

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y MANUFACTURERA



**“ESTUDIO TÉCNICO – EXPERIMENTAL DE LA OBTENCIÓN DE
PULPA DE PAPEL A PARTIR DE PAPEL RECUPERADO Y DISEÑO
DE PLANTA”**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO QUÍMICO

PRESENTADO POR:

CLARA MARINA TURRIATE MANRIQUE

LIMA - PERÚ

2002

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mis padres:
Alejandro y Marina quienes no pudieron
compartir esta satisfacción.

A mi hijo **Santiago Alexander**, por la
paciencia demostrada durante el tiempo
empleado

AGRADECIMIENTO

Por el apoyo constante y desinteresado un reconocido agradecimiento a los ingenieros: Rafael Chero R., Ubaldo Apaza H. y Walter Zaldivar.

De la misma manera agradezco en forma muy especial, a los Ingenieros Flavio Alvarado Maldonado y Juan Turriate Manrique, por la confianza y apoyo que siempre me brindaron durante todo el tiempo que duró la ejecución de la tesis. Finalmente, también quiero hacer extensivo mi reconocimiento al Sr. Víctor Rojas y a todas las personas que laboran en los Laboratorios y Dependencias de la Facultad de Ingeniería Química, quienes de una u otra manera me ayudaron a culminar con éxito este trabajo.

INDICE

	Descripción	Página
I	INTRODUCCION	1
II	ESTUDIO DE LA MATERIA PRIMA	4
2.1	Aspectos generales del papel	4
2.2	Características del papel	5
2.2.1	Ensayos de carácter general	6
2.2.2	Ensayos de resistencia mecánica	7
2.2.3	Propiedades superficiales	8
2.2.4	Propiedades químicas	8
2.3	Clasificación de los papeles de acuerdo a su uso	9
2.3.1	Papeles para documentos y escritura	9
2.3.2	Papeles para impresión	9
2.3.3	Papeles para embalaje.	9
2.3.4	Papel sanitario	9
2.4	Distribución y fuentes principales de recolección de papel	9
2.5	Estructura y composición química de las fibras celulósicas	10
2.5.1	Condiciones para su uso	11
2.5.2	Aplicaciones de las fibras secundarias	12
2.6	Tintas	12
2.6.1	Definición	12
2.6.2	Clasificación de las tintas	13
III	ESTUDIO DEL PRODUCTO	15
3.1	Generalidades	15
3.2	Propiedades y ensayos de pulpas	15
3.2.1	Objetivos de los ensayos	16
3.2.2	Ensayos de pulpas	16

3.3	Descripción del componente principal de la pulpa de papel recuperado (celulosa)	19
3.3.1	Características físicas y químicas de la celulosa	19
3.4	Usos de la celulosa	21
IV	ESTUDIO DE MERCADO DE PAPEL, CARTONES Y PULPA	22
4.1	Descripción del subsector	22
4.1.1	Delimitación	22
4.1.2	Articulación con otros sectores	22
4.1.3	Principales líneas de producción y productos	22
4.2	Estructura subsectorial	23
4.2.1	Importancia relativa	23
4.2.2	Consumo intermedio y valor agregado	24
4.2.3	Empleo	25
4.2.4	Número de empresas, concentración por tamaño y ubicación	25
4.2.5	Mercados y principales empresas	26
4.3	Desempeño del subsector	27
4.3.1	Evolución de la producción	27
4.3.2	Principales productos	28
4.3.3	Utilización de la capacidad instalada	29
4.3.4	Comercio exterior	29
4.4	Inversión	33
4.4.1	Inversión nacional	33
4.4.2	Inversión extranjera	34
4.5	Estudio de mercado de papel bond	35
4.5.1	Estudio de la demanda	35
4.5.2	Estudio de la oferta	37
4.6	Reciclaje de papel	42
V	TECNOLOGIA DEL PROCESO	45
5.1	Introducción	45
5.2	Tecnología de obtención de pulpa de papel de reciclaje	46

5.2.1	Principales procesos de manufactura de pulpa de papel de reciclaje	46
5.2.2	Celdas de flotación.	53
5.3	Tecnología de destintado por flotación	53
5.3.1	Principio de la flotación por espuma	53
5.3.2	Mecanismo de flotación	54
5.3.3	Reactivos de flotación	57
5.3.4	Variables que afectan a la flotabilidad	63
5.3.5	Cinética de flotación	64
5.4	Etapas del proceso de destintado por flotación	67
5.4.1	Desintegración y desprendimiento de la tinta	67
	5.4.1.1 Productos Químicos	68
	5.4.1.2 Condiciones de operación en el pulper	70
5.4.2	Flotación	72
VI	ESTUDIO EXPERIMENTAL	75
6.1	Materia prima	75
6.2	Equipos usados en el laboratorio	75
6.2.1	Preparación de papel	75
6.2.2	Repulpado e hidratación	75
6.2.3	Flotación	76
6.2.4	Espesado	76
6.2.5	Secado	76
6.2.6	Vistas fotográficas de los equipos	76
6.3	Dosificación y selección de reactivos	76
6.3.1	Reactivos utilizados en el pulper	76
6.3.2	Reactivos utilizados en el proceso de flotación	77
6.4	Pruebas de laboratorio	77
6.4.1	Objetivos específicos	77
6.4.2	Metodología de trabajo	77
6.5	Parámetros de operación utilizados	79
6.5.1	En el pulper	79

6.5.2	Flotación	80
6.5.3	Muestreo	81
6.6	Resultados obtenidos	81
6.7	Diagrama de flujo del proceso experimental	83
VII	BASES PARA EL DISEÑO DE UNA PLANTA INDUSTRIAL	84
7.1	Descripción del proceso industrial de obtención de pasta de papel de reciclaje	84
7.1.1	Materia prima	84
7.2	Procedimiento industrial de fabricación	85
7.2.1	Etapas del proceso	85
7.3	Balance de materiales y diagrama de flujo del proceso	90
7.4	Diseño de los principales equipos (Capacidad de planta: 20 t/d de pulpa de papel)	91
7.4.1	Equipos de proceso	91
7.4.2	Equipos auxiliares	105
7.4.3	Servicios	105
7.5	Localización de planta	105
7.6	Manejo ambiental	105
7.6.1	Generalidades	105
7.6.2	Identificación de Impactos Ambientales	106
7.6.3	Disposición de los relaves y contaminación de las aguas	107
7.7	Higiene y seguridad industrial	107
VIII	ANÁLISIS ECONÓMICO	109
8.1	Inversiones y financiamiento	109
8.1.1	Inversiones	109
8.1.2	Financiamiento	109
8.2	Costo total de fabricación del producto	110
8.3	Costos fijos y costos variables	110
8.4	Ingresos	110
8.5	Estados financieros y proyectados	110

8.5.1	Estado de ganancias y pérdidas	110
8.5.2	Flujo de caja	111
8.5.3	Balance	111
8.6	Evaluación económica	111
8.6.1	Beneficios	112
8.6.2	Costos	112
8.6.3	Rentabilidad económica	112
8.7	Evaluación Financiera	112
IX	CONCLUSIONES Y RECIOMENDACIONES	113
9.1	Conclusiones	113
9.2	Recomendaciones	116
X	BIBLIOGRAFIA	117
10.1	Textos y manuales	117
10.2	Revistas y patentes	118
XI	ANEXOS	120

ESTUDIO TECNICO EXPERIMENTAL DE LA OBTENCION DE PULPA DE PAPEL A PARTIR DE PAPEL RECUPERADO Y DISEÑO DE PLANTA

I.- INTRODUCCION

La industria de pulpa, papel y cartón en el Perú ha ido evolucionando a través de los años, pero el ritmo de crecimiento no está de acorde con la demanda existente de materiales fibrosos, lo que un autoabastecimiento de éstos significaría un gran ahorro de divisas al país. Actualmente, la industria papelera importa grandes cantidades de pulpa química blanqueada de madera, para la fabricación de papel, generando salida de divisas. En el Perú la industria de papel siente cada vez más la carencia de materiales fibrosos, pues sólo cuenta con la pulpa de bagazo a partir de la caña de azúcar como única fibra para papel.

En los últimos años, a nivel mundial, sólo la industria del cartón ha sido el principal consumidor de fibras secundarias o reciclado; sin embargo debido a los elevados costos de la fibra virgen y disminución en el ritmo de reposición de los recursos forestales, es que ahora se hace más económico, reutilizar el reciclado para la elaboración de diversas clases de cartones y papeles.

En estos tiempos hay un mayor número de fabricantes de papel incorporando fibras secundarias en la composición de sus productos acabados, situación que implica mayor demanda de papel de deshecho.

El aprovechamiento del papel de desecho para la fabricación de papel para impresión y escritura es importante como sustituto directo de la pulpa química blanqueada de madera, debido a la gran demanda y poca oferta del papel de desecho blanco; se utiliza papel de desecho impreso, pero para mantener la misma calidad es necesario realizar el proceso de destintado.

En la actualidad existen dos métodos: destintado por lavado y destintado por flotación ó procesos híbridos, siendo el destintado por flotación el que permite

obtener pasta destintada con mejores propiedades para la fabricación de papel para impresión y escritura.

En la actualidad se estima que en muchos países hay una relación de fibra virgen con reciclados de 1:1. Además, la legislación en algunos países, como EE.UU, Suiza, Holanda y Japón, ha dado por resultado la recolección centralizada y la clasificación del reciclado, lo que favorece el aumento, disponibilidad y variedad de clases de fibras secundarias, apareciendo a la vez la necesidad de instalar nuevas fábricas de papel con reciclado. De la producción de papel en el país, el 40% corresponde a una producción con reciclado, destinado a la elaboración de diversos productos, sin embargo hay una carencia de fibra larga, insumo fibroso indispensable para la elaboración de papeles Kraft, etc. Cada año se importa este insumo mayormente de Chile, Canadá, Brasil, Nueva Zelanda o Sud Africa, originando un elevado egreso de divisas.

Por lo expuesto, es que urge una solución a la escasez de pulpa celulósica, siendo una buena solución para las condiciones del Perú, el uso de fibras secundarias.

En la industria de papel, para favorecer el consumo de reciclado, se precisa de información sobre el comportamiento de las fibras para conocer las características de este insumo en el producto final. Otras ventajas de estas fibras son la de disminuir los costos de producción y un mejor control en la eliminación de desechos sólidos.

En el Perú, no hay mucha información sobre los diversos tipos de fibras recicladas y su clasificación, la información que se genera debe servir para un mejor tratamiento de la fibra durante el proceso y aprovechar las cualidades que aún brinda.

OJETIVOS

- El objetivo general del presente trabajo es obtener un proceso tecnológico de destintado de papel reciclado, para la obtención de pulpa celulósica a partir de papel de desecho impreso.

- El objetivo específico es obtener una pulpa de papel en óptimas condiciones, que permita la fabricación de papel, ya sea sólo o mezclada con pulpa química blanqueada virgen.

IMPORTANCIA

En cualquier empresa de papel el problema de abastecimiento de celulosa a través del tiempo es fundamentalmente económico, de allí que se trate de buscar productos que sustituirán en parte a la demanda de celulosa importada.

Uno de los mayores egresos de divisas del país lo representa la pulpa importada. La tendencia mundial de fuentes de celulosa es a partir de madera, y esta tiene un crecimiento lento que necesita una gran inversión. Los línteres, los residuos de algodón y los desechos de papel son interesantes como recursos fibrosos. La producción de pulpa a partir de desechos de papel estaría destinada para la fabricación de papeles de impresión.

La producción de pulpa a partir de desechos de papel impresos permitiría un ahorro de divisas, es decir sustituir importaciones de pulpa química blanqueada, dar utilidad a los desechos naturales (desperdicios) de nuestro país, y al mismo tiempo generar mano de obra, en una época en la que la oferta de mano de obra es cada vez mayor.

II.- ESTUDIO DE LA MATERIA PRIMA

2.1 Aspectos generales del papel

El papel es una lamina delgada, obtenida de la unión íntima de materias fibrosas principalmente celulosa, previamente disgregadas y mezcladas o no con otras sustancias, para posteriormente ser ordenadas, comprimidas y resecadas. El cartón es exactamente lo mismo que el papel pero más grueso.

El papel es una de las materias primas más necesarias en la vida moderna, requerido por la variedad de sus usos; entre muchos otros, podemos citar el caso de los miles de hojas de papel que circula a nivel de bancos o instituciones financieras, igual en el caso de libros, controles, papel para envoltorios, etc. De ellos podemos deducir la inmensa cantidad de bosques maderables o especies vegetales que en el mundo proveen diariamente de recursos celulósicos a las fábricas de papel y cartón.

Giovanni Papini, destacado autor literario italiano llegó a expresar "que si las fábricas de papel cierran, la civilización quedaría paralizada". Sin embargo el papel es la materia más frágil que existe, la humedad, el fuego, la polilla y otros factores lo pueden desechar, destruir en cuestión de minutos o años, desapareciendo por tanto ideas, convenios, discursos, himnos, dibujos y cuanto en él se hubiera plasmado, sin importar cuan valiosos o útiles hubieran sido tales documentos.

La incorporación de las fibras secundarias al proceso de fabricación del papel, es una estrategia que se ha venido utilizando desde hace décadas; las noticias referentes a la utilización del papel de desecho datan del siglo XVII en Dinamarca, mientras que la primera publicación sobre destintado del papel viejo, aparece en Alemania en 1 774 y la primera patente sobre destintado en Inglaterra en 1 800. Sin embargo no fue hasta la aparición de la máquina de papel, inventada a finales del siglo XVIII y perfeccionada a largo del siglo XIX, que el papelote empezó a utilizarse en gran escala para la fabricación del papel.

El papel reciclado es la materia prima (celulosa) que ha cumplido con su función después de haber satisfecho las necesidades del usuario, se le denomina papelote, pero también corresponde a varios nombres: papel de recuperación, papel viejo, fibras de

celulosa recuperadas, fibras reveladas, etc. Últimamente se ha producido un renovado interés en la utilización del papel de recuperación, cuyas principales causas son:

- a) **Económicas.-** El papel de recuperación como materia prima es más barato; esta ha sido la razón principal por la que los papeleros se han interesado en este material desde hace años.
- b) **Falta de espacio en los vertederos.-** El papel y cartón constituye el residuo aprovechable de mayor volumen y peso de todos los contenidos en los residuos sólidos urbanos (basura doméstica). En EE.UU el 40% del contenido en las basuras es papel, en Europa el 30% y en España el 20%. La falta de espacio en los vertederos ha sido el motivo que impulsó en los EE.UU resolver este problema para la recuperación del papel. Se estima que el costo de eliminar el papelote de la basura doméstica es de alrededor de 120 millones de US\$. Mediante información estadística, el 82 % del papel fabricado es a base de fibras de celulosa recuperadas, y en el caso de cartón ondulado producido, 60% están hechos exclusivamente de papelote.
- c) **Ecológicas.-** La materia prima para la industria papelera es la pasta de papel que generalmente proviene de los árboles. Aunque la industria de pulpas para papel es considerada como generadora de bosques, algunos lo han presentado como uno de los principales agentes de su destrucción. Motivados por esta propaganda, cierto número de consumidores desean utilizar papel reciclado. Al reciclar el papel se evita el derroche de este y la contaminación que pudiera causar los desperdicios del papel; además la conservación del patrimonio forestal, ya que un árbol destinado a la industria papelera tarda una media de 20 años en crecer.
- d) **Legislación.-** Algunos países tales como EE.UU, Suiza, Holanda y Japón han introducido en su legislación la obligatoriedad de que algunos tipos de papeles se fabriquen con una cierta proporción de fibras recicladas. Se debe utilizar el papel hasta sus límites a fin de no despilfarrar recursos. El reciclado de fibras de celulosa, hoy en día es superior a cualquier otra materia prima industrial de reciclado.

2.2 Características del papel

La amplia diversidad de calidad de papel y sus propiedades necesitan una multiplicidad de métodos de ensayo. Algunas propiedades son importantes para todas las calidades

(p.e. gramaje, espesor). La mayor parte de las propiedades que determinan la utilidad del papel no son físicamente absolutas. Por consiguiente, la medición de la propiedad depende del equipo o instrumento utilizado y de los detalles del procedimiento de ensayo. Se pueden distinguir varios tipos de ensayos: ensayos de carácter general, propiedades mecánicas y de resistencia, propiedades superficiales y propiedades químicas.

2.2.1 Ensayos de carácter general

- a) **Aspecto físico.**- Quizás una de las cualidades más importantes que el papelerero debe cuidar al elaborar un papel es el aspecto físico de éste; ya que es el medio más inmediato de conquistar el mercado. Aunque no existe una relación efectiva entre las resistencias mecánicas y su aspecto físico, es indudable que ambas cualidades se deben tener en cuenta durante la fabricación. Una de las condiciones que más influencia tiene en el aspecto físico del papel, es la formación, con este término se designa la manera de expresar la uniformidad con que las fibras y demás componentes de la hoja se distribuyen sobre la tela donde se forma el papel; es una propiedad que se aprecia examinando un papel visualmente, observando por transparencia. No existe una norma que especifique como determinar la formación; y solo la experiencia del observador puede determinar si el papel tiene buena o mala formación.
- b) **Humedad.**- Para determinar la humedad se somete al papel previamente pesado a estufa a 100-105 °C durante 30-50 minutos hasta peso constante. La humedad es de vital importancia, si se tiene en cuenta que las propiedades mecánicas, son función de la humedad del papel, y ésta a su vez de la humedad del medio ambiente.
- c) **Gramaje (Peso base).**- Expresa el peso de papel por unidad de superficie, generalmente se emplea el sistema métrico, expresándose entonces en gramos por metro cuadrado. La importancia del gramaje es tal que se considera una propiedad común a todos los papeles, sea cual sea el uso que se destine.

- d) **Espesor.-** El espesor o calibre del papel se determina por medio de un micrómetro, y es la distancia perpendicular entre dos superficies paralelas planas.
- e) **Blancura - color.-** El término blancura se aplica a todos los papeles blancos o casi blancos. La blancura y el color del papel se determinan tomando lecturas de reflectancia para las longitudes de onda de luz apropiadas, normalmente con un espectrofotómetro. La blancura se mide como el valor de reflectancia (con relación a un patrón de óxido de magnesio) en la región azul del espectro visible, específicamente a una longitud de onda de 457 nanómetros.
- f) **Opacidad.-** Es una medida de la dificultad de la luz a atravesar un papel. Se calcula en general, como la razón de contraste entre el valor de la reflectancia de una sola hoja apoyada sobre una superficie negra no reflectante (fondo negro) y la de una pila de hojas del mismo material.

2.2.2 Ensayos de resistencia mecánica

- a) **Resistencia a la tracción.-** Se determina midiendo la fuerza requerida para romper una tira estrecha de papel cuando la longitud de la misma y la velocidad de carga están perfectamente especificadas.
- b) **Resistencia al reventamiento.-** Se determina sujetando una muestra de papel sobre un diafragma de goma, al que se aplica una presión a una velocidad específica y midiendo el valor correspondiente de la rotura. Los valores de esta propiedad nos indican la dureza o la forma como el papel cede.
- c) **Resistencia al desgarro.-** Se determina utilizando un péndulo de caída para continuar el desgarro ya iniciado, en una muestra de papel; la pérdida de energía (medida por la altura de la oscilación del péndulo) está relacionada con la fuerza requerida para continuar el desgarro.
- d) **Resistencia al plegado.-** Este ensayo tiene por finalidad determinar el número de dobles pliegues que puede soportar una banda de papel, bajo tensión constante, antes de romperse.

- c) **Rigidez.**- Se mide por la fuerza requerida para combar una tira de papel a través de un ángulo especificado.

2.2.3 Propiedades superficiales

- **Rugosidad Superficial (Lisura).**- Se suele medir por el flujo de aire que se produce a través de un anillo metálico en contacto con el papel.
- **Permeabilidad al aire (porosidad al aire).**- Se determina con el mismo instrumento, midiendo el caudal de aire a través de un área conocida de papel.

Cuadro 2.1: Norma Itintec: Requisitos de pruebas para diferentes clases de papeles

Tipo de Papel	Gramaje g/cm ²	Porosidad c/100 cc aire/seg	Longitud de rotura, m	Indice de reventamiento KPa m ² /g	Indice de rasgado g	Indice de blancura %
Bond 60	60	40	4000	13	30	81
Bond 80	80	80	4000	13	30	81
Toalla	50	-	1500	10	80	76
Servilleta	28	-	-	-	-	-
Periódico satinado	60	120	2500	10	50	70
Est. Brillante	80	80	4000	13	40	82

Fuente: Indecopi

2.2.4 Propiedades químicas

Las propiedades químicas de los papeles dependen del tipo de materia prima, su grado relativo de purificación durante el pulpeado, blanqueo, tipo y cantidad de aditivos no fibrosos. Las propiedades químicas son importantes para ciertas calidades de papel, por ejemplo papeles fotográficos, para reproducción no empañables, de seguridad, eléctricos, para envolver alimentos, etc. Una de las características más importante es el pH, otra propiedad, es la inflamabilidad para asegurar que el papel no se inflamará súbitamente cuando se expone a la temperatura de ignición. También es importante el contenido de cenizas, el cual representa el contenido mineral de un papel.

2.3 Clasificación de los papeles de acuerdo a su uso ^(9, 15)

2.3.1 Papeles para documentos y escritura

Aunque aparentemente son iguales, existen ciertas diferencias, pues un papel para documentos debe tener resistencia y durabilidad, buenas características de impresión, escritura y resistencia al roce, ser limpio, buena opacidad, blanca y un determinado grosor para cada gramaje. Los papeles para escribir deben tener buenas características de resistencia y cierto grado de permanencia. El grado de permanencia es función del pH.

2.3.2 Papeles para impresión

En estos tipos de papeles están incluidos aquellos tales como libros, documentos, cartulinas, periódicos, revistas, litografía, tapas, etc. Los papeles para libros pueden ser o no ser estucados. Las características fundamentales que deben ser controladas son la resistencia al plegado, permanencia de color y uniformidad de superficie.

2.3.3 Papeles para embalaje.

Estos papeles se utilizan para envolver productos y envasar en buenas condiciones hasta que llegue al cliente, todas las propiedades de resistencia mecánica son importantes en estos papeles, tanto por el trato que han de someterse en el transporte como a los esfuerzos que sobre él se realizan. Otras propiedades que interesan son el gramaje (que sea lo más bajo posible) y también el aspecto (color, limpieza).

2.3.4 Papel sanitario

Son aquellos papeles tipo servilleta, toalla, higiénico, etc. Estos papeles deben caracterizarse por tener blandura, absorbencia, resistencia en húmedo, buen aspecto estético, y ausencia de productos que puedan provocar olores.

2.4 Distribución y fuentes principales de recolección de papel ⁽⁹⁾

La recogida de papel se basa en tres sistemas:

Recogida voluntaria. En términos generales, lo realizan las personas naturales, que en un pequeño almacén recogen papeles de desecho procedentes de los hogares, tiendas,

bloques de departamentos, etc. La mayoría de sus recogidas la venden a grandes almacenistas.

Recogida selectiva. Se refiere a la recolección de papeles usados, de los hogares, escuelas, etc., en contenedores, localizados en las calles, bloques de departamentos y sitios similares.

Recogida obligatoria. Se refiere a la recogida de papeles usados procedentes de grandes fuentes de suministro, como supermercados, grandes almacenes, impresores, convertidores, etc., los cuales están obligados a gestionar los residuos que producen.

2.5 Estructura y composición química de las fibras celulósicas ^(3,9,17)

En las plantas fibrosas, es la celulosa la que determina el carácter de la fibra y permite su utilización en la fabricación de papel. La celulosa es un hidrato de carbono. Lo que significa que está compuesta de carbono, hidrógeno y oxígeno, con los dos últimos elementos en la misma proporción que en el agua. La celulosa es también un polisacárido, lo que indica que contiene muchas unidades de azúcar. La fórmula química de la celulosa es $(C_6H_{10}O_5)_n$, en la que "n" es el número de unidades que se repiten o grado de polimerización. El valor de "n" varía con las diferentes fuentes de la celulosa y el tratamiento recibido, ver cuadro 2.2.

Cuadro 2.2: Valores de grado de polimerización (medidas en peso)

Celulosa nativa (in situ)	3500
Línters de algodón purificados	1000 - 3000
Pulpas comerciales de madera	600 - 1500
Celulosa regenerada (p.e. rayón)	200 - 600

La estructura de la celulosa se muestra en la fig. 2.1 del anexo 2. La unidad que se repite consiste en dos unidades consecutivas de anhidroglucosa, conocida como celobiosa. La celulosa puede ser fácilmente hidrolizada a glucosa ($C_6H_{12}O_6$) bajo condiciones químicas ácidas controladas. Las uniones poliméricas durante las síntesis de la celulosa son tales que las cadenas se forman de una manera extendida. Como consecuencia, las moléculas de celulosa se ajustan entre ellas, formando largos segmentos y dando lugar a fuerzas asociativas muy poderosas que son responsables de

la gran resistencia de los materiales celulósicos. La celulosa en las fibras vegetales se encuentran en diversos niveles de orientación.

Las propiedades de los materiales celulósicos están relacionados con el grado de polimerización de la molécula de celulosa. La celulosa de cadena larga se conoce como alfa celulosa. Un número de polisacáridos de cadena corta conocidos colectivamente como hemicelulosas también forma parte de la estructura de la madera de las plantas. Las hemicelulosas (junto con la celulosa degradada) se clasifican, mediante métodos químicos, de acuerdo con el grado de polimerización, en Beta celulosa- grado de polimerización entre 15 y 90; gama celulosa - grado de polimerización menor de 15.

La hemicelulosa es un polímero de cinco azúcares diferentes (en contraste con la celulosa que es un polímero solo de glucosa), tales como: hexosas (glucosa, manosa, galactosa), pentosas (xilosa y arabinosa).

La lignina es una sustancia amorfa altamente polimerizada, su papel principal es formar la lámina media que une las fibras entre sí. La química de la lignina es extremadamente compleja. La estructura consiste principalmente en unidades de fenil propano unidas entre sí de forma tridimensional.

En las fibras celulósicas dependiendo del tipo de plantas, ciertos números de sustancias diversas pueden estar presentes, como por ejemplo ácido resínico, ácidos grasos, compuestos terpénicos y alcoholes. La mayoría de estos compuestos son solubles en agua y solventes orgánicos. El establecimiento de la estructura de la celulosa y celubiosa lo llevó W.N. Harworth (con la colaboración de la Universidad de Birmingham de Inglaterra) en 1926.

2.5.1 Condiciones para su uso

El empleo de fibra reciclada en la industria de pasta y papel ha aumentado significativamente en los últimos años. Este aumento de consumo de papel recuperado ha hecho necesario emplear materia prima de inferior calidad y con mayor contenido de material contaminante, los cuales contribuyen a una gama de problemas en el proceso.

Cuando se va usar fibra secundaria es necesario conocer algunos parámetros para evitar problemas en el proceso, así como para pagar el precio justo. La importancia deriva según la calidad del papel a producir. Las características

más importantes son: humedad, se considera normal del 7 al 8% en producción recién fabricada, sin embargo es aceptable de 10 a 15% en materiales reciclados; cenizas, para saber si posee mucha carga que vaya a saturar las aguas del proceso; facilidad de disgregación, para fijar los parámetros en el pulpero y orden de adición de fibra; calidad de fibras, si en el material predomina fibra larga o corta, adecuaremos la formulación que permitirá aproximarnos a las resistencias físicas que deseáramos obtener respecto a tensión, desgarre, reventamiento, etc.; contenido bacteriológico, conocer la existencia de residuos orgánicos que facilitan la proliferación de colonias de hongos; grados de contaminación, una aproximación de conocimiento de contaminantes en peso, plásticos, fotos, trapos, grapas, arenas, etc. que representan una pérdida que afectará nuestro rendimiento de producción.

2.5.2 Aplicaciones de las fibras secundarias ⁽⁶⁾

Hoy, el papel es una de las pocas industrias junto con el vidrio y acero que realmente recicla su producto para obtener materia prima y volver a fabricar los productos para usos idénticos. Son hechos con fibras reciclables, papeles para impresión y publicaciones, papel para envase y embalaje, papeles para usos higiénicos y domésticos.

2.6 Tintas

2.6.1 Definición ⁽²²⁾

Son sustancias de carácter fluido que se aplican mediante medios mecánicos en forma permanente sobre superficies sólidas de diferentes clases y naturaleza, con fines de transmisión y divulgación de ideas, de embellecimiento y protección. La mayoría de las tintas de impresión están compuestas de pigmentos (responsables del color) y barniz (responsable de transportar y fijar el pigmento). Por lo general, un barniz se compone de un vehículo (fase continua del barniz); normalmente constituido por aceites minerales o vegetales, aceite de linaza, tung, perilla, etc., y por disolventes (agua, hidrocarburos alifáticos, alcoholes, hidrocarburos aromáticos, ésteres y

cetonas); resinas (necesarias para lograr la fijación del pigmento al sustrato) y aditivos (para impedir mejorar ó eliminar alguna propiedad específica).

2.6.2 Clasificación de las tintas ⁽²²⁾

Las tintas de acuerdo a las características químicas de sus vehículos, se clasifican de acuerdo a los distintos métodos de secado:

a) Secado por absorción

Las tintas que secan por absorción del vehículo en el sustrato se utilizan, principalmente, para impresión tipográfica y offset de papeles prensa no estucado. Son de composiciones simples y baratas que consisten en una dispersión del pigmento, normalmente negro de carbón, en un aceite mineral de viscosidad adecuada.

b) Secado por oxipolimerización

Las tintas que secan por oxipolimerización se utilizan, generalmente, en prensas alimentadas por hojas para la impresión offset de papeles y cartones estucados y no estucados (publicaciones, embalajes y pequeño offset), ver cuadro 2.3.

Cuadro 2.3: Componentes típicos de una tinta que seca por oxipolimerización ⁽²²⁾

Pigmento	12- 22%
Solvente: Aceite mineral ligero (destilado de petróleo). Punto de ebullición 243°C - 310°C.	5-20%
Resinas: Alquílicas modificadas con aceites secantes, oleoresinosos (abietofenofenólicas), ésteres de la colofonia.	55-70 %
Aditivos: Catalizadores de secado, ceras solventes (alcoholes, ésteres).	5-15%

c) Tintas que se secan por evaporación

En este grupo se incluyen las tintas "heatset", utilizadas en tipografía y offset para impresión a bobina y tintas hueco y flexográficas. Las tintas heatset (utilizan calor para el secado) convencionales se formulan con sistemas de resinas duras disueltas en un disolvente hidrocarbonado adecuado (punto de ebullición 250-270°C).

d) Tintas que secan mediante radiación ultravioleta.

Estas tintas secan instantáneamente y forman películas de propiedades excelentes para el impresor. Se formulan a partir de monómeros u oligómeros acrílicos que mediante una activación energética y en presencia de unos fotoiniciadores (arilcetonas), experimentan una copolimerización, que da lugar a la formación de compuestos poliméricos acrílicos de elevado peso molecular.

III.- ESTUDIO DEL PRODUCTO

3.1. Generalidades ^(3, 9, 28)

El desarrollo tecnológico ha impulsado técnicas que permiten extraer la fibra de celulosa de su propio producto mediante la recolección selectiva de los papeles usados tras el consumo. Las fibras de celulosa son un material resistente, siempre y cuando se utilice la tecnología adecuada, tanto para su extracción de los vegetales, como su utilización en la fabricación de papel y cartón; así como en la tecnología de reciclado.

La celulosa es la base principal de la estructura de los vegetales, como sustancia de sostén, es de carácter inerte y poco apta a reacciones. Se encuentra en la pared celular, formando la mayor parte de la materia seca de las maderas, del 40 al 60% según especies, y casi el único material de las plantas vegetales anuales, como el algodón (más del 90%), el lino (más o menos 80%) y en la paja alrededor de 35%.

En el caso de pulpa de papel recuperado, la materia prima procede de los papeles que cumplieron su función para el cual fueron hechos. Según el tratamiento de la materia prima, se llamara pulpa química, pulpa mecánica, semiquímica, termoquímica, etc.

La pulpa celulósica de uso industrial es un producto de consumo intermedio, destinado a la fabricación de papel y como insumo de otras industrias en sus diferentes grados industriales. Se presentan en forma de hojas o rollos facilitando el transporte.

3.2. Propiedades y ensayos de pulpas ^(6, 7, 17)

Los productos de pulpa y papel se caracterizan y comercializan basados en una nomenclatura y procedimientos de ensayos normalizados. El cuadro 3.1 muestra las organizaciones industriales que publican normas de pulpa y papel.

Cuadro 3.1: Productores de métodos de ensayos normalizados

TAPPI	Technical Association of the Pulp and Paper Industry (U.S.A.)
CPPA - TS	Canadian Pulp and Paper Association Technical Section
SCAN	Scandinavian Pulp, Paper and Board Testing Committee.
ASTM	American Society for testing and Materials
BPBMA	British Paper and Board Makers Association
APPITA	Australian Pulp and Paper Industry Technical Association

3.2.1 Objetivos de los ensayos

Los ensayos de rutina de pulpa de papel, en fábrica, constituye la parte principal del programa de control, ver cuadro 3.2. Los factores que afectan la precisión y exactitud del ensayo son: legibilidad del instrumento, sensibilidad del instrumento o ensayo, error de muestreo, diferencias de procedimiento, calibración del instrumento, variaciones en la corrección entre la propiedad medida y la propiedad deseada y factores externos.

Cuadro 3.2: Ensayos de rutina en fábrica.

Control de Proceso	<ul style="list-style-type: none"> • Control de materia prima • Variables de proceso dentro de los límites especificados • Control de las descargas de desechos • Control de las pérdidas de fibras
Control de Calidad	<ul style="list-style-type: none"> • Establecer y mantener normas de calidad • Control de la producción fuera de calidad al mínimo económico
Programación del Proceso	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluación del rendimiento • Seguimiento del proceso durante un periodo de tiempo • Comparar con otras fábricas • Identificar áreas con problemas
Control Económico	<ul style="list-style-type: none"> • Establecer los costos unitarios • Suministrar la base económica para la consideración de alternativas • Localizar áreas de alto costo

3.2.2 Ensayos de pulpas

Para caracterizar las pulpas con respecto a su calidad, procesabilidad y adecuación se suele utilizar algunos métodos de ensayos de rutina en fábrica (ver cuadro 3.3).

En general, se le dan un énfasis considerable a la resistencia de la pulpa. Sin embargo, para muchas aplicaciones la resistencia tiene importancia secundaria. Por ejemplo en los papeles finos, la conformabilidad es más crítica, ensayos de resistencia normales, tales como el reventamiento, desgarrar, tracción, y plegado podrían ser suplementados por un conocimiento de las propiedades fundamentales para obtener una idea adecuada de las

calidades de la pulpa. Si una pulpa es débil, este conocimiento explica porque y en que aspecto particular es débil.

Cuadro 3.3 Métodos de Ensayo de Pulpas

Propiedades Fundamentales	<ul style="list-style-type: none"> • Longitud de fibra ponderada en peso • Resistencia intrínseca de la fibra • Superficie específica • Compactibilidad en húmedo • Análisis químico de los constituyentes de la pulpa
Ensayos empíricos	<ul style="list-style-type: none"> • Índice Kappa • Viscosidad CED • Desgotabilidad • Color y Blancura • Limpieza • Evaluación del refinado

a) Ensayos químicos de las pulpas

Los ensayos químicos se realizan para determinar el contenido en lignina (material no celulósico) de las pulpas y cuantificar la porción celulósica con relación al grado de polimerización y el contenido en alfa celulosa. Las principales ensayos son:

Índice Kappa.- Los componentes no celulósicos (especialmente la lignina) reaccionan fácilmente con una solución de permanganato de potasio en medio ácido. Esta reacción suministra las bases para los ensayos del índice Kappa y el número de permanganato (normalmente denominados ensayos del índice K o N° P). En ambos casos la pulpa reacciona con un volumen conocido de solución de permanganato bajo condiciones controladas, y la cantidad consumida se determina mediante valoración por retroceso. El ensayo de índice de Kappa se utiliza en trabajos de control en fábrica con dos fines específicos: 1) indicar el grado de deslignificación logrado durante la cocción. 2) indicar el requerimiento de productos químicos para el blanqueo.

