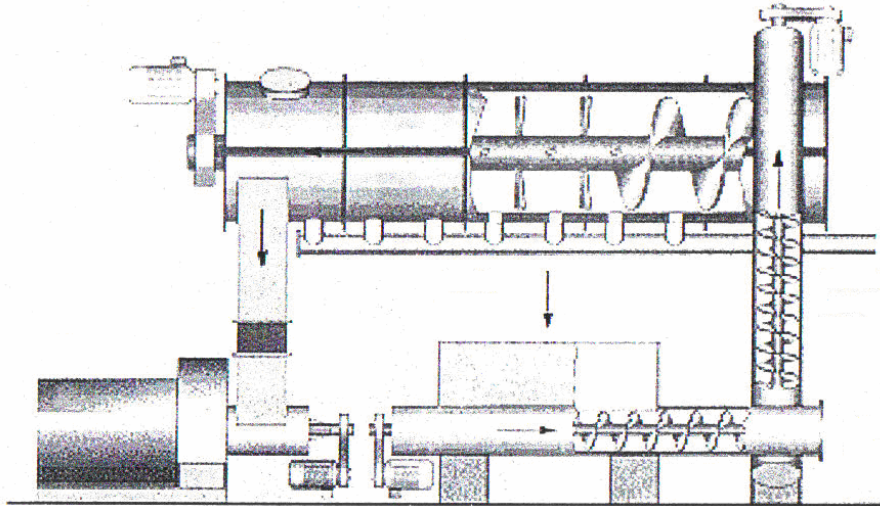
PRINCIPIO DE OPERACIÓN DE UN SISTEMA DE DISPERSIÓN:

SE COMPONE POR LOS SIGUIENTES EQUIPOS:

- ◆ Etapa de prensado o espesado (mediante el uso de prensas de doble tela o prensas de tornillo).
- ◆ Sistemas de tornillos, principalmente compuestos por tornillo desmenuzador, tornillo de transporte (normalmente inclinado y denominado ascendente), tornillo de calentamiento y tornillo alimentador al dispersor.
- ◆ Dispersor discos o kneader.

## APLICACIÓN DE LOS EQUIPOS

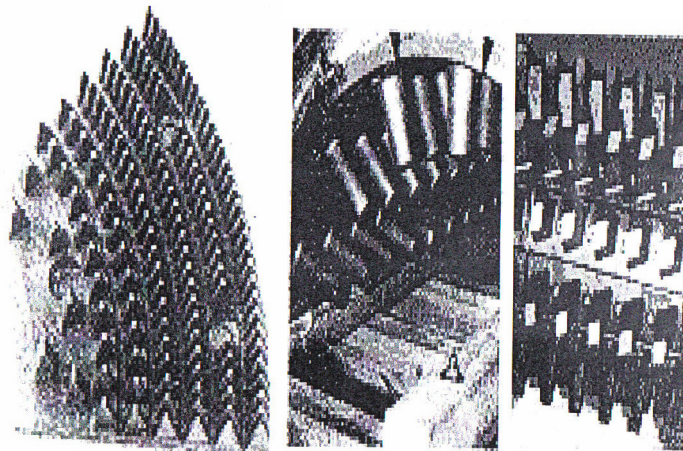
- ◆ Etapa de prensado: Desgotado de la pasta e incremento de la consistencia.
- ◆ Sistema de tornillos:
  - Tornillo desmenuzador: Romper la hoja de fibra que sale de la prensa.
  - Tornillo de transporte o ascendente: Transportar la pasta y sello para evitar salidas de vapor.
  - Tornillo de calentamiento: Transportar, calentar y mezclar (homogenizar).
  - Tornillo alimentador al dispersor: Alimentar al dispersor en forma constante.
  - Dispersor: Dispersar.



Fuente [4]

FIGURA 5.26 EJEMPLO ESQUEMÁTICO DE UN SISTEMA DE DISPERSIÓN...

### TIPOS DE DISPERSORES:

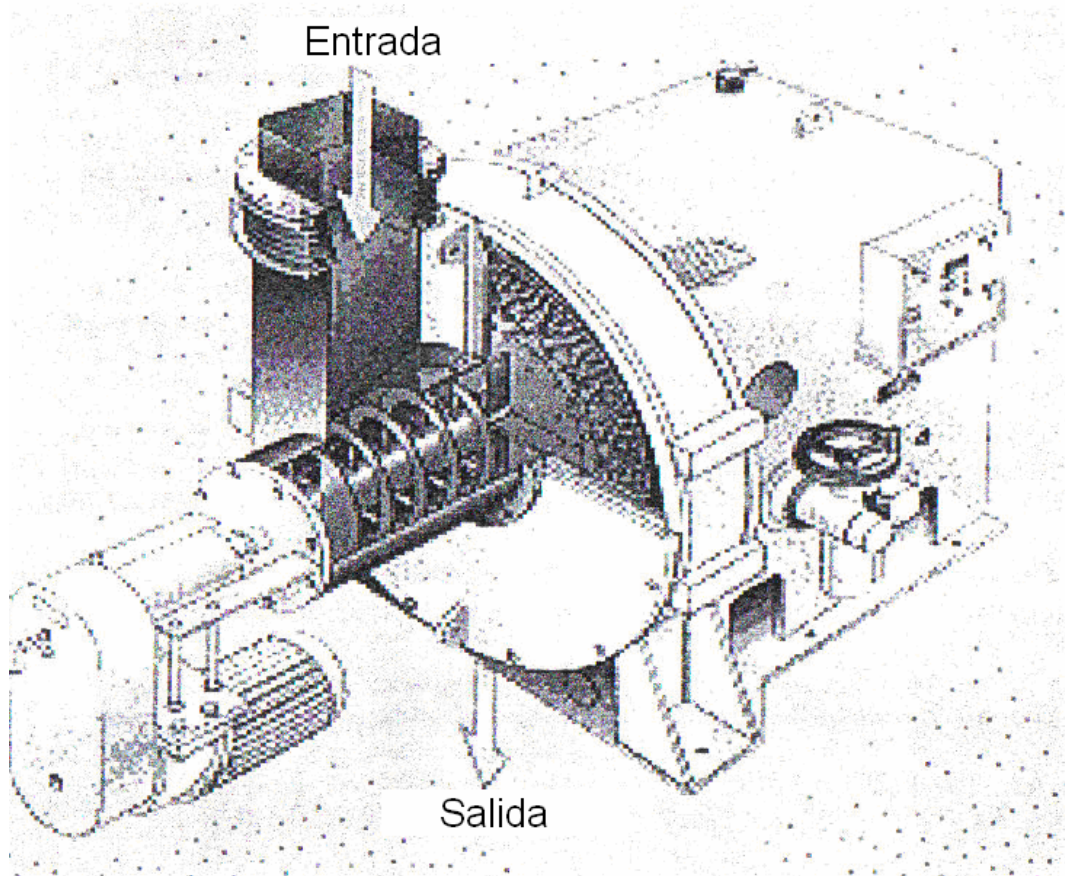


Fuente [4]

FIGURA 5.27 DISCOS DISPERSORES EMPLEADOS EN LA INDUSTRIA PAPELERA.



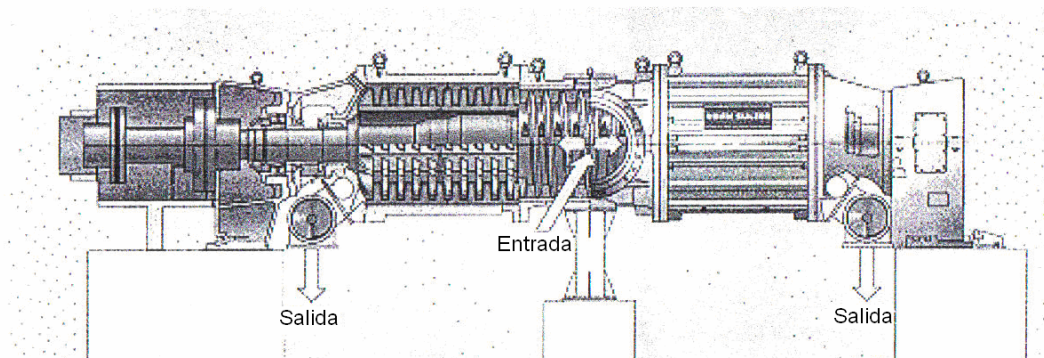
## DISPERSOR HTD



Fuente [4]

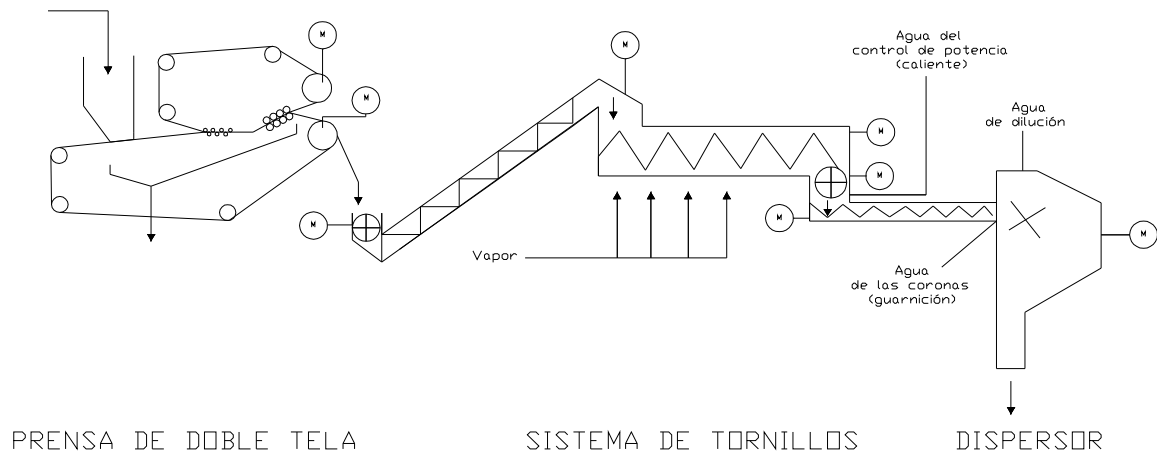
FIGURA 5.28 EJEMPLO DE UN DISPERSOR TIPO HTD (MUY COMUN EN PROCESOS DE RECICLAJO DE PAPEL EN MÉXICO).

## DISPERSOR TIPO KNEADING



Fuente [4]

FIGURA 5.29 EJEMPLO DE UN DISPERSOR KNEADING, DE USO COMUN EN LA INDUSTRIA DEL RECICLAJE DE PAPEL



Fuente [4]

FIGURA 5.30 EN EL ESQUEMA ANTERIOR SE MUESTRA UN SISTEMA COMPLETO DE DISPERSIÓN, ES DECIR LA PRENSA, EL SISTEMA DE TORNILLOS Y EL DISPERSOR

PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO:

**ENERGÍA ESPECÍFICA:** El efecto de la dispersión es mayor con energía específica ,más elevada. Por debajo de los 40 kWh/ton el efecto de la dispersión es suficiente. Por encima de los 200 kWh/ton la pasta se puede quemar o destruirse las fibras. El limite superior viene dado por la potencia del motor instalado. La energía específica absorbida esta influenciada por el flujo de la pasta y la consistencia. Controlar la consistencia para controlar la energía.

**CONTROL DE LA CONSISTENCIA:** Dos formas existentes para realizarlo, controlando la consistencia de salida de la prensa y por adición de agua de control de potencia directamente al tornillo de alimentación al dispersor o en el centro del mismo dispersor.

**TEMPERATURA:** Para lograr un buen efecto de dispersión la temperatura debe estar por arriba del punto de ablandamiento de las partículas adhesivas de la fibra, (normalmente valores de 85 a 95 °C son suficientes). Al pasar la pasta por el dispersor y al absorber la energía, la pasta debe sufrir un incremento de temperatura debido a la alta fricción que tiene lugar.

A menor temperatura las viscosidad incrementa y el consumo de potencia también. Es necesario diluir para controlar la energía específica.

COMPARACIÓN DE UN DISPERSOR KNEADER Y UN DISPERSOR CONVENCIONAL:

Existen sistemas de dispersión que son más eficientes que otros como en todos los equipos, e cuestión de dispersión los Kneader presentan las siguientes ventajas que se deben de considerar para armar un proceso de destinado de papel desperdicio.

**TABLA 5.8 COMPARACIÓN DE DOS DISPERSORES, UNO CONVENCIONAL Y UNO DE MODELO RECIENTE**

<b>KNEADING</b>	<b>CONVENCIONAL</b>
Lugar del proceso en la mitad del sistema, antes flotación y lavado	Dispensor al final del sistema antes del tanque de almacenamiento de fibra limpia
Baja disminución del Freeness	Causa una moderada baja del Frenes
Utiliza un principio de amasamiento que separa las tintas y los contaminantes de la fibra con la subsiguiente remoción, resultado en menor cantidad de tinta residual y mayor incremento de blancura por esta remoción	Utiliza una dispersión mecánica que homogeniza y dispersa la tinta y contaminantes en toda la pasta, resultando con mayor cantidad de tinta residual y menor blancura.
Utiliza una torre de remojo para lograr gran humectación a altas consistencias	No utiliza torre de remojo
Utiliza una combinación de flotación y lavado como equipo subsiguiente	Puede utilizar una combinación de flotación y lavado como equipo subsecuente, aunque enfatiza más en la flotación.
<b>Representa una inversión de alto costo al inicio, pero los costos operativos son bajos y la calidad de la fibra es más alta.</b>	Tiene un costo menor en la inversión inicial, pero altos costos operativos.

Fuente [4]

#### **BENEFICIOS DE UN DISPERSOR KNEADER DE ALTA CONSISTENCIA.**

**TABLA 5.9 AHORROS MEDIANTE EL EMPLEO DE BUENA TECNOLOGÍA EN LOS PROCESOS**

<b>CARACTERÍSTICA</b>	<b>BENEFICIO</b>
Bajo consumo de energía	Ahorro de costos
No corta la fibra. Cambio muy pequeño en el freeness	Minimiza el daño a la fibra.
Baja formación de finos	Provee mayor rendimiento.
Mezcla efectivamente los químicos de blanqueo	Elimina la necesidad de un mezclador adicional
Efectiva desfibración de enlaces de fibras para una mejor capacidad de hinchamiento de la misma	Ayuda en la formación en la máquina de papel
<b>Máxima remoción de tintas</b>	Permite el uso de mixed office waste, incluyendo impresiones láser.

Fuente [4]

## **CAPITULO 6: PRINCIPALES MÉTODOS DE PRODUCCIÓN DE PÚLPA APARTIR DE FIBRAS SECUNDARIAS.**

### **6.- PRINCIPALES MÉTODOS DE PRODUCCION DE PULPA APARTIR DE FIBRAS SECUNDARIAS.**

En general la producción de PULPA mediante el empleo de fibras secundarias se hace por los dos siguientes métodos:

- ◆ Un método puramente mecánico.
- ◆ Un método químico-mecánico.

#### **6.1.- METODO MECANICO.**

En este punto haremos una descripción del método mecánico. Caben mencionar que el proceso siempre comienza con una reclasificación del material recolectado, sin importar todavía el método a emplear, no solo para conducir el material por el método adecuado, si no para poder separar los materiales contaminantes como papel revestido con plástico, resortes y hules, etc., lo anterior se debe a que es necesario que la materia prima se encuentre en un estado de material desfibrado, esto es que las fibras se desunan lo más posible del entorno de donde se encuentran.