Viscosidad CED.- Una buena indicación del grado de polimerización de la celulosa se puede obtener por medida de la viscosidad de una solución de celulosa de concentración conocida. En la actualidad se usa casi

universalmente la cuprietilendiamina, debido a su capacidad para disolver rápidamente a la celulosa y a su relativa estabilidad química.

Alfa Celulosa.- Una determinación aproximada de la alfa celulosa se lleva a cabo por exposición de la pulpa a una solución concentrada de NaOH, que disuelve las cadenas más cortas de las hemicelulosas. La cantidad de celulosa en solución se determina después por oxidación con $K_2Cr_2O_7$.

b) **Propiedades físicas de las pulpas**

Longitud de fibra.- La longitud de fibra se mide o indica mediante un examen microscópico de un número representativo de fibras o por clasificación de una muestra con tamices en fracciones de diferentes longitudes. En el método microscópico, un peso conocido de fibras se proyecta sobre una plantilla reticulada; se miden todas las fibras y la longitud media se calcula matemáticamente. En el método de clasificación, una dispersión diluída de fibras se hace fluir a gran velocidad paralelamente a las ranuras de un tamiz, mientras un flujo a menor velocidad pasa a través de las mismas. De esta forma las fibras se presentan en todas su longitud a una serie de tamices con luz de malla sucesivamente más pequeña, y solo las fibras cuyas longitudes no sobrepasan los límites de las aberturas pasarán a la cámara siguiente.

Drenabilidad.- La resistencia de las fibras a flujo del agua es una propiedad importante con respecto a los procesos de fabricación de pulpa y papel. En Norte América la drenabilidad es medida por medio del instrumento Canadian Standard freenes (CFS), que se define como el número de mililitros de agua recogidos del orificio lateral del instrumento normalizado cuando la pulpa drena a través de una placa perforada a una consistencia de 0,30% y 20°C. En Europa se utiliza el ensayo de retención de agua Schopper - Riegler.

Evaluación de refinado.- En el análisis final la propiedad más importante de una pulpa es su potencial para la fabricación de papel. Este aspecto se evalúa mediante el refinado de la pulpa bajo condiciones

controladas y reproducibles formando después hojas de ensayo normalizadas con la pulpa y, finalmente realizando ensayos físicos adecuados en las hojas acondicionadas.

3.3 Descripción del componente principal de la pulpa de papel recuperado (celulosa) ^(3,5,7)

La celulosa pertenece a la familia de los compuestos carbohidratos. Contiene 44,4% de carbono, 6,3% de hidrógeno y 49,4% de oxígeno. La fórmula más general de la celulosa es $(C_6H_{10}O_5)_n$, siendo "n" el grado de polimerización. La celulosa, es un polisacárido lineal de alto peso molecular, cuyo grado de polimerización no es el mismo en todas las celulosas naturales, ya que el proceso bioquímico de elaboración de los vegetales tienen gran complejidad, realizado mediante el proceso de fotosíntesis.

En el reino vegetal, las microfibrillas celulósicas son interlazadas con otros polisacáridos amorfos de enlace corto llamados hemicelulosa, para formar la capa y laminillas de la pared celular impregnándose frecuentemente con estos y cementados por la lignina.

3.3.1 Características físicas y químicas de la celulosa ^(3,7,9)

a) Propiedades físicas

Absorción de vapor de agua.- El contenido de humedad de los productos celulósicos varía según la proporción de humedad de la atmósfera, cuando se aumenta gradualmente la humedad relativa (HR), el grado de absorción de la celulosa disminuye con la HR siendo el mínimo 80%, aumentando luego hasta un máximo en el punto de saturación de las fibras.

Las fibras celulósicas tienen la característica de hinchamiento cuando son sometidas a la acción mecánica en presencia de agua. Como la fibra absorbe agua se hincha, incrementa en área de exposición de formabilidad y flexibilidad, todo lo cual conduce a un contacto más íntimo entre las fibras en el secado y por ende mejor unión. Por otro lado el hinchamiento disminuye con el número de veces que las fibras se reciclan.

b) Propiedades eléctricas

Los materiales fibrosos secos son de por sí buenos aisladores eléctricos; pero como es imposible impedir que absorban humedad, su conductividad depende en gran parte del contenido de ello. La conductividad aumenta muy rápidamente con el aumento del contenido de humedad hasta llegar al punto de saturación de la fibra, cayendo luego bruscamente. El fenómeno electrocinético conocido como el potencial Z es característico de la celulosa y de otros materiales coloidales. La diferencia de potencial electrocinético entre los iones absorbidos y el total de la solución es el potencial Z. La celulosa tiene un potencial Z negativo con respecto al agua y su magnitud es de 10 a 20 mv ⁽²²⁾ .

c) Propiedades químicas

Degradación.- La celulosa puede ser despolimerizada o descompuesta por hidrólisis ácida, pirólisis, oxidación y procesos mecánicos. El grado de sustitución y polimerización puede ser controlada por la adición de agua. La hidrólisis ácida procede como un proceso homogéneo donde los ácidos fuertes disuelven la celulosa, o como un proceso heterogéneo con ácidos débiles. Hidrolizando con ácido sulfúrico concentrado se puede obtener cuantitativamente D-glucosa. La hidrólisis parcial es usado para la producción de hidrocélulosa y celulosa microcristalina en forma de gel. Bajo condiciones alcalinas, la celulosa es degradada por una reacción que reduce los terminales de la unidad de azúcar reduciendo su grado de polimerización y viscosidad. La degradación se usa para reducir el peso molecular de los productos y facilitar las operaciones de dispersión, moldeo y pulverizado. La celulosa es sensitiva a la oxidación por aire y reactivos oxidantes, especialmente bajo condiciones hidrolíticas y pirolíticas. En estas condiciones las propiedades físicas de las fibras celulósicas rápidamente se deterioran ⁽⁹⁾

Hidrólisis.- Todos los ácidos y las sales ácidas con la presencia de la humedad, sales neutras, MgCl₂, rompen los enlaces particularmente si se

calientan. La acción hidrolítica corta a la celulosa en las fibras, si el ataque es muy fuerte las fibras pueden ser desmenuzadas por los dedos. La celulosa de papel puede ser degradada después de un periodo de años por hidrólisis, causados por los ácidos derivados de la alúmina en la fabricación de papel en forma de ácidos, tales como: SO_2 atrapados del aire junto con la humedad. Si la hidrólisis es llevada al extremo el producto es una celulosa degradada llamada hidrocelulosa. La reactividad química de la hidrocelulosa es más grande que la celulosa normal. La celulosa puede ser hidrolizada casi cuantitativamente transformándose en glucosa, $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$, lo que demuestra que la celulosa está formada por unidades anhidroglucosa.

3.4 Usos de la celulosa

Los consumidores principales de la celulosa son las industrias de pulpa, papel y cartón, fibra artificial (rayón), materias plásticas (celofán), barnices, semicueros, carboximetilcelulosa, metiletilcelulosa, acetato de celulosa, nitrato de celulosa (plásticos, explosivos), etc. También se utiliza en la industria cinematográfica (films, papel metálico, etc.).

En la industria textil todas las fibras vegetales naturales importantes son celulosa por naturaleza.

Entre las fibras sintéticas tales como la viscosa, cuproamónio y rayón de acetato de celulosa, estos están preparados de pulpa de celulosa altamente purificada ⁽⁷⁾

IV ESTUDIO DE MERCADO DE PAPEL, CARTONES Y PULPA

4.1 Descripción del subsector

4.1.1 Delimitación

Comprende la fabricación de pasta de madera mediante procesos físicos, químicos y semiquímicos; de pasta de borra de algodón y pasta de otras materias celulósicas fibrosas mediante procesos físicos, químicos o semiquímicos. La fabricación de papel y cartón sin revestir, revestido a máquina, en rollos, en hojas; multilaminar y de papel a mano. La fabricación de papel periódico, de otros papeles para imprimir; toallas, servilletas, pañuelos, calca, satinados y translúcidos. La reelaboración de papel y cartón para fabricar productos tales como papel revestido, recubierto e impregnado.

Asimismo no se incluye la fabricación de papel y cartón ondulado y abrasivo.

4.1.2 Articulación con otros sectores

La industria de fabricación de pasta de madera, papel y cartón está articulada hacia atrás con la industria maderera y con la industria química, que le provee de insumos químicos como blanqueadores y otros materiales solubles. Asimismo, los productos fabricados por el subsector se utilizan en la industria de envases, cajas de papel y cartón, en la industria del tabaco, en imprentas y oficinas.

4.1.3 Principales líneas de producción y productos

Las líneas de producción son mostrados en el cuadro 4.1.

Cuadro 4.1: Principales líneas de producción

LÍNEA DE PRODUCCION	PRODUCTOS
Fabricación de cartón	Cartón líner para corrugar
Fabricación de papel y cartulina	Papel bond, papel kraft y cartulina
Fabricación de pasta	Pasta de madera, de borra de algodón y otros materiales

4.2 Estructura subsectorial

4.2.1 Importancia relativa

La industria de fabricación de pasta de madera, papel y cartón, de acuerdo a los resultados de la Encuesta Anual Estadística - 1994, participa con el 0,5% del valor bruto total de la industria manufacturera, tal como se puede apreciar en el cuadro 4.2.

Cuadro 4.2: Importancia relativa del subsector (año 1994)

RUBROS	Miles US\$	% Participación Total Manufactura
Número de establecimientos	16	0,10
Establecimientos paralizados	5	0,38
Promedio anual de personas ocupadas (Permanente)	1553	0,63
▪ Empleados	688	0,70
▪ Obreros	865	0,59
VBP con impuestos	87 750,0	0,53
Valor total de consumo (insumos)	63 751,9	0,63
Valor agregado con impuestos netos	23 998,1	0,37
Valor total de la inversión anual en activo fijo	2 445,8	0,28
Valor total de activos fijos al 31/12	28 134,1	0,69
▪ De la maquinaria y de equipo	5 238,1	0,29
Total ventas al exterior	221,6	0,01
Total ventas	71 464,6	0,53

Fuente: MITINCI/OGIER - Oficina de estadística

4.2.2 Consumo intermedio y valor agregado

Consumo intermedio

El consumo intermedio del subsector significa el 0,6% del consumo total intermedio de la industria manufacturera (cuadro 4.3), donde predomina la compra de insumos de origen nacional (82%) frente a un 18% de compras de insumos importados. Los rubros más representativos de las compras locales que efectúa este subsector son materia prima, pagos por servicios industriales, deducciones de impuestos a los bienes y servicios.

Cuadro 4.3: Estructura del consumo intermedio (año 1994)

RUBROS	Miles US\$	Estructura, %
Valor total de consumo (insumo)	63 751,9	100,0
Insumos de origen nacional	52 166,1	81,8
Materia prima consumida	18 063,8	28,3
Combustibles y lubricantes consumidos	6 120,5	9,6
Materiales auxiliares, envases y embalajes	361,4	0,6
Repuestos y accesorios consumidos	1 443,4	2,3
Energía eléctrica comprada	8 238,2	12,9
Total de pagos por servicios industriales y otros	9 155,7	14,4
• Pagos por trabajos de carácter industrial	3 587,8	5,6
• Otros gastos de establecimiento	5 567,9	8,7
Deducciones de impuestos (a bienes y servicios)	8 783,1	13,8
Insumos de origen extranjero	11 585,8	18,2
Materias primas consumidas	10 328,2	16,2
Repuestos y accesorios consumidos	1 257,6	2,0

Fuente: MITINCI/OGIER - Oficina de estadística

Valor agregado

Por su parte, el valor agregado representa el 0,4% del total del Valor Agregado Manufacturero. Al respecto, cabe indicar que los componentes más significativos del valor agregado de este subsector son los sueldos y salarios, la depreciación y el excedente de exportación, tal como se muestra en el cuadro 4.4.

Cuadro 4.4: Estructura del valor agregado (año 1994)

RUBROS	Miles US\$	Estructura %
Valor agregado con impuestos netos	23 998,1	100,0
Remuneraciones pagadas al personal permanente	8 816,5	36,7
Sueldos	4 236,9	17,7
Salarios	5 479,6	19,1
Remuneraciones pagadas al personal eventual	508,9	2,1
Otros gastos del personal permanente y eventual	2 174,3	9,1
Valor de depreciación realizada en el año	3 418,8	12,9
Tributos	948,6	4,0
Monto neto de impuestos a los bienes y servicios	1 011,7	4,2
Montos de impuestos específicos	-	-
Excedente de exportación	7 119,2	29,7

Fuente: MITINCI/OGIER - Oficina de estadística

4.2.3 Empleo

La información de la Oficina de Estadística del MITINCI muestra que en el año 1994, el promedio anual de personas ocupadas (permanentes), en empresas de 5 a más trabajadores, era de 1 553 personas, el mismo que representaba el 0,6% del total de empleo generado en el sector manufactura.

4.2.4 Número de empresas, concentración por tamaño y ubicación

Según la información proporcionada por el INFOSIEM, al mes de Setiembre del 2000, el subsector está conformado por 50 empresas operativas, de las cuales 10 son personas naturales (20,0%) y 40 son personas jurídicas (80,0%). Ver cuadro 4.5.

A la misma fecha, el nivel de concentración de las empresas del subsector está dado principalmente en el departamento de Lima, en donde se ubican el 80,0% del total de empresas. Luego se tienen Arequipa y Callao, ambos con el 6,0% del total de empresas.

Sin embargo, se debe mencionar que dicho total de empresas representa sólo el 55,0% del total de empresas inscritas en el subsector. Este hecho se acentúa más en las personas naturales, donde el 65,5% de empresas inscritas han paralizado.

Cuadro 4.5: Concentración geográfica (Emp. Operativas - Set- 2000)

DEPARTAMENTO	NUMERO DE EMPRESAS			
	Pers. Nat.	Pers. Jurid.	Total	%
LIMA	8	32	40	80,0
CALLAO	2	1	3	6,0
AREQUIPA	0	3	3	6,0
OTROS	0	4	4	8,0
TOTAL	10	40	50	100,0

Fuente: MITINCI - INFOSIEM

Como información adicional, en el año 1994 a nivel nacional la estructura industrial del subsector estuvo conformada por un 72,9% de micro empresas, 10,2% de pequeñas empresas, 5,1% medianas empresas y 11,8% grandes empresas. Esta información puede apreciarse en el cuadro 4.6.

Cuadro 4.6: Concentración por tamaño de empresa (%)

	Micro	Pequeña	Mediana	Grande	Total
SUBSECTOR	72,9	10,2	5,1	11,8	100,0

Fuente: MITINCI - INFOSIEM (en base de las ventas de 1994)

4.2.5 Mercados y principales empresas

Respecto a la participación de las empresas en el mercado, CONASEV publica anualmente un ranking de empresas por subsectores (cuadro 4.7), en función a sus niveles de ventas. Del análisis realizado para el subsector en el año 1999, de 6 empresas seleccionadas por CONASEV, Industrial Papelera Atlas S.A. figura como la primera, con una participación de 29,1% del total de las ventas, le siguen Industrial Cartonera y Papelera (24,7%) y Papelera Inca (9,4%) como las principales.

Cuadro 4.7: Principales empresas

RAZON SOCIAL	PRODUCTOS
Gloria S.A. - División Centro Papelero (Ex-Papelera Santa Lucia S.A.)	Cartón liner, para corrugar, cartulina, papel bond y kraft
Industrial Papelera Atlas S.A.	Cartulina, papel bond y semicouche
Industrias del Cartón S.A.	Cartón liner
Industrial Cartonera y Papelera - INCAPSA	Cartón liner y para corrugar
Manufacturera de Papeles y Cartones S.A. (Ex-Fábrica de Cajas Chillón desde Enero 94)	Papel bond y kraft
Papelera Suizo Peruana S.A. (Ex-Conversion Venezuela de Sociedad Paramonga - Diciembre 93)	Papel bond, higiénico y toalla
Papelera Inca S. A.	Papel bond y kraft
Química del Pacífico S.A. (Compra planta de Sociedad Paramonga en 1998)	Papel bond e higiénico
Sociedad Paramonga Ltda. S.A. (paralizada desde mayo 97)	Cartón liner, para corrugar, cartulina, papel bond, higiénico, kraft y toalla
Tecnología Papelera S.A. (Ex-Fáb. Papeles Paracas S.A. ene 98) (Ex-Alianza Comercial S.A. enero 99)	Papel bond, higiénico, karft y toalla
Trupal S. A. (Por escisión con manufacturera de papeles y cartones S.A. fue separada en enero 99)	Cartón para corrugar, papel higiénico y karft

Fuente: MITIINCI – OGIER

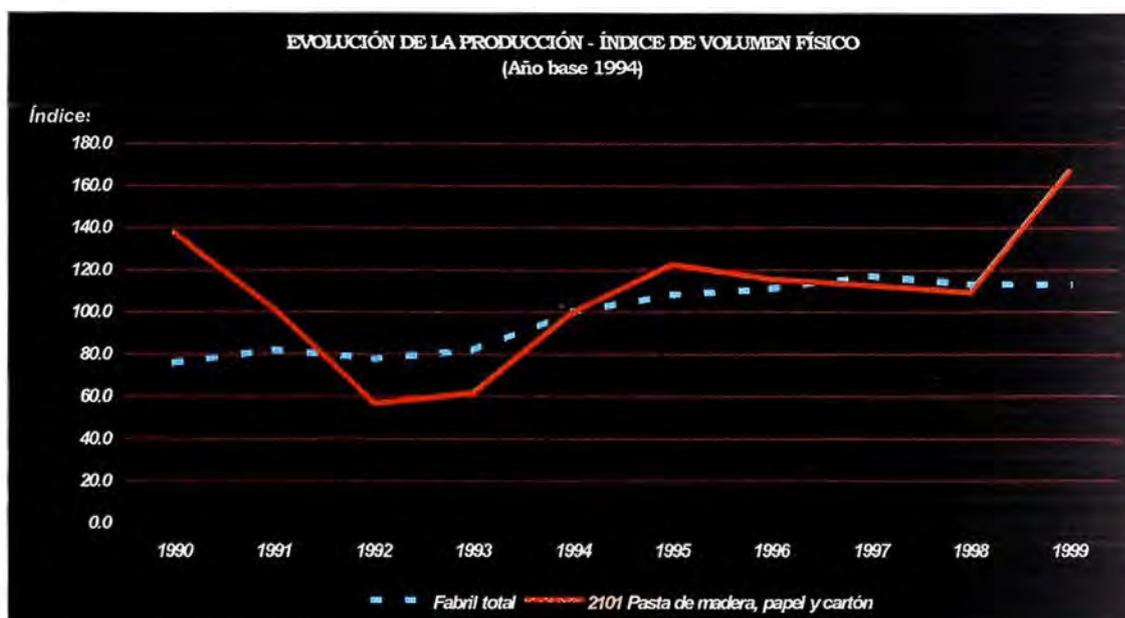
4.3 Desempeño del subsector

4.3.1 Evolución de la producción

Las cifras muestran un subsector reprimido en su nivel de producción en los primeros 3 años de la década de los noventa. A partir de 1994 muestra una recuperación (ver fig. 4.1), siendo significativo el incremento de 1999 donde el índice de volumen físico (IVF) llegó a 167,1 lo que representó un incremento de 67,1% respecto a 1994 y de 21,6% respecto a 1990. En 1999 los precios de la pulpa comenzaron a recuperar sus precios internacionales y éstos no pudieron ser trasladados al consumidor final,

ocasionando problemas a los productores. En el Perú, entre el 60% y 70% del papel consumido se importa, en particular papel periódico que no se fabrica.

Fig. 4.1: Evolución de la producción del subsector



4.3.2 Principales productos

El cuadro 4.8 muestra que los principales productos de la industria del papel son el papel bond y similares y el cartón línar, desplazando al papel kraft cuyo volumen de producción disminuyó 30,5% en los 5 años de análisis.

Cuadro 4.8: Volumen de producción de principales productos

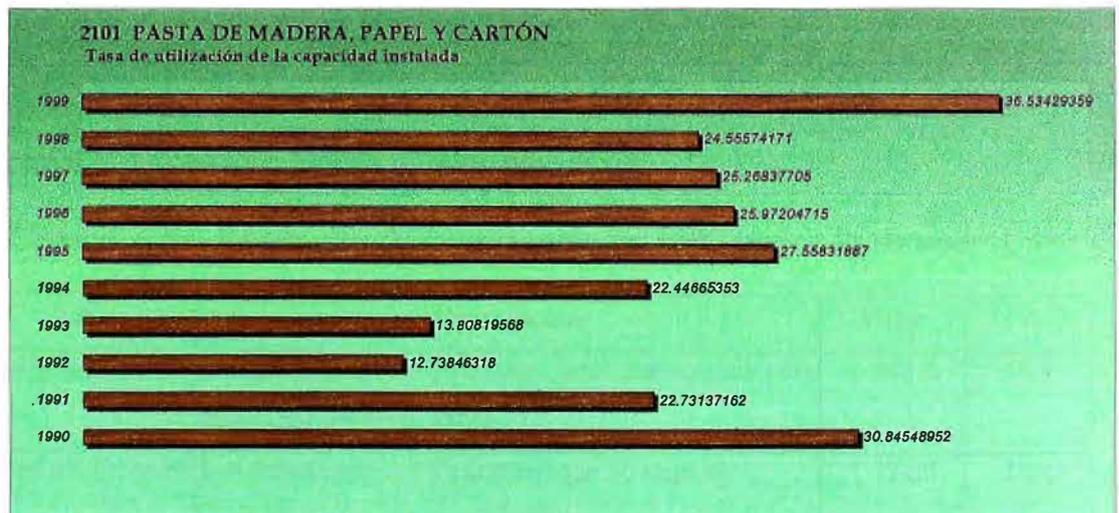
DESCRIPCION	U.M.	1 995	1 996	1 997	1 998	1 999
Cartón Liner	t	14 953,0	14 441,8	16 263,7	16 615,6	17 041,0
Cartón para Corrugar	t	7 475,4	6 119,2	7 659,5	8 449,8	7 177,0
Cartulina	t	1 099,3	1 450,3	1 043,2	749,3	1 722,0
Papel Bond y Similares	t	23 416,6	18 669,6	14 995,1	6 779,8	28 013,0
Papel Kraft y Similares	t	7 882,3	3 418,4	7 023,9	6 504,0	5 477,0

Fuente: MITIINCI/OGIER / Oficina de Estadística

4.3.3 Utilización de la capacidad instalada

El nivel de utilización de la capacidad instalada de la industria muestra un comportamiento similar al del IVF (ver fig. 4.2). En 1995 llegó a su máximo nivel de uso de capacidad de planta de 27,6%, para luego descender hasta 24,6% en 1998. La industria papelera se ha visto bastante afectada por la falta de inversión en programas de ampliación de plantas, de fabricación de pulpa o de papel en todo el mundo, lo que originó una contracción importante en la oferta y produjo el cierre de fábricas obsoletas que tenían una baja producción y requerían de altos costos para su manejo.

Fig. 4.2: Tasa de capacidad Instalada



4.3.4 Comercio exterior

(Balanza comercial)

La balanza comercial del subsector (cuadro 4.9), muestra cifras negativas en los últimos tres años. Sin embargo, las exportaciones crecieron en 477,1% en 1999 con respecto a 1998, manteniéndose relativamente estables las importaciones. En 1999 el déficit de la balanza comercial

disminuyó US\$ 19,1 millones con respecto a 1998 y 22,9 millones con respecto a 1997. No obstante, el nivel de importaciones es casi 16 veces el nivel de exportaciones.

Cuadro 4.9: Balanza comercial (miles de US\$)

RUBROS	1997	1998	1999
EXPORTACIONES FOB	1 410,4	1 446,7	8 139,0
IMPORTACIONES CIF	166 664,8	162 869,0	150 452,5
SALDO COMERCIAL	-165 254,4	-161 422,4	-142 313,5

Fuente: ADUANAS – INFOSIEM

Principales productos de exportación

Según información de Aduanas, la principal partida de exportación es papel y cartón del tipo kraft que representa el 39,9% del valor total exportado en 1999 (cuadro 4.10). También se exportan papel higiénico y otros productos de uso doméstico sin mayor valor agregado. Respecto a la producción de papel bond, éste se destina al mercado interno.

Cuadro 4.10: Productos de exportación en 1999 (valor FOB miles US\$)

P. A.	Descripción	Valor	%
48.04.39.00.00	Los demás papeles y cartones kraft que no sean para caras (cubiertas) ni sacos	3 243,8	39,9
48.02.52.90.00	Los demás papeles y cartones que no sean de seguridad para cheques ni billetes	1 171,6	14,4
48.11.90.90.00	Los demás papeles, cartones que no estén barnizados, ni para empaquetaduras, ni absorbentes	1 161,8	14,3
48.03.00.90.00	Papel del tipo utilizado para papel higiénico, toallas y otros de uso doméstico	1 135,8	14,0
48.05.10.00.00	Papel semiquímico para acanalar	793,9	9,8
OTROS		632,1	7,8
TOTAL		8 139,0	100,0

Fuente: ADUANAS – INFOSIEM

Países de destino de exportaciones

La industria del papel y cartón destina sus exportaciones principalmente al mercado latinoamericano (cuadro 4.11 y fig. 4.3), siendo los principales países de destino Guatemala, México, Colombia y Ecuador.

Cuadro 4.11: Principales países de destino de exportaciones
(valor FOB, miles de US\$)

PAIS	1997	%	1998	%	1999	%
Guatemala	0,0	0,0	0,0	0,0	2 439,3	30,0
México	69,8	5,0	606,6	41,9	1 256,2	15,4
Colombia	23,2	1,6	256,6	17,7	1 234,1	15,2
Ecuador	382,8	27,1	174,7	12,1	1 125,1	13,8
Chile	372,4	26,4	44,4	3,1	346,7	4,3
Otros	562,1	39,9	364,4	25,2	1 737,5	21,3
TOTAL	1 410,4	100	1 446,7	100	8 139,0	100

Fuente: ADUANAS – INFOSIEM

Principales productos importados

Las importaciones del subsector son básicamente productos terminados con mayor valor añadido. El papel prensado con US\$ 33,8 millones en 1999 es el producto que más se importó.

Por otro lado, en 1999 las importaciones de pasta química de madera llegaron a US\$ 7,8 millones, lo que contrasta significativamente con las exportaciones del subsector (27,9 miles de dólares). Ver cuadro 4.12.

Países de origen de importaciones

En lo que respecta a los mercados de origen de las importaciones del subsector, actualmente Chile ha pasado a ser el principal socio comercial, seguido de Estados Unidos de América, aunque dicho país ha disminuído

su participación en las exportaciones del subsector (cuadro 4.13 y fig. 4.4). Ambos países representan el 53,2% del valor total importado en 1999.

Cuadro 4.12: Principales productos de importación - 1999 (CIF MUS\$)

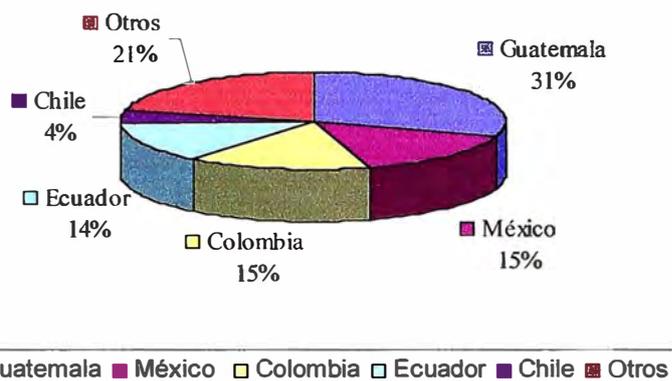
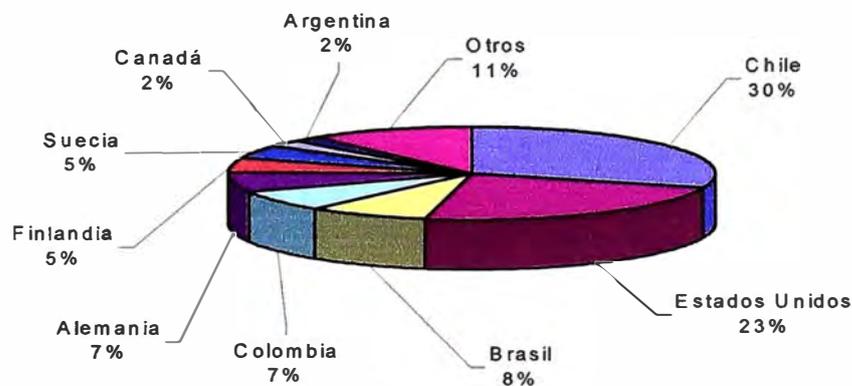
P. A.	Descripción	Valor	%
48.01.00.00.00	Papel prensa en bobinas o en hojas	33 751,9	22,4
48.02.52.90.00	Los demás papeles y cartones que no sean de seguridad para cheques ni billetes	22 829,7	15,2
48.10.11.90.00	Papel para escribir e imprimir de gramaje superior a 60 g/m ² pero ≤1 a 150g/m ²	10 216,2	6,8
47.03.21.00.00	Pasta química de madera semiblanqueada o blanqueada, de coníferas	7 795,3	5,2
48.02.60.90.00	Los demás papeles y cartones en los que mas del 10% del peso esté contenido	6 246,4	4,2
48.10.91.00.00	Los demás papeles y cartones multicapas	6 165,8	4,1
OTROS		63 447,1	42,2
TOTAL		150 452,5	100,0

Fuente: ADUANAS - INFOSIEM

Cuadro 4.13: Principales países de origen de importaciones

(valor CIF, miles de US\$)						
PAIS	1997	%	1998	%	1999	%
Chile	31 774,3	19,1	34 990,2	21,5	45 261,6	30,1
Estados Unidos	46 989,7	28,2	41 547,7	25,5	24 754,6	23,1
Brasil	22 004,3	13,2	20 920,6	12,8	12 021,7	8,0
Colombia	10 190,2	6,1	7 881,3	4,8	10 781,7	7,2
Alemania	10 635,3	6,4	10 685,8	6,6	10 241,9	6,8
Finlandia	3 334,0	2,0	8 459,7	5,2	7 907,3	5,3
Suecia	5 664,1	3,4	2 716,8	1,7	6 837,1	4,5
Canadá	11 946,0	7,2	3 618,4	2,2	3 577,7	2,4
Argentina	2 613,8	1,6	3 948,5	2,4	2 785,0	1,9
Otros	21 513,0	12,9	28 100,1	17,3	16 284,0	10,8
TOTAL	166 664,7	100,0	162 869,0	100,0	150 462,5	100,0

Fuente: ADUANAS - INFOSIEM

Fig. 4.3: Destino de Exportaciones**Fig. 4.4: Origen de importaciones 1999**

4.4 Inversion

4.4.1 Inversión nacional

En la actualidad no existe una fuente de información oficial que permita analizar las inversiones realizadas por las empresas nacionales en el subsector. Sin embargo se pudo obtener la siguiente información:

En Mayo del 2000 la empresa PAPELERA ATLAS, firmó una alianza estratégica con CELLMARK. El principal beneficio de la alianza

estratégica es que permitirá la reactivación de la empresa toda vez que incrementaría el uso de su capacidad instalada de 50% a 100%. Cellmark se ha comprometido a la compra anticipada del 50% de la producción de la empresa, que actualmente bordea los US\$ 900 mil mensuales, esperándose alcanzar a fines de año un nivel de US\$ 1 200 mensual.

La empresa PAPELERA PANAMERICANA está renovando toda la maquinaria con la finalidad de contar con una producción automatizada y adicionalmente mejorar las áreas de administración y finanzas, disminuyendo sus costos operativos. El monto proyectado para el año 2000 asciende a US\$ 2,5 millones.

PAPELERA DEL SUR, empresa ubicada en la ciudad de Chincha y dedicada principalmente a la producción de cartones, fue adquirida por la firma colombiana Cartones América S.A. La operación fue realizada por un monto aproximado a los US\$ 10 millones, inversión que implicaría un proceso de modernización, ampliación de la planta, así como de la capacidad de las diferentes etapas del proceso productivo. La firma colombiana que fabrica empaques de cartón corrugado estaría instalando una planta en el Centro Industrial de Lurín con una inversión de US\$ 14 millones.

4.4.2 Inversión extranjera

De acuerdo con la información proporcionada por Comisión Nacional de Inversión y Tecnología Extranjera - CONITE, desde el año 1987 no se ha registrado un flujo positivo de capitales extranjeros hacia el subsector.

El monto se ha mantenido en US\$ 3,4 millones, siendo destinado en su totalidad a la empresa Industrial Papelera Atlas S.A., (período 1980 – 1986). Los datos estadísticos se muestran en el cuadro 4.14.

Cuadro 4.14: Inversión directa extranjera (millones US\$)

	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Industria manufacturera	516,7	569,2	709,2	1 037,3	1 247,6	1 361,4	1 435,8
Bienes intermedios	149,3	183,9	211,7	251,3	275,6	310,2	343,1
Pasta de madera, papel	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4

Fuente: CONITE

4.5 Estudio de mercado de papel bond

EL objetivo del estudio de mercado es determinar la cantidad de papel bond reciclado (materia prima para obtener pulpa). El análisis de mercado también proporcionará los precios y las formas que se emplearon para llegar a los demandantes.

Para el estudio, se tuvo que efectuar una recopilación de información histórica y consultar publicaciones y documentos técnicos relacionados al tema. Sin embargo, la tarea fue difícil dado que existe muy poca información clasificada y las empresas del sector proporcionan muy poca información, ya sea por que carecen de ello o por política interna.

4.5.1 Estudio de la demanda

Análisis de la Demanda de Papel

Este análisis nos permitirá conocer cual es la disponibilidad de materia prima existente para la obtención de pulpa. El Perú no dispone de pulpa química de madera blanqueada de fibra larga o corta a excepción del bagazo; por lo tanto, se tiene que importar el papel de deshecho que procede de los papeles fabricados. Las principales materias empleadas en la fabricación de papel y cartón para envoltura y envase son: la pulpa de bagazo, las pastas químicas de madera y los desperdicios de papel y cartón (recortería). Estas materias primas conformaron el 87,6% de los insumos utilizados para esta industria, 57% de ellos son nacionales y el restante

(43%) son de origen importado. Los cuadros 4.15 y 4.16 muestran la demanda de papel en los últimos 5 años y el monto desembolsado promedio.

Cuadro 4.15: Demanda de papel en los últimos cinco años

Años	Demanda T	Indice de precios relativos	Población PEA
1995	20 366,8	88,4	21696,22
1996	15 228,9	166,1	22071,57
1997	10 577,3	97,0	22453,41
1998	9 980,4	89,5	23661,9
1999	30 640,11	92,3	23264,08
2000	51 055,59	105,4	22866,2

Cuadro 4.16: Materias primas para la elaboración de papel

Materia Prima	Miles Us\$	Participacion %
Pastas celulósicas de fibra corta (bagazo)	39 139	41,4
Pastas celulósicas químicas	30 407	32,1
Desperdicios	13 660	14,4
Productos químicos	11 401	12,1
TOTAL	94 616	100,0

Pastas Celulósicas

No existe producción de pastas celulósicas de fibras largas en el país por falta de una reforestación con coníferas que hagan propicia su industrialización y transformación en papel y cartón.

Sociedad Paramonga, produce pulpa de bagazo blanqueada y sin blanquear (cuadro 4.17), tiene una capacidad instalada de 100 000 t.

Los insumos conformados principalmente por las materias primas (entre ellas la pulpa y productos químicos) representaron el 64% del VBP, alcanzando un promedio de 108 millones de dólares en 1987.

Las empresas que demandaron más insumos en 1991 son mostrados en el cuadro 4.18.

Cuadro 4.17: Bagazo producido en el periodo 1983-1988

Producto	1983	1984	1985	1986	1987	1988
Bagazo blanqueado	33,2	41,8	42,9	41,1	42,5	43,6
Bagazo sin blanquear	23,4	41,2	30,0	47,4	47,6	48,8
Total miles de t	59,6	83,0	72,9	88,5	90,1	92,4

Cuadro 4.18: Demanda de Insumos

Empresa	Millones US\$	Participación %
Sociedad Paramonga Ltda.	44,5	41,2
Papelera Trujillo-Trupal	22,2	21,1
Papelera Atlas	10,8	10,0
Papelera Santa Lucía	6,8	6,3
TOTAL	84.9	78.6

4.5.2 Estudio de la oferta

Mercado Interno

Las empresas que participan en la muestra del índice de volumen físico (IVF) de la producción manufacturera en el rubro de papel bond son: Industria Papelera Atlas S.A., Sociedad Paramonga Ltda S.A. y Gloria S.A. – División Centro Papelero. Estas empresas dan información sobre sus volúmenes de producción mensual al MITINCI, ver cuadro 4.19. La industria papelera se ha visto bastante afectada por la falta de inversión en

programas de ampliación de plantas, de fabricación de pulpa o de papel en todo el mundo, lo que originó una contracción importante en la oferta y produjo el cierre de fábricas obsoletas que tenían una baja producción y requerían de altos costos para su manejo.