Esto es mediante el empleo de desbaratadores, cernidores y separadores centrífugos, por lo que una gran parte del material recuperado se desfibra y se emplea sin tratamiento químico. Como se ha visto no todo el papel de recolección necesita pasar por un proceso de tratamiento químico, es decir que aquí papel que no tenga impurezas como impresiones, ni tintes es el que se exenta del paso del pre-tratamiento químico.

Posteriormente de recolectar y reclasificar el papel desperdicio, pasamos al desfibrado sin adición de reactivos, produciendo así una pulpa que es destinada para producción de ciertos tipos de papel, después se pasa a un tanque de almacenamiento de pulpa gris y esta pulpa se descarga en tanques de almacenamiento, se pasa por una etapa de lavado, depurado de gruesos y otro de finos para volverse a lavar en donde posteriormente se almacena la pulpa morena.

El proceso anterior puede llevarse al cabo de manera intermitente o continua, o si bien es necesario en una combinación de los dos anteriores.



### 6.1.1.- ETAPAS QUE INVOLUCRA EL PROCESO MECANICO.

Esta son las etapas y el diagrama de flujo para este método:

1.- Recolección de papel desperdicio.- Es practicada en grandes urbes, donde se presenta la mano de obra necesaria y suficiente para este trabajo y en donde en general el tonelaje es bastante grande para que la operación sea costeable.

Debemos no perder de vista que este material es un sustituto de la pulpa de madera, es decir que el costo de esta materia se fija en función del costo de la fibra virgen.

2.- Reclasificación.- como se había comentado consiste en el reacomodo de los materiales para destinar al proceso los que no necesitan pre-tratamiento químico de los que si.

3.- Desfibrado.- Se trata de separar las fibras individualmente para que no se aglomeren y formen bolas de pasta, lo cual no siempre se logra mediante el desfibrado, pero los haces de fibras o bolas de pasta son retenidos en el desfibrador hasta que son dispersos de manera tal que pueden continuar en las placas de la descarga.

El desfibrado se logra más eficientemente empleando refinadores, los cuales fraccionan las fibras acorde a los requerimientos del proceso.

4.- Almacenamiento de pulpa gris.- consiste en tener un Stock o inventario de material ya desfibrado, cocido o lavado. Es muy importante que la materia prima que se contiene en estos depósitos se agite continuamente, para asegurar un homogenización del mismo.

Mediante estos tanques aseguramos dos funciones, en fabricas que emplean batidores, estos depósitos convierten la operación por batch en operación continua hacia la maquina productora de papel y además son reguladores del suministro de material.

5.- Lavado a vacío.- generalmente este proceso es a contracorriente y en varios pasos. Los métodos designados para el lavado se fundamentan en el principio de purgar el agua por presión, alejándola del material por medio de un depurador.

Para esta etapa se emplean grandes cantidades de agua, pero debe existir un buen control en esta etapa, ya que un lavado excesivo provocaría mermas en la fibra y por otro lado una pulpa no lavada adecuadamente se tornara oscura al agregarle alumbre, por motivo de que se precipitan las impurezas suspendidas en las fibras.

Nos vemos sin embargo a determinar el tipo de lavado mediante la disposición de agua, el sistema de manejo de los Líquidos efluentes y las limitaciones de la inversión inicial.

En operaciones continuas se emplean los lavadores al vacío, teniendo una alta capacidad productiva. Es sumergida en un tambor las suspensión de la pulpa, aplicando

vacío a la parte sumergida, haciendo que las fibras sean depositadas en la superficie exterior al mismo tiempo que el tambor gira.

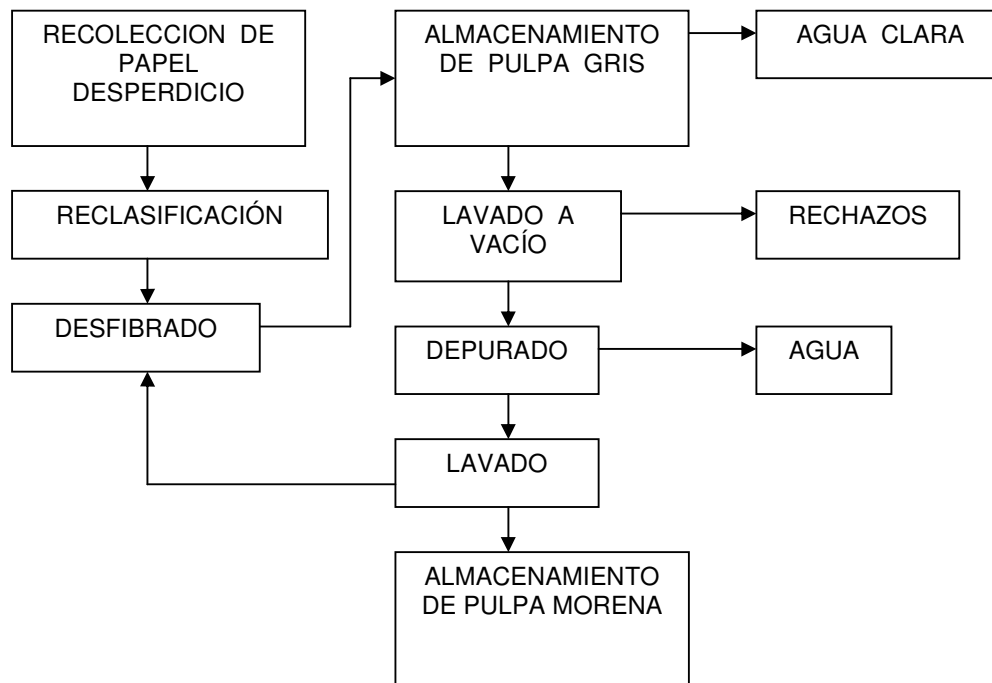
Aplicamos vacío mediante una válvula giratoria para eliminar la salida de tinta, agua y arcilla.

6.- Depurado.- Es empleado para proveerle una limpieza al material antes o después del lavado utilizando depuradores a presión con pequeños agujeros o ranuras.

Generalmente la depuración es hecha en placas de acero inoxidable con ranuras de 10 a 12 milésimas de pulgada, en depuradores de tipo plano o centrífugo. En cualquier caso al menos un 10% de la suspensión se debe pasar por un depurador secundario con placas de acero inoxidable, con ranuras de 8 a 10 milésimas de pulgada.

7.- Lavado

8.- Almacenamiento de pulpa morena.



Fuente [1]

FIGURA 6.1 DIAGRAMA DE FLUJO DEL METODO MECANICO.

En procesos en los que se emplean papel desperdicio para la producción de papel destino consumidor tenemos variantes en el proceso y método mecánico.

### 6.1.2.- VARIANTES DEL PROCESO MECÁNICO.

Estas variantes se sujetan a un sin numero de variables al depender directamente del tipo y calidad de materia prima, equipo disponible, condiciones de operación y requerimientos del proceso.

Por otro lado es posible enmarcar el proceso de producción de papel a partir de fibra secundaria en las etapas mencionadas con anterioridad y partiendo de ahí dar alternativas y variantes.

Estas etapas generales son:

- ◆ Acondicionamiento de la pulpa o pasta.
- ◆ Elaboración del producto.

En la etapa de elaboración del producto, las variaciones o alternativas no son tan tangibles, ya que en las sub. etapas de proceso ya se definen muy específicamente los requerimientos y servicios, puesto que la función primordial es la formación de las hojas del papel con la eliminación del agua empleando etapas de prensado y secado para llegar al acabado necesario del producto terminado.

Es en la etapa de acondicionamiento de la materia prima en donde tenemos oportunidades, ya que es aquí donde se le aporta un tratamiento químico-mecánico, el cual se dará en función de la preparación de la pulpa para obtener el producto necesario.

Debemos tener en cuenta que la cantidad de energía consumida en la producción de pulpa con fibras secundarias sea lo más baja posible. La cantidad de pulpa obtenida a partir de papel desperdicio, mediante un sistema bien diseñado, es de primordial importancia para tener la flexibilidad de emplear diferentes proporciones pulpa virgen contra pulpa secundaria y dar los requerimientos específicos y necesarios de producto terminado.

Enseguida presentamos los sistemas de producción de pulpa de tipo secundario que se encuentran disponibles en la actualidad:

- ◆ Producción de pulpa con baja densidad Black Clawson (LIP).
- ◆ Sistema de tipo turbo separador Voith-Morden.
- ◆ Sistema Beloit-Jones Belcor.
- ◆ Sistema Fiberizador Escher Wyss.

#### **6.1.2.1.- SISTEMA BLACK CLAWSON.**

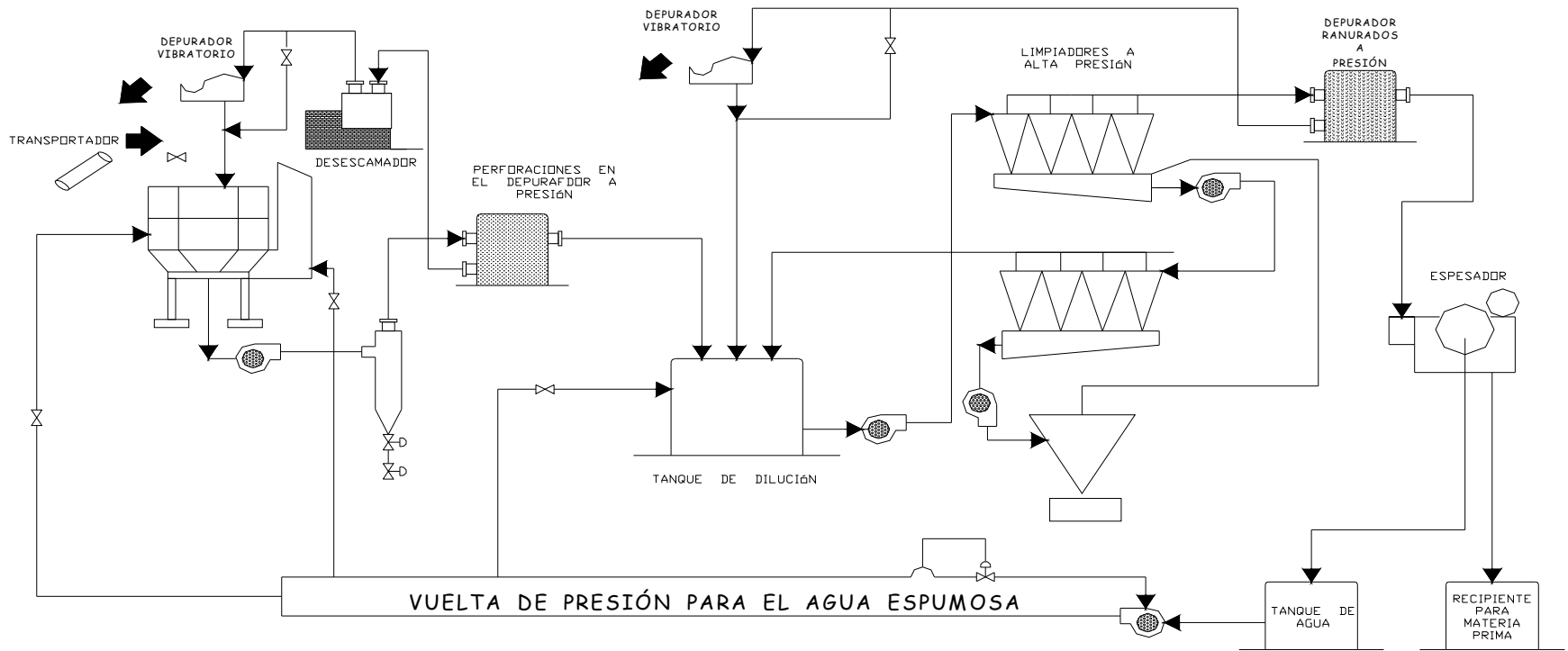
Este sistema es empleado para procesar la fibras secundarias, en el que se requiere un mínimo de energía en la entrada y por ende su costo es bajo.

Este sistema opera en forma continua, dependiendo de la extracción por los orificios y solo se requieren de 18 a 20 kWh por tonelada de desfibrado.

Dicho sistema lleva al cabo una eliminación continua de cuerdas y trapos y la caja de basura se encarga de eliminar los contaminantes pesados, los cuales resultan demasiado grandes para pasar por los orificios de la placa de extracción.

Posteriormente el material entra en un cernidor a presión equipado con perforaciones de 0.2 a 0.3 cm. accionado por 225 Kw. con una consistencia del 4%, el flujo de rechazos con una consistencia aproximada del 5%, pasa a un desfibrador, el cual esta formado por una maquina con juego de separación ajustable, diseñada para manejar la gran cantidad de trozos no desfibrados presentes en el papel y los contaminantes.

El flujo de rechazos continua hacia una criba vibratoria equipada con perforaciones de 0.47 a 0.95 con consistencia del 3%, el material aceptado por la criba se vuelve al productor de pulpa y se eliminan los rechazos ligeros.



Fuente [5]

FIGURA 6.2 PROCESO MECÁNICO BLACK CLAWSON.

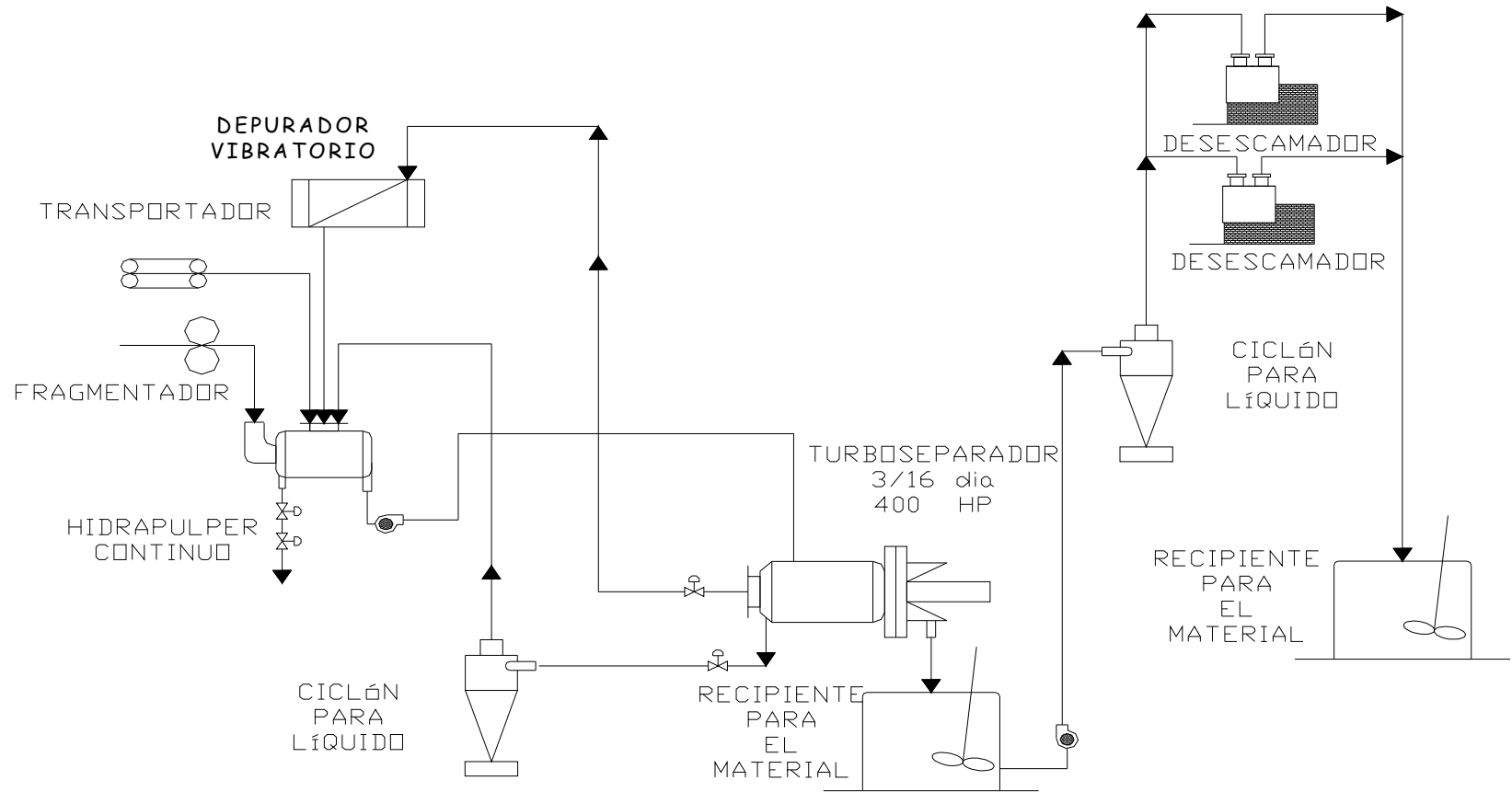
### 6.1.2.2.- SISTEMA VOITH-MORDEN.