Cuadro 4.19: Producción de papel bond y similares (1995-2000) y factores que afectaron la producción en 1998

Año	Producción t	Factores que afectaron la producción en 1998	%
1995	23 416,6	Demanda Insuficiente	40,8
1996	18 669,65	Desabastecimiento de materias primas	42,2
1997	14 995,13	Falta de financiamiento	6,0
1998	6 779,81	Fenomeno del niño	3,0
1999	28 013,00	Crisis Asiatica	-
2000	42 372,80	Otros	8,0

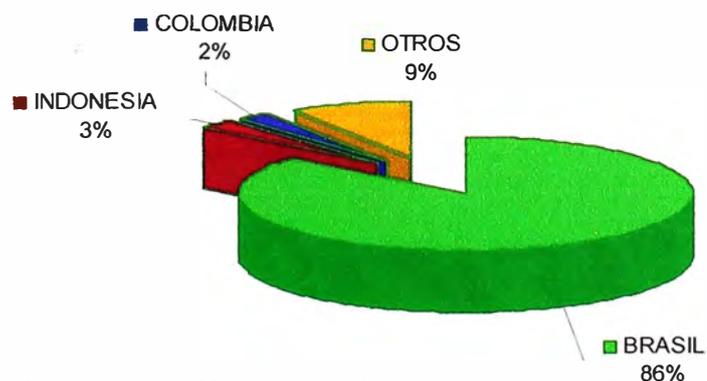
Fuente: INEI – Encuesta de opinión. Gerencia en el Sector Industrial.
Fuente: Oficina central de estadística del Mitinci

Importaciones de papeles, desperdicios, deshechos y pasta química

Históricamente el país siempre ha sido importador de materias fibrosas, para satisfacer la demanda de pulpa por las empresas papeleras. La estadística de importación de papeles y cartones utilizados en escritura del año 2000 se muestra en el cuadro: 4.20. El cuadro 4.21 reporta importaciones de desperdicios y deshechos de otros papeles y el cuadro 4.22, importaciones de pasta química. Del total de papel utilizado en las diferentes actividades de impresión y escritura solo se recicla aproximadamente un 25%. En el anexo 4 se muestran el comportamiento de las importaciones de papel, papel de desperdicio y pasta química. (gráficos 4.1, 4.2 y 4.3).

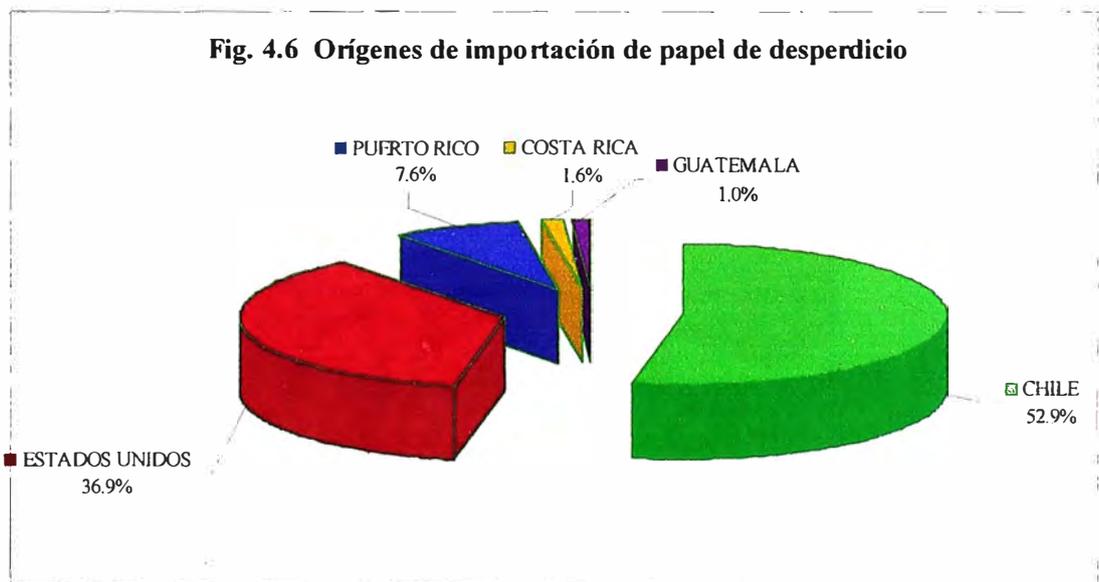
Cuadro 4.20: Papeles de escritura e impresión Año 2000

País de Origen	Valor FOB (US\$)	Valor CIF (US\$)	Peso Neto (kg)	CIF %
BR:BRAZIL	16 433 994	18 035 502	19 122 089	86,00
ID:INDONESIA	552 452	627 844	775 917	2,99
CO:COLOMBIA	458 077	480 792	508 449	2,29
PT:PORTUGAL	304 716	324 849	380 173	1,55
FR:FRANCE	261 364	290189	288 190	1,38
AR:ARGENTINA	199 772	220 727	241 865	1,05
US:UNITED STATES	195 657	215 813	32 062	1,03
JP:JAPAN	170 469	176 112	5 733	0,84
BR:BRAZIL	151 527	166 117	169 721	0,79
CL:CHILE	100 470	106 558	87 168	0,51
ZA:SOUTH AFRICA	92 251	104 789	107 784	0,50
NL:NETHERLANDS	72 173	84 004	104 810	0,40
FI:FINLAND	26 976	29 578	31 392	0,14
PT:PORTUGAL	24 129	25 731	29 940	0,12
ZA:SOUTH AFRICA	15 809	17 878	17 964	0,09
DE:GERMANY	11 986	12 306	983	0,06
CH:SWITZERLAND	8 431	10 028	973	0,05
NO:NORWAY	7 154	8 615	11,000	0,04
BE:BELGIUM	6 474	7 314	821	0,03
US:UNITED STATES	5 301	5 444	125	0,03
JP:JAPAN	5 286	5 602	167	0,03
OTROS	13 126	15 174	8 951	0,02
TOTAL -->	19 117 594	20 970 965	21 926 279	100,00

Fig. 4.5 Orígenes de importación de papel de impresión y escritura

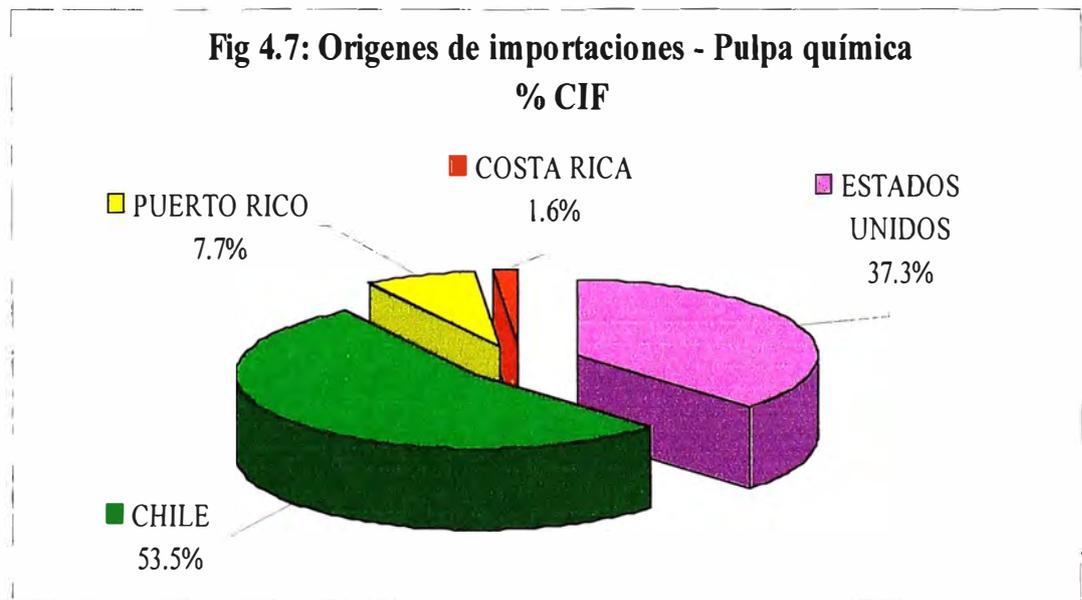
Cuadro 4.21: Importaciones de papel de desperdicios y otros Año 2000

País de Origen	Valor FOB	Valor CIF	Peso Neto	CIF
	US\$	US\$	kg	%
CL:CHILE	1 187 845	1 410 444	4 334 631	52,9
US:ESTADOS UNIDOS	817 286	983 395	2 957 939	36,9
PR:PUERTO RICO	176 744	202 198	510 750	7,6
CR:COSTA RICA	33 285	42 331	189 412	1,6
GT:GUATEMALA	16 225	26 496	136 342	1,0
TOTAL	2 231 385	2 664 864	8 129 074	100,0



Cuadro 4.22: Importaciones de pulpa química, año 2000

PAIS	FOB \$	CIF \$	ADV \$	IMP. ARANCEL \$
ESTADOS UNIDOS	817 286	983 395	118 007	316 260
CHILE	1 187 845	1 410 444		253 880
PUERTO RICO	176 744	202 198	24 264	65 027
COSTA RICA	33 285	42 331	5 080	13 614
TOTAL	2 215 160	2 638 368	147 351	648 780



Análisis de importaciones

De acuerdo a los cuadros antes mencionados podemos apreciar que el 86 % de papel es importado de Brasil, mientras que de Chile y USA importamos

papel de desperdicio. Con relación a pulpa química Chile es el mayor exportador. Ver fig. 4.5, 4.6 y 4.7.

4.6 Reciclaje de papel

Los cuadros 4.23 y 4.24 muestran el porcentaje de papel reciclado y la demanda del papel en el mundo.

Cuadro 4.23: Porcentaje de papel y cartón reciclado en algunos países

PAIS	%	Miles t	Año
Brasil	30	1500	1993
E E. UU.	26,5	1700	1993
Colombia	43	210	1987
Ecuador	40	95	1992
Perú	40	75	1992

Fuente : Boletines Cempre y datos proporcionados por papeleras Atlas, FAO 1989

Cuadro 4.24: Demanda de papel reciclado en el mundo(%)

Región	1988	2001
Africa	16,5	19,0
Resto de Asia	34,2	40,9
China	20,4	24,5
Japón	48,0	52,0
América Latina	33,6	36,8
Oceanía	24,8	31,3
Europa oriental y U.S.S.R	29,0	38,7
Comunidad europea	35,1	40,7
Países de Estados federales	40,9	47,8
Norte América	29,4	42,9
Unión Soviética	30,2	44,4
Europa occidental	35,8	41,5
Total	32,7	41,0

Cuadro 4.25: Demanda mundial de papel y cartón

Consumo por Hab. (kg)	Año	t (millones)	% Reciclado
25	1960	152	Nd
38	1984	194	25
42	1995	255	34

Fuente : FAO, 1989. Testimonio industrial, Sector papelerero Colombia.

La participación de papel reciclado como fibra a nivel mundial ha pasado de 17% a 25% en 1984, excepto los grandes productores de pulpa de madera como Canadá, Finlandia y Suecia.

El uso del reciclaje se ha intensificado como manera de obtener fibra, reducir los costos de materia prima y ampliar la gama de productos que se fabrican.

Según el documento estadístico de la FAO, en el Perú se consume entre 260 000 t al año, de los cuales aproximadamente 120 000 t es a nivel de industria y el 50% de este papel reciclado, inclusive dependiente del producto, hasta 6 ó 7 veces reciclado.

Por otro lado, el consumo de papel a nivel industria para 1992 se ha incrementado (aproximadamente un 20 %) a 154 000 t al año.

Para medir el potencial del reciclaje de papel en empresas peruanas, usamos el factor de informe FAO: 10 kg/Hab./año de papel

Si consideramos 25 000 000 de habitantes en el Perú se tendrían 250 000 t de papel anualmente, de los cuales del 89 al 90% son usados en Lima (180 000 t/año). Si las fábricas consumen aproximadamente 60 000 t/año, los cuales el 70% es nacional y el 30% es importado, se tendría una demanda de 40 000 t/año que sería cubierto por la oferta del papel de reciclaje. Sin embargo, la industria de papel peruana, está importando papel reciclable de Chile, América central, e inclusive de Nueva Zelanda, en algunos casos hasta un 70% de su demanda de papel de reciclo. Sobre todo por menor precio que el nacional y a la vez ser más confiable en cuanto a calidad y continuidad, lo que se debe básicamente a la no existencia de una organización o manejo de los residuos a nivel de empresas e

instituciones y mucho menos en hogares, lo que hace que los costos de selección, limpieza y flete lo encarezcan.

El papel y productos de papel son los productos más comunes en nuestros residuos y basureros .

**Cuadro 4.26: Componentes de la basura por estrato de ubicación según tipo:
1991 en Perú (%)**

Componente	Residencial	Popular	Medio	PP Joven
Papel	10,5	18,5	22,0	18,5
Cartón	1,8	1,5	1,3	2,4

Fuente: Seminario internacional "Reciclaje, un buen negocio para el medio ambiente" Cepis ,1994

Instituto Nacional de estadística e informática www.inei.gob.pe, Municipalidad de Lima Metropolitana www.munlima.gob.pe

El reciclado desde el punto de vista económico es más barato, y desde el punto de vista ambiental se evita muchos impactos ambientales, se evita el consumo de muchas materias primas y recursos y se alarga el ciclo de vida de los productos.

En la actualidad se multiplican en el mundo, las empresas dedicadas al reciclado de papel y cartón, existiendo diversos planes, programas e incentivos destinados a promocionar y fomentar esta actividad donde sea posible.

Los habitantes de la ciudad de Lima, 7 millones de personas, generan aproximadamente 3 500 toneladas de basura al día, de las cuales se recogen un 60% y un total de 1000 toneladas se depositan en los dos rellenos sanitarios autorizados (El Zapallal y Portillo Grande). Las otras 2 500 toneladas se tiran diariamente a las calles, en los causes de los ríos Rímac, Chillón, y Lurín y en vertederos ilegales.

V.- TECNOLOGIA DEL PROCESO

5.1 Introducción ⁽¹⁾

El empleo de fibra reciclada en la industria papelera ha aumentado en los últimos años. El tratamiento tecnológico del papel de desecho contaminado con impurezas (tinta imprenta, cargas, recubrimientos plásticos, contaminantes en general, etc.), permite eliminar en mayor o menor extensión, dependiendo del uso final, y obtener fibras reutilizables para la fabricación de nuevos papeles.

No todos los papeles pueden ser fabricados parcial o totalmente con la pasta obtenida de papel de desecho. Los límites están dados por la calidad del papel de desecho disponible, la capacidad de poder eliminar las impurezas que lo acompañan y los requerimientos de calidad del papel a fabricar con esta materia prima.

La principal impureza del papel de desecho es la tinta, ésta es eliminada mediante el proceso de destintado, operación que pretende eliminar la tinta depositada en la superficie del papel, con la pretensión de obtener una pasta que tenga una blancura lo más equivalente a la del soporte.

La utilización de papeles de desecho impreso como materia prima, sin tratamiento alguno, está destinado a la fabricación de papeles tipo tissu (higiénico, servilleta, etc.). Cuando se realiza el proceso de destintado se obtiene papeles de mejor calidad.

El papel de desecho blanco sin impresión, se utiliza parcialmente en la fabricación de papel para impresión, como sustituto directo de la pasta química blanqueada.

Para obtener un papel para impresión de óptima calidad se utilizará un papel de desecho procedente de papeles a base de pasta química blanqueada y se realizará el proceso de destintado, que es esencialmente un proceso de limpieza en el que la tinta es la suciedad.

El conjunto de contaminantes recibe el nombre de "stickies"; entendemos por "stickies" una gama de contaminantes de la fibra reciclada, que incluyen adhesivos de fusión en caliente (hot melts), adhesivos sensibles a la presión, ligantes de estucado, resinas termoplásticas, tintas, lacas UV, ceras, etc.

En el papel de desecho cuanto más carga mineral y tinta contenga, menor será el rendimiento, afectando las tintas a la blancura. La pasta mecánica hace bajar la blancura en el proceso de blanqueo de la pasta química por que contiene mayor contenido de lignina.

Debido a la gran variedad de impurezas que acompañan al papel de desecho impreso, es necesario realizar diversas operaciones antes de realizar el proceso de destintado, tal como la separación de las partículas más pesadas (arena, metales) o más livianos (plásticos) que las fibras, etc.

5.2 Tecnología de obtención de pulpa de papel de reciclaje ^(3,8,11,29)

Los procesos para la manufactura de pulpa, varían de acuerdo a la materia prima utilizada y con la clase de papel que se decida producir. Así tenemos pulpa de trapos, pulpas de madera, pulpas a partir de papel de reciclaje, etc. Dentro de las pulpas celulósicas tenemos fibras largas y cortas, dependiendo del papel a fabricar. Estos tipos de pulpa son importados en forma de hojas con una humedad aproximadamente de 10%.

5.2.1 Principales procesos de manufactura de pulpa de papel de reciclaje

En general los papeles de reciclaje siguen las siguientes operaciones:

a) Despolvado, escogido y cortado.

Los papeles al llegar a la fábrica son pesados y sometidos a un sacudido mecánico para eliminar el polvo. En seguida, se procede a una cuidadosa selección para separar los papeles coloreados y aislar las

basuras; esta operación se realiza en un cuarto bien ventilado, para cuidar la salud de los trabajadores. Los papeles blancos sin tinta de impresión se destinan para productos de buena calidad, y los coloreados, principalmente para cartón. En las fábricas modernas el papel es picado por una máquina y reducido a trozos de 8 a 15 cm². Las pérdidas durante esta operación llegan aproximadamente al 6%

b) Desintegrado y desfibrado ⁽⁷⁾

El pulpeado (desintegrado y desfibrado) es un proceso mediante el cual el material fibroso se convierte en una masa fibrosa, es decir se rompen las uniones de la estructura de la fibra. Existen gran cantidad de métodos patentados para recuperar el papel, esto es, convertir los desperdicios en pulpa. Los métodos usados pueden clasificarse en: procesos mecánicos, procesos químicos y procesos mixtos (híbridos). En el hidropulper se usa generalmente una solución de NaOH, algunas veces carbonato de sodio CO₃Na₂, o una mezcla de ambos; otras veces se utiliza productos como silicato de sodio, bentonita, dispersantes secuestrantes, etc. Una concentración generalmente usada es de 2 a 4 % de NaOH sobre el peso de papeles usados.

Proceso Mecánico.- Consiste en eliminar la tinta y desfibrar los papeles por acción mecánica únicamente. La tinta de impresión consta de un pigmento acompañado de un barniz o vehículo, y para removerlo es necesario efectuar alguna combinación del vehículo para dejar libre el pigmento, lo que como se comprenderá, no puede realizarse por medios mecánicos solamente. Sin embargo se considera que el 70% del destintado y desfibrado se realiza de esta manera.

El proceso consiste en colocar los papeles en un pulper donde son desintegrados, a elevadas temperaturas. El material se bate hasta el grado de fineza deseado, produciéndose después un refinamiento,

quedando listo para la formación de la hoja. Este método es utilizado cuando se desea fabricar cartón o papeles en el cual no es esencial el color, o cuando se colorea con ocres o rojos fuertes.

Proceso Químico.- En este tratamiento el papel de reciclaje permanece estacionario, y se coloca en un tanque abierto, sobre el cual se hace circular un álcali con el propósito de destintar y aflojar la tinta de la fibra. Las pulpas preparadas de esta forma son posteriormente lavadas, quedando listas para la preparación del papel. Este procedimiento ha caído en desuso.

Proceso Mixto.- Actualmente es el método que más se utiliza, y es una combinación de las anteriores. Los métodos para la desintegración y destintado de los papeles son en realidad pocos, pero cada fábrica introduce sus modificaciones que juzgue necesario, de acuerdo a la clase de desperdicios que utilice. Este es un sistema relativamente nuevo, requiere un mínimo de energía de entrada, de aproximadamente de 36 kwh por tonelada, la degradación de los contaminantes es mínima, lo que hace más eficaz su eliminación.

c) Destintado

La operación de destintado propiamente dicho consiste en eliminar la tinta del papel impreso, separar la tinta de la suspensión de la pasta y finalmente si es necesario el ennoblecimiento de la pasta (blanqueo).

La pasta así obtenida se destina a papeles o cartulinas de buena calidad, para lo cual es absolutamente necesario una limpieza aceptable, lo que exige a su vez una eliminación eficaz de todos los contaminantes contenidos en la materia prima.

La materia prima a emplear contiene una cantidad de contaminantes difíciles de eliminar, tales como adhesivos sensibles a la presión, adhesivos de fusión en caliente (hot melts), ligantes de estucado,

resinas termoplásticas, tintas, lacas, parafinas y ceras, que en conjunto se le llaman "stikies" y son los contaminantes más problemáticos y costosos en la industria papelera, por lo que el destintado debe estar siempre combinado con un sistema de depuración adecuada; inclusive con un tratamiento de dispersión y una temperatura relativamente elevada. Cuando es necesario mejorar la blancura de la pasta se hace un blanqueo complementario con los agentes químicos apropiados.

El desprendimiento de la tinta común a las diversas técnicas de destintado existentes, se llevan a cabo por desintegración de los materiales fibrosos en un pulper, mediante la acción combinada de calor, trabajo mecánico y productos químicos adecuados. Las condiciones deben ser tales que permitan que la película de tinta se elimine eficientemente y se disperse en partículas de tamaño adecuado, con un daño mínimo de las fibras. Para la separación de la tinta de la suspensión de la pasta, se utilizan esencialmente dos técnicas, lavado o flotación, o un moderno proceso híbrido que combina las dos operaciones (ver Cuadro 5.1.).

Sistema de lavado

El proceso mecánico de eliminar las partículas de tinta de la pasta está basado en la gran diferencia de tamaño existentes entre las partículas de tinta y las fibras. Es una operación, en teoría simple, de dilución y espesado de la pasta. El principio de separación consiste en retener las fibras en tamices de dimensión de malla adecuada, que permite el paso de las partículas de tinta y de los elementos finos; el éxito depende del grado en que los constituyentes de la tinta estén tan finamente divididos y dispersados en la solución, siendo separados de la mezcla en una proporción igual a la del agua misma. La tinta es eliminado del filtrado por floculación usando polímeros.

Los espesadores típicos que concentran la pasta al 6%, eliminan el 85% del agua de la pasta. El sistema de lavado podría eliminar el 85% de la tinta presente, alcanzándose más del 99% de eliminación de la tinta en el curso de 3 lavados. Se realiza en un equipo convencional de lavado o en tamices o en zarandas estacionaria llamadas Side Hill.

Cuadro 5.1: Contaminantes comunes en los sistemas de desintegración de papel de desecho

Tipo de contaminantes	Procedencia	Dificultades en el proceso de fabricación
Adhesivo termofusible (Hot Melts)	Adhesivos y recubrimientos.	Los sistemas de limpieza no los tratan adecuadamente, ensuciamiento de los equipos causan defectos en los productos.
Espuma de poliestireno	Bloques, bolas, usados en embalaje.	Difícil de eliminar, se pega a los rodillos, marca las hojas, produce "arrancados".
Virutas de plástico denso (Poliétileno, etc.)	Procedente de envases de burbuja (blisters) y embalajes transparentes.	Se rompen en trozos pequeños difíciles de eliminar, causan abrillantamiento en el producto.
Películas plásticas (polietileno, etc.)	Laminadas al papel ó como impureza.	Retardo en el proceso de desintegración causan defectos en el producto.
Resinas de resistencia en húmedo	Papeles tratados con resinas.	No se dispersan en el pulper pueden causar manchas en el producto.
Látex	Caucho de látex tales como adhesivos, recubrimientos, ó lámina, incluyendo pegamentos rápidos y bandas de goma.	Degrada los productos, dificultad para eliminarlos.
Autoadhesivos	Usos varios, empalmes de bobinas, sellado, etc.	Se pega a telas y fieltros y produce depósitos en las telas, puede ocasionar rotura de la hoja.
Ceras	Laminados y recubrimiento del papel o cartón.	Dificultad para dispersar en el pulper-Ensuciamiento de los equipos, degrada el producto.
Asfalto	Papel ó cartón laminado ó recubrimiento con asfalto.	Coagula en el proceso de desintegración Se pega a las telas, causa manchas negras en el producto.
Fibras	Fibras vegetales y sintéticas utilizadas en las cuerdas.	Causan defecto en el producto y roturas de las hojas.

Cuadro: 5.2 Ventajas y desventajas del sistema de lavado

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Elimina los rechazos en forma muy diluida ▪ Mayor eliminación de finos no celulósicos ▪ La pasta no causa acolmatamiento de filtros de prensas ▪ Pastas de alta calidad ▪ Reduce el tiempo de parada por limpieza del sistema. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Eliminación deficiente de tina ▪ Redisposición de tinta sobre las fibra después del desintegrado. ▪ Requiere grandes cantidades de agua limpia. ▪ Pérdidas de fibras de hasta el 35% de la carga. ▪ Contaminación de los efluentes por mayor pérdida de agua sucia de los espesadores ▪ Altos costos en el consumo de energía y de productos químicos.

Sistema de Flotación

La flotación es un proceso físico químico de separación de materiales. Para que las partículas floten en la celda, deben tener superficies hidrófobas y ser más grandes que las partículas coloidales clásicas.

El principio de la separación está basado en la influencia de la humectabilidad del agua con las partículas (si su superficie es hidrofílica o hidrofóbica) provocando en el seno de la suspensión de la pasta la aparición de una espuma abundante que recogerá las partículas de tinta y los arrastrará hacia la superficie. La repelencia al agua de las partículas se consigue mediante la adición de productos heteropolares especiales, llamados colectores.

El proceso de eliminación de tinta por flotación es complejo, dado que involucra una mezcla multicomponente, es decir agua, partículas de tinta, fibras y cargas. Para lograr que el proceso de flotación sea selectivo, es decir, que solo se deberían arrastrar de la superficie las partículas de tinta para ser eliminadas, junto con la espuma, como producto de desecho, es necesario hacer un pretratamiento al material antes de que llegue al equipo de flotación, teniendo en cuenta tanto la naturaleza de los reactivos, como los parámetros operacionales en cada etapa del proceso; además se ha de controlar la turbulencia (no debe ser muy fuerte ni muy suave), para evitar, por un lado, que las partículas de tinta adheridas a las burbujas de aire se desprendan de nuevo y por otro, que se produzca una flotación perturbadora de fibras.

Cuadro 5.3: Sistemas de destintado por lavado y flotación

	Cap. Instalada, %		Campos de aplicación, %	
	Flotación	Lavado	P. Prensa	P. Tissú
Mundo	65	35	47	32
Norte América	10	90	27	50
Europa, Japón	87	13	55	25

Cuadro: 5.4 Ventajas y desventajas del sistema de flotación

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mayor rendimiento en el proceso ▪ Bajo consumo de productos químicos. ▪ Mayor grado de blancura en las pastas aceptadas ▪ Bajo consumo de agua ▪ Recuperación de finos no fibrosos ▪ Bajo consumo de energía. ▪ Alta calidad de pasta aceptada. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mayor ensuciamiento en el sistema. ▪ Mayor acolmatamiento(*) de los fieltros.

(*) Acolmatamiento: término papelerero que significa obstrucción o taponamiento

d) Blanqueo

La finalidad de la etapa de blanqueo consiste en disminuir la coloración parda de la pasta; es decir destruir los enlaces químicos de la molécula de colorante, haciéndola perder el color. El color normalmente procede de dos fuentes: pigmentos y colorantes. Los colorantes son moléculas orgánicas solubles que se fijan en las fibras y dan al papel su color característico. La lignina y resinas presentes en la madera original son las principales sustancias absorbentes de la luz. Si se desea obtener una pasta blanqueada, estas sustancias deben ser transformadas químicamente en estado sólido para reducir sus características de absorción a la luz o ser oxidadas, reducidas o hidrolizadas en soluciones acuosas y de esta forma eliminarse de la pasta. En el blanqueo de la pastas químicas, se utilizan como agentes oxidantes: cloro, hipoclorito de sodio y calcio, dióxido de cloro, clorato sódico, peróxido de hidrógeno, oxígeno y ozono. Cada vez más se utilizan métodos de blanqueo con peróxido de hidrógeno, dado que además de obtener una blancura final mayor, el peróxido puede reciclarse y usarse por segunda vez.

5.2.2 Celdas de flotación

La técnica de flotación depende de la máquina de flotación utilizada. Entre las celdas más comunes tenemos: las celdas con agitador, celdas con aire comprimido, unidades de subreacción y máquinas de flotación al vacío.

La celda con agitador es la más comúnmente usada en el destintado de fibras secundarias. Las celdas de flotación de menas se usaron inicialmente para el destintado por flotación. En la fig. 5.1 (anexo 5), se muestra una celda tipo WEMCO FAGERGREN. Otras máquinas de flotación para destintado son del tipo VOITH; SWEMAC (desarrollada por HELLBERG, Suecia); LAMORT, Francia; OUTOKUMPU, Finlandia y AIKAWA, Japón).

5.3 Tecnología de destintado por flotación ^(8,9,18)

Existen varios métodos de remoción de la tinta del papel de reciclaje; uno de esos métodos probablemente el más utilizado es el de flotación, utilizando reactivos apropiados y condiciones hidrodinámicos específicas. Un factor importante para obtener un destintado eficaz es efectuar un buen repulpado y una consistencia adecuada de esa operación.

La técnica de separación por flotación viene siendo utilizada en el sector minero desde hace más de 100 años para concentrar diferentes minerales extraídos. Desde hace poco más de 30 años, esta operación unitaria de separación se aplica en la eliminación de tinta dispersada en la operación de destintado de papeles recuperados.

5.3.1 Principio de la flotación por espuma

La teoría de flotación por espuma es compleja y no está completamente entendida. La flotación por espuma utiliza las diferencias en propiedades

físico químicas de las superficies de las partículas después del tratamiento con reactivos. Tales diferencias, entre las superficies de partículas de tinta u otros dentro de la pulpa se acentúan y la flotación se lleva a cabo. Una burbuja de aire debe ser capaz de adherirse a la partícula y llevarse a la superficie.

Las burbujas de aire se adhieren a las partículas de tinta solo si ellas pueden desplazar agua de la superficie de la tinta; una vez alcanzado la superficie las burbujas de aire pueden continuar sosteniendo las partículas de tinta solamente si ellas forman una espuma estable, de otro modo estallan y caerán las partículas de tinta. Para lograr todas estas condiciones es necesario usar agentes químicos conocidos como reactivos de flotación

5.3.2 Mecanismo de Flotación

La flotación es un proceso en el cual se puede lograr la separación de la tinta por medio de uso de reactivos químicos. Estos reactivos se han elegido para producir un revestimiento hidrófobo a la tinta que se flotará cuando la pulpa que contenga tinta sea acondicionado con ellos. Este revestimiento hidrófobo puede consistir de solo una capa única de moléculas o puede consistir de capas múltiples de moléculas en la superficie de la tinta cuando el aire se dispersa y burbujea a través de la pulpa triturada finamente. Las partículas que han adquirido una capa hidrófoba se adherirán a las burbujas de aire que van a través de la pulpa, las cuales servirán como una bolsa para transportar las partículas hacia la superficie. El movimiento de aire requerido se obtiene fácilmente con una máquina adecuada (soplador), que consiste de un impulsor que produce el aire y agita la pulpa para mantener la tinta en suspensión. El término hidrófobo, puede tomarse como una parte del hidrocarburo de la sal soluble que se agrega en la etapa de

acondicionamiento. El fin del ión hidrocarburo, es unirse a las partículas que se flotará; y se orienta hacia la parte no soluble en agua.

Como los hidrocarburos no son susceptibles a la humedad de agua, el aire en parte es capaz de desplazar el agua a la superficie de la tinta que ha sido revestida por el colector; el colector así actúa como un eslabón entre las partículas y las burbujas de aire y es responsable por la suspensión que se confiere a las partículas de tinta revestido con el colector.

Debido a que los colectores no pueden separar en forma selectiva la tinta durante la flotación, se usa ciertos agentes químicos denominados modificadores. Los modificadores pueden ser agrupados en dos grandes grupos, llamados depresores y activadores.

En un intento por especificar el grado de adherencia de la superficie de la tinta a la burbuja de aire, se usa el concepto de ángulo de contacto, que es el ángulo de contacto entre la superficie de la tinta y la burbuja. A medida que el ángulo de contacto aumenta, así también aumenta la tendencia de una partícula a flotar.

En una planta de destintado por flotación normalmente prevalecen las condiciones alcalinas, las partículas de tinta adquieren un potencial zeta elevado y negativo, incluso sin la adición de colector; esto es causado, probablemente, por pequeñas cantidades de ácidos orgánicos en las tintas. Los grupos ácidos abundan en la capa superficial y están ionizados a pHs elevados. Cuando se adiciona el colector se absorberá en gran extensión sobre las partículas de tinta y hará que su potencial zeta sea más negativo. Los extremos hidrofóbicos del colector se orientan a las partículas de tinta y los hidrofílicos se dirigen hacia el agua. Como resultado, las partículas de tinta envueltas aparecen como hidrofílicas en su parte externa y se separan más fácilmente de la fibra.

La alta carga negativa sobre las partículas de tinta dispersas le proporcionan una estabilización electrostática que impedirá su unión a las burbujas de aire estabilizadas por el colector. La unión entre las partículas de tinta y las burbujas de aire se realiza por mediación del ion calcio, disminuyendo el potencial zeta y le comunica a las partículas de tinta las propiedades superficiales hidrofóbicas. Las partículas de tinta hidrofóbicas tienen una fuerte tendencia a adherirse a las burbujas de aire. Como los iones calcio reducen la carga existente sobre las partículas, la repulsión entre ellas disminuye y se forman pequeños agregados que tienen una menor flotabilidad que las partículas individuales y una mayor probabilidad de colisión con las burbujas de aire. Ver fig. 5.2 del Anexo 5.

Para que la flotación suceda con éxito se debe cumplir:

- Las partículas deben colisionar con las burbujas de aire. Esta etapa es gobernada por fuerzas hidrodinámicas, de tal forma que la probabilidad de que las partículas pequeñas colisionen con las burbujas de aire es pequeña (la colisión burbuja - partícula, determina la velocidad). Las partículas de pequeño tamaño (4 μ m), tienden a seguir las líneas de corriente alrededor de las burbujas de aire, más que a colisionar con ellas.
- La colisión debe conducir a una ruptura de la delgada película líquida entre la superficie de la partícula y el aire en la burbuja. Para que esto suceda, la partícula y la burbuja no se deben repeler debido a las fuerzas coloidales. Además, la película fina de líquido no debe tener una elasticidad demasiado elevada, causada por la adsorción de tensioactivos, debe tener una hidrofobia suficiente para adherirse a la burbuja.

Cuando el aglomerado burbuja - partícula asciende a través del líquido, las fuerzas de gravedad y de rozamiento (viscosidad) tienden a romper la unión.

Para partículas grandes y pesadas este será un factor crítico y el éxito de la flotación dependerá de las fuerzas que mantienen unido el agregado. Esta fuerza es la tensión superficial del líquido que circunda a la burbuja de aire, multiplicado por el coseno del ángulo de contacto superficial partícula - líquido - aire. Por consiguiente la flotación estará favorecida por una tensión superficial relativamente alta del líquido, que da un ángulo de contacto teórico óptimo de 90° .

Los reactivos de flotación se agregan en la parte superior de la máquina de flotación, usualmente en el pulper, para la separación de las partículas de tinta de las fibras; pero también hay tintas de impresión que requieren que los reactivos de flotación sean agregados en un tanque primario cerca de las celdas de flotación, para evitar disturbios de tinta que se depositen en las tuberías.