En este sistema contemplamos los siguientes equipos:

- ◆ Un desbaratador.
- ◆ Un turbo separador.
- ◆ Un limpiador a alta presión.
- ◆ Un cernidor vibratorio.

En tal sistema se diseño para la operación continua y se encarga de eliminar los contaminantes pesados como los ligeros con una perdida mínima de fibras utilizables. Lleva al cabo la suspensión en agua, así como la limpieza de la fibra, por lo que no requiere aplicar flujo abajo un cernido o limpieza adicionales.

Se opera a consistencia de 3 a 4% y requiere aproximadamente 36 Kw./h por tonelada producida.



Fuente [5]

FIGURA 6.3 PROCESO MECÁNICO VOITH MORDEN COMPANY.

### **6.1.2.3.- SISTEMA BELOIT-JONES BELCOR.**

Este sistema es un híbrido y combina la limpieza y el desfibrado utilizado para una extracción continua. El material que sale del hidrapúlper es enviado de manera continua y en forma tangencial a la unidad Belcor. Su función consiste en cernir las piezas de tamaño intermedio, plásticos y de papel resistente a la humedad; además de suprimir cualquier metal pesado como las abrazaderas para papel y las grapas que no hayan sido separadas en el limpiador, observando en el diagrama los rechazos ligeros se descargan por la salida central (2), situada frente al rotor. El flujo de rechazo puede controlarse mediante una válvula de mano (3) o por la presión a la entrada. Los rechazos se ciernen en un depurador vibratorio (4) y se vuelven de nuevo al productor de pulpa. El material aceptado es descargado mediante una placa perforada de extracción situada tras el rotor (5).

La unidad Belcor es entonces una segunda etapa de pulpeo. Su capacidad de desfibrado es de 9 a 18 kWh por tonelada producida.



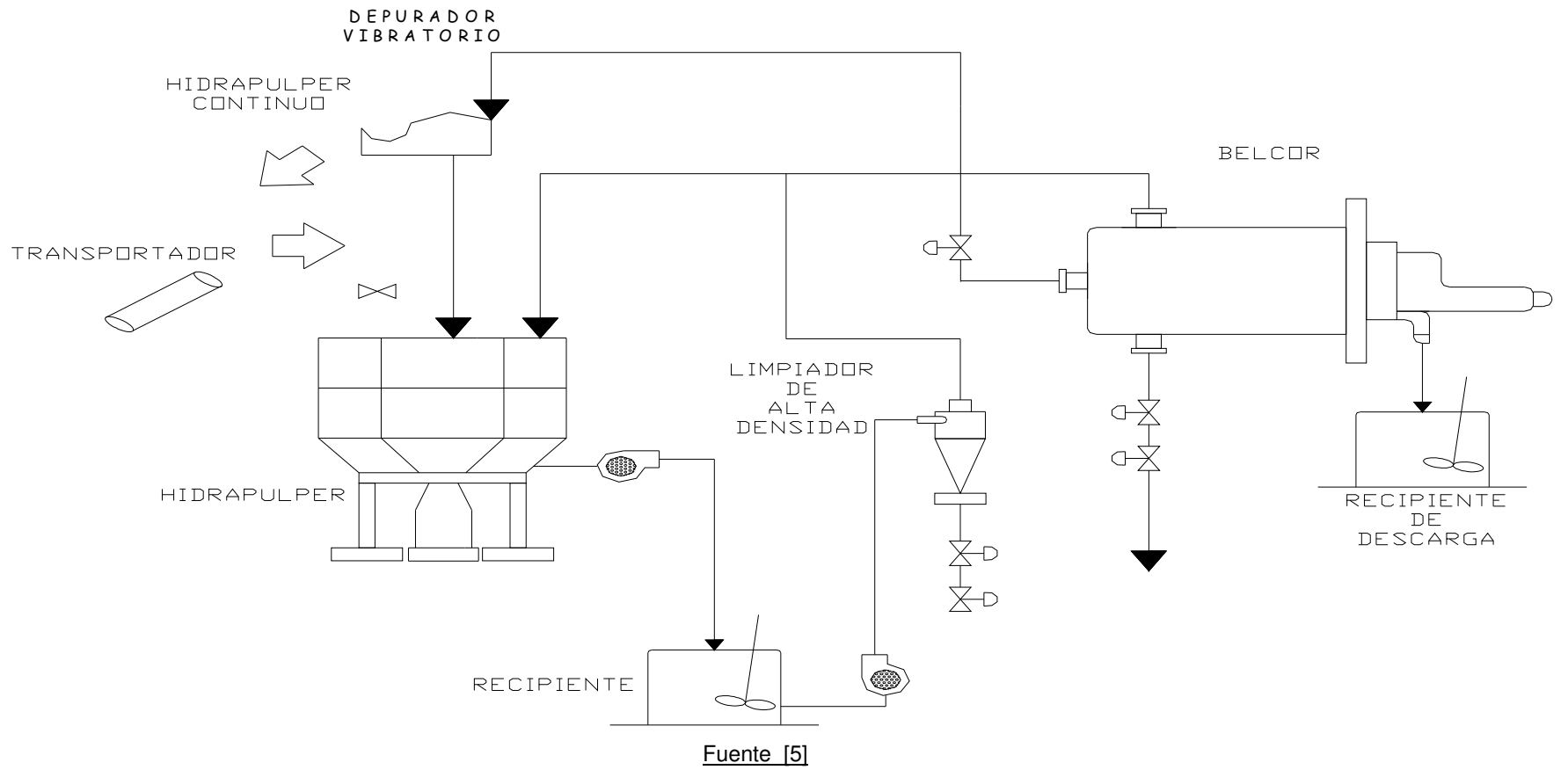
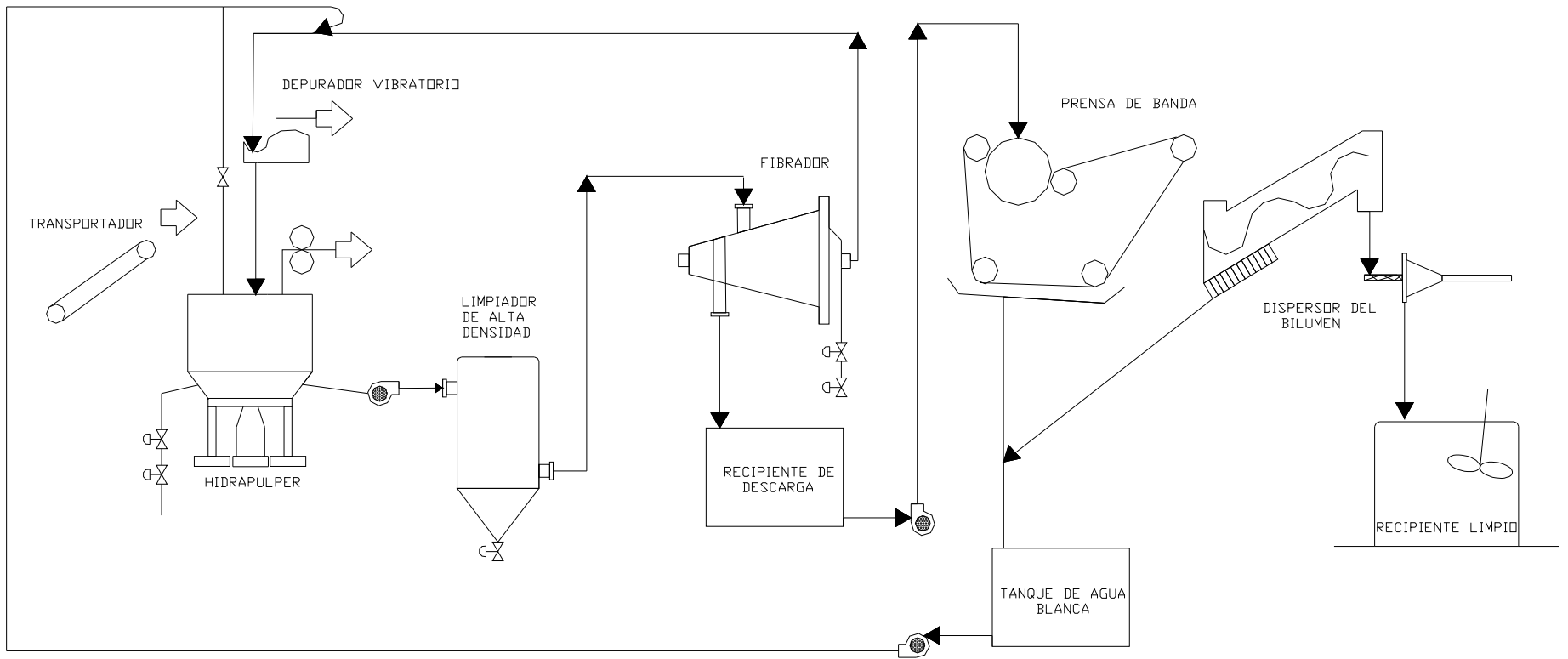


FIGURA 6.4 SISTEMA MECÁNICO BELOIT-JONES.

#### **6.1.2.4.- SISTEMA FIBERIZADOR ESCHER WYSS.**

Es ideado para separar los contaminantes presentes en el papel de desperdicio a la salida del "hidrapúlper". En el fiberizador se encuentran combinadas las funciones de separación centrífuga, de cernido y desfibrado.

Al observar el diagrama, el material penetra en el fiberizador mediante una entrada tangencial situada en el alojamiento cónico (1) posteriormente el material aceptado sale por la placa cernidora (2). El material con alto porcentaje en su contenido de contaminantes ligeros se retira de manera intermitente por la salida situada al centro de la tapa (3), los contaminantes pesados se reúnen bajo la acción de la fuerza centrífuga en la trampa para basura, la cual se encuentra situada al fondo de la unidad (4) y se hacen caer automáticamente a intervalos determinados. Los contaminantes de peso ligero, tales como el poliestireno y las laminas se expelen intermitentemente mediante una válvula de control hacia un depurador vibratorio (5).



Fuente [5]

*FIGURA 6.5 PROCESO MECÁNICO ESCHER WYSS.*

## **6.2.- METODO QUIMICO-MECÁNICO DE PRODUCCIÓN DE PULPA CON FIBRAS SECUNDARIAS.**

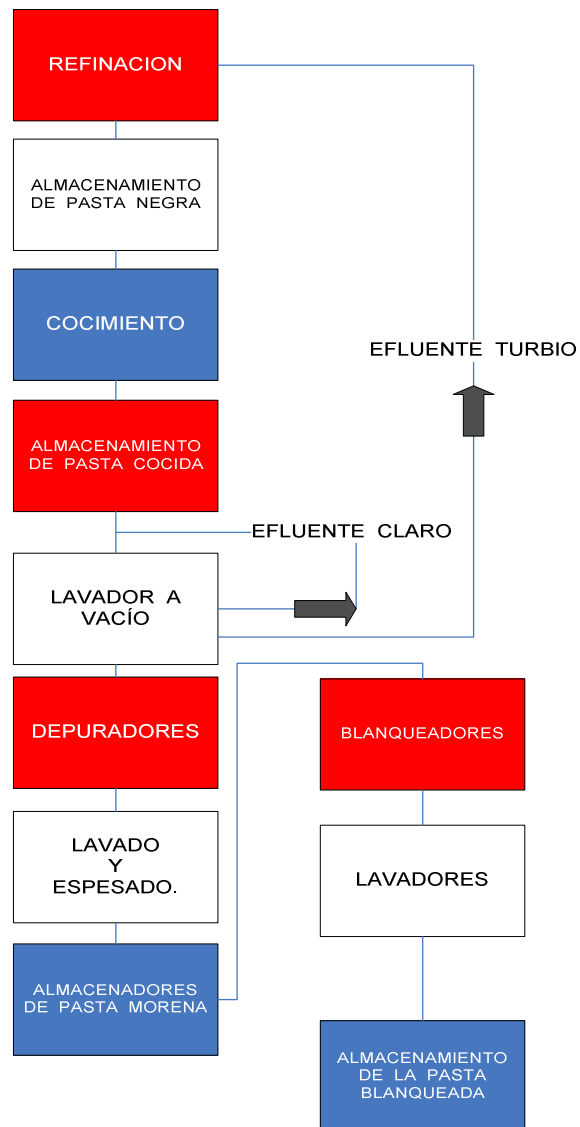
En el método químico combinado con mecánico se emplean reactivos en la etapa de producción de pulpa para eliminar la tinta así como otros contaminantes.

### **6.2.1.- DESCRIPCIÓN.**

También en este método se comienza con la recolección de la materia prima como lo es el papel desperdicio el cual como ya se ha tocado el tema proviene de diversos lugares y fuentes, llegando a su vez a la planta en diversas presentaciones ya sean bolsas, pacas o sacos pasa a una reclasificación y selección para dejarlo en las condiciones más óptimas para su ingreso al proceso.

Una vez de esta reclasificación y de retirar los contaminantes de mayor tamaño se continúa pasando la materia prima a una pila de batido o un tanque que se le denomina como “tanque hidratador” para la separación de las fibras o de plano hasta llegar a su desintegración, es en este punto en donde por medio de hidratación y agitación constante es separada la unión entre la fibra y fibra ya existente.

Para que tengamos una desintegración satisfactoria necesitamos hacer pasar el producto que viene del primer paso de la separación de fibras a un segundo paso más estricto para que tengamos la certeza de que no hayan quedado nudos o trozos de papel sin separar, siendo este en un desfibrado en el cual se trata de un rotor y un estator con espacios reducidos y fijos entre ellos y en donde al pasar por la separación, se somete la materia prima a una elevada fuerza de separación que rompe cualquier trozo de papel o bola de fibra que no se haya separado aún.



Fuente [1]

**FIGURA 6.6 DIAGRAMA DEL MÉTODO QUÍMICO MECÁNICO DE PRODUCCIÓN DE PULPA.**

Enseguida se tiene la etapa del destintado, en donde se emplean agentes químicos y se es retirada la tinta que trae consigo la pulpa para que inmediatamente después se le de un tratamiento de blanqueo, en el que se emplea hipoclorito de sodio, cloro y sosa cáustica para dar el aspecto blanco a la pulpa.