5.3.3 Reactivos de flotación ^(1,10,11,22)

Para el tratamiento de los desperdicios de papel por flotación se necesita la presencia de tres clases de reactivos diferentes y ellos son: colectores, espumantes y modificadores (depresores y activadores).

▪ **Colectores**

Son compuestos orgánicos que seleccionan a ciertas partículas para ser repelentes al agua, por adsorción de moléculas, iones sobre la superficie de las partículas de tinta, reduciendo la estabilidad de la capa hidratada que separa la superficie de la tinta de la burbuja de aire, de tal forma de que la adherencia de la partícula a la espuma se haga efectiva. Las moléculas colectoras contienen un grupo hidrocarburo no polar y un grupo polar, el radical hidrocarburo no polar tiene marcadas

propiedades repelentes al agua, mientras que el grupo polar reacciona con ésta.

El carbón de la tinta adsorberá una película de colector acentuando su tendencia a no mojarse. Esto se comprende si tenemos en cuenta que el colector tiene su ángulo de contacto con la partícula de carbón menor en comparación con el agua, razón por la cual la desplaza fácilmente. Las partículas de carbón cubiertas con el colector acentúan la tendencia a no mojarse, estas tienden a subir a la superficie del líquido, operación que es ayudado por las burbujas de aire que se encuentran en la pulpa.

A causa de la química, la electricidad o la separación física entre la porción polar y la superficie local, los colectores se adsorben sobre las partículas con sus terminales no polares, orientándose hacia la masa de la solución, para impartir hidrofobicidad a las partículas de tinta.

En general, los colectores son usados en cantidades pequeñas fundamentalmente para formar una capa monomolecular en la superficie de las partículas. Es siempre más difícil eliminar un colector ya adsorbido que prevenir su adsorción

Una excesiva concentración de colector puede tener un efecto adverso en la recuperación de la tinta, posiblemente debido a la formación de multicapas sobre las partículas, reduciéndose la proporción de radicales hidrocarburo orientados dentro de la masa de la solución. La hidrofobicidad de las partículas es así reducida, y por lo tanto su flotabilidad también. Las sustancias que tienen la característica de colectores son los xantatos, jabones y los detergentes. En un principio se utilizaban casi exclusivamente jabones, pero estos tienen la desventaja que durante el desfibrado reaccionan con el calcio o el magnesio del agua, formando sales que anulan la remoción de grasas y aceites. Con la aparición de los detergentes, se eliminó el problema

que causaba la dureza del agua en la etapa de desfibrado. Los detergentes más usados son del tipo aniónico, que en solución acuosa son eléctricamente negativos.

Los colectores son clasificados de acuerdo con el tipo de ion, anión o catión, que produce el efecto de la repelencia al agua, y pueden ser iónicos y no iónicos.

✓ **Colectores catiónicos**

La propiedad característica de este grupo de colectores es que la repulsión al agua es producido por el catión, donde el grupo polar está basado en el nitrógeno pentavalente. Las aminas son las más comunes. Los aniones de estos colectores son usualmente haluros o más raramente hidróxidos, los cuales no toman parte activa en la reacción con los materiales. Los colectores catiónicos son muy sensitivos al pH del medio, siendo más activos en soluciones débilmente ácidas e inactivas en medios fuertemente alcalinas y ácidas.

✓ **Colectores aniónicos**

Los colectores aniónicos son ampliamente usados en el destintado por flotación y pueden ser clasificados en iónicos y no iónicos. **En todos los colectores iónicos**, a mayor longitud de cadena del hidrocarburo se producirá mayor fuerza de repulsión al agua, pero la solubilidad disminuye. Los jabones (sales de ácidos grasos) sin embargo son solubles a pesar que la cadena es larga. Los jabones clásicos son baratos (C_{16} - C_{18}), fácilmente disponibles y no tóxicos. Sin embargo, tienen el inconveniente de ser sólidos, no se manipulan fácilmente y las soluciones líquidas se tienen que mantener calientes.

Los colectores no iónicos, no tienen ningún grupo ionizable, y por consiguiente, al disolverse en agua no quedan cargados eléctricamente. La mayoría de colectores no iónicos que se utilizan hoy en día son los derivados del oxido de etileno con alcoholes grasos, alquilfenoles, amidas, glicoles y ácidos grasos. Estos tensioactivos son muy importantes cuando se trata de contaminantes pegajosos

▪ **Espumantes**

Cuando la superficie del material ha sido cubierto hidrofóbicamente por el uso de un colector la estabilidad de la adherencia a la burbuja especialmente en la superficie de la pulpa, depende considerablemente de la superficie del espumante. Idealmente el espumante actúa en una fase líquida y no influencia el estado de la superficie del material, sin embargo, en la práctica ocurre una interacción entre el espumante, el material y otros reactivos, y es por eso que la selección de un espumante adecuado a un material dado solo puede ser posible luego de un amplio trabajo de pruebas.

Los espumantes son en muchos aspectos químicamente similares a los colectores iónicos. Un buen espumante deberá tener un poder colector insignificante y también producir una espuma lo suficientemente estable como para facilitar la transferencia del material flotado de la superficie de las celdas al canal recolector de espumas.

Los espumantes son generalmente reactivos orgánicos heteropolares de superficie activa capaces de ser adsorbidos en la interfase aire agua. Cuando la superficie activa de las moléculas reaccionan con el agua los dipolos del agua se combinan rápidamente con los grupos polares hidratándolos, pero prácticamente no hay reacción con el grupo

hidrocarbonado no polar, siendo la tendencia forzar más la fase del aire.

La acción de la espumación es debido a la capacidad del espumante a adsorberse en la interfase aire - agua a causa de su actividad superficial, para reducir la tensión superficial y estabilizar la burbuja de aire. Los espumantes deben ser en alguna medida solubles en agua, de otra manera podrían ser distribuidos muy desigualmente en la solución acuosa y sus propiedades de su superficie activa pueden no ser totalmente efectivas.

Los ácidos, aminos y alcoholes son los espumantes más solubles; los alcoholes (OH) son ampliamente usados ya que prácticamente no tienen propiedades colectoras. La presencia de propiedades colectoras y espumante en un mismo reactivo puede hacer dificultosa la flotación. El aceite de pino, compuesto de alcoholes aromáticos, es el que tiene el agente espumador más activo y ha sido ampliamente usado como espumante.

Un alcohol espumante sintético ampliamente usado es el metil isobutil carboxil (MIC). Otras variedades de espumantes sintéticos están basados en ésteres poliglicol y son muy efectivos. La acción del espumante es la de proporcionar mayor consistencia a las burbujas de aire introducidas en el seno de la pulpa, esta acción se realiza al rodearse las burbujas de una película que posee gran elasticidad, lo que va a permitir que las burbujas de aire al llegar a la superficie arrastrando las partículas innecesarias, permanezcan un tiempo sin romperse y puedan ser eliminadas.

Los derivados del grupo de ésteres grasos poliglicólicos (no iónicos), tienen la propiedad de aglomerar las tintas de impresión formando la espuma necesaria para hacerlas flotar y luego ser eliminadas de la celda de flotación

▪ **Reguladores y Modificadores**

Los reguladores o modificadores son ampliamente usados en la flotación para modificar la acción del colector y para intensificar o reducir el efecto repelente al agua de la superficie del material.

✓ **Activadores**

Estos reactivos alteran la naturaleza química de la superficie de los materiales, así que se vuelven hidrofóbicos a la acción del colector. Los activadores son generalmente sales solubles que se ionizan en soluciones reaccionando luego con la superficie del material. El silicato de sodio en solución incrementa la carga de doble capa sobre las partículas, de tal modo que las lamas que se han formado se dispersan fácilmente.

La superficie limpia del material puede entonces interactuar con el colector. Por lo tanto, el silicato de sodio es usado como un activador impidiendo la depresión por lamas.

✓ **Dispersantes**

Son compuestos de condensación formaldehído del ácido naftalénico o polielectrolitos solubles en agua. Son de carácter aniónico.

Se emplean para mantener en suspensión las partículas de pigmento de tinta impregnada en el papel, para permitir la remoción mecánica y para contrarrestar las dificultades de las aglomeraciones en la pasta.

✓ **Depresores**

Son usados para incrementar la selectividad de la flotación convirtiendo a ciertos materiales en hidrofílicos (afinidad al agua) y

así impedir su flotación. Hay muchos tipos de depresores siendo su acción compleja y variada.

Como depresor se puede emplear el sulfato de zinc, el cual se encargará de que las fibras de papel permanezcan deprimidas mientras que la tinta e impurezas flotan. Cumplen una función importante porque del desarrollo de su acción depende la mayor o menor recuperación de fibra.

✓ **Modificadores de pH**

Son reactivos empleados para adaptar el ambiente de flotación, por ejemplo ajustar el pH con el uso de cal, ácido sulfúrico, soda cáustica etc.

✓ **Secuestrante**

Es un producto a base polifosfato de sodio que sirve para acondicionar el agua de proceso y regular su dureza. Este compuesto forma complejos metálicos relativamente estables. Su aplicación es solo necesaria cuando se emplea peróxido de hidrógeno. La razón de utilizar un agente secuestrante de iones pesados (Fe, Mn) es que éstos disminuyen la acción del peróxido. El reactivo más usado es la sal pentasódica del ácido dietilendiamino pentaacético, conocido industrialmente como Na₅DTPA, también el EDTA. Las concentraciones recomendables es de aproximadamente 0,2% en base a papel seco.

5.3.4 Variables que afectan a la flotabilidad ⁽²²⁾

Las variables que tienen influencia en el proceso de flotación dependen de:

- Propiedades dependientes de la naturaleza del material
- Características de los reactivos de flotación

- Características de la máquina de flotación

Dentro del primer grupo, predominan las características granulométricas del material, la densidad de la pulpa, la forma de las partículas del material a flotar, pH natural, características físicas y químicas de los materiales a tratar, etc.

En el segundo grupo, la concentración superficial del colector constituye probablemente la propiedad más relevante.

En el tercer grupo, tamaño y el número de burbujas, además del complejo comportamiento hidrodinámico que involucra el movimiento de la partícula sólido-burbuja-fluido, constituyen los mecanismos preponderantes. En consecuencia, la flotación puede considerarse un proceso de carácter químico cinético, en el cual se gestan múltiples interacciones.

El desarrollo del proceso de flotación puede ser influenciado por diversos factores físicos y químicos.

Las variables físicas incluyen el tamaño de las partículas y su densidad, el tamaño de las burbujas de aire, la consistencia y la temperatura de la suspensión, así como la velocidad y condiciones de flujo de la celda de flotación. Entre las variables químicas, están la calidad del agua (por ejemplo dureza), el pH de la suspensión y los agentes de flotación, como espumantes y colectores.

Conduciendo adecuadamente el proceso de flotación, se puede eliminar satisfactoriamente partículas de hasta 400 μm . Esto no es posible en el proceso de lavado.

5.3.5 Cinética de flotación

La eliminación de las partículas de tinta de una suspensión fibrosa mediante inyección de burbujas de aire sigue una cinética de primer orden. Su expresión varía en función del tipo de análisis realizado. Las

etapas básicas que se suceden en el proceso de flotación en el destintado de papeles recuperados son: la colisión entre las partículas de tinta y las burbujas de aire, la unión entre ellas y la eliminación de los agregados formados. Los mecanismos de adhesión de las partículas de tinta a las burbujas de aire están basados en interacciones físico químicas, mientras que las colisiones de las partículas sólidas con las burbujas de aire y la posterior eliminación están regidas por interacciones hidrodinámicos. La medida de la evolución del proceso con el tiempo permite estudiar la cinética de flotación.

a) Análisis De Cinética De Reacción

Con el objetivo de modelar el proceso global de flotación en función del tiempo se propusieron inicialmente expresiones análogas a las cinética de las reacciones químicas, tal como muestra la siguiente expresión.

$$dC/dt = -k C^n C_b^m \quad (1)$$

Donde:

C: Concentración de partículas (nº de partículas/L)

C_b: Concentración de burbujas (nº de burbujas/L); n y m números de orden.

t: Tiempo de flotación en minutos

k: Constante de la velocidad de flotación

Si el caudal de aire se mantiene constante dentro de la celda de flotación y suficientemente elevada para asegurar que la concentración de burbujas de aire sea prácticamente la misma, entonces la expresión (1) se convierte en una cinética de primer orden.

$$dC/dt = kC \quad (2)$$

La integración de esta expresión considerando que para $t=0$, $C=C_0$, conduce a una nueva expresión que proporciona la concentración de partículas en suspensión en función del tiempo.

$$\ln C_0/C = kt \quad (3)$$

Arbiter ⁽²²⁾ propone una ecuación simplificada en la cual se tiene en cuenta aquellas partículas sólidas que no son eliminadas después de un tiempo de flotación prolongado. La ecuación cinética integrada toma la forma:

$$\ln C_0 - C_{\infty} / C - C_{\infty} = kt \quad (4)$$

Donde, C_{∞} : concentración de material no flotable después de un tiempo prolongado.

Esta ecuación cinética es utilizada por otros autores para calcular la eficiencia de flotación de partículas de tinta en suspensión fibrosa. Schmidt y Berg ⁽²²⁾ obtuvieron una expresión para calcular la constante cinética k , definiendo en primer lugar el número total de partículas captadas por una burbuja que sube por una suspensión bien dispersada (N_b) según la siguiente expresión:

$$N_b = P (D_b^2 L/4) C \quad (5)$$

Donde:

D_b : Diámetro de burbuja de aire (m)

L : Longitud total que asciende la burbuja (m)

P : Probabilidad de eliminación de una partícula por una burbuja de aire.

C : Concentración de partículas por unidad de volumen (n° partículas/L)

Para un caudal de aire volumétrico dado (G_{fr}) y una presión constante, el número de burbujas formadas por unidad de tiempo (B_r) se expresa según:

$$B_r = G_{fr} / D_b^3 / 6 \quad (6)$$

Por consiguiente, la velocidad total de eliminación de partículas en un volumen de flotación V_F puede determinarse como el producto de las ecuaciones 5 y 6, generando la siguiente expresión:

$$dC/dt = 3/2(G_{fr}PL/D_b V_F) C \quad (7)$$

Si se compara con la ecuación (2), permite obtener la fórmula de la constante k

$$k = 3/2(G_{fr}PL/D_b V_F) \quad (8)$$

La constante cinética de flotación depende pues de una gran variedad de parámetros, tales como la naturaleza de las partículas de tinta, temperatura de trabajo, consistencia de flotación, composición de la suspensión, caudal de aire introducido, tamaño de las burbujas, ángulos de contacto burbuja partícula y geometría de la celda de flotación.

El objetivo del estudio se centra en determinar la relación de las variables macroscópicas fácilmente medibles, tales como la consistencia de pulpa, la velocidad de agitación, el caudal de aire aplicado, las condiciones hidrodinámicas de la suspensión, pH de la pulpa, etc. Todas las variables medidas y otras estimadas afectarán las constantes cinéticas que gobiernan el proceso de flotación y por tanto la eficiencia de destintado.

5.4 Etapas del proceso de destintado por flotación

5.4.1 Desintegración y desprendimiento de la tinta

La desintegración de la fibra y puesta en suspensión de la tinta se realiza en forma continua o discontinua en un pulper en el que se le añade los productos químicos del destintado y la energía calórica necesaria. Estas operaciones tienen relación con una multitud de variables que dependen

de las materias primas, equipo, condiciones de operación y requerimientos del proceso.

El objetivo de esta etapa es remover los enlaces fibra-fibra, mediante la acción mecánica (agitación), la acción química de los reactivos y dejar en libertad la tinta adherida a las fibras. La mayor parte de los reactivos químicos utilizados en el proceso de flotación son agregados en la etapa de desfibrado, algunos para ayudar a la separación de la tinta de las fibras y otros para mantener las condiciones de operación como pH y concentración de iones metálicos.

3.4.1.1 Productos químicos

La elección de los productos químicos depende de diversos factores, fundamentalmente de la naturaleza del papel de reciclaje, tipo de tinta de impresión, proceso de destintado, etc. Los productos químicos a utilizar deben ser capaces de convertir el papel de reciclaje en una pasta de calidad, con el equipo disponible y las condiciones de operación.

a) Hidróxido de sodio.

Es uno de los productos químicos más usados en la mayoría de los procesos de obtención de pulpas. Se utiliza como agente alcalino porque proporciona condiciones de pH adecuados para mejorar la dispersión de los pigmentos y la acción del agente de blanqueo.

En condiciones alcalinas (pH 10), la estructura del papel se destruye rápidamente, los agentes de encolado y ligantes de estucado se disuelven o dispersan, determinados componentes del vehículo de la tinta se saponifican y los pigmentos de la tinta y del estucado se dispersan.

En el destintado se utiliza este producto gracias a que favorece el hinchamiento de las fibras celulósicas ($R-H + Na = RNa + H_2O$). Este hinchamiento de la celulosa facilita la penetración de los demás reactivos hasta la superficie de la fibra y la saponificación del vehículo de la tinta. Al reaccionar la resina con el álcali, los pigmentos de la tinta quedan desligados de la superficie de la fibra y son llevados hacia la superficie.

La concentración de NaOH en la solución de desfibrado depende del tipo de papel impreso, contenido de pasta mecánica, material no celulósico y tinta, que se desee destintar. Es normal utilizar cantidades del orden del 2 a 5% (referido al papel reciclado), aunque algunas fábricas obtienen buenos resultados con solo 2%.

b) Carbonato de sodio

Muchas fábricas prefieren usarlo junto con el NaOH ya que la cocción es menos severa, y produce una menor degradación de la fibra y un menor oscurecimiento de la pasta por acción del álcali, que cuando se usa exclusivamente soda. La cantidad de carbonato de sodio oscila entre 3 y 8%.

El NaOH y el Na_2CO_3 son productos baratos, fáciles de manipular, rápidos, efectivos y convierten muchos compuestos no celulósicos en compuestos solubles.

c) Silicato de sodio Na_2SiO_3

Denominado vidrio soluble, es un compuesto químico sólido cristalino, soluble en agua a presión y temperatura media. Es obtenido por fusión entre el Na_2CO_3 y la sílice como SiO_2 . El grado de silicato depende de la razón molecular del oxígeno del Na_2CO_3 y SiO_3 y esta diferencia afecta significativamente

su eficiencia en el destintado. Tiene un efecto múltiple, permite estabilizar el oxígeno activo del peróxido (descomposición del peróxido de hidrógeno), actúa como tampón, permite bajar a valores de pH más bajos y favorece la penetración, humectación y dispersión de las partículas de tinta.

Los niveles de utilización suelen estar entre 1- 6% sobre el peso de la pasta seca.

Es importante emplear un silicato que no contenga más de 0,01% de Fe^{+2} , de lo contrario produciría la descomposición catalítica del peróxido.

d) **Peróxido de hidrógeno**

Este es opcional, y su utilización depende del grado de blancura que se quiere obtener en la pulpa destintada. El peróxido de hidrógeno se utiliza con frecuencia en la cocción de papeles con alto contenido de pasta mecánica. El peróxido cataliza determinadas reacciones hidrolíticas que convierten la cola animal, la caseína, el almidón y ciertas materias grasas en especies solubles en agua, contribuyendo así a la dispersión de las tintas y los componentes de estucado y encolado.

Normalmente se utiliza hasta un 2% de peróxido, conjuntamente con el silicato de sodio o sulfato de magnesio y algún agente secuestrante.

5.4.1.2 Condiciones de operación en el pulper

Una vez seleccionados los productos químicos, se deben tener en cuenta las condiciones de operación que favorezcan su

acción sin degradación del material celulósico y obtener un buen producto final.

Agitación. La agitación promueve la acción efectiva de los productos químicos en el desfibrado. La agitación además tiene la función de proporcionar la energía necesaria y las condiciones favorables para la dispersión coloidal y semicoloidal de muchos de los ingredientes no celulósicos. Sin este efecto el destintado sería de inferior calidad y el lavado no sería completo.

Consistencia. La consistencia debe ser tal, para que en el desfibrado se facilite la acción mecánica y química. El desfibrado a consistencias bajas entre 3 - 5% de pulpa cumple el primer objetivo, haciendo posible la utilización de equipos sencillos y facilitando el control de la temperatura, la cual tiende a elevarse cuando se desfibra a alta consistencia. Altas consistencias permiten ahorrar calor, productos químicos y en algunos casos, tiempo. Además no reduce el tamaño de las partículas contaminantes, como polietileno, celofán, adhesivos, etc. El proceso de alta consistencia se emplea sobre todo para papeles que contienen pasta mecánica y especialmente para el destintado de fibras que contienen tintas de impresión muy resistentes (offset, xerox, etc.). La consistencia óptima no solo depende del equipo, sino del papel de desperdicio utilizado.

Tiempo. El tiempo de desfibrado está relacionado con la calidad de pulpa final obtenida, dependiendo fundamentalmente del tipo de papel de reciclaje.

Presión y temperatura. Se trabaja a presión atmosférica, lo que permite un equipo más simple, pero limita la temperatura a 100°C. Algunas veces el equipo se diseña para trabajar a

presión, lo que permite usar temperaturas superiores a 100°C (papeles resistentes en húmedo). La temperatura de cocción se debe basar en la materia prima fibrosa utilizada, los productos químicos y el tipo de pasta destintada deseada. La operación a temperaturas inferiores a 60°C, se considera proceso en frío.

Las composiciones con alto contenido de pasta mecánica se desfibran adecuadamente y destintan mejor cuando se utilizan temperaturas bajas (38 - 71°C). Las de alta calidad, en ausencia de papeles resistentes en húmedo, se desfibran satisfactoriamente a temperaturas de 71- 99°C. Algunas plantas lo hacen a temperaturas bajas (49 - 60°C) con el fin de reducir la formación de "stickies"

Hidratación. Una vez que se ha roto los enlaces entre las partículas de tinta y fibras, es necesario homogeneizar la suspensión, esto se logra mediante una agitación suave, deshaciendo los grumos que tienden a formarse, que dificultan la acción de los reactivos y la extracción de las impurezas.

La impregnación se realiza en tanques simples provistos de elementos para agitación, en el cual la única variable a controlar es el tiempo de residencia, el cual debe garantizar la adecuada acción de los reactivos.

5.4.2 Flotación ⁽²²⁾

Al igual que en la etapa de desfibrado, en la flotación hay la necesidad de controlar las variables de operación con el fin de retirar la mayor cantidad de tinta. Estas variables son: consistencia de la suspensión, cantidad de tensioactivo (colectores, espumantes, etc.), temperatura, pH, y dureza del agua utilizada.

- **Consistencia**

Las suspensiones fibrosas con consistencias superiores a 1,2 % presentan dificultades para obtener una espuma estable, debido a que las burbujas de aire en su ascenso tienen mayor oportunidad de encontrar obstáculos y romperse con facilidad. Aquellas suspensiones fibrosas con consistencia menores de 0,8% generan burbujas demasiadas grandes que son fáciles de romper. En ambos casos se rompe la burbuja, la tinta queda en suspensión, disminuyendo la blancura final de la pulpa. La consistencia más adecuada está en el rango 0,8 - 1,2%.

- **Temperatura**

La temperatura es otra variable que se debe controlar, ya que influirá en la blancura de la pulpa y en el rendimiento del proceso. Al aumentar la temperatura la suspensión fibrosa disminuye su tensión superficial, produciendo mayor cantidad de espuma a baja estabilidad, debido a que la presión de aire en las burbujas aumenta, produciendo su explosión, dando lugar a una deficiente remoción de tinta. La temperatura óptima del proceso es de 40 °C.

- **pH de la suspensión.**

Este parámetro tiene una influencia marcada sobre la blancura de la pasta y el rendimiento. Es dependiente de la cantidad de álcali que se adicione en el desfibrado. El pH óptimo se encuentra en el rango de 8 - 10.

- **Dureza del agua utilizada**

Durante la flotación se requiere cierta concentración mínima de iones Ca^{++} en la suspensión para reactivar el terminal hidrófobo del colector

y facilitar así la adherencia de los pigmentos a las burbujas de aire. Sin embargo, si el agua contiene un exceso de iones calcio, estos reaccionarán con el terminal hidrófilo (polar) del colector formando sales insolubles, que crean una capa espesa de grumos, que posteriormente depositarán sobre la tubería, carcaza de los equipos y en el impulsor de la bomba.

VI ESTUDIO EXPERIMENTAL

Se llevaron a cabo pruebas a nivel experimental con papel de desecho impreso por una cara, fabricado con pasta química blanqueada, con el objeto de estudiar el producto obtenido mediante el destintado por flotación.

6.1 Materia prima

En las pruebas de laboratorio se emplearon papel bond recuperado impreso por una cara acopiado por diferentes medios. Las características del papel utilizado como materia prima se resumen en el Cuadro 6.1.

Cuadro 6.1: Características de la materia prima (papel de desecho)

Material	Gramaje g/m ²	Humedad %	Opacidad %	Lisura S	Cenizas %	Indice de Blancura, %
Papel de Desecho	80	6	120	55	12	67

6.2 Equipos usados en el laboratorio

6.2.1 Preparación de papel (materia prima)

- Tijera para cortar papel de dimensiones 1 cm².
- Una balanza.

6.2.2 Repulpado e hidratación

- Estufa eléctrica para calentamiento.
- Un recipiente de 30 litros de capacidad.
- Sistema de agitación: un agitador de tipo paleta con eje de 1/2" de diámetro y dimensiones de la paleta 4" de diámetro exterior y 1 1/2" x 11/16" y 3/32" de espesor. Motor del sistema de agitación de 1100 y 880 r.p.m. con reductor de velocidad variable.
- Bafles de 1" de ancho por 32 cm de largo y 1" de espesor.

- Instrumentos de control utilizados: potenciómetro, termómetro, densímetro.

6.2.3 Flotación

- Celda de flotación (2): capacidad 2,5 litros (11cm x 11cm x 20,5 cm).
- Sistema de agitación: eje de 1 3/4", impulsor de 3,5" tipo rastrillo, accionado por un motor de 0,6 HP y 1645 r.p.m.
- Instrumentos de control: termómetro, densímetro, potenciómetro, paleta de madera para retirar la espuma.

6.2.4 Espesado

- Recipientes (dos) de 12 litros de capacidad.
- Lavatorio cuadrado de 33 cm x 16 cm x 14 cm.
- Formadores de hoja (malla N° 35 Tyler con bordes de madera)

6.2.5 Secado

- Mesa de madera de 50 x 30 x 50 cm

6.2.6 Vistas fotográficas de los equipos

- En el Anexo N° 6 se presenta vistas fotográficas de la materia prima, los equipos, operaciones y productos obtenidos durante la parte experimental.

6.3 Dosificación y selección de reactivos

6.3.1 Reactivos usados en el pulper

- Hidróxido de sodio para acondicionar la pulpa a pH 11.
- Silicato de sodio
- Peróxido de hidrógeno (blanqueante) opcional.

6.3.2 Reactivos utilizados en el proceso de flotación:

- Colector: Xantato amílico de potasio (Z-6) e Isopropil xantato sódico (Z-11).
- Espumante: Aceite de pino y metil isobutil corboxil (MIC).
- Dispersante: Silicato de sodio (SiO_3Na_2).

6.4 Pruebas de laboratorio

Las pruebas experimentales que se realizaron (exclusivamente utilizando papeles bond impresos por solo una de las caras), fueron hechos en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la FIQM.

6.4.1 Objetivos Específicos

La finalidad de las pruebas han sido determinar:

- Cantidad óptima de reactivos (colectores, espumantes, depresores y activadores) que deben emplearse en el destintado por flotación.
- El tiempo y temperatura de flotación óptimo para maximizar la eficiencia operativa de las celdas de flotación.
- Definir un diagrama de proceso para obtener pulpa química a partir de papel de desecho.
- Proyectar una planta industrial para la producción de pulpa química a partir de papel recuperado.

6.4.2 Metodología de trabajo

Desfibrado (preparación de pulpa)

Para esta operación se utilizó el equipo de agitación del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la FIQM y se acondicionó un recipiente de aproximadamente 30 litros que sirvió de desintegrador.

El desfibrado se llevó a cabo por lotes, para ello se cargó un volumen de agua de 12 litros en el reactor acondicionado y utilizando una estufa eléctrica se elevó la temperatura del baño a 50°C en un tiempo aproximado de 1/2 hora. Alcanzado la temperatura establecida se adicionó los reactivos químicos respectivos (cristales de hidróxido de sodio en cantidad igual a 2% en peso de papel seco, silicato de sodio al 3% en peso de papel seco.) y 300 gramos de papel cortado.

El papel de desecho (papel bond impreso por una cara) cortado en trozos de 1cm² se adiciona inmediatamente y con agitación constante se repulpa por un tiempo de 30 minutos; al término del cual se inicia la etapa de hidratación en el mismo reactor por un tiempo de 90 minutos, con el propósito de homogeneizar la suspensión fibrosa, mediante un agitado suave, destruyendo los grumos que tienden a formarse.

Depuración

La pulpa obtenida es depurada con la ayuda de un cedazo de malla 1/8", con el objeto de separar las fibras no desintegradas y materiales diversos (grampas, clips, arenillas, papel resistente en húmedo, etc.).

Flotación

Este proceso necesita una consistencia de 1%, razón por el cual la pulpa se diluyó con un volumen de agua destilada equivalente. El proceso se llevó a cabo en una celda de un volumen aproximado de 2,5 litros.

La pulpa antes de ingresar a la etapa de flotación, fue acondicionada con el colector por un tiempo de 10 minutos. En la celda de flotación se adicionó el espumante y se agitó mecánicamente por un tiempo establecido.

Se llevaron a cabo varias series de pruebas, para evaluar dos tipos de colectores, dos tipos de espumantes, concentración de colector, de

espumante, temperatura, tiempo de agitación. Así mismo, se evaluó la influencia del silicato de sodio como dispersante. Se mantuvieron constantes la presión y el flujo de aire.

Formación de la hoja de pulpa

Al término del proceso de flotación, la pulpa destintada se vierte sobre una malla 35 Tyler, formándose una hoja de aproximadamente 2 mm de espesor y filtrándose el agua sobre un recipiente. La hoja formada servirá para realizar el análisis de imagen (puntos) e índice de blancura.

Análisis de laboratorio

Los análisis de imagen y blancura fueron realizados en la Compañía Productos Tissu del Perú, gracias a la colaboración desinteresada de algunos funcionarios e ingenieros de esa prestigiosa empresa. Sin embargo, tales resultados no pudieron ser justificados con ningún documento emitido por la compañía por razones de confidencialidad y reserva.

En el Anexo 6 se detallan los resultados obtenidos en todas las series de pruebas realizadas.

6.5 Parámetros de operación utilizados

6.5.1 En el pulper

Consistencia.- En nuestro caso, se trabajó con consistencias de 2,5 y 3,0 %, no siendo posible obtenerse mayores consistencias debido a las limitaciones del equipo de laboratorio utilizado. Sin embargo, es necesario resaltar que altas consistencias permiten ahorrar calor, productos químicos y tiempo.

Temperatura.- La temperatura empleada en el proceso fue de 50 °C.

Presión.- Se trabajó a presión atmosférica.

Alcalinidad.- El agente alcalino utilizado en las pruebas fue NaOH, reactivo adecuado y de bajo costo. Se trabajó con valores de 2,0 y 3,0 % en peso base seca de papel.

Agitación.- Se trabajó con un agitador de paleta tipo turbina que permitió alcanzar velocidades de régimen turbulento.

Tiempo de reacción. Se trabajó con tiempos de 30 minutos de cocción y 90 minutos de hidratación.

6.5.2 Flotación

Consistencia.- Durante las pruebas se trabajó con valores de 1%, cifra recomendada en la literatura examinada ⁽²²⁾. A consistencias mayores se tiene dificultad para extraer la tinta atrapada en las fibras.

Temperatura.- Se trabajó con temperatura de 40°C, el cual es el óptimo recomendado por la literatura examinada ⁽²²⁾.

Presión.- La presión de trabajo fue de 1 atmósfera.

Colector.- Se utilizó los reactivos convencionales utilizados en la flotación, ellos son el Xantato amílico de potasio (Z-6) e Isopropil xantato sódico (Z-11), en concentración de 5 g/l y dosificación de 20, 30, 40, 50 y 60 g/t de papel base seca.

Espumante.- Se utilizó los reactivos convencionales utilizados en la flotación, ellos son el aceite de pino y el metil isobutil carboxil (MIC), en concentración de 5 g/l y dosificación de 20, 30, 40, 50 y 60 g/t de papel base seca.

Tiempo.- Con el tiempo de flotación de 30 minutos se seleccionó la concentración del colector y espumante óptimo; y con tiempos de 10, 20, 30 y 40 minutos, para evaluar el tiempo óptimo de flotación.

6.5.3 Muestreo

Muestras.- Se tomaron muestras de pulpa destintada, de las láminas obtenidas en formadores de hoja. Las láminas tuvieron en promedio un espesor aproximado de 2 mm.

Tiempo de secado.- Las muestras tomadas se secaron al ambiente por un tiempo aproximado de 24 horas.

Cuadro 6.1: Rango de variación de los parámetros principales

Parámetro	Dosificación g/t				
Colector Z-6	20	30	40	50	60
Colector Z-11	20	30	40	50	60
Aceite de Pino	20	30	40	50	60
MIC	20	30	40	50	60
Parámetro	Minutos				
Tiempo	10	20	30	40	
Parámetro	°C				
Temperatura	25	30	35	40	45
Parámetro	%				
NaOH	2,0	2,5	3,0		

Concentración de los reactivos de flotación: 5 g/l

6.6 Resultados obtenidos

Las pruebas de laboratorio efectuadas en un número de 105 permitieron determinar los siguientes resultados:

- Mediante la serie de pruebas experimentales N° 1, 2, 3 y 4 (ver anexo N° 6), se pudo determinar que los tensioactivos que mejor separan las tintas de las fibras son el Z-11 y MIC respectivamente. La selección se realizó en base al índice de blancura (ver gráficos 1 - 12).

- De la serie de pruebas experimentales N° 5 y 6 consistentes en la evaluación de la concentración del colector y la concentración del espumante seleccionado, se estableció como concentración para Z-11 40 g/t y 30 g/t para el espumante MIC (en base al índice de blancura e impurezas, ver gráficos 13 y 14). Además, el uso de silicato de sodio como agente dispersante incrementó el índice de blancura y las impurezas se vieron disminuídas (ver gráficos 15 y 16).
- En la serie de pruebas experimentales N° 7, se evaluó el tiempo de flotación (ver gráfico 17). El tiempo seleccionado está entre 20 y 30 minutos, determinado en función del índice de blancura y concentración de impurezas respectivamente.
- La serie de pruebas N° 8, nos permitió evaluar la temperatura de flotación. Esta temperatura fue de 40 °C, determinada en función del índice de blancura e impurezas.
- En la serie de pruebas N° 9 se encontró que, al aumentar la concentración del hidróxido de sodio, utilizado como agente alcalino, el índice de blancura aumenta (ver gráfico 19).
- En la serie de pruebas N° 10 se observa que al aumentar el tiempo de repulpado también se incrementa el índice de blancura (ver gráfico 20).
- No utilizamos peróxido de hidrógeno como agente blanqueante porque el grado de blancura obtenido supera el valor mínimo deseable en una pasta química.
- Se trabajó con pH básico de 10 - 11 en el desintegrador (repulper), ya que se sabe que a valores mayores de pH 12 el índice de blancura disminuye. En el proceso de flotación es recomendable trabajar en el rango de pH 8,0 - 9,0

- Las pruebas de flotación que mejor performance obtuvieron se encuentran resumidos en el Anexo 6. Las pruebas fueron realizados bajo las siguientes condiciones:
Temperatura: 40 °C
Presión: 1 atmósfera
Reactivos químicos (referidos a papel de desecho en base seca): colector: Z-11, concentración 30 g/t; espumante: MIC, concentración 40 g/t.
Consistencia: 1 %
Tiempo de flotación: 20 minutos
- El grado de blancura obtenido bajo las condiciones indicados en el ítem anterior es 83,5%; el cual supera a la norma ITINTEC 272.047 (78 %, ver Anexo 9). El grado de blancura obtenido al compararse con el papel bond atlas de 80 gramos, cuyo índice es 89,0%, representa una performance de 93,8%.

6.7. Diagrama de flujo del proceso experimental

En el Anexo 6 se presenta el diagrama de flujo de las operaciones y procesos llevados a cabo en el laboratorio de Operaciones Unitarias de la FIQM.