Por ultimo se pasa por una serie de lavadores de manera tal que se puedan eliminar las tintas y los productos químicos que pudiese retener aun la pasta.

## 6.2.2.- FASES DEL MÉTODO QUIMICO-MECANICO.

### DESTINTADO:

En el destintado se tiene que tomar cuidado con ciertas variables como la misma materia prima, equipo, requerimientos de proceso y condiciones de operación.

El destintado tiene como finalidad la de eliminar la tinta del papel desperdicio en el cual nos basamos por los siguientes pasos:

- 1.- Aflojar la tinta disolviéndola por medios químicos,
- 2.- Eliminar la tinta presente en la pulpa mediante un lavado mecánico.

Las sub-etapas sujetas a esto son:

- ◆ Desbaratado por medio de productos y reactivos químicos.
- ◆ Cocimiento.
- ◆ Limpieza y depuración.
- ◆ Lavado.
- ◆ Eliminación de agua y espesado.

En cuanto al DESBARATADO EN PRESENCIA DE PRODUCTOS Y REACTIVOS QUIMICOS, tenemos que es una etapa dentro del proceso de la fabricación del papel en donde como el nombre lo especifica de manera obvia se somete la materia prima a la hidratación de las fibras en un desfibrador denominado HIDRAPÚLPER, en el que gracias al trabajo mecánico se produce una agitación turbulenta donde se provoca la separación de las fibras.

Se comprende como necesario el emplear las fibras lo suficientemente hidratadas y separadas, para que esto sea capaz de lograrse es empleado un tiempo considerable de residencia y agitación.

Esta pasta desfibrada se pasa a un tanque que someterá a la misma a un proceso de refina para provocarle una separación individual mas fina de las fibras, dándole así el tamaño y longitud necesitado y deseado de las mismas, en este tanque son adicionadas ciertas sustancias químicas importantes para adquirir características que de antemano se requieren del producto.

De manera general el destintado se lleva al cabo con álcali, más sin embargo en veces se emplean detergentes y agentes dispersantes como los aceites sulfonados, bentonita, metasilicato de sodio o pentahidrato de silicato y otras sustancias activas en combinación con el álcali, ya que es importante la presencia de un álcali para saponificar el barniz o el vehículo de la tinta de impresión.

Un detergente ayuda en la humectación del pigmento de la tinta, también es necesario un dispersante para impedir la futura reaglomeración de las partículas del pigmento una vez que estas queden liberadas del papel y un agente absorbedor que junte los pigmentos e impida que se vuelvan a depositar sobre la fibra.

En la eliminación total o parcial de la tinta se involucran cuestiones como el grado de la pulpa blanca que se desee obtener, la función del álcali en el destintado tiene por objeto dos cosas:

- 1.- Eliminar la absorción de colofonia de papel.
- 2.- saponificar el vehículo de la tinta liberando de esta el pigmento.

En cuanto al tipo y calidad de álcali requerido para el destintado dependerá del tratamiento mecánico, de la temperatura y duración de la cocción, empleándose principalmente el carbonato de sodio y el hidróxido de sodio en general a 4% como licor de cocción.

El reactivo más importante para esta fase de destintado se debe de entender que es la sosa cáustica, la cual es empleada en muchas ocasiones como único agente en el destintado y en otras ocasiones se combina ya sea con carbonato de sodio, silicato de sodio y/o peróxido de sodio.

La concentración de reactivos a emplear se expresa generalmente sobre la base de papel desperdicio, comúnmente empleando soluciones al 3% de sosa, aunque en realidad esto dependerá de la consistencia de la pasta, por ejemplo el 3% de sosa cáustica sobre papel de desperdicio al 4% de consistencia, probablemente sería menos efectivo que el 3% de sosa al 8% de consistencia, de aquí la importancia de conocer la concentración de los reactivos como de la consistencia de la pasta.

Pasando al COCIMIENTO, es donde se somete a la pasta a un calentamiento a base de vapor en recipientes como lo son los hervidores rotatorios, pilas de batido o refinadores.

Para la cocción continua se han propuesto los desfibradores a alta consistencia en estas condiciones los problemas encontrados difieren algo de los que se hallan en la cocción común a baja consistencia, uno de los problemas mas significativos es la considerable economía tanto de calor como de reactivos, sin embargo, tiene como desventaja una agitación limitada, acciones de corte y emulsificantes sumamente reducidos.

En algunos aspectos, la operación intermitente simplifica el control del proceso y la calidad final, hace posible la dosificación directa de reactivos y de papel desperdicio permitiendo una cocción extra cuando la calidad del producto se requiera.

En la LIMPIEZA Y DEPURACION se trata de un proceso de manera centrifuga al convertir la presión en velocidad, se permite que se aplique la fuerza centrifuga necesaria para la separación de la tinta de la pulpa.

De esta manera se puede emplear una ultra depuración que no es mas que una depuración mas estricta, la cual consiste en un depurador centrifugo de alta consistencia y en donde la pulpa se somete a una fuerza centrifuga y a un contra flujo que provoca que las partículas mas pesadas que la fibra, se depositen en el fondo del equipo, es decir que las grapas. Las arenas, etc., se posicionan en el fondo del equipo, logrando así una pulpa dentro de especificaciones indispensable para pasar a las siguientes etapas.

En la fase de LAVADO se efectúa basándose en el principio de purgar el agua o eliminarla por presión, retirándola del material mediante un depurador.

Los resultados se dan en función del grado en el que la tinta se encuentre dividida y dispersada en el material. Los lavadores típicos eliminan cerca del 85% de la tinta presente en el material.

Según la teoría es posible repetir el lavado hasta retirar un 99% de la tinta, pero esto no es practico ni aplicable comercialmente, ya que las partículas de tinta son bastante grandes y tienden a quedar atrapadas en las fibras durante la etapa de lavado, o bien las partículas de tinta vuelven a situarse sobre la superficie de la fibra.

En la ELIMINACION DEL AGUA Y EL ESPESADO, es una especie de lavado por flotación consistente en una celda o tanque, un agitador de velocidad, un rebosador para eliminar la espuma, una pala mecánica para suprimir el batido y una tubería de descarga para pasar el material hasta la celda siguiente en la líneas de flotación.



El agitador a alta velocidad produce un vacío parcial, que a su vez obliga al aire a entrar en el sistema y mezclarse con la pulpa formando así pequeñas burbujas de aire convirtiéndose en espuma al llegar a la superficie.

A medida que las burbujas de aire cargadas de tinta llegan a la superficie, pasan a una cámara separada mediante una paleta giratoria de dos brazos que logra la eliminación de un volumen uniforme de espuma. La espuma se retira de las celdas primarias y se pasa mediante una bomba a las celdas secundarias donde la tinta sigue concentrándose.

Por su parte las fibras pasan de las unidades secundarias a las celdas primarias. El agua procedente del centrifugo pasa al sistema efluente y las fibras se espesan.

Cuando en el BLANQUEO el material destintado y bien lavado va por adquirir blancura adecuada, blanco azulado, hasta gris opaco, si es que se emplean diversos papeles mezclados.

Puede emplearse peróxido en la operación de cocción para mejorar la blancura de la pulpa, particularmente cuando están presentes papeles de madera molida.

También pueden emplearse el peróxido como agente blanqueador después de la cocción y combinarla con monóxido de sodio al 33% y 1.25% de peróxido de hidrogeno y en el caso de blancuras mayores se emplea hipoclorito de sodio.<sup>[2]</sup>

## **CAPITULO 7: ELABORACIÓN DEL PRODUCTO.**

### **7.- ELABORACION DEL PRODUCTO.**

Después de obtener la pulpa por cualquiera de los métodos antes descritos que son la boca de entrada dentro de la elaboración del papel. Una vez teniendo la pulpa dentro del tanque de refinación, adicionarle las sustancias químicas necesarias para darle las características deseadas al papel como producto terminado, lo que vendrá a ser colorantes, encolantes, cargas, etc.

En este punto es necesario mantener una agitación adecuada a la pulpa, para que exista una correcta homogenización de cada uno de los aditivos antes mencionados y se este en condiciones optimas para empezar con las etapas de la elaboración del producto.

#### **7.1.- DILUCIÓN DE LA PASTA.**

Como lo especifica su nombre se trata de proporcionar a la pasta la consistencia de la clase de papel a procesar, es necesario pasar la pasta por un equipo de depuración mecánica consistente en una criba con barrenos de menor diámetro que la menor de las cribas, la cual tiene la función de quitar aquellas partículas que no se han podido retirar con los equipos de depuración anteriores y se finaliza con un sistema de depuración centrifuga misma que quita por completo los contaminantes y da la máxima limpieza a la fibra.

#### **7.2.- FORMACION DEL PRODUCTO.**

Con la pasta en optimas condiciones se pasa a un tanque, el cual descarga a la caja de formación, que no es más que un recipiente que tiene la función de descargar la pasta en forma laminar sobre todo el ancho de la tela de la mesa de formación, en donde con un movimiento transversal da una mejor distribución de la fibra sobre la tela, pasando esta a su vez por una serie de rodillos desmotadores (rodillos que con la fuerza que aplican sobre el producto se alcanza a eliminar algunas motas del mismo), los cuales eliminan el agua en forma natural, pasando a continuación dentro de la misma mesa de formación en una máquina llamada FOURDINIER sobre rodillos

con succión y cajas de succión, las cuales son sistemas de eliminación de agua por vacío mecánico, eliminando así al máximo el agua que trae consigo la fibra.

### **7.3.- PRENSADO DEL PRODUCTO.**

Después de haber realizado la formación del producto se lleva al cabo el prensado del mismo. El prensado se logra haciendo que la HOJA DE PAPEL (antes pasta o pulpa) pase primero por un rodillo de succión, el cual va a eliminar la mayor cantidad de agua posible, enseguida pasara a un rodillo plano, mismo que tiene la función de comprimir la hoja. Quedándose así un mínimo de contenido de agua, ayudando a que vaya tomando las características necesarias y acercándose a lo que se quiere como producto final.

### **7.4.- SECADO DEL PRODUCTO.**

En esta parte del proceso que es tan importante como cada una de las anteriores mencionadas con detalle, se trata de hacer pasar la hoja de papel por un equipo de intercambio de calor, generalmente estos secadores son rodillos en donde inyectan vapor al producto eliminando así el agua que aun contengan las fibras y obteniendo así que el papel salga con un mínimo porcentaje de humedad.

### **7.5.- ACABADO DEL PRODUCTO.**

Después del secado del producto, pasará a una sección de calandrias en la que el producto adquirirá una característica más, la que se le denomina satinado.

El satinado depende de la clase de papel que se fabrique, inmediatamente después el papel será enrollado para proceder a ser pasado a la sección de embobinado, en la cual se le dará el acabado final según las especificaciones de nuestro cliente.

Como ultimo paso, este producto final se pasara a la sección de embarque o almacén de producto terminado, lugar de donde le será enviado a nuestro cliente.

## 7.6.- TIPOS DE PAPELES FABRICADOS CON PAPEL DESPERDICIO.

El ejemplo de papel desperdicio ha aumentado en forma rápida en años recientes. Parece que esta tendencia continuara a medida que se promulguen leyes que favorecen el uso de papel desperdicio.

El ejemplo de fibra secundaria puede ser componente redituable de una preparación de papel. Se emplea con éxito en la producción de papel de empaque, de envoltura, cartón Liner, médium de corrugación y diversos grados de cartón de cajas plegables: de hecho, es posible la fabricación de papeles mas finos como los de escritura, siempre y cuando las condiciones de operación tanto de limpieza, destintado y blanqueo sean mas estrictas.

El tipo determinado de papel que se vaya a producir y la cantidad de fibra reciclada que se vaya a usar en el, determinan el numero de equipos necesarios en nuestro sistema y en nuestra planta.



Fuente [12]

*Figura 7.1 ROLLOS DE PRODUCTO*

## **CONCLUSIONES.**

Como se podrá corroborar por parte de ustedes se han cumplido los objetivos impuestos para este trabajo, ya que presentamos procesos empleados en las papeleras más importantes de este País, para la producción de papel a partir de fibra secundaria o de desperdicio, obteniendo papel para empaque y en otros caso papel de calidad superior.

Cabe destacar que como ya se comento el papel desperdicio al ser un material fibroso sustituye a la madera para ciertos tipos de pulpa, lo cual desde el punto de vista ecológico representa un gran alivio para la deforestación, haciendo más racional el empleo de los bosques como fuente de madera, optimizando así los insumos que se necesitan en la industria de este rubro y conservando así nuestras áreas verdes.

A lo largo de este trabajo se adentró sobre los procesos que hay en la industria mexicana y sobre todo el trabajo de logística que debe haber para obtener la materia prima, que es el papel desperdicio y la selección que debe hacerse para obtener un producto muy rentable, a pesar de todo existen muchas oportunidades en este rubro, debido a las necesidades inherentes que existe en el desarrollo de las ciudades de nuestro país.

Por lo tanto queda claro que es imperante el ejercer un uso responsable de productos de consumo diario proveniente de fuentes no renovables o difícilmente renovables. En nuestro caso se habló en concreto de procesos, pero el tema del reciclaje es basto ya que las plantas que emplean fibra secundaria y reciclan el agua mediante tratamiento químico pueden eficientizarse y abatir sus costos de energía prácticamente a la mitad, y colateralmente están contribuyendo a tener un consumo moderado de las fuentes maderables en nuestro país.

## **BIBLIOGRAFÍA:**

1. Casey, J. P., *Pulpa y Papel, Química y Tecnología Química*, Vol. I, 3ª ed., Editorial Limusa., México, D.F., 1990
2. Libby, C. E., *Ciencia y Tecnología Sobre Pulpa y Papel*, Tomo I; Cia. Editorial Continental, S. A. de C.V., Madrid, 1967
3. *Memoria Estadística*, Cámara Nacional de las Industrias de la Celulosa y del Papel (CNICP), México D.F., 2006.
4. Viruete, J.A., *Equipo de Destintado (Reciclado de Papel)*, Simposium Internacional de Destintado, Asociación Técnica de la Celulosa y el Papel (ATCP), México D.F., Enero 1997.
5. Turrado, S.J., *Aspectos Químicos del Destintado*, II Simposium Internacional De Destintado, Asociación Técnica de la Celulosa y el Papel (ATCP), México D.F., Abril 2000.
6. Turrado, S.J., *Stickies*, II Simposium Internacional De Destintado, Asociación Técnica de la Celulosa y el Papel (ATCP), México D.F., Abril 2000.
7. Sorenson D. *Envioiremental Concerns, Economics Drive Paper Recycling Technology*, Pulp and Paper, v.64, n.3, March 1990.
8. De Verka, A. *Economics Favor Increased Use Of Recycled Fiber In Most Furnishes*, Pulp and Paper, v.64, n.9, September 1990.
9. Turrado, S.J., T.F. Fuentes, C.A. Saucedo, P.J. Rivera, C.R. Ramírez, *Estado Del Arte En El Manejo De Papel Desperdicio Como Materia Prima Fibrosa*, ATCP, (XLI)-6,15/Diciembre/2001, pp. 44-53.
10. Turrado, S.J., Saucedo, C.A., Sanjuán, D.R., *Pasivacion De Contaminantes Adhesivos En Pasta De Fibra Reciclada*. Investigación y Técnica del Papel, (40)-150, 20/Mayo/2005, pp. 122-126.
11. *Directorio de Socios*, Cámara Nacional de las Industrias de la Celulosa y del Papel (CNICP), México D.F., 2005.
12. [www.papelnet.cl](http://www.papelnet.cl)