VII BASES PARA EL DISEÑO DE UNA PLANTA INDUSTRIAL

7.1 Descripción del proceso industrial de obtención de pasta de papel de reciclaje

7.1.1 Materia Prima

Para el normal funcionamiento de una planta industrial es necesario contar con la suficiente cantidad de materia prima, así como también es necesario tener un stock de reservas para situaciones imprevistas.

Los estimados de existencias de materia prima representados por papeles bond impresos usados (basados en el estudio de mercado) son los suficientes para diseñar una planta industrial de una capacidad de 20 toneladas/día.

a) Recolección de la materia prima

La recolección de la materia prima puede realizarse bajo el siguiente esquema:

Recogido a domicilio: esta labor la realizan un equipo de recolectores los cuales recogen o compran el papel impreso, haciendo uso de triciclos.

Transporte del papel adquirido a depósitos de embalaje: luego de haber reunido una determinada cantidad, los recolectores lo trasladan a su respectivo depósito que debe estar ubicado en un lugar cercano a la zona de acción, donde serán recibidos por un operario para luego ser embalados en paquetes de más o menos 200 kilogramos, quedando listos para ser transportados a las fábricas.

Transporte del papel adquirido de los depósitos a la fábrica: para el traslado del material se utilizará los servicios de una empresa transportadora la cual se encargará de esta operación.

Propaganda: esto se realizará periódicamente mediante avisos en diarios y emisoras locales. La finalidad de ello será inducir a la gente a recolectar los papeles impresos, ya sea en lo hogares, escuelas, universidades, convertidores, etc.

7.2 Procedimiento industrial de fabricación

La preparación de la pasta a partir de papel de desecho impreso, implica realizar diversas operaciones unitarias con la finalidad de acondicionarla, para luego ser convertida en papel de calidad.

7.2.1 Etapas del proceso

- Selección del papel de desecho
- Desintegración
- Hidratación
- Depuración de alta densidad
- Desfibración
- Flotación (destintado)
- Depuración de la pasta de baja densidad
- Espesado
- Blanqueo (opcional)
- Secado

a) Selección del papel de desecho

El papel de desecho de todos los tipos llega a la planta de selección por medio de camiones, o directamente a través de recolectores en pequeño.

El escogido de las diferentes calidades de papel de desecho y separación de materiales contaminantes se realizará a mano, con personal operario.

En nuestro país no existe una clasificación normada de los diferentes tipos de papeles de desecho, existiendo más de una denominación para el mismo tipo de papel.

Una clasificación aceptada entre proveedores y consumidores es la mostrada en el Cuadro 7.1.

Cuadro 7.1: Clasificación de los diferentes tipos de papel

Papel blanco	Fabricado a base de pasta química blanqueada, sin impresión.
Papel blanco rayado	Fabricado a base de pasta química blanqueada, que durante su proceso de conversión fue rayado.
Papel blanco listado	Fabricado a base de pasta química blanqueada, que es utilizado para impresoras (es común encontrar en este papel goma, carbón, etc.).
Papel de archivo	Fabricado a base de pasta química blanqueada, es utilizado para documentación, escritura, impresión, etc. (este papel está generalmente acompañado por grampas, adhesivos, etc.).
Papel de color	Fabricado a base de pasta química o mecánica (papeles coloreados).
Papel periódico	Fabricado con gran porcentaje de pasta mecánica (papel de diario).
Papel mixto	Fabricado a base de pasta química o mecánica, constituido con diferentes papeles de impresión coloreados (acompañando al papel, goma, plásticos, alambres, etc.).

El papel de desecho debe someterse a un análisis de laboratorio para determinar su calidad. Es deseable que los papeles de desecho deban estar libres de materiales plásticos, hule, materiales pegajosos y de recubrimientos especiales, porque dificultan el proceso de destintado.

Las características más importantes a evaluar son: humedad (se considera normal de 7 al 8 %); cenizas (para saber la cantidad

carga mineral que contiene); facilidad de degradación; calidad de fibras (fibra larga o corta); contenido bacteriológico (conocer la existencia de residuos orgánicos que facilitarán la proliferación de hongos); grado de contaminación (plásticos, trapos, grapas, arena, etc.).

b) Desintegración del papel de desecho

El proceso se realizará generalmente en un pulper con consistencia entre 2 a 15%, y consiste en reducir el material fibroso seco a forma de pasta, agregando la cantidad de agua suficiente y dejando libre los materiales no desmenuzables.

El orden de adición de los reactivos químicos es como sigue:

- Agua
- Soda cáustica (carbonato de sodio)
- Silicato de sodio
- Dispersante y secuestrante
- Fibras
- Peróxido de hidrógeno (opcional).

c) Depuración de pasta de alta densidad

La limpieza se realizará en equipos llamados limpiadores de alta densidad (High density cleaners); consiste en eliminar las impurezas pesadas de la pasta, como piedras, clavos, clips, grapas, etc.

El mecanismo consiste en hacer ingresar tangencialmente la pasta a presión, para formar un vórtice o remolino, en que por fuerza centrífuga, las impurezas se desplazarán por las paredes cónicas del limpiador, cayendo hacia el vórtice, de donde son eliminadas al ceder la pasta las impurezas al agua que actúa en contra corriente.

d) Desfibración

Esta operación se realizará en un equipo llamado despastillador o "Defleacker", y consiste en individualizar los haces o grupos de fibras (pastillas) de la pasta que no ha logrado ser desfibrado en el pulper. En esta etapa la pulpa se desfibra más.

La agitación no solo permite mantener en suspensión las fibras sino también mantener una homogeneización adecuada de los materiales fibrosos y de los aditivos.

e) Destintado

El destintado es la operación por la que se separa de la suspensión fibrosa la tinta de las fibras.

El método usado para la separación de la tinta del material fibroso es el de flotación. La flotación tiene por finalidad separar la tinta del material fibroso y al mismo tiempo eliminar el material estéril (impurezas).

El mecanismo esencial de la flotación involucra la adhesión de partículas pequeñas de tinta a las burbujas de aire, de manera que dichas partículas son llevadas a la superficie de la pulpa, donde son removidos. Esta adhesión es provocada por reactivos químicos, los cuales crean superficies hidrofóbicas en ciertos materiales (tinta), mientras que otros materiales (fibra) hidrofílicos permanecen sumergidos en el fondo.

Así pues, en la flotación hay que poner en contacto íntimo la fibra, agua, reactivos y el aire. La máquina de flotación cumple la función de introducir el aire en la pulpa, manteniendo la pulpa en suspensión, y lograr una evacuación ordenada de tinta e impurezas; pero son los reactivos químicos la variable más importante, ya que sin ellos no se podría llevar a cabo la flotación.

Entre ellos tenemos a los colectores, que proporcionan las propiedades hidrofóbicas a las superficies de la fibra, los modificadores que regulan las condiciones de funcionamiento de los colectores y aumentan su selectividad; y los espumantes que permiten la formación de una espuma estable y de tamaño adecuado para llevar la tinta e impurezas.

La flotación es un problema sumamente complejo, debido a la gran cantidad de variables que afectan al proceso. Por esa razón, muchos consideran a la flotación un arte en vez de una ciencia.

f) Depuración de la pasta de baja densidad

En esta operación se eliminan las impurezas que no son fibras celulósicas, como: partículas de carga (caolín), arenilla fina, grumos de fibra sin desfibrar, plásticos varios, astillas etc.

Hay varios equipos que realizan esta operación. En el proyecto se utilizará los "Centricleaners", cuyo mecanismo consiste en hacer ingresar tangencialmente la pasta a una presión determinada creando un remolino, en que por fuerza centrífuga, las impurezas se pegan a las paredes cónicas del limpiador, luego son conducidas al vórtice del cono donde se separan. Las partes aceptadas siguen su camino por la parte superior del depurador.

g) Espesado (regulación de la consistencia)

La operación consiste en concentrar las fibras de la pasta dentro del rango establecido (4 - 5%) en equipos de espesado (clarificadores). El control se realiza mediante instrumentos automáticos llamados "DEZURICK" que pueden ser abiertos o cerrados.

h) Blanqueo (opcional)

Proceso opcional, consiste en mejorar el grado de blancura con la adición de peróxido de hidrógeno o hipoclorito de sodio, y ello se realizará en un reactor cilíndrico.

i) Secado

En fábricas integradas, la pulpa generalmente se almacena a baja consistencia antes de su utilización en la máquina de papel. En operaciones no integradas se debe practicar una mayor extracción de agua para disminuir los costos de transporte. La entrega de pulpa se puede hacer en forma de hojas (40-45% de consistencia).

7.3 Balance de Materiales y diagrama de flujo del proceso

El Anexo 7 detalla, el diagrama de flujo de proceso de la planta de destintado proyectado y el balance de materiales en los principales equipos (incluye la metodología de cálculo). Los resultados del balance de materiales se resumen en el Cuadro 7.1.

El Anexo 7 también presenta vistas fotográficas de una planta industrial de papel, de una celda de flotación industrial y de algunos equipos que utiliza la industria papelera.

7.4 Diseño de los principales equipos (Capacidad de planta: 20 t/d de pulpa de papel)

7.4.1 Equipos de proceso

a) Pulper o hidropulper

Esta máquina debe transformar la materia prima en una suspensión fibrosa, con un mínimo consumo de energía protegiendo las fibras. El desintegrador tiene incorporado un tamiz clasificador de chapa de acero resistente y un rodete triturador con nervios desgarradores de acero fundido al cromo, níquel y molibdeno.

Nombre: Desintegrador	Función: Desintegrar el papel de desecho
Unidades requeridas	01
Operación	Intermitente
Tipo	Desintegrador de baja consistencia

Datos de diseño

Papel de desecho	0,55 t/carga
Agua de dilución	9,5 m ³ /carga; 0,10%
Humedad	12,0 %
Consistencia pasta	5,0%
PH	11,0
Temperatura	323,15 K
Presión	1,0 atmósfera
Capacidad	10,0 m ³
Tiempo de operación por carga	0,5 h
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 316
Motor eléctrico	100 HP, 1 185 rpm

Bomba centrífuga	Marca: (Voith)
	Capacidad: 60 l/s
	Motor eléctrico: 25HP; 885 rpm
Controles	Temperatura y pH

b) **Tanque de hidratación**

El tanque de hidratación se ha diseñado para un tiempo de residencia óptimo, y recubierto interiormente con loseta de cerámica.

Nombre: Tanque cilíndrico agitado	Función: Hidratar la pasta desintegrada
Unidades requeridas	01
Operación	Continua

Datos de diseño

Pasta desintegrada, 5% de consistencia	10,0 m ³ /h
Gravedad específica	1,0
PH	11,0
Temperatura	323,15 K
Presión	1,0 atmósfera
Capacidad	33,5 m ³
Tiempo de residencia	1,5 h
Material de construcción	Concreto armado, revestimiento interior con loseta cerámica; espesor: 14 cm
Relación diámetro/altura	1,0
Agitador	Tipo de impulsor: hélice de 4 palas, paso igual al diámetro Material: acero inoxidable AISI 316 Flujo: axial

	Diámetro: 1,75 m
	Velocidad: 25 rpm
	Motor eléctrico: 45 HP
Controles	Nivel

c) Tanque de almacenamiento TK-1

Los tanques se han diseñado suponiendo tiempo de residencia 1,0 hora para pasta desintegrada que alimenta a los depuradores de alta consistencia. Los tanques son recubiertos interiormente con loseta de cerámica.

Nombre: Tanque cilíndrico agitado	Función: Almacenar pasta desintegrada
Unidades requeridas	02
Operación	Continua

Datos de diseño

Pasta desintegrada, 3% de consistencia	16,8 m ³ /h
Gravedad específica	1,0
PH	10,0
Temperatura	313,15 K
Presión	1,0 atmósfera
Capacidad	20,0 m ³
Tiempo de residencia	1,0 h
Material de construcción	Concreto armado, revestimiento interior con loseta cerámica; espesor: 14 cm
Relación diámetro/altura	1,0
Agitador	Tipo de impulsor: hélice de 4 palas, paso igual al diámetro Material: acero inoxidable AISI 316

	Flujo: axial
	Diámetro: 1,6 m
	Velocidad: 25 rpm
	Motor eléctrico: 15 HP
Controles	Nivel

d) **Depurador de pasta de alta densidad**

El sistema de depuración está constituido por el depurador centrífugo de alta consistencia y el depurador vibrante plano, seleccionados según las especificaciones del fabricante Cia Lamort. S.A.

El depurador consta de un tubo guía de acero, con chapa soldada para el colector de impurezas, válvula compuerta de cierre instalado, un tubo de separación instalado de acero inoxidable, cono de separación transparente con cubierta protectora, un colector de impurezas de fundición y trampilla de descarga.

Nombre: Limpiador centrífugo **Función:** Separador de contaminantes pesados (pernos, tornillos, piedras, etc.)
de alta consistencia

Unidades requeridas	01
Operación	Continua

Datos de diseño

Pasta desintegrada, 3% de consistencia	32,0 m ³ /h
Gravedad específica	1,0
PH	10,0
Temperatura	313,15 K
Presión	1,0 atmósfera
Capacidad	36 m ³

Temperatura	313,15 K
Presión	1,0 atmósfera
Capacidad	37,0 m ³
Tiempo de residencia	1,0 h
Relación diámetro/altura	1,0
Material de construcción	Concreto armado, revestimiento interior con loseta cerámica; espesor: 14 cm
Agitador	Tipo de impulsor: hélice de 4 palas, paso igual al diámetro Material: acero inoxidable AISI 316 Flujo: axial Diámetro: 1,6 m Velocidad: 25 rpm Motor eléctrico: 15 HP
Controles	Nivel

f) **Despastillador de discos**

Este equipo se diseña para procesar la pasta sin que implique un acortamiento de las fibras, seleccionados según las especificaciones del fabricante.

Nombre: Despastillador de discos

Función: Destruir los grumos que se forman en la suspensión por acumulación de fibra y desperdicio de partículas de tinta

Unidades requeridas

01

Operación

Continua

Datos de diseño

Pasta desintegrada, 3% de consistencia 32,4 m³/h

Gravedad específica	1,0
Capacidad	100 t/d
PH	10,0
Temperatura	313,15 K
Presión	1,0 atmósfera
Material de construcción	Fundición gris, tres discos perforados de despastillado fácilmente recambiables de acero al cromo-níquel y de alta resistencia al desgaste.
Motor eléctrico	3 000 rpm 100 HP
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 316 Plancha perforada de D 2,5 mm

g) **Tanque de almacenamiento TK-3**

Los tanques se han diseñado suponiendo tiempo de residencia 1,0 hora para pasta desintegrada que alimenta a las celdas de flotación.

Nombre: Tanque cilíndrico agitado	Función: Almacenar pasta para proporcionar al sistema condiciones de proceso continuo
Unidades requeridas	01
Operación	Continua

Datos de diseño

Pasta desintegrada, 1% de consistencia	103,4 m ³ /h
Gravedad específica	1,0
PH	10,0
Temperatura	313,15 K

Presión	1,0 atmósfera
Capacidad	115,6 m ³
Tiempo de residencia	1,0 h
Relación diámetro/altura	1,0
Material de construcción	Concreto armado, revestimiento interior con loseta cerámica; espesor: 14 cm
Agitador	Tipo de impulsor: hélice de 4 palas, paso igual al diámetro Material: acero inoxidable AISI 316 Flujo: axial Diámetro: 2,0 m Velocidad: 25 rpm Motor eléctrico: 30 HP
Controles	Nivel

h) Celdas de flotación

El sistema del circuito de flotación está constituido por las celdas de flotación, el separador de espumas y bombas. En la selección de una máquina de flotación debe considerarse una evaluación del performance de destintado, consumo de energía, costos, gastos de instalación, operación, mantenimiento; debe considerarse además la flexibilidad de la operación.

Para el dimensionamiento de una celda de flotación es esencial conocer el tiempo de flotación, densidad permisible de la pulpa y el tonelaje de la planta.

Para las características de la materia prima y del producto a obtener, la máquina a usar consta de dos celdas seleccionadas según las especificaciones del fabricante, Cia , Lamort S.A.

Nombre: Celda de flotación

Función: Separa las partículas de tinta de la suspensión fibrosa

Unidades requeridas	02 bancos de seis celdas cada uno (paralelo)
Operación	Continua

Datos de diseño

Material fibroso, 1% de consistencia	103,4 m ³ /h
Gravedad específica	1,0
PH	8,0 - 9,0
Temperatura	313,15 K
Presión	1,0 atmósfera
Capacidad total	51,4 m ³ (150 pie ³ /celda)
Tiempo de residencia	30 minutos
Material de construcción	Fierro fundido revestido interiormente con pintura epóxica.
Agitadores	Velocidad: 570 rpm Motor eléctrico: 15 HP x 12 EA
Controles	Regulador automático del nivel de espuma, flujo de aire y de la suspensión.

i) Tanque de almacenamiento TK-4

Los tanques se han diseñado suponiendo tiempo de residencia 1,0 hora para pasta desintegrada que alimenta a los depuradores de baja consistencia.

Nombre: Tanque cilíndrico agitado	Función: Almacenar la pasta para proporcionar al sistema condiciones de proceso continuo
--	---

Unidades requeridas	01
Operación	Continua

Datos de diseño

Pasta al 0,95% de consistencia	97,6 m ³ /h
--------------------------------	------------------------

Gravedad específica	1,0
PH	9,0
Temperatura	313,15 K
Presión	1,0 atmósfera
Capacidad	111,0 m ³
Tiempo de residencia	1,0 h
Relación diámetro/altura	1,0
Material de construcción	Concreto armado, revestimiento interior con loseta cerámica; espesor: 14 cm
Agitador	Tipo de impulsor: hélice de 4 palas, paso igual al diámetro Material: acero inoxidable AISI 316 Flujo: axial Diámetro: 2,0 m Velocidad: 25 rpm Motor eléctrico: 30 HP
Controles	Nivel

j) Depurador de pasta de baja consistencia.

El sistema de depuración está constituido por una serie de limpiadores primarios, secundarios y terciarios, seleccionados según las especificaciones del fabricante Cia. Lamort. S.A.

Nombre: Limpiador centrifugo de baja consistencia Función: Separar los contaminantes, materias extrañas y pequeñas partículas con arena, etc.

Unidades requeridas

3

Operación

Continua

Datos de diseño

Suspensión fibrosa: 0,95% consistencia	97,6 m ³ /h
Gravedad específica	1,0
Capacidad	30 t/d
PH	9,0
Temperatura	313,15 K
Presión	1,0 atmósfera

k) Espesadores

Equipos diseñados semejantes a los que operan actualmente en las plantas papeleras admitiendo que la efectividad será la misma.

Nombre: Espesador de pasta Función: Deshidratar la suspensión de pasta aceptada, eliminación de los agentes químicos residuales, etc.

Unidades requeridas	02
Operación	Continua

Datos de diseño

Suspensión fibrosa, 0,95% (consist.)	49,0 m ³ /h
Gravedad específica	1,0
PH	9,0
Temperatura	303,15 K
Presión	1,0 atmósfera
Producto	Suspensión fibrosa, 4,5% de consistencia
Flujo de alimentación	49,0 m ³ /h
Consistencia	0,95%
Superficie	19,0 m ²

Diámetro	3,0 m
Velocidad, motor reductor eléctrico	6,0 rpm, 15 HP

l) Depósito de agua de recuperación TK- 5

El agua de recuperación podrá usarse en la desintegración del papel de desecho. Los tanques estarán recubiertos interiormente con loseta cerámica. La pendiente de la base será de 2% en dirección a las bombas.

Nombre: Tanque cilíndrico de recuperación de agua **Función: Recepcionar el agua proveniente del espesador**

Unidades requeridas	01
Operación	Continua

Datos de diseño

Agua con consistencia 0,12%	77,5 m ³ /h
Gravedad específica	1,0
PH	8,0 - 9,0
Temperatura	298,15 K
Presión	1,0 atmósfera
Capacidad	88,0 m ³
Tiempo de residencia	1,0 h
Relación diámetro/altura	1,0
Material de construcción	Concreto armado; espesor: 14 cm
Controles	Nivel

m) Tanque de almacenamiento TK- 6

El tanque está recubierto interiormente con loseta cerámica.

Nombre: Tanque cilíndrico agitado **Función: Almacenar pasta destintada**

Unidades requeridas	01
Operación	Continua

Datos de diseño

Pasta al 4,5 % de consistencia	18,5 m ³ /h
Gravedad específica	1,0
PH	9,0
Temperatura	303,15 K
Presión	1,0 atmósfera
Capacidad	22,0 m ³
Tiempo de residencia	1,0 h
Relación diámetro/altura	1,0
Material de construcción	Concreto armado; espesor: 14 cm
Agitador	Material: acero inoxidable AISI 316 Tipo: Hélice de 4 palas, paso igual al diámetro del agitador Flujo: axial 30 HP, 25 rpm
Controles	Nivel

n) Tanque de almacenamiento de aguas residuales Tk-7

Las aguas residuales más contaminantes de la planta de destintado son las obtenidas en las celdas de flotación durante la separación de la espuma.

Nombre: Tanque cilíndrico de espuma Función: Recuperar la espuma de las celdas de flotación

Unidades requeridas	01
Operación	Continua

Datos de diseño

Espuma al 2,0% de contenido de sólidos	5,17 m ³ /h
PH	8,0 -9,0

Temperatura	303,15 K
Presión	1,0 atmósfera
Capacidad	16,0 m ³
Tiempo de residencia	1,0 h
Relación diámetro/altura	1,0
Agitador	Material: acero inoxidable AISI 316 Tipo: Hélice de 4 palas, paso igual al diámetro del agitador, 10 HP, 25 rpm
Material de construcción	Concreto armado; espesor: 14 cm
Controles	Nivel

●) **Tanque de almacenamiento se agua TK-0**

El tanque está recubierto interiormente con loseta cerámica.

Nombre: Tanque cilíndrico de almacenamiento de agua **Función: Almacenar agua para su empleo en la desintegración de papel**

Unidades requeridas	01
Operación	Continua

Datos de diseño

Agua con consistencia 0, 10%	19 m ³ /h
Gravedad específica	1,0
PH	8,0 - 9,0
Temperatura	298,15 K
Presión	1,0 atmósfera
Capacidad	22,0 m ³
Tiempo de residencia	1,0 h
Relación diámetro/altura	1,0
Material de construcción	Concreto armado; espesor: 14 cm
Controles	Nivel

7.4.2 Equipos auxiliares

- a) Tuberías y accesorios: tuberías de 4 - 6 pulgadas de acero inoxidable AISI 316 con bridas de aluminio. Válvulas del tipo de esfera, siendo el cuerpo de hierro fundido, la esfera de acero inoxidable y los asientos de teflón
- b) Bombas: se emplearán bombas centrífugas de voluta en toda la planta, construída de acero inoxidable.

7.4.3 Servicios:

Los servicios comprenden: agua, vapor y electricidad.

Vapor	915,6 kg/h
Agua	26,5 m ³ /h
Electricidad	769 kw

El agua se utiliza para la obtención de pasta destintada, para diluir el papel de desecho, como agua potable, contra incendios y otros. Para el proceso, las impurezas contenidas en el agua no deben sobrepasar los límites especificados por TAPPI : Turbidez, 40 ppm; color (unidades de Pt), 25 ppm; dureza total (CaCO₃), 100 ppm; alcalinidad al anaranjado de metilo (CaCO₃), 75 ppm; hierro, 0,2 ppm; manganeso, 0,1 ppm; sílice soluble, 50 ppm; sólidos totales disueltos, 300 ppm; CO₂ libre, 10 ppm; cloruros, 200 ppm.

El vapor será suministrado por un caldero tipo acuotubular (100 Psia) y la electricidad será suministrada por Edelnor.

7.5 Localización de planta.

La planta de destintado será localizada en la ciudad de Lima, por ser esta el mayor centro industrial, comercial y cultural del país; además de existir disponibilidad de recursos de materia prima, capital y mano de obra.

7.6 Manejo Ambiental

7.6.1 Generalidades

Todo proyecto a desarrollar e implementar necesita un estudio de Impacto Ambiental de acuerdo al D.S. N° 019-97-ITINCI del 1.10.97 "Reglamento de Protección Ambiental para el Desarrollo de Actividades de la Industria Manufacturera". El EIA se desarrollará de acuerdo a las leyes ambientales

vigentes dadas por la autoridad competente y será aprobado por el DGAA del MITINCI.

7.6.2 Identificación de Impactos Ambientales

El proyecto, considerado como actividad industrial generará diversos impactos ambientales benéficos y adversos sobre el ambiente físico, ambiente biológico, ambiente socio económico y ambiente de interés humano. Los posibles impactos adversos se relacionan con la generación de residuos líquidos, sólidos y gaseosos, emisión de ruido, consumo de recursos naturales y energía, riesgos e intervenciones sobre el suelo, las corrientes de agua, la flora y la fauna. Estos impactos adversos, serán mitigados con la tecnología disponible y las buenas prácticas con que se realicen las operaciones, etc.

Los efluentes líquidos industriales, deberán ser tratados previamente antes de ser vertidos, y el contenidos de contaminantes, debe estar por debajo de los límites máximos permisibles establecidos por el sector, y/o enmarcarse dentro de la Ley General de Aguas. Actualmente el Sector Manufacturero (MITINCI) ha emitido la R.M. N° 054-2000-MITINCI/DM del 8.5.00, que constituye el proyecto de límites máximos permisibles para efluentes líquidos del subsector cemento, cerveza, curtiembre y papel. Contrariamente, a la generación de impactos adversos el proyecto generará impactos benéficos tales, como: La producción de celulosa, materia prima para el papel. La protección del suelo, equilibrio hidrológico, belleza escénica, captura de carbono atmosférico (disminución del efecto invernadero) y generación de oxígeno, efecto de la reforestación de áreas devastadas. Fuente laboral para muchas personas en forma directa e indirecta, con todos sus efectos asociados.

7.6.3 Disposición de los relaves

Los relaves están constituidos por la tinta e impurezas que serán eliminadas por la flotación, y que en este caso particular representan un porcentaje muy bajo (aproximadamente 10% del volumen tratado).

La eliminación de estos relaves a los canales de colección, podría traer como consecuencia la contaminación de las aguas, ya que además de la materia orgánica representada por las fibras perdidas, estarán presente el residuo de las máquinas de flotación (tinta, asfalto, suciedad, fibra no celulósica, etc.).

Una forma de convertirlos en residuos sólidos sería dándoles un tratamiento adecuado.

Los desperdicios generados en la clasificación de desechos, que consisten en papeles resistentes a la soda, papel plastificado, papel parafinado, etc. serán derivados a la fábricas de cartón; mientras que los desperdicios que se generan en el proceso de destintado, consistentes en partículas de hollín, talco, arenillas, etc., serán concentrados para ser usados como combustible, o transportados hacia las fábricas de ladrillos, o terrenos que necesitan material de relleno.

7.7 Higiene y seguridad industrial

Desde el punto de vista industrial, la productividad constituye el objetivo principal, y ésta se obtiene entre otros aspectos mediante una adecuada aplicación de un programa de higiene, seguridad y salud ocupacional. Los reactivos químicos tales como hidróxido de sodio, deben manipularse con cuidado porque en contacto con la piel producen quemaduras; el peróxido de hidrógeno sufre una descomposición en agua y oxígeno cuando es catalizado por iones pesados tales como: Fe^{++} , Fe^{+++} , liberando calor, por lo que puede ocasionar quemaduras.

El papel de desecho es un material inflamable por lo que no debe originarse fuego por los alrededores de los almacenes de éstos.

Para evitar accidentes se debe tener que promover algunos aspectos como:

- Ubicar las instalaciones de grifos de agua en lugares estratégicos, así como extintores.
- La manipulación de productos químicos deberá realizarse con guantes y mascarillas.
- El almacenamiento del papel de desecho y el de peróxido de hidrógeno deberá estar alejado de las tuberías de vapor y conducciones eléctricas, así también de los combustibles.

VIII ANALISIS ECONOMICO

8.1 Inversiones y financiamiento

8.1.1 Inversiones

El rubro de inversiones contempla inversiones en activo tangible, activo intangible y capital de trabajo. El monto requerido del proyecto asciende a US\$ 1 421 621. Ver Cuadros 8.1 y 8.2 del Anexo 8.

- a) Inversión de activo tangible.- La inversión de activo tangible alcanzó US\$ 1 058 954, siendo las maquinarias y equipos lo que representa el mayor gasto.
- b) Inversión de activo intangible.- Está constituida por los gastos que deben realizarse en estudios, en la administración y organización del mismo, como ingeniería y supervisión, así como también gastos durante la construcción.
- c) Capital de trabajo.- Es el conjunto de recursos necesarios para la operación normal de un ciclo productivo a capacidad de planta.

8.1.2 Financiamiento

Los recursos financieros y reales para la implementación de la actividad productiva será obtenida con el aporte de los accionistas (50%) y financiamiento de la banca local.

a) Fuentes financieras

Como fuentes financieras tenemos:

Aporte de los accionistas que se utilizará en la inversión intangible.

Banca local.

Cofide.

b) Estructura del financiamiento.

Dentro de este rubro se considerará una tasa de interés de 10% y un plazo máximo de tres años.

c) Servicio de la deuda.

Para el proyecto se ha tomado las siguientes condiciones:

- Interés 10%.
- Inflación 4%.
- Plazo máximo de tres años.

8.2 Costo total de fabricación del producto

En la determinación del costo total de fabricación del producto (pulpa de papel), se ha teniendo en cuenta costos directos (labor, materiales, servicios, mantenimiento, laboratorio, investigación y desarrollo), los gastos fijos (depreciación, impuestos, seguros) y los gastos generales (administración, marketing, investigación y desarrollo, ver Cuadros 8.3, 8.4 y 8.5 del Anexo 8).

8.3 Costos fijos y variables

El Cuadro 8.6 (Anexo 8), nos muestra detalladamente la estructura de los costos fijos y variables.

8.4 Ingresos

El programa anual de ventas para el proyecto es de US\$ 2 970 000, se considera que toda la producción anual se vende. Se considera que el pago por las ventas de pulpa se efectuará al principio de cada mes contados dentro de los treinta días siguientes. Ver Cuadro 8.7 del Anexo 8.

8.5 Estados financieros y proyectados

8.5.1 Estados de ganancias y perdidas

El proyecto tendrá una vida económica de 10 años. Se consideran a las ventas como ingresos. Los egresos lo constituyen los costos de

producción y los costos de operación. Se ha utilizado el sistema lineal para la depreciación de acuerdo a la vida útil de los equipos. Se puede observar que el proyecto proporciona utilidades operativas desde el primer año. Ver Cuadros 8.8 y 8.9 del Anexo 8.

8.5.2 Flujo de caja

Este cuadro nos permite presentar los flujos de entrada y salida de dinero en efectivo, y se ha elaborado de acuerdo al estado de pérdidas y ganancias y al cronograma de inversiones. La evaluación económica del proyecto obtiene saldos positivos para todos los años; sin embargo la evaluación financiera obtiene saldos positivos a partir del cuarto año. Ver Cuadros 8.10 - 8.16 del Anexo 8.

8.5.3 Balance

La proyección de este estado financiero (Anexo 8, Cuadros 8.17 y 8.18), muestra los principales rubros:

- Activo corriente: comprende las cuentas de caja y bancos que proviene del saldo anual del flujo de fondos, y existencia de inventario de materia prima.
- Activo fijo: está conformado por el activo fijo y el activo intangible.
- Pasivo corriente: está constituido por los tributos por pagar, participación de los trabajadores, deudas a corto plazo.
- Pasivo no corriente: incluye la deuda a largo plazo, cuyo periodo de cancelación comprende tres años.
- Patrimonio : está conformado por el aporte de los accionistas.

8.6 Evaluación económica.

El objetivo principal de la evaluación económica es determinar la rentabilidad del proyecto sin considerar las condiciones financieras.

8.6.1 Beneficios

En este rubro se ha considerado el ingreso por ventas

8.6.2 Costos

Los costos a considerar son los siguientes: inversiones y costos del proceso (costos operativos y costos de materia prima).

8.6.3 Rentabilidad económica.

La rentabilidad económica se determina mediante la diferencia entre beneficio y costo año a año.

Los costos y beneficios se actualizan al año cero a diferentes tasas de descuentos, obteniéndose los valores actuales netos económicos (VAN); del mismo modo se ha determinado la tasa interna de retorno económica (TIR) es de 19%, lo que se considera aceptable ya que el costo de oportunidad de capital (COC), para el sector es alrededor del 10%.

A esta tasa el VAN es positivo e igual a US\$ 657 199. Ver Cuadro 8.15 Anexo 8.

8.7 Evaluación financiera

A los resultados de flujo económico se añade los gastos financieros, obteniéndose finalmente el flujo financiero. El proyecto es bueno financieramente.

Los costos y beneficios se actualizan al año cero a diferentes tasas de descuentos, obteniéndose los valores actuales netos financieros (VAN), del mismo modo se ha determinado la tasa interna de retorno económica (TIR) que es de 23 %, lo que se considera aceptable, ya que el costo de oportunidad de capital (COC) para el sector es alrededor del 12%.

A esta tasa el VAN es positivo e igual a US\$ 741 683 Ver Cuadro 8.16 Anexo 8.

IX CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

9.1 Conclusiones

Desde el punto de vista técnico el trabajo ejecutado reporta las siguientes conclusiones:

- Se ejecutaron 105 corridas experimentales, divididas en 10 series. En cada una de las series experimentales se evaluaron performance de tensioactivos y parámetros operativos.
- La serie de pruebas experimentales N° 1, 2, 3 y 4 (Anexo 6), determinó que de los tensioactivos evaluados (Z-11, Z-6, MIC y aceite de pino), los que mejor separan las tintas de las fibras son el Z-11 y MIC respectivamente. La selección se realizó en base al índice de blancura.
- La serie de pruebas experimentales N° 5 y 6 conllevó a determinar la concentración del colector y la concentración del espumante seleccionado en la serie de pruebas antes mencionado. Se estableció como concentración óptima: 40 g/t para Z-11 y 30 g/t para el espumante MIC.
- El uso de silicato de sodio como agente dispersante incrementó el índice de blancura y disminución de las impurezas. El silicato de sodio es un reactivo muy importante en el destintado de papeles de desperdicio, además de ayudar a mantener el pH dentro de los límites necesarios, tiene propiedades detergentes y emulsificantes que ayuda a disminuir la redeposición de la tinta sobre las fibras.
- En la serie de pruebas experimentales N° 7 y 8 se evaluó el tiempo y la temperatura de flotación respectivamente. El tiempo óptimo, determinado en función del índice de blancura y concentración de impurezas

respectivamente, fue 20 minutos. La temperatura más adecuada fue de 40 °C.

- La serie de pruebas N° 9 y 10 conllevó a establecer que el aumento de la concentración del hidróxido de sodio (utilizado como agente alcalino) y el tiempo de repulpado, incrementan el índice de blancura.
- No utilizamos peróxido de hidrógeno como agente blanqueante porque el grado de blancura obtenido supera el valor mínimo deseable en una pasta química, según norma ITINTEC 272.047.
- En el desintegrador se trabajó bajo las siguientes condiciones: presión, 1 atmósfera; temperatura 50°C; consistencia de pulpa 2,5%; NaOH, 2% y silicato de sodio, 3% (todos en base a peso de papel seco). La operación se llevó a cabo a pH básico de 11, ya que se sabe que a valores de pH mayores a 12, el índice de blancura disminuye.
- En el proceso de flotación el pH de trabajo fue de 9, ya que este parámetro tiene una influencia marcada sobre la blancura de la pasta; el óptimo valor se encuentra en el rango de 8 a 10.
- Las pruebas de flotación que mejor performance obtuvieron se encuentran resumidos en el Anexo 6. Las pruebas fueron realizados bajo las siguientes condiciones:

Temperatura: 40 °C

Presión: 1 atmósfera

Dosificación de reactivos químicos (referidos a papel de desecho en base seca): colector: Z-11, concentración 30 g/t; espumante: MIC, concentración 40 g/t.

Consistencia: 1,0 %

Tiempo de flotación: 20 minutos

PH: 9,0

- El grado de blancura obtenido bajo las condiciones indicados en el ítem anterior es 83,5%; el cual supera a la norma ITINTEC 272.047 cuyo valor específica 78 %. El grado de blancura obtenido comparado con el análisis de pulpa de papel bond atlas de 80 gramos, tomado al azar (índice de blancura: 89,0%), representa una performance de 93,8%.
- La blancura de la pasta destintada depende de las condiciones de operación que favorezcan la acción de los reactivos, sin causar degradación de la celulosa; por lo tanto, es importante tener en cuenta la influencia de algunos factores tales como: temperatura (la flotabilidad disminuye con el incremento de temperatura); pH (la flotabilidad disminuye ligeramente con el incremento de pH); consistencia (se recomienda una consistencia de 1%); etc.

Desde el punto de vista económico creemos conveniente concluir que el trabajo ejecutado asegura:

- Exito económico en la industria: es aconsejable la instalación de una planta de destintado de papel, ya que es económica y financieramente rentable, cuya tasa interna de retorno (TIR) es de 19 y 23 % respectivamente.
- Factibilidad de instalación: la técnica de proceso de destintado por el método de flotación a nivel de laboratorio fue satisfactorio, por lo tanto, creemos que su escalamiento a nivel industrial no tendrá inconvenientes y la factibilidad de la instalación de una planta de destintado en el país, traerá beneficios tangibles, debido a que existe los recursos necesarios (materia prima, mano de obra, etc.) que el proyecto demanda.
- Aceptabilidad: la pulpa química es un producto muy útil y necesario en la fabricación de papel, según datos reportados por la aduana, el Perú importa este producto. Con la instalación de una planta para la obtención de pulpa se

reduciría la salida de divisas, el cual beneficiará la actividad económica de nuestro país.

- Un proyecto de este tipo, dará mayor impulso al sistema de recolección de papel de desperdicio y mejorará las economías de las personas que se dedican a dicha actividad. Ambientalmente hablando, contribuye al desarrollo sustentable del país. Debemos resaltar que los países que reciclan papel, en mayor porcentaje, son países desarrollados (dotados de gran éxito industrial).

9.2 Recomendaciones

1. Reciclar papel de deshecho (práctica de la teoría de las 3"R": reaprovechar, reutilizar y reciclar), dado que ello implica economizar energía, evitar la contaminación y el despilfarro de agua y salvar los bosques.
2. Potenciar los sistemas y mecanismos de reciclado de papel y establecer la infraestructura necesaria que canalicen la materia prima recuperada.
3. Utilizar otros tipos de papel de desecho (papel con pasta mecánica, coloreados, etc.) para obtener pasta destintada.
4. Es necesario dar un tratamiento diferenciado a los residuos producto de la industrialización de papeles de deshecho (efluentes líquidos).
5. Para obtener mayores valores de blancura superior a 88 y sin puntos de suciedad, se recomienda utilizar un proceso de blanqueo después de la flotación en pasta espesa.

X BIBLIOGRAFIA

10.1 Textos y manuales

- (1) Beloit G; "Manual de destintado" U.S.A., 1980, pág. 1.
- (2) Branam C; "Rules of Thumb for Chemical Engineers" USA; 1995; pág. 3.
- (3) Casey, J. "Pulpa y Papel Ciencia y Tecnología"; USA; Editorial Continental, 1991, Vol. I Pág. 10; Vol. III. pág. 674.
- (4) Foust A; Wenzel L; Curtis C; Maus L; Bryce L; "Principios de Operaciones Unitarias" Mexico; Sexta edición; Editorial Continental S.A.; 1974; pág. 543.
- (5) Henglein, F. D., "Química Técnica"; Editorial Urmo S.A., 1977; pág. 422.
- (6) Holward A. Sanchez C. "Método de ensayo en la industria de pulpa y papel"; Editorial Brusco, Sao Paulo; 1975; pág. 50.
- (7) James A. K. "Manual de Química Industrial"; USA; 1988; pág. 470.
- (8) Land H.F., "Manual de Reciclaje"; Editorial Mc Graw- Hill; México, 1996; pág. 9.
- (9) Libby E; "Ciencia y Tecnología sobre Pulpa y Papel"; Editorial Continental; México; 1969; T.I; pág. 16, T.II.; pág. 461
- (10) Muñiz J; "Flotación de Minerales"; Universidad San Agustín; Arequipa - Perú; 1995; pág. 32.
- (11) Patrick K; "Paper Recycling, Strategies, Economics and Technology"; Editorial Miller Freeman, Inc.; USA, 1991; pág. 3.
- (12) Perry R.H., Chilton C.H., "Manual del Ingeniero Químico", Editorial Mc Graw- Hill, 2da . Edición en español, Mexico, 1982, pág. 6.
- (13) Peters M.S., "Diseño de Plantas y su Evaluación Económica para Ingenieros Químicos", Editorial Geminis S.R.L., Argentina, 1978, pág.

440.

- (14) Roca S & Colaboradores; "Destino de Inversiones 1997-1998"; Ediciones ESAN Perú; pág. 263.
- (15) Scott W.E.; "Properties of Paper, An Introduction. TAPPI Pres"; USA; Editorial Atlanta, GA; 1989; pág. 220.
- (16) Smook G; "Handbook for Pulp & Paper Technologist"; USA, año 1990; pág. 199.
- (17) Valero, M; "Manual del Papel Reciclado"; Madrid; 1991; pág. 8.
- (18) Voith, "Máquinas de Flotación"; Alemania; 1978; pág. 1.

10.2 Revista y Patentes

- (19) Asociación Técnica Peruana de Pulpa y Papel; "Pulpa y Papel"; Vol I, N° 2; Perú; 1991; pág. 8.
- (20) Bhatia, S.; "US Patente & Trade Mark Office, N° 652146"; USA; United States Patent; 2000; pág. 1.
- (21) Diaz H; "Las industrias de Pulpa y Papel en el Perú"; Revista pulpa y papel Vol.1(2); Nov.1991, pág. 8.
- (22) Garcia J; Torres A.; "Aspectos Físicoquímicos del Destintado de Papel"; Revista de Ingeniería Química; España; abril 1991; pág. 161; "Fundamentos del destintado por flotación" abril 2001; pág. 125; mayo 2001; pág 265.
- (23) Publicación de Empresas CMPC; " Mi Papel"; Tissú del Perú; marzo 2001; pág. 2.
- (24) Nalco Chemical Company; "Tecnología del Papel"; USA. 1996; pág. 1.
- (25) Salager J.L; Rojas O; "Fenómenos Interfaciales en el Destintado de Papel de Desperdicio"; Revista: ACOTEPAC, Colombia; 1990; pág.

33.

- (26) Sánchez F.; "El Reciclado de Papel"; Revista de Ingeniería Química; España; Abril - 2000; pág. 101.
- (27) Sulzer; " Revista Técnica "; Suecia; 1990; pág. 31.
- (28) Tortuero, M. Las fibras de celulosa; Revista de Ingeniería Química; España; abril - 2000; pág. 91.
- (29) Vilaseca F; Pelach M; Estudio de destintado y papeles reciclados; Revista de Ingeniería Química, España; marzo - 1999; pág. 183; setiembre - 2000; pág. 223.

XI ANEXOS

Anexo 1

- **Glosario**

Glosario

- a) Pulpa: Materia prima celulósica, de estructura fibrosa y origen vegetal, preparada para la fabricación de papel.
- b) Pasta de papel: Suspensión acuosa de una o más pulpas y de otros productos, desde la etapa de desintegración de la pulpa, hasta la formación de la hoja de papel.
- c) Consistencia: Es el peso de la fibra seca existente en un determinado peso de suspensión fibrosa o pasta, se expresa en porcentaje.
- d) Refinado: Es un tratamiento mecánico al que se someten las fibras papeleras, en medio acuoso, con el fin de aumentar su capacidad de enlace. Los efectos que produce este tratamiento sobre las fibras y sobre la suspensión fibrosa son múltiples, se dividen en:
- Efectos primarios :
- Fibrilación interna.
 - Fibrilación externa.
 - Acortamiento de fibras.
 - Formación de finos.
 - Hinchamiento de la fibra.
 - Aumento de la superficie específica de la fibra.
 - Aumento de flexibilidad de la fibra.
- Efectos secundarios:
- Aumento de la resistencia al flujo de la suspensión fibrosa.
 - Aumento de la densidad de la hoja.
 - Variaciones en las propiedades fisicoquímicas de la hoja.
- e) Prueba de Freenes: La prueba de Freenes es un procedimiento empírico que nos da una medida arbitraria de la razón a la que la suspensión de 2,0 gr. de pulpa o pasta en un 1,0 lt de agua puede drenar. La prueba de Freenes nos mide indirectamente el grado de refinación que ha sufrido la pasta.

f) Carga : pigmento mineral blanco y fino utilizado como aditivo de la fabricación de papel, con el objeto de mejorar la opacidad y la lisura.

g) Encolado: El encolado es una propiedad que hace que el papel sea más o menos resistente a la penetración del agua o soluciones acuosas. Existen dos métodos generales para efectuar el encolado: interno y de superficie (externo)

El encolado interno consiste en añadir a la pasta los agentes encolantes; mientras que en el de superficie los materiales encolantes se aplican a la hoja formada y parcialmente secada, bien por inmersión, bien en una prensa o en la calandra. Además de la resistencia a la penetración por el agua, el encolado superficial imparte ciertas propiedades deseables al papel, en particular a algunos papeles especiales para la impresión y conversión.

Dependiendo de la cantidad de abrasión mecánica que las fibras de pulpa hayan recibido, el papel es poroso, y el encolado interno no disminuye apreciablemente la porosidad. A causa de esto, el papel encolado internamente está sujeto a la penetración del vapor de agua. Cuando se quiere evitar esta penetración, el papel se encola superficialmente, o se recubre dándole buen acabado en blancura y en apariencia física.

El encolado en masa (interno) es en medio ácido: cuando la resina se precipita con sulfato de aluminio, y en medio neutro cuando se utiliza aditivos sintéticos como BASOPLAST en pH neutro alcalino.

h) Gramaje: Masa por unidad de área del papel, se expresa comúnmente en g/m^2

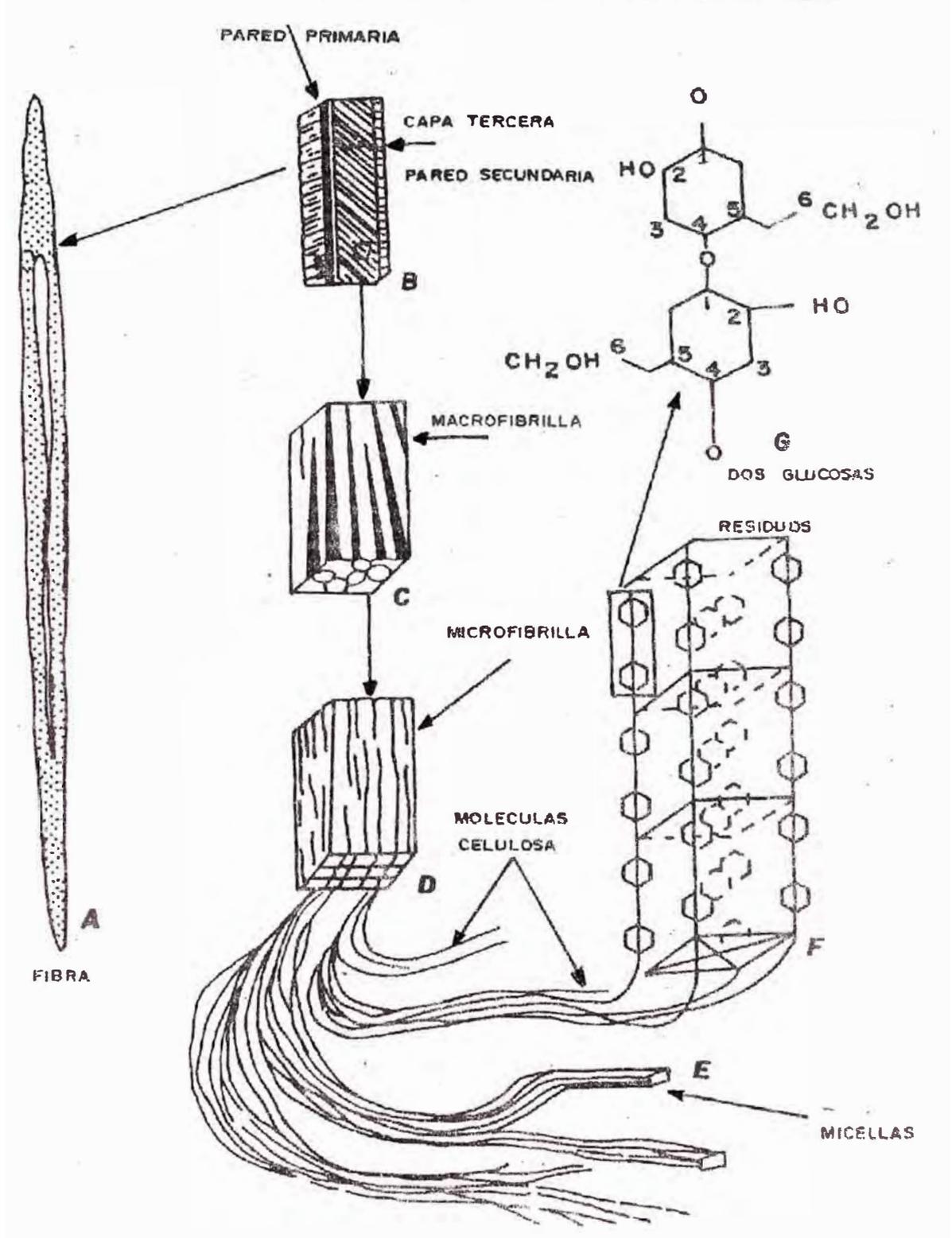
i) Mano: Relación entre el espesor y el gramaje del papel. Una hoja densa tiene poca mano.

j) Tappi: Technical Association of the Pulp and Paper Industry (Asociación Técnica de la Industria de Pulpa y Papel).

Anexo 2

- **Estructura de la celulosa**

ESTRUCTURA MICROSCOPICA Y SUBMICROSCOPICA DE LA CELULOSA



Anexo 3

- **Clasificación general de los procesos de pulpeado de madera**
- **Pirámide del reciclaje de papeles**
- **Proceso de fabricación de celulosa Kraf**

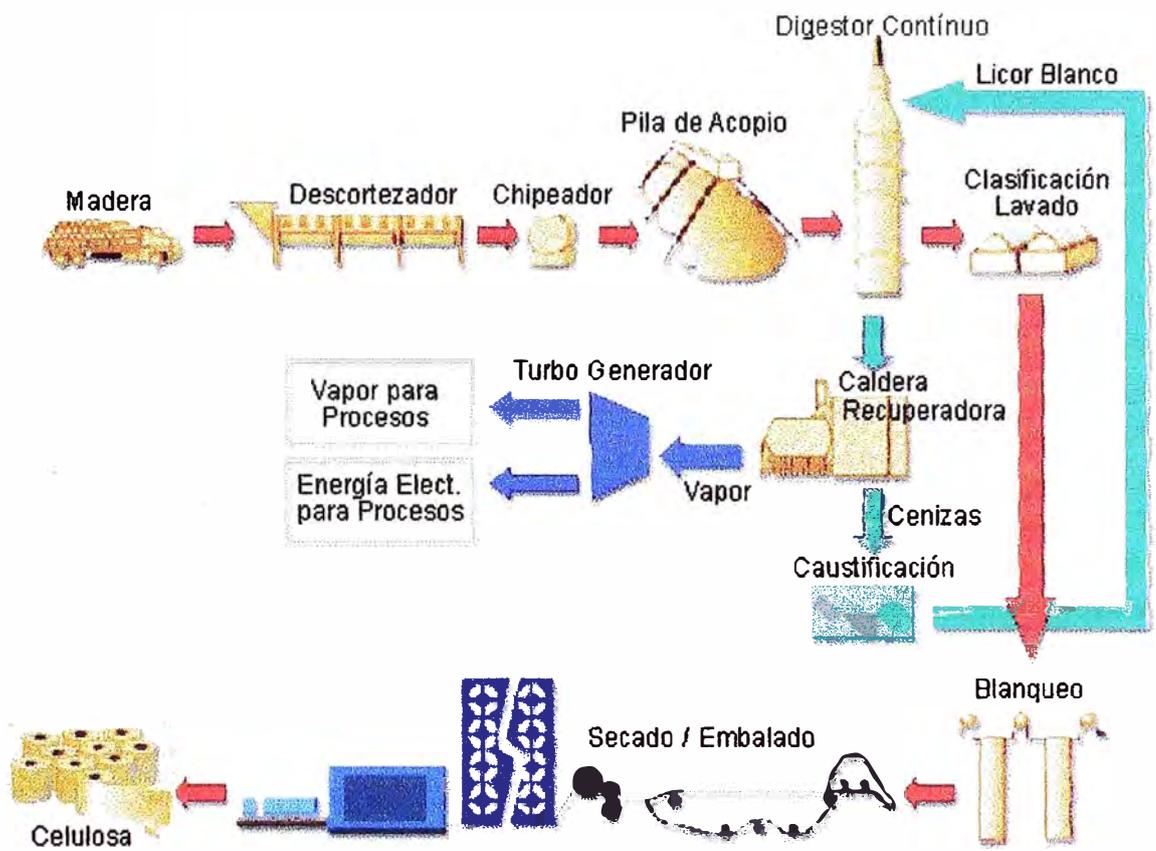
Clasificación general de los procesos de pulpeado de madera

Mecánico	Híbrido	Químico
Pulpeado con energía mecánica (c/s productos químicos).	Pulpeado con tratamientos químicos y energía mecánica.	Pulpeado con productos químicos (poca o sin energía mecánica).
Alto rendimiento (90-95%).	Rendimiento intermedio (55-90%).	Bajo rendimiento (40-50%).
Fibras impuras cortas: - Débil - Inestable	Pulpas con propiedades intermedias (algunas únicas).	Fibras puras, largas: - Resistente - estable
Buena calidad de impresión		Menor calidad de impresión.
Blanqueo difícil.		Blanqueo fácil.
Ejemplos: Pulpa mecánica de muela. Pulpa mecánica de refinador. Pulpa termomecánica	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Semiquímico al sulfito neutro. ▪ Kraft de alto rendimiento. 	Ejemplos: - Kraft - Sulfito - Sosa

Diagrama 2.1: Pirámide del reciclaje de papeles



Diagrama 2.2: Proceso de fabricación de celulosa Kraf



Anexo 4

- **Importaciones de papel de escritura e impresión**
- **Importaciones de papel de desperdicio**
- **Importaciones de pasta química**
- **Precios históricos de la celulosa**

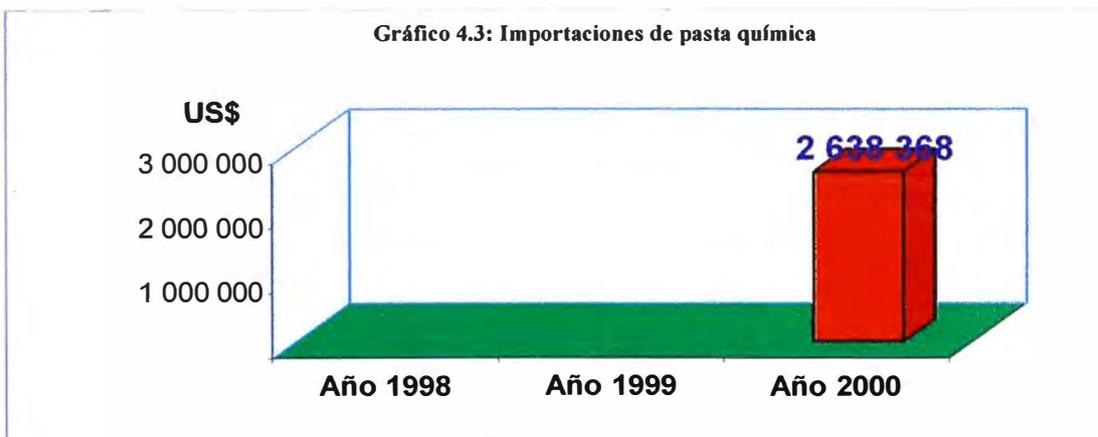
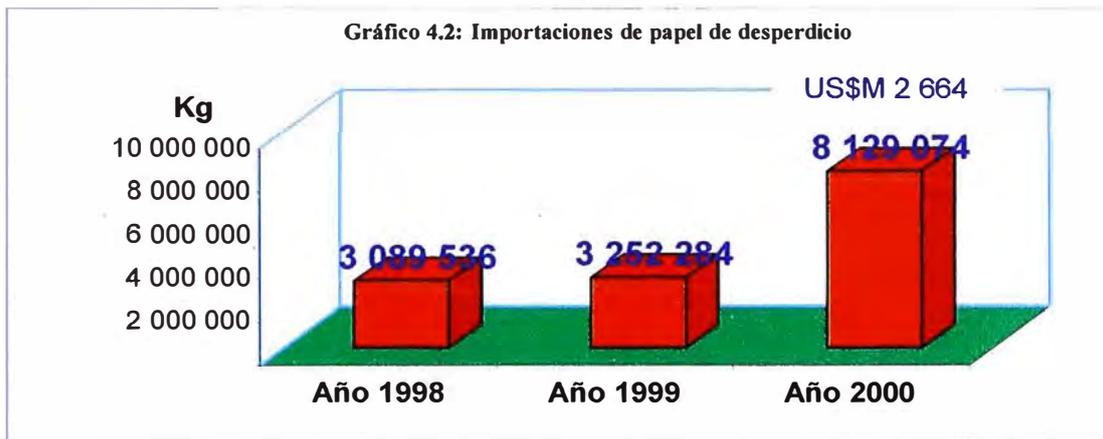
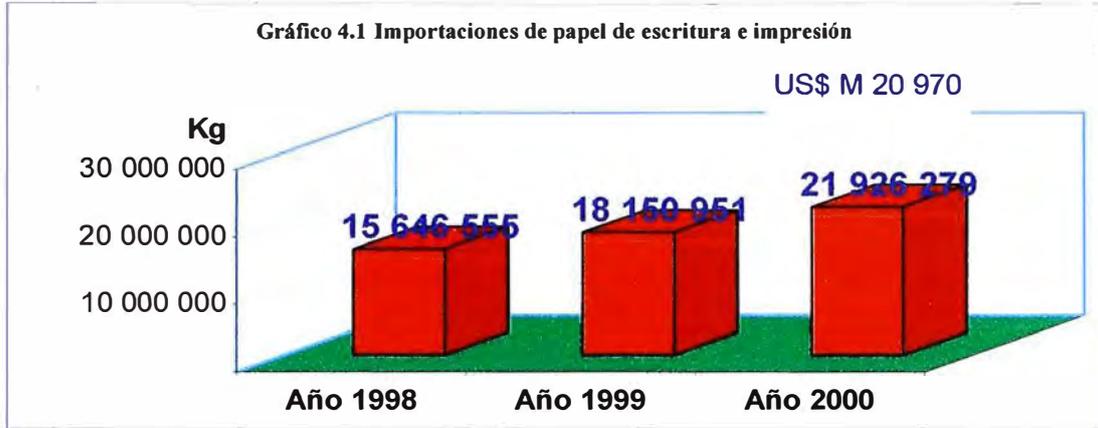
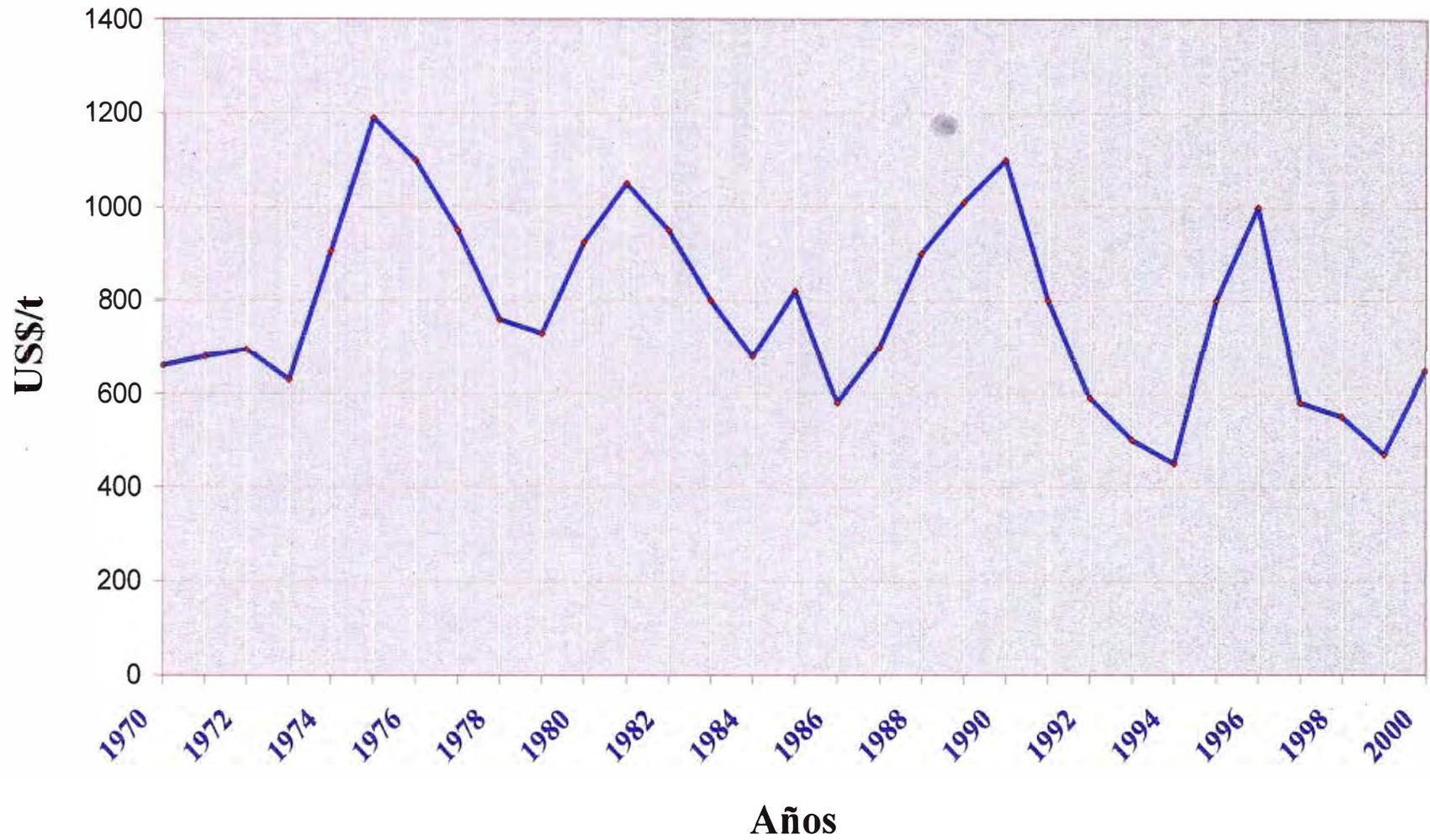


Gráfico N° 4.4: Precios históricos de la celulosa



Anexo 5

- **Celda de flotación**
- **Mecanismo de la flotación**

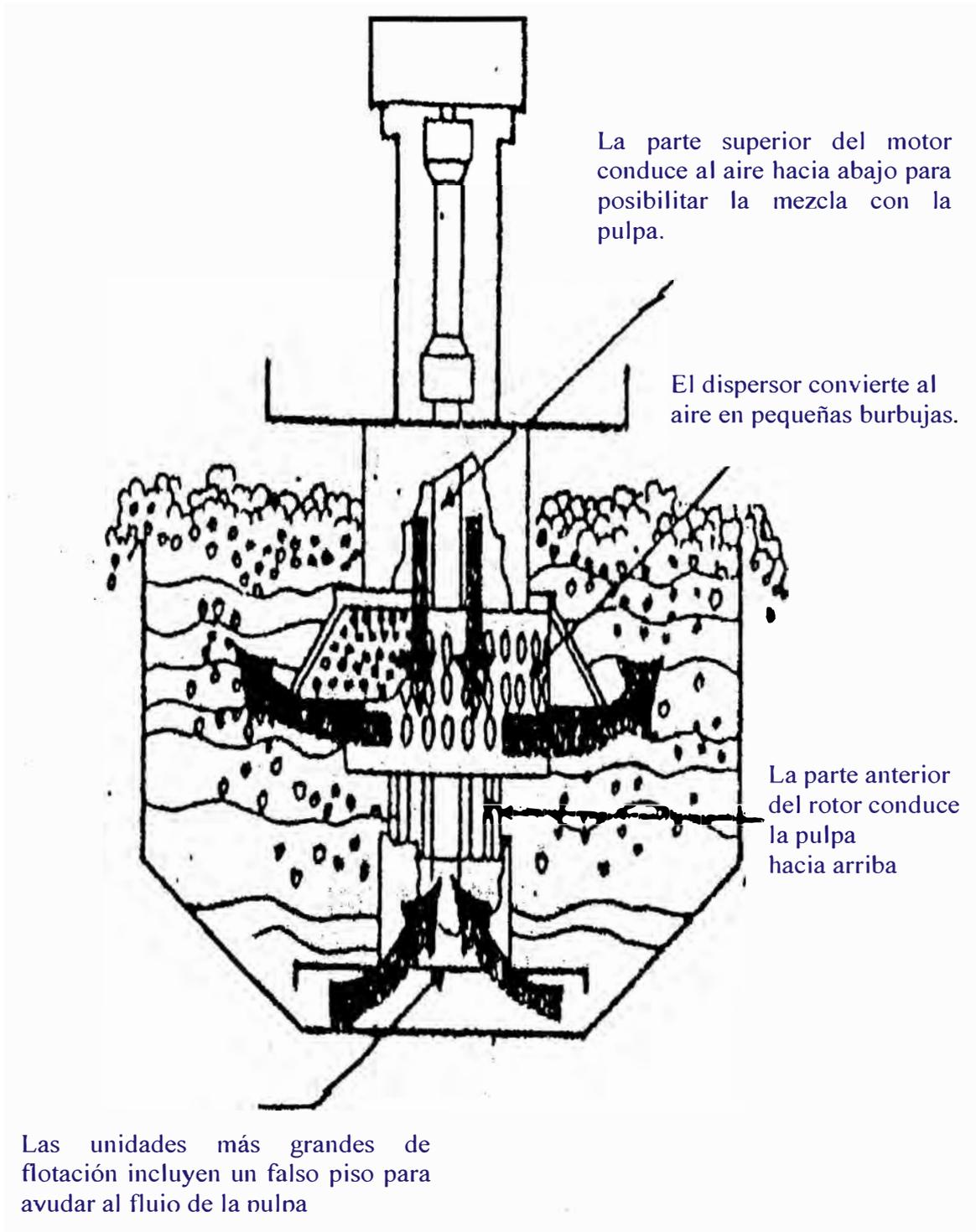
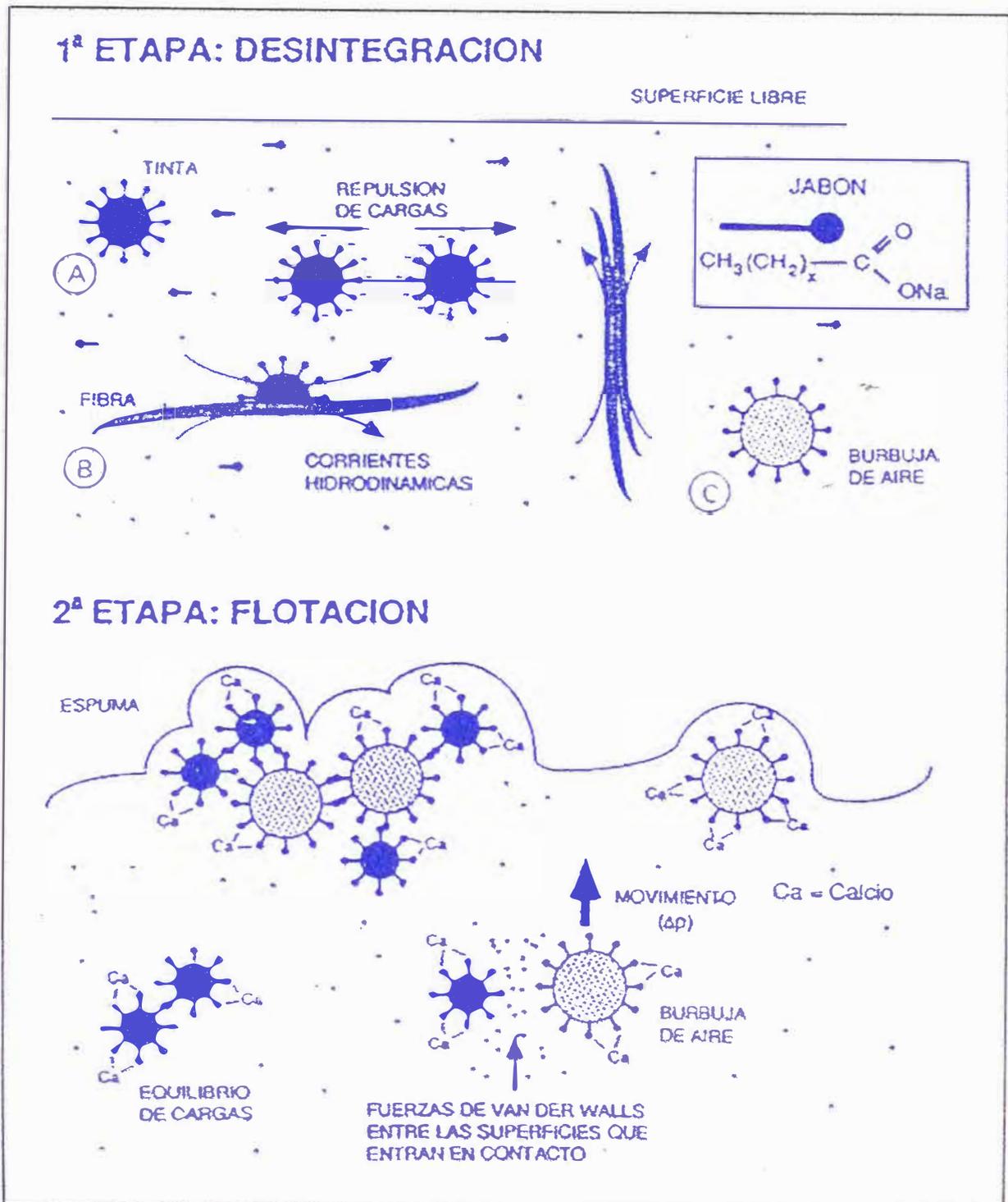
Fig. 5.1: Celda de Flotación

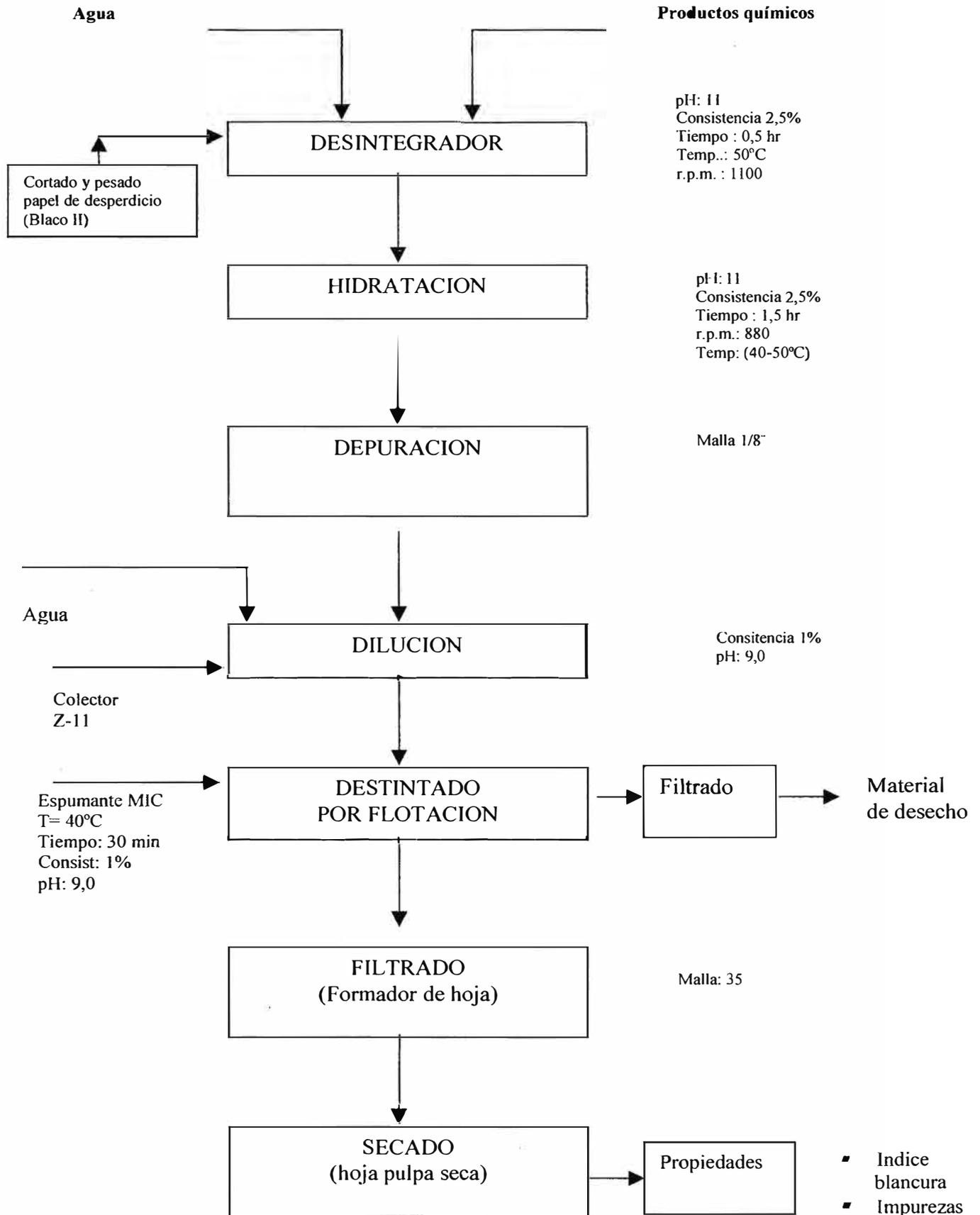
Fig. 5.2: Mecanismo de la flotación



Anexo 6

- **Diagrama de flujo de la parte experimental**
- **Serie de pruebas experimentales y resultados de laboratorio**
- **Reseña fotográfica de las pruebas realizadas**

DIAGRAMA DE FLUJO PARTE EXPERIMENTAL



Serie de Pruebas experimentales N° 1

Objetivo: Evaluar la influencia del colector (Z-6) y espumante (aceite de pino)

Condiciones en repulpado

Tiempo de repulpado:	0.5 h
Tiempo de hidratación:	1.5 h
Consistencia de la pulpa:	2.5 %
NaOH:	2 %
Temperatura:	50 °C
Silicato de Sodio:	No se usó

Condiciones en flotación

Tiempo:	30 min
Temperatura:	40 °C
Consistencia de la pulpa:	1 %

TABLA N° 1: INDICE DE BLANCURA

Concentración del Colector Z-6 g/t	Concentración del Espumante: Aceite de Pino		
	20 g/t	40 g/t	60 g/t
20	74.0	78.0	65.0
30	77.0	77.0	69.0
40	79.0	76.0	70.0
50	78.0	78.0	71.0
60	79.0	77.0	72.0

(g/t) = gramos por tonelada

Serie de Pruebas experimentales N° 2

Objetivo: Evaluar la influencia del colector (Z-6) y espumante (MIC)

Condiciones en repulpado

Tiempo de repulpado:	0.5 h
Tiempo de hidratación:	1.5 h
Consistencia de la pulpa:	2.5 %
NaOH:	2 %
Temperatura:	50 °C
Silicato de Sodio:	No se usó

Condiciones en flotación

Tiempo:	30 min
Temperatura:	40 °C
Consistencia de la pulpa:	1 %

TABLA N° 2: INDICE DE BLANCURA

Concentración del Colector Z-6 g/t	Concentración del Espumante: MIC		
	20 g/t	40 g/t	60 g/t
20	75.0	78.0	68.0
30	79.5	78.5	70.0
40	79.0	79.0	77.0
50	78.0	78.0	76.5
60	79.0	78.0	76.0

(g/t) = gramos por tonelada

Serie de Pruebas experimentales N° 3

Objetivo: Evaluar la influencia del colector (Z-11) y espumante (aceite de pino)

Condiciones en repulpado

Tiempo de repulpado:	0.5 h
Tiempo de hidratación:	1.5 h
Consistencia de la pulpa:	2.5 %
NaOH:	2 %
Temperatura:	50 °C
Silicato de Sodio:	No se usó

Condiciones en flotación

Tiempo:	30 min
Temperatura:	40 °C
Consistencia de la pulpa:	1 %

TABLA N° 3: INDICE DE BLANCURA

Concentración del Colector Z-11 g/t	Concentración del Espumante: Aceite de Pino		
	20 g/t	40 g/t	60 g/t
20	75.0	77.0	68.0
30	76.0	76.0	70.0
40	77.0	78.0	74.0
50	78.0	78.0	73.5
60	78.0	77.0	73.0

(g/t) = gramos por tonelada

Serie de Pruebas experimentales N° 4

Objetivo: Evaluar la influencia del colector (Z-11) y espumante (MIC)

Condiciones en repulpado

Tiempo de repulpado:	0.5 h
Tiempo de hidratación:	1.5 h
Consistencia de la pulpa:	2.5 %
NaOH:	2 %
Temperatura:	50 °C
Silicato de Sodio:	No se usó

Condiciones en flotación

Tiempo:	30 min
Temperatura:	40 °C
Consistencia de la pulpa:	1 %

TABLA N° 4: INDICE DE BLANCURA

Concentración del Colector Z-11 g/t	Concentración del Espumante: MIC		
	20 g/t	40 g/t	60 g/t
20	79.0	80.0	78.0
30	79.5	81.0	76.0
40	78.0	80.5	79.0
50	79.0	80.0	80.0
60	79.5	78.0	77.0

(g/t) = gramos por tonelada

Serie de Pruebas experimentales N° 5
Objetivo: Evaluar influencia del silicato de sodio

Condiciones en repulpado

Tiempo de repulpado:	0.5	h
Tiempo de hidratación:	1.5	h
Consistencia de la pulpa:	2.5	%
NaOH:	2	%
Temperatura:	50	°C
Silicato de Sodio:	No se usó	

Condiciones en flotación

Tiempo:	30	min
Temperatura:	40	°C
Consistencia de la pulpa:	1	%

Pulpa sin flotar

Indice de blancura (%)	69
Impurezas (ppm)	15

TABLA N° 5: INDICE DE BLANCURA (%) / IMPUREZAS (ppm)								
Conc. del Colector Z-11 g/t	Conc. del Espumante: MIC, g/t							
	20		30		40		50	
	IB	ppm	IB	ppm	IB	ppm	IB	ppm
30	79.6	6	80.0	8	80.2	9	78.0	9
40	79.0	8	80.2	9	80.5	10	77.0	11
50	80.0	9	80.0	11	80.0	11	79.0	13
60	79.8	12	80.0	12	79.0	9	80.0	11

(g/t) = gramos por tonelada; ppm (papel) = mm²/m²

Serie de Pruebas experimentales N° 6
Objetivo: Evaluar influencia del silicato de sodio

Condiciones en repulpado

Tiempo de repulpado:	0.5	h
Tiempo de hidratación:	1.5	h
Consistencia de la pulpa:	2.5	%
NaOH:	2	%
Temperatura:	50	°C
Silicato de Sodio:	3	%

Condiciones en flotación

Tiempo:	30	min
Temperatura:	40	°C
Consistencia de la pulpa:	1	%

Pulpa sin flotar

Indice de blancura (IB)	73
Impurezas (ppm/mm ²)	10

TABLA N° 6: INDICE DE BLANCURA (%) / IMPUREZAS (ppm)								
Conc. del Colector Z-11 g/t	Conc. del Espumante: MIC, g/t							
	20		30		40		50	
	IB	ppm	IB	ppm	IB	ppm	IB	ppm
30	82.0	4	82.8	4	82.2	4	81.0	4
40	81.6	3	83.5	3	82.8	3	82.5	4
50	82.5	3	83.0	4	83.0	4	82.0	3
60	82.0	4	82.0	3	82.0	4	81.0	4

(g/t) = gramos por tonelada; ppm (papel) = mm²/m²

Serie de Pruebas experimentales N° 7
Objetivo: Evaluar influencia del tiempo de flotación

Condiciones en repulpado

Tiempo de repulpado:	0.5 h
Tiempo de hidratación:	1.5 h
Consistencia de la pulpa:	2.5 %
NaOH:	2.0 %
Temperatura:	50.0 °C
Silicato de Sodio:	3.0 %

Condiciones en flotación

Tiempo:	Variable
Colector: Z-11	40.0 g/t
Espumante: MIC	30.0 g/t
Temperatura:	40.0 °C
Consistencia de la pulpa:	1.0 %

TABLA N° 7: INDICE DE BLANCURA, %

Prueba N° N°	Tiempo de flotación, min.			
	10	20	30	40
1	80.0	83.5	83.0	83.0
IMPUREZAS, ppm				
Prueba N° N°	Tiempo de flotación, min.			
	10	20	30	40
2	4.0	3.0	2.0	2.0

(g/t) = gramos por tonelada; ppm (papel) = mm²/m²

Serie de Pruebas experimentales N° 8
Objetivo: Evaluar influencia de la temperatura de flotación

Condiciones en repulpado

Tiempo de repulpado:	0.5 h
Tiempo de hidratación:	1.5 h
Consistencia de la pulpa:	2.5 %
NaOH:	2.0 %
Temperatura:	50.0 °C
Silicato de Sodio:	3.0 %

Condiciones en flotación

Tiempo	30.0 min
Colector: Z-11	40.0 g/t
Espumante: MIC	30.0 g/t
Temperatura:	Variable
Consistencia de la pulpa:	1.0 %

TABLA N° 8: INDICE DE BLANCURA, %

Prueba N° N°	Temperatura °C			
	25.0	30.0	40.0	45.0
1	81	82	83.2	82.5
IMPUREZAS, ppm				
Prueba N° N°	Temperatura °C			
	25.0	30.0	40.0	45.0
2	4	3	2	3

(g/t) = gramos por tonelada; ppm (papel) = mm²/m²

Serie de Pruebas experimentales N° 9

Objetivo: Evaluar influencia del % de NaOH

Condiciones en repulpado

Tiempo de repulpado:	0.5 h
Tiempo de hidratación:	1.5 h
Consistencia de la pulpa:	2.5 %
NaOH:	Variable
Temperatura:	50.0 °C
Silicato de Sodio:	3.0 %

Condiciones en flotación

Tiempo	30.0 min
Colector: Z-11	40.0 g/t
Espumante: MIC	30.0 g/t
Temperatura:	40.0 °C
Consistencia de la pulpa:	1.0 %

TABLA N° 9: INDICE DE BLANCURA, %

Prueba N° N°	NaOH utilizado, %			
	2.0	2.5	3.0	4.0
1	83	83.2	83.5	

IMPUREZAS, ppm

Prueba N° N°	NaOH utilizado, %			
	2.0	2.5	3.0	4.0
2	3	2	2	

(g/t) = gramos por tonelada; ppm (papel) = mm²/m²

Serie de Pruebas experimentales N° 10

Objetivo: Evaluar influencia del tiempo de repulpado

Condiciones en repulpado

Tiempo de repulpado:	Variable
Tiempo de hidratación:	1.5 h
Consistencia de la pulpa:	2.5 %
NaOH:	2.0 %
Temperatura:	50.0 °C
Silicato de Sodio:	3.0 %

Condiciones en flotación

Tiempo	30.0 min
Colector: Z-11	40.0 g/t
Espumante: MIC	30.0 g/t
Temperatura:	40.0 °C
Consistencia de la pulpa:	1.0 %

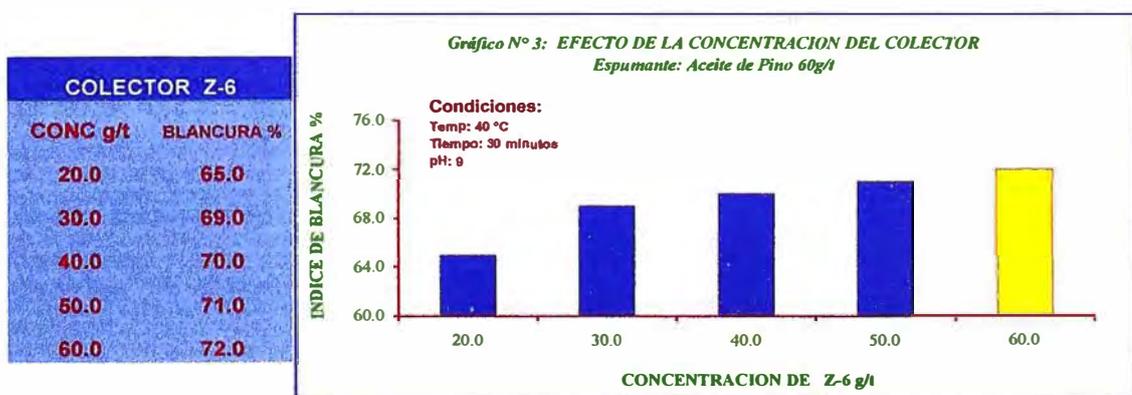
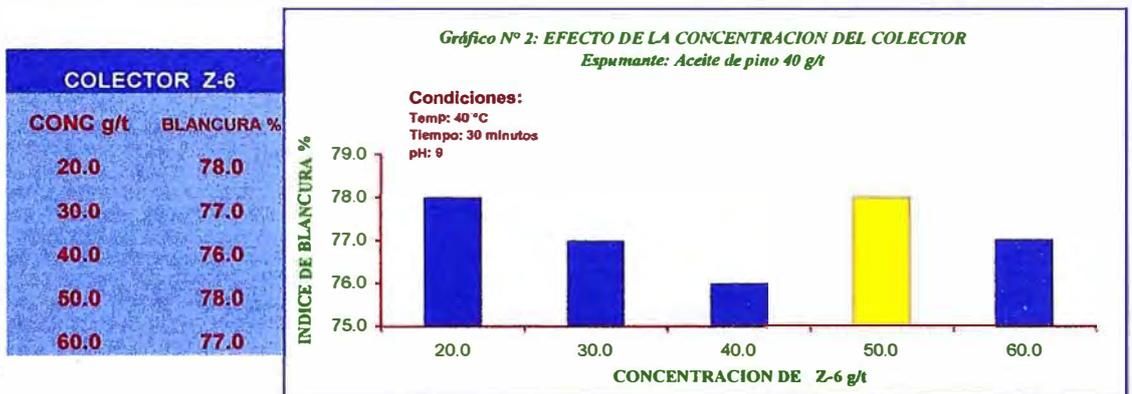
TABLA N° 10: INDICE DE BLANCURA, %

IMPUREZAS, ppm

Prueba N° N°	Tiempo de repulpado, h.		Tiempo de repulpado, h.	
	2.0	2.5	2.0	2.5
1	82.5	83	3	2

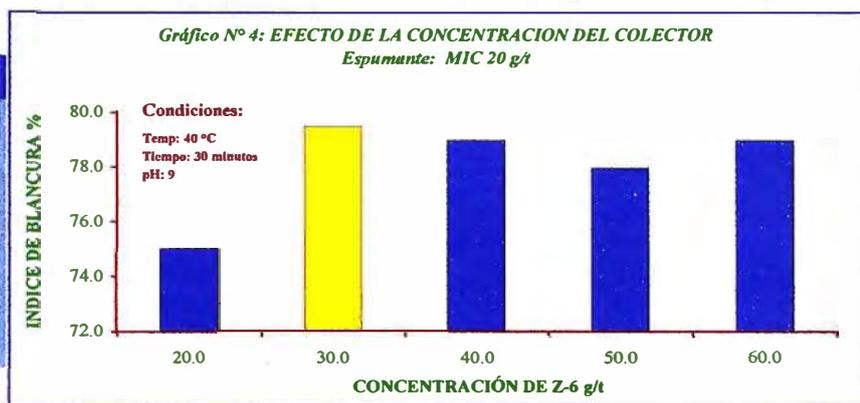
(g/t) = gramos por tonelada; ppm (papel) = mm²/m²

GRAFICOS: Serie de pruebas experimentales N° 1
EFFECTO DE LA CONCENTRACION DEL COLECTOR Z-6 Y ESPUMANTE ACEITE DE PINO

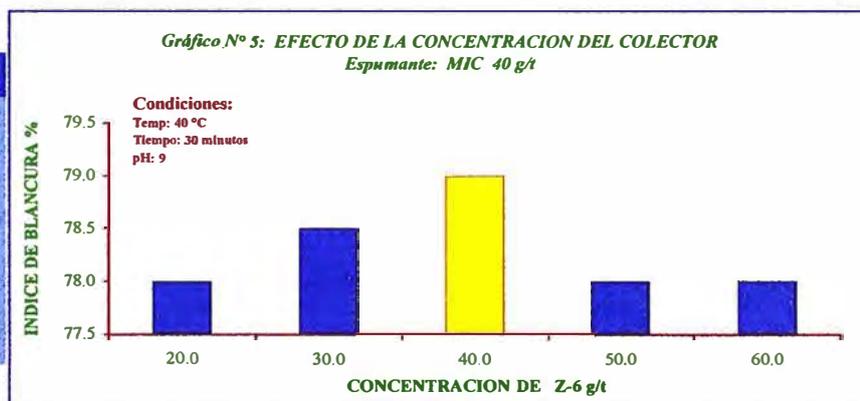


GRAFICOS: Serie de pruebas experimentales N° 2
EFFECTO DE LA CONCENTRACION DEL COLECTOR Z-6 Y ESPUMANTE MIC

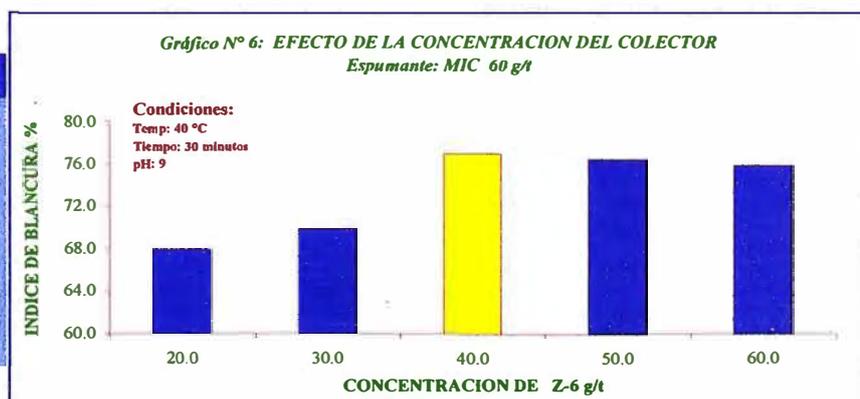
COLECTOR Z-6	
CONC g/t	BLANCURA %
20.0	75.0
30.0	79.5
40.0	79.0
50.0	78.0
60.0	79.0



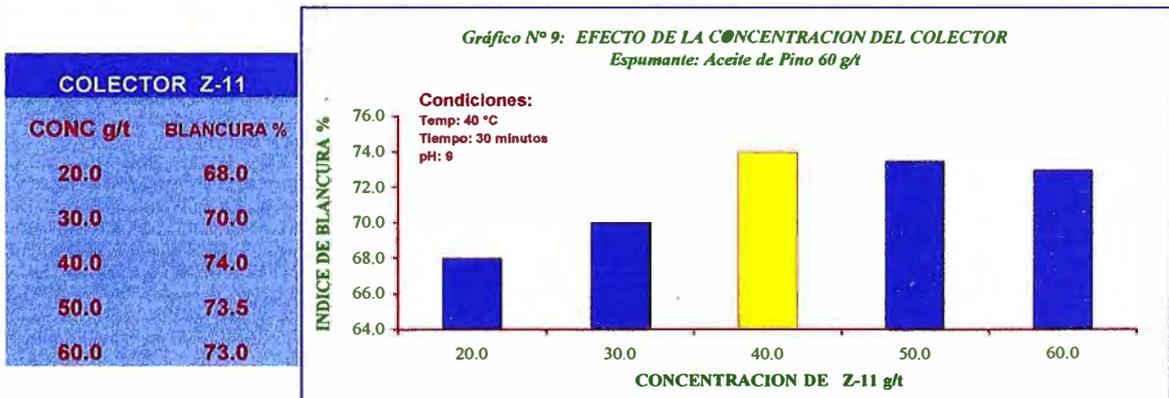
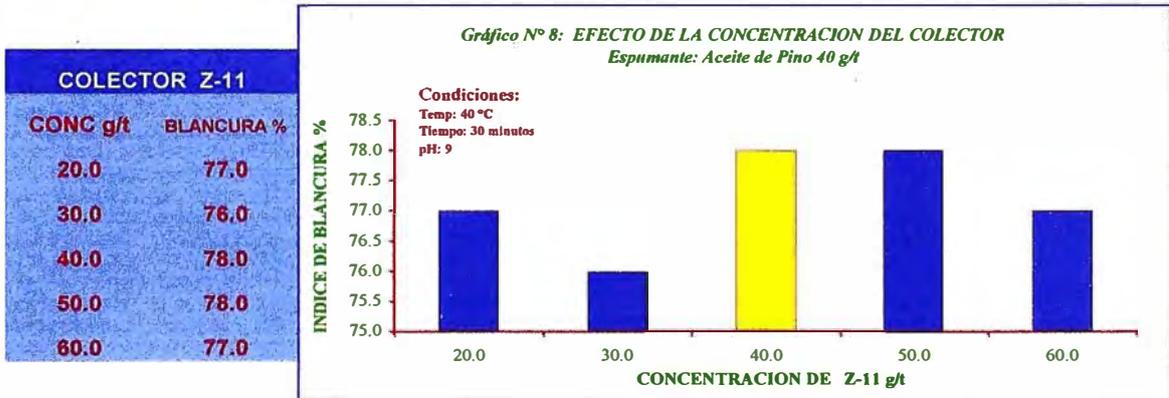
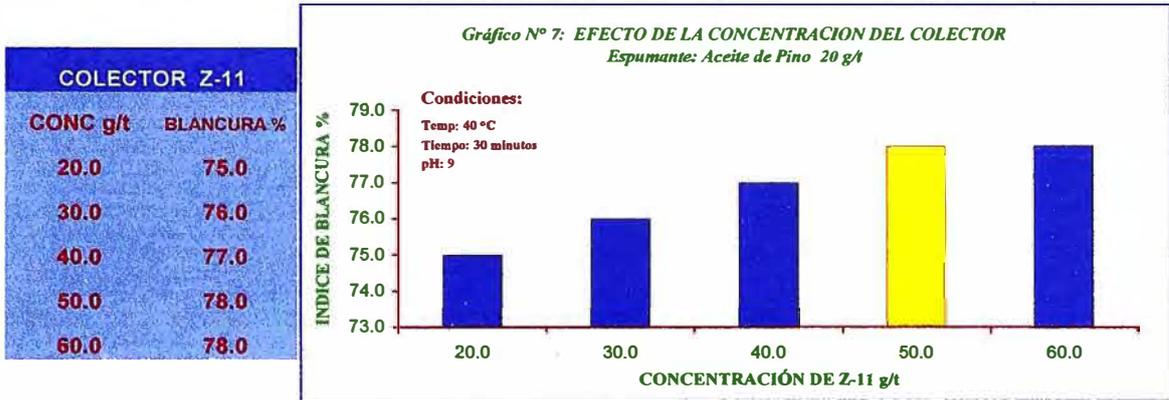
COLECTOR Z-6	
CONC g/t	BLANCURA %
20.0	78.0
30.0	78.5
40.0	79.0
50.0	78.0
60.0	78.0



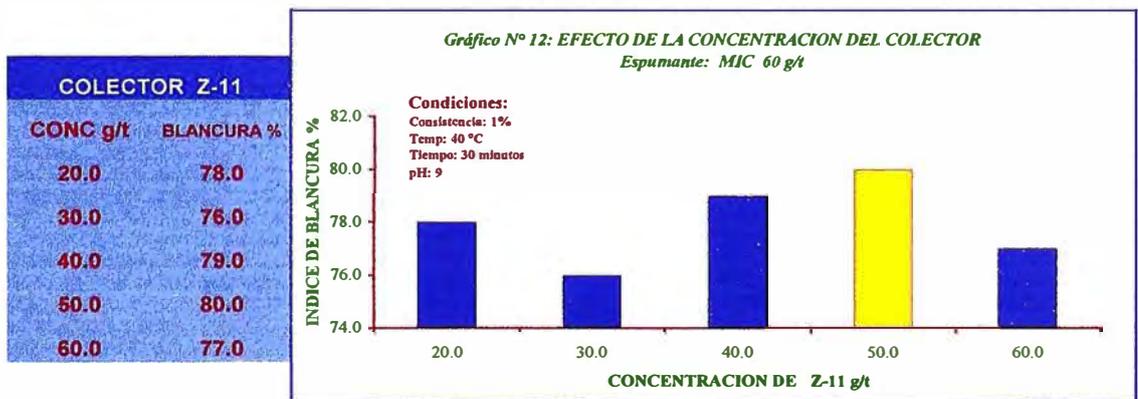
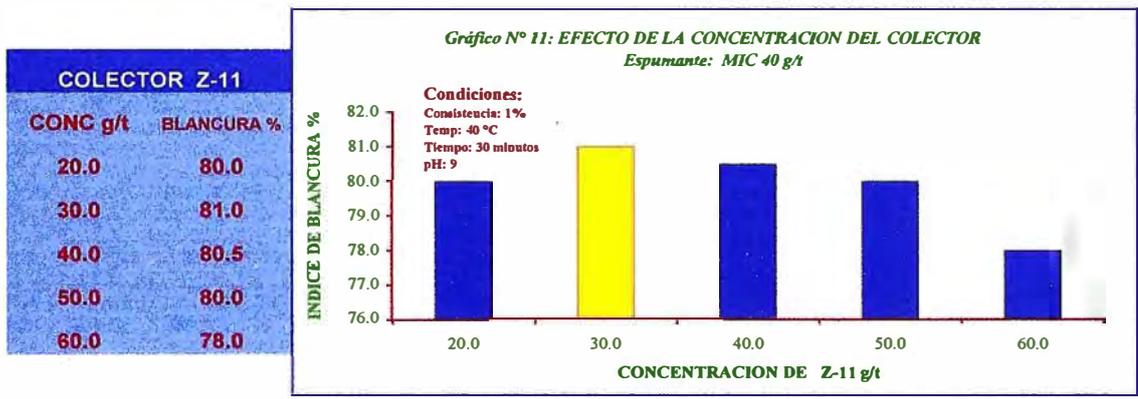
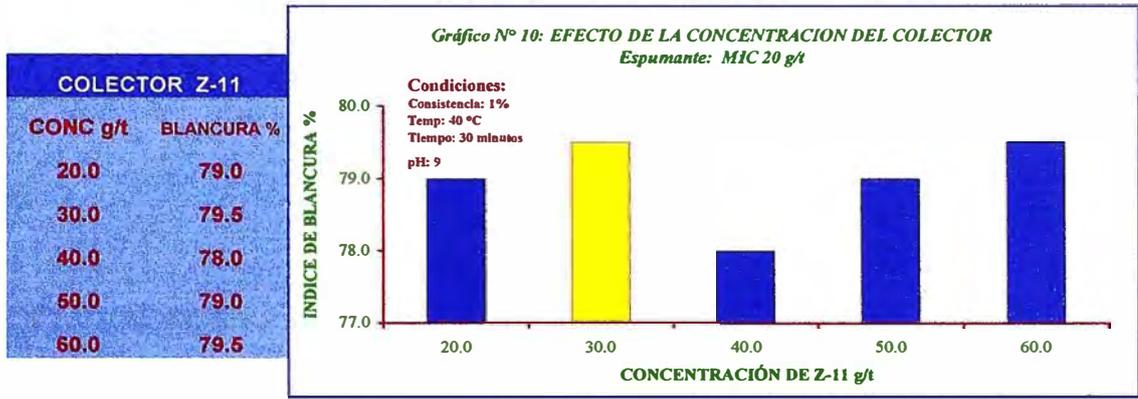
COLECTOR Z-6	
CONC g/t	BLANCURA %
20.0	68.0
30.0	70.0
40.0	77.0
50.0	76.5
60.0	76.0



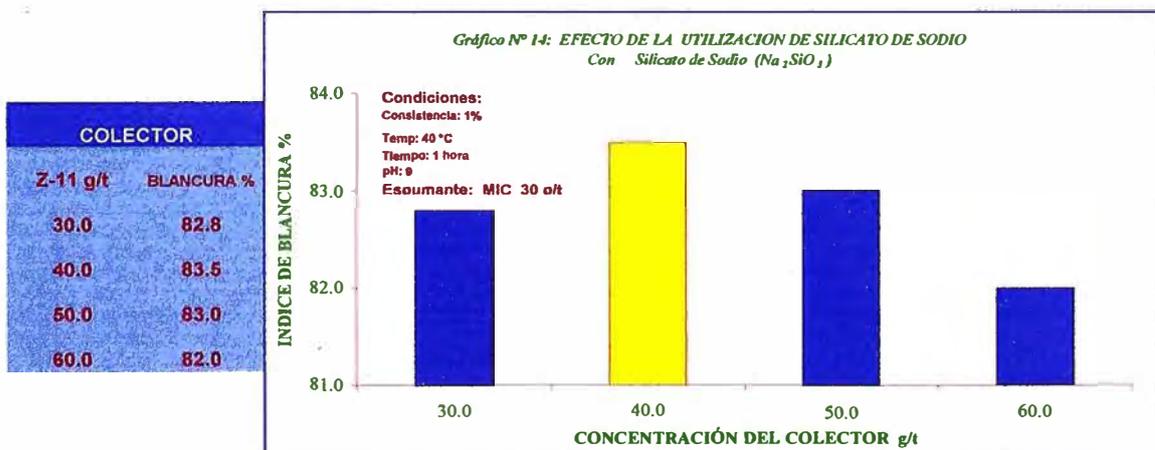
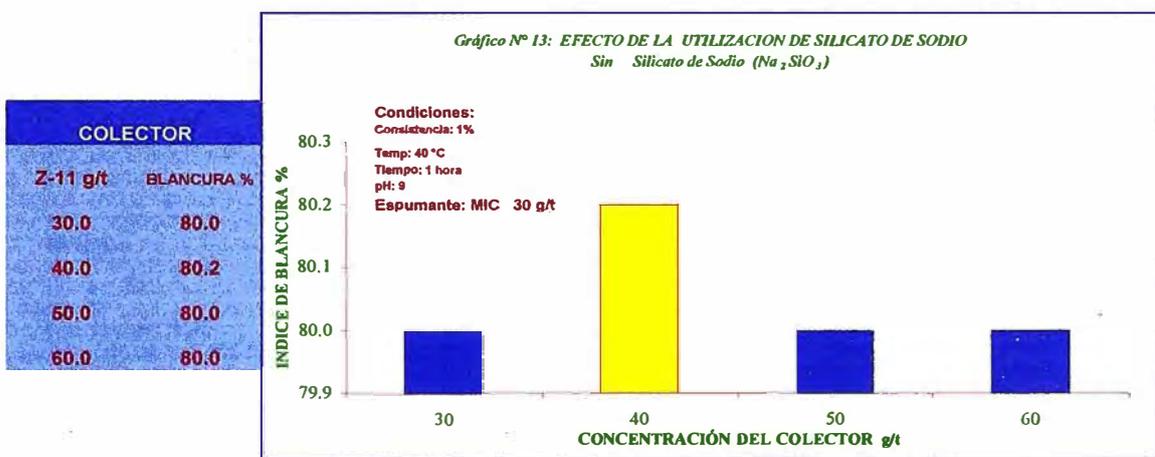
GRAFICOS: Serie de pruebas experimentales N° 3
EFFECTO DE LA CONCENTRACION DEL COLECTOR Z-11 Y ESPUMANTE ACEITE DE PINO



GRAFICOS: Serie de pruebas experimentales N° 4
EFEECTO DE LA CONCENTRACION DEL COLECTOR Z-11 Y ESPUMANTE "MIC"



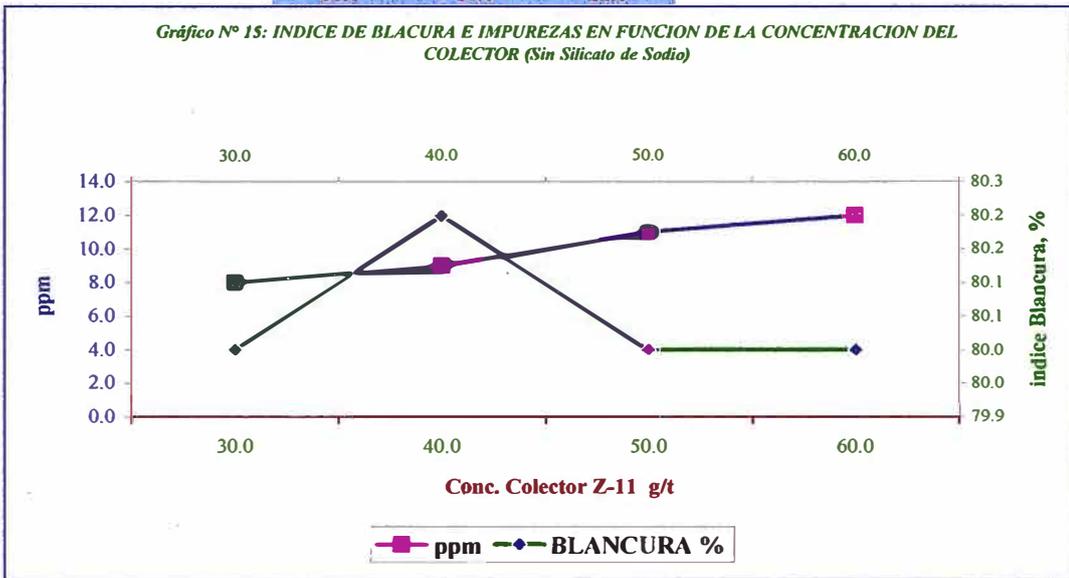
Gráficos: Serie de pruebas experimentales N° 5 y 6
EFFECTO DE LA UTILIZACION DE SILICATO DE SODIO



GRAFICOS: Serie de pruebas experimentales N° 5 y 6
EFFECTO DE LA CONCENTRACION DEL COLECTOR Z-11 Y ESPUMANTE MIC

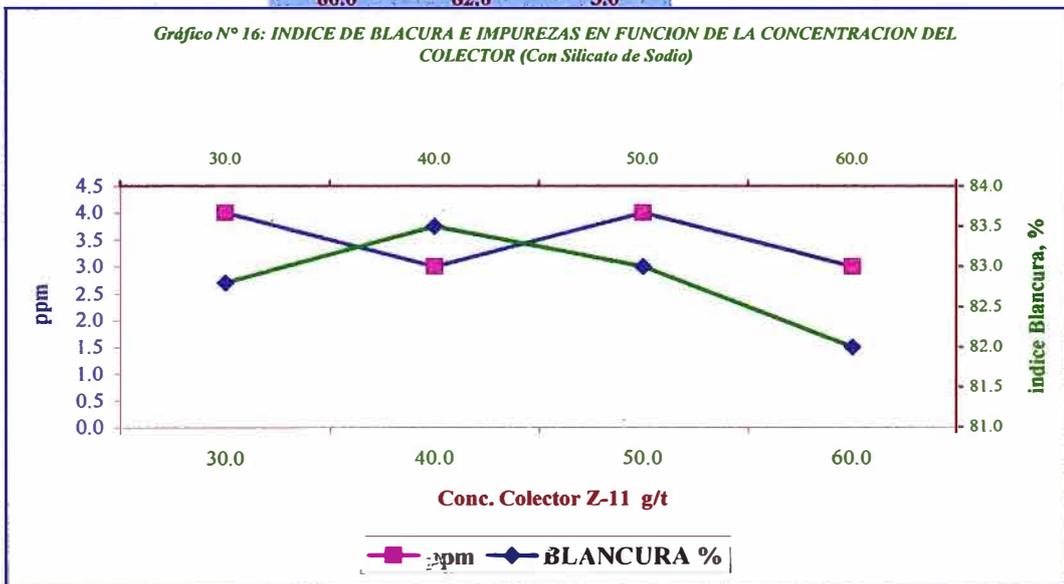
COLECTOR Z-11 ESPUMANTE: MIC 30 g/t		
C, Colector g/t	BLANCURA %	ppm
30.0	80.0	8.0
40.0	80.2	9.0
50.0	80.0	11.0
60.0	80.0	12.0

Gráfico N° 15: INDICE DE BLACURA E IMPUREZAS EN FUNCION DE LA CONCENTRACION DEL COLECTOR (Sin Silicato de Sodio)

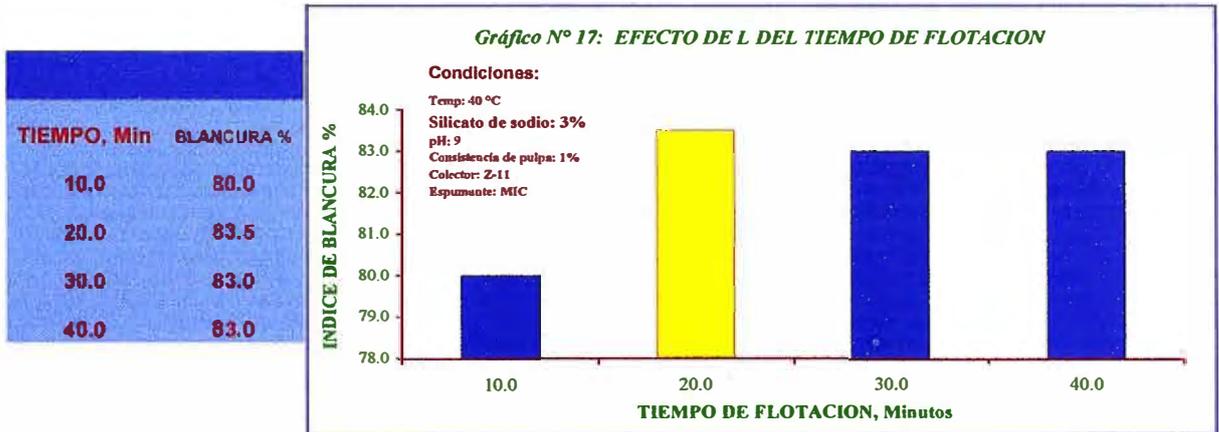


COLECTOR Z-11 ESPUMANTE: MIC 30 g/t		
C, Colector g/t	BLANCURA %	ppm
30.0	82.8	4.0
40.0	83.5	3.0
50.0	83.0	4.0
60.0	82.0	3.0

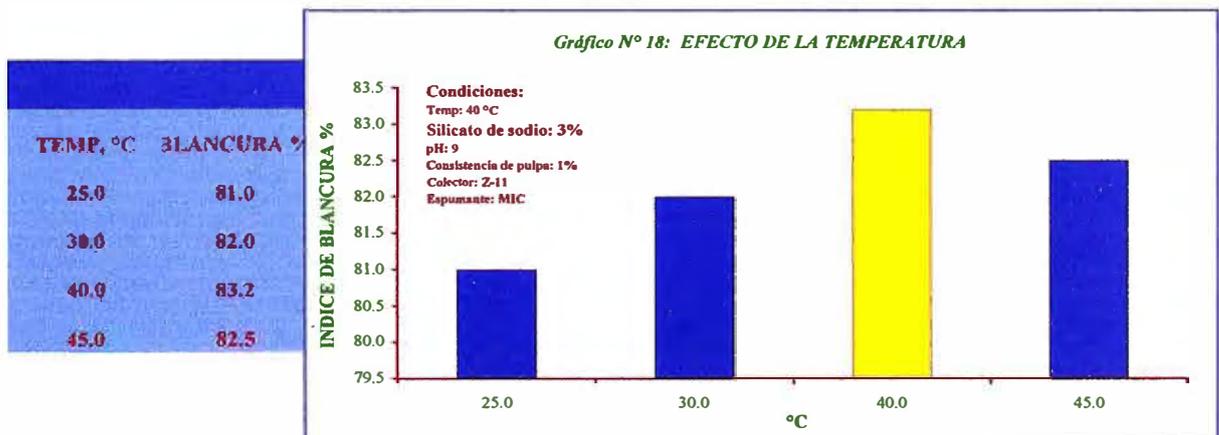
Gráfico N° 16: INDICE DE BLACURA E IMPUREZAS EN FUNCION DE LA CONCENTRACION DEL COLECTOR (Con Silicato de Sodio)



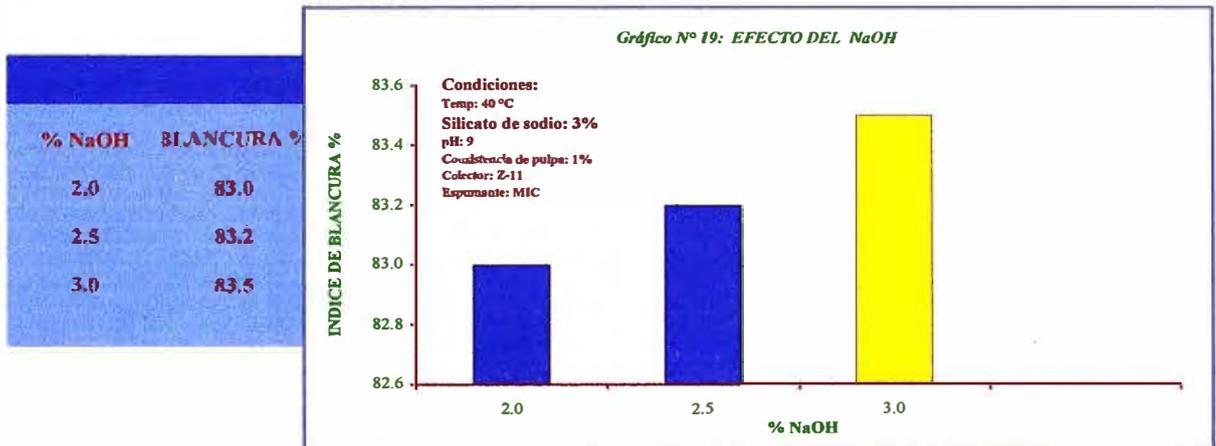
Serie de pruebas experimentales N° 7
EFFECTO DEL TIEMPO DE FLOTACION



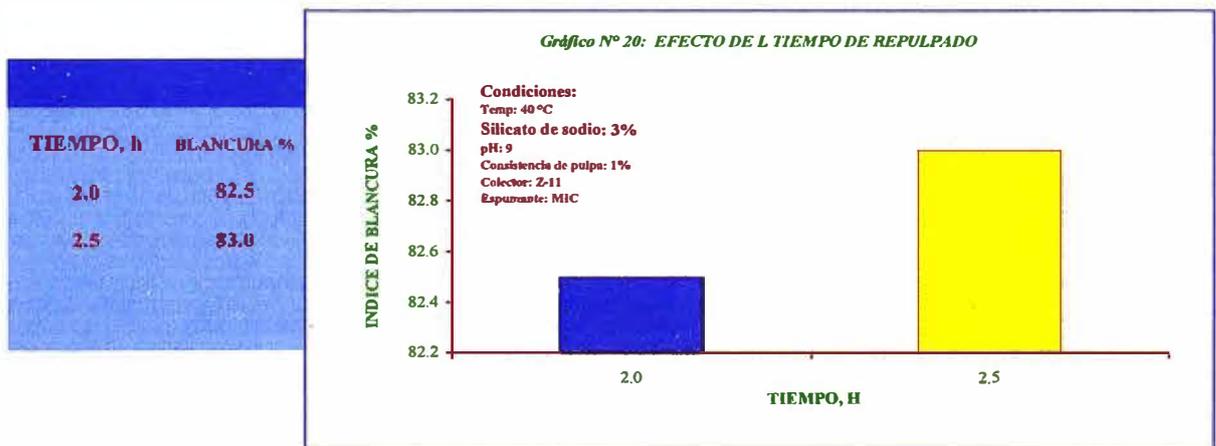
Serie de pruebas experimentales N° 8
EFFECTO DE LA TEMPERATURA



Serie de pruebas experimentales N° 9
EFEECTO DE LA CONCENTRACION DE NaOH



Serie de pruebas experimentales N° 10
EFEECTO DEL TIEMPO DE REPULPADO



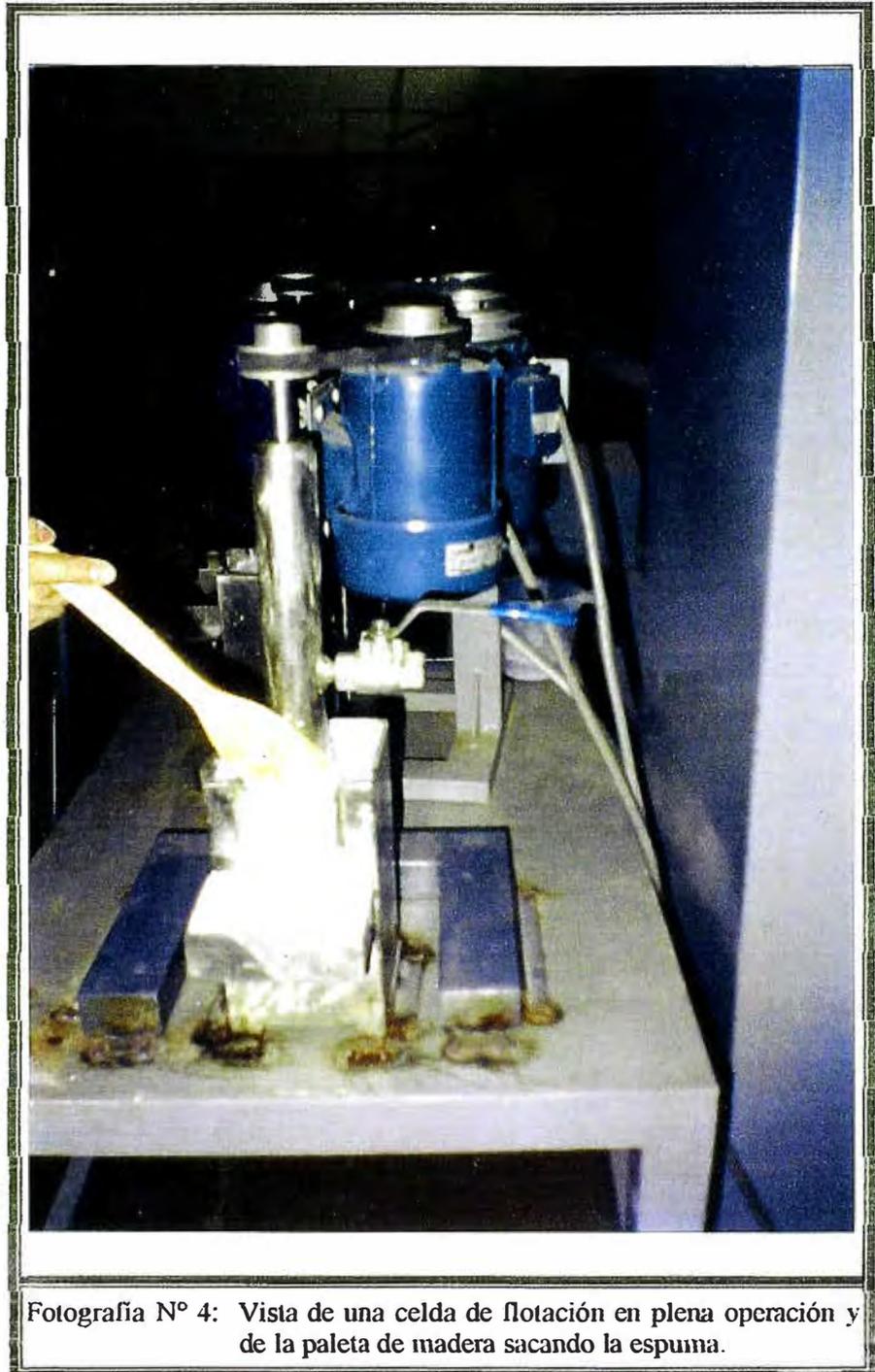


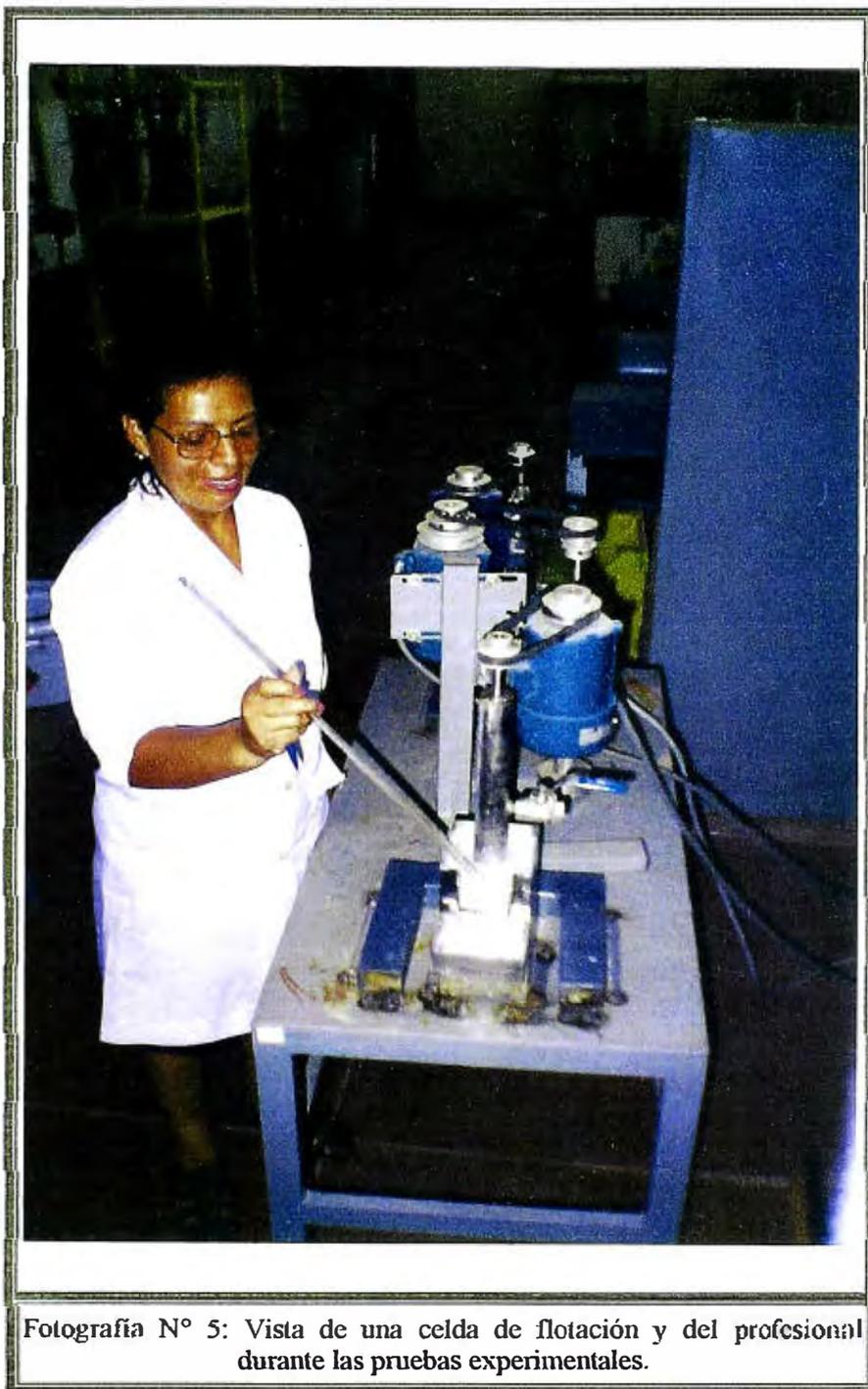


Fotografía N° 2: Vista panorámica del reactor utilizado para repulpar pulpa de papel.



Fotografía N° 3: Vista panorámica de la pulpa de papel sin destintar formado en el reactor .



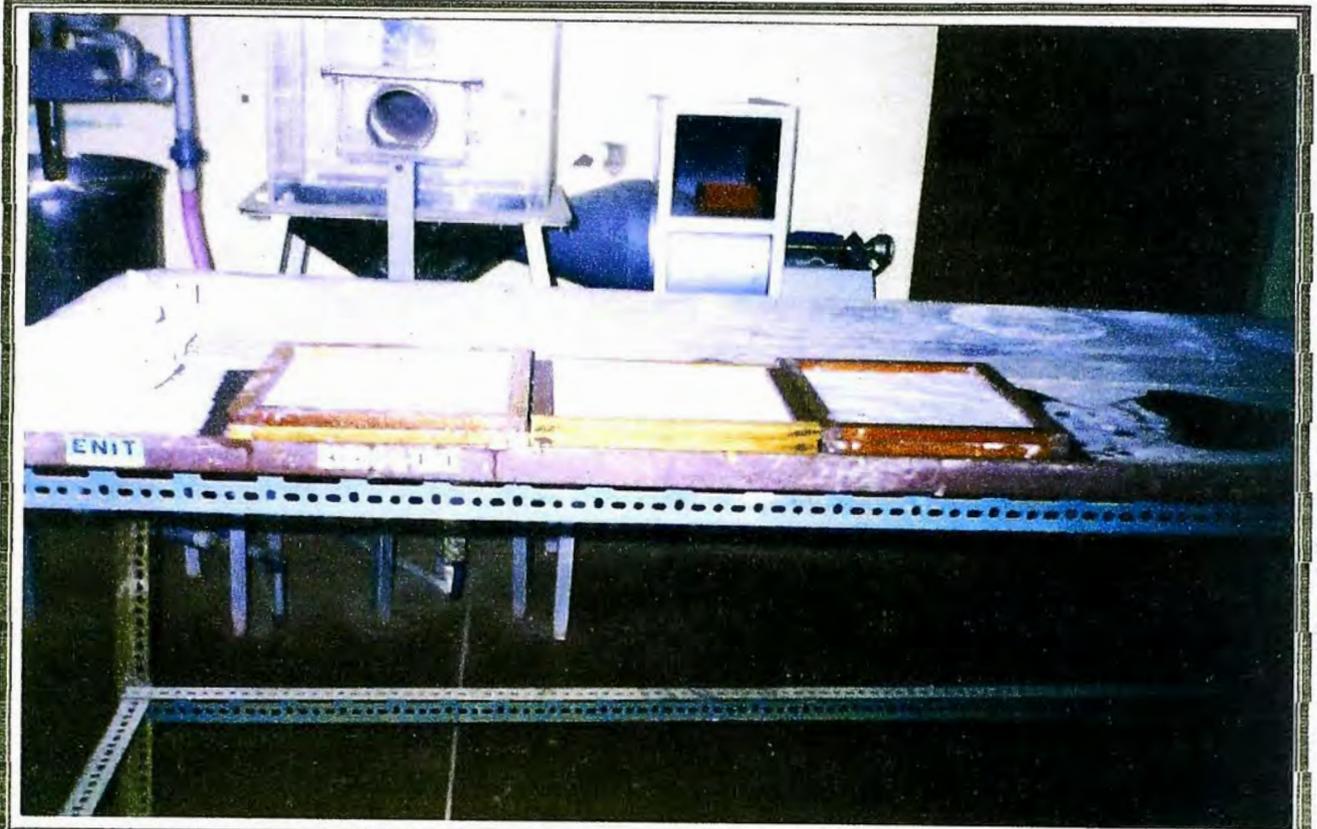




Fotografía N° 6: Vista del recipiente con la pulpa flotada y un formador de hoja.



Fotografía N° 7: Vista panorámica de una hoja de pulpa formada.



Fotografía N° 8: Vista panorámica de las hojas de pulpa en etapa de secado.

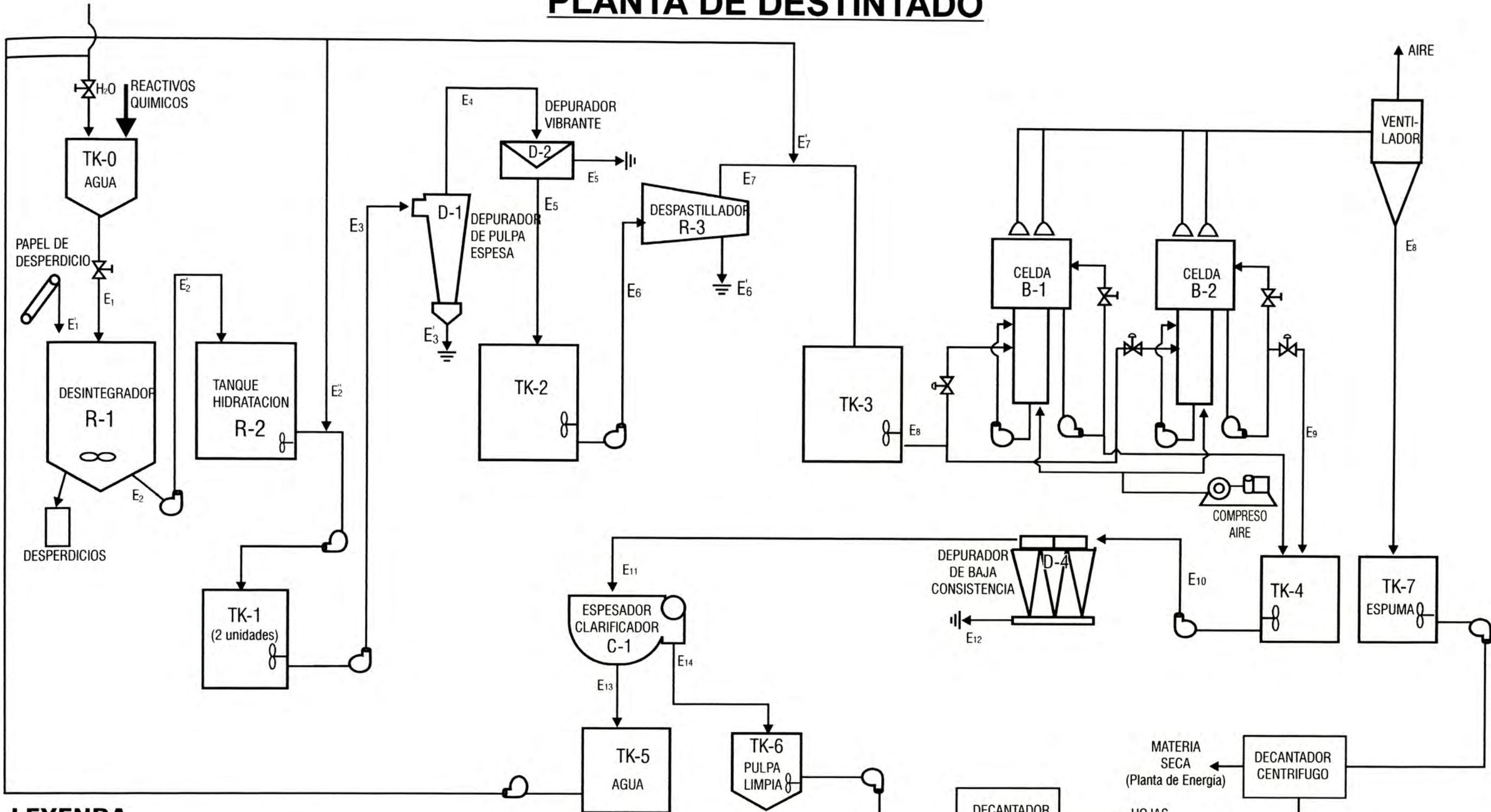


Fotografía N° 9: Vista de algunos de los equipos de laboratorio y de los reactivos utilizados durante la parte experimental.

Anexo 7

- **Diagrama de flujo de proceso de una planta industrial proyectada**
- **Balance de materiales en los principales equipos**
- **Resumen balance de materiales (Cuadro 7.1)**
- **Vista fotográficas de una planta industrial de papel**

PLANTA DE DESTINTADO



LEYENDA

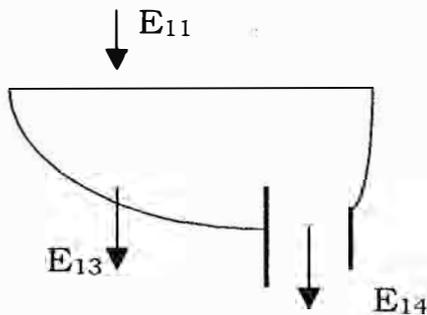
B-1 : Celda de flotación.
 B-2 : Celda de flotación.
 C-1 : Espesador clarificador.
 D-1 : Depurador de pulpa espesa.
 D-2 : Depurador vibrante plano.
 R-1 : Desintegrador.
 R-2 : Tanque de hidratación.
 R-3 : Despastillador.

TK-0 : Tanque almacenamiento de agua.
 TK-1 : Tanque de almacenamiento de pulpa.
 TK-2 : Tanque de almacenamiento de pulpa.
 TK-3 : Tanque de almacenamiento de pulpa.
 TK-4 : Tanque de almacenamiento de pulpa.
 TK-5 : Tanque de recuperación de agua.
 TK-6 : Tanque de almacenamiento de pulpa destintada.
 TK-7 : Tanque de almacenamiento de aguas residuales.

BALANCE DE MATERIALES

Producción de pulpa: 20 t/día o lo que es lo mismo 0.833 t/h al 4.5 % de consistencia.

I. En el Espesador



E_{14} : pulpa limpia al 4.5% de consistencia
El rendimiento del espesador es 90% (experimental).

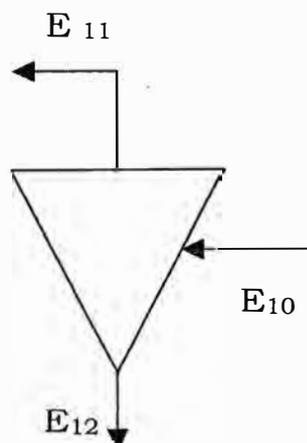
$$\text{Entonces } \frac{90}{100} = \frac{E_{14}}{E_{11}}$$

$$E_{11} = \frac{E_{14}}{0,9} = \frac{0,833 \text{ t/h}}{0,9} = 0,926 \text{ t/h.}$$

$$E_{11} = E_{13} + E_{14} \Rightarrow E_{13} = E_{11} - E_{14} = 0,926 \text{ t/h} - 0,833 \text{ t/h}$$

$$E_{13} = 0,093 \text{ t/h}$$

II. En el depurador de pasta de baja densidad



Rendimiento del depurador 99,5%

$$\frac{E_{11}}{E_{10}} = 0,995$$

$$E_{10} = \frac{E_{11}}{0,995} = \frac{0,926 \text{ t/h}}{0,995} = 0,9306 \text{ t/h}$$

$$E_{10} = E_{11} + E_{12}$$

$$E_{12} = E_{10} - E_{11} = 0,9306 \text{ t/h} - 0,926 \text{ t/h}$$

$$= 0,0046 \text{ t/h}$$

Cálculo de la consistencia E_{11} ; E_{13}

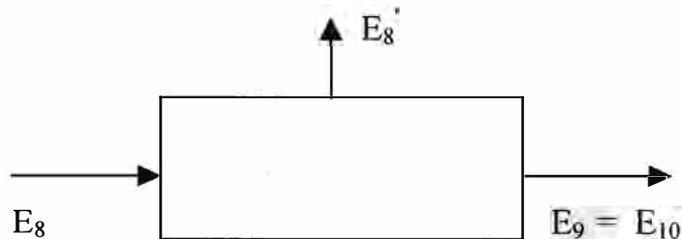
Considerando que la consistencia de E_{10} y E_{12} es 0,95%

$$\text{Consistencia de } E_{11} : \frac{926 \frac{t/h}{\left(\frac{0,9306}{0,0095} - \frac{0,0046}{0,0095}\right) \frac{t}{h}}}{h} \times 100 = 0,95\%$$

$$\text{Consistencia de } E_{13} : \frac{0,093 \frac{t/h}{\left(\frac{0,926}{0,0095} - \frac{0,833}{0,0045}\right) \frac{t}{h}}}{h} \times 100 = 0,118\% \approx 0,12\%$$

III. En la celda de flotación

Rendimiento de la celda de flotación 90% (experimental)



$$\frac{E_9}{E_8} = 0,90 \quad \text{Entonces} \quad E_8 = \frac{E_9}{0,9} = \frac{0,9306 \frac{t/h}{0,9}}{0,9} = 1,034 \frac{t/h}{0,9}$$

Suponiendo que la consistencia de E_8 es 1%

$$E_8 = E_9 + E_8' \quad \rightarrow \quad E_8' = E_8 - E_9$$

$$E_8' = 1,034 \frac{t/h}{0,9} - 0,936 \frac{t/h}{0,9} = 0,1034 \frac{t/h}{0,9}$$

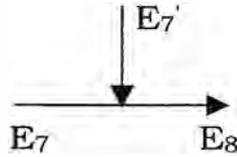
Si la consistencia de $E_8' = 2\%$ (supuesto)

Entonces la consistencia de

$$E_9 = \frac{0,93}{1,034 \frac{0,1034}{0,01} - \frac{0,1034}{0,02}} \times 100 = 0,9474$$

$E_9 \approx 0,95$ de resistencia

IV. Dilución en línea



E_7' : agua de dilución. Consistencia 0.1% (supuesto)

E_7 : pasta que sale del despastillador. Consistencia 3%

E_8 : pasta al 1% de consistencia

$$E_7 + E_7' = E_8 = 1,034 \text{ t/h} \dots\dots\dots 1)$$

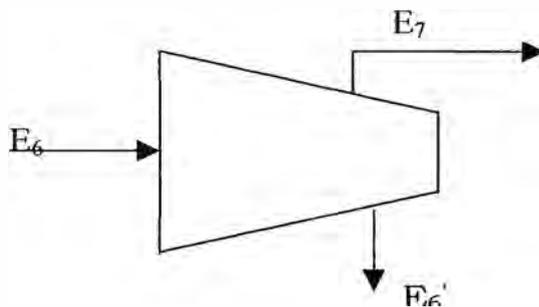
$$\frac{E_7}{0,03} + \frac{E_7'}{0,001} = \frac{1,034}{0,01} \dots\dots\dots 2)$$

de (1) y (2) se tiene :

$$E_7 = 0,9626 \text{ t/h}$$

$$E_7' = 0,074134 \text{ t/h}$$

V. En el despastillador



Rendimiento del despastillador
99% (experimental)

$$\frac{E_7}{E_6} = 0,99$$

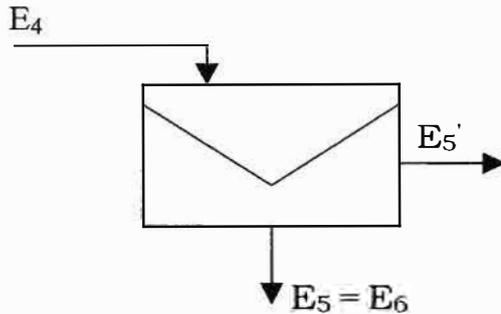
$$E_6 = \frac{E_7}{0,99} = \frac{0,9626 \text{ t/h}}{0,99} = 0,9723 \text{ t/h}$$

$$E_6 = E_7 + E_6' \Rightarrow E_6' = E_6 - E_7 = (0,9723 - 0,9626) \text{ t/h}$$

$$E_6' = 0,0097 \text{ t/h}$$

Consistencia de E'_6 : $\frac{0,009708 \text{ t/h}}{\left(\frac{0,9723}{0,03} - \frac{0,9626}{0,03}\right) \frac{t}{h}} \times 100 = 3\%$

VI. Depurador Vibrante plano



Rendimiento del depurador vibrante plano 98,5 %

$$\frac{E_5}{E_4} = 0,985$$

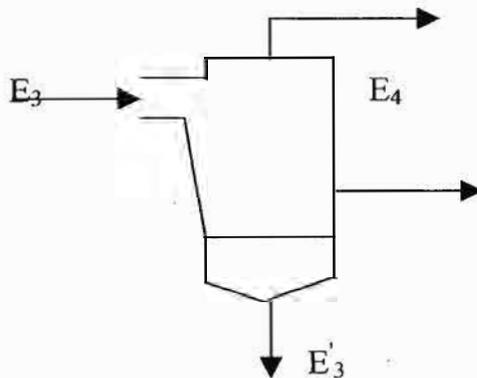
$$E_4 = \frac{E_5}{0,985} = \frac{0,9723 \text{ t/h}}{0,985} = 0,9871 \text{ t/h}$$

Consistencia de $E_4 = 3\%$ (supuesto)

$$E_4 = E_5 + E'_5 \rightarrow E'_5 = E_4 - E_5 = (0,9871 - 0,9723) \text{ t/h} = 0,0148 \text{ t/h}$$

Consistencia de E'_5 : $\frac{0,0148 \text{ t/h}}{\frac{0,9871}{0,03} - \frac{0,9723}{0,03}} \times 100 = 3\%$

VII. En el limpiador centrífugo de alta consistencia



Rendimiento del depurador

Centrífuga de alta consistencia

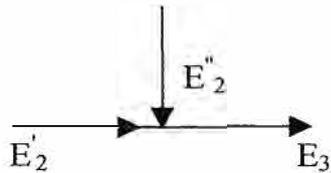
98,9 % (supuesto)

$$E_3 = E_4 + E'_3 \dots\dots\dots (1)$$

$$\frac{E_4}{E_3} = 0,989 \Rightarrow E_3 = \frac{E_4}{0,989} = \frac{0,9871 \text{ t/h}}{0,989} = 0,998 \text{ t/h}$$

$$E'_3 = E_3 - E_4 = 0,998 \text{ t/h} - 0,9871 \text{ t/h} = 0,0109 \text{ t/h}$$

VIII. Dilución en línea



$$E'_2 + E''_2 = E_3$$

$$E'_2 + E''_2 = 0,998 \text{ t/h} \dots\dots\dots (1)$$

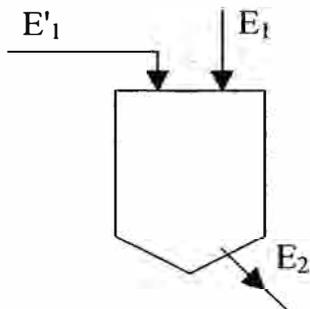
$$\frac{E'_2}{0,05} + \frac{E''_2}{0,001} = \frac{0,998}{0,03} \text{ t/h} \dots\dots\dots (2)$$

De 1) y 2)

$$E'_2 = 0,9844 \text{ t/h}$$

$$E''_2 = 0,0136 \text{ t/h}$$

IX. En el desintegrador



E_1 : agua de dilución
Consistencia 0,1% (supuesto)

E'_1 : papel de desecho con 12% de humedad

Rendimiento del desintegrador: 98%

Rendimiento 98%

$$E_1 + E'_1 = E_2$$

$$E_1 + E'_1 = 0,9844 \text{ t/h} \dots\dots\dots (1)$$

$$\frac{E_1}{0,001} + \frac{E'_1}{1 - 0,12} = \frac{0,9844}{0,05} \dots\dots\dots (2)$$

de (1) y (2)

$$E'_1 = 0,9658 \text{ t/h}$$

$$E_1 = 0,0186 \text{ t/h}$$

$$\text{Si el rendimiento es 98\%,} \Rightarrow E'_1 = 0,9855 \text{ t/h} \quad E_1 = 0,01898 \text{ t/h}$$

Cuadro 7.1

BALANCE DE MATERIALES

Base 0,833 t/h de pulpa

LÍNEA DE FLUJO	E_1'	E_1	E_2	E_2''	E_2^i	E_3	E_3'	E_4	E_5	E_5'	E_6
Pasta en m ³ /h	1.120	18.980	19.688	13.600	19.688	33.266	0.364	32.903	32.410	0.493	32.410
Sólidos t/h	0.986	0.019	0.984	0.014	0.984	0.998	0.011	0.987	0.972	0.015	0.972
Consistencia %	88.000	0.100	5.000	0.100	5.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
LÍNEA DE FLUJO	E_6'	E_7	E_7'	E_8	E_8'	E_9	E_{10}	E_{11}	E_{12}	E_{13}	E_{14}
Pasta en m ³ /h	0.323	32.086	71.340	103.400	5.170	97.958	97.958	97.474	0.484	77.500	18.511
Sólidos t/h	0.010	0.963	0.071	1.034	0.103	0.931	0.931	0.926	0.005	0.093	0.833
Consistencia %	3.000	3.000	0.100	1.000	2.000	0.950	0.950	0.950	0.950	0.120	4.500



Foto N° 10: Equipo para repulpar papel (pulper) utilizado en una planta papelera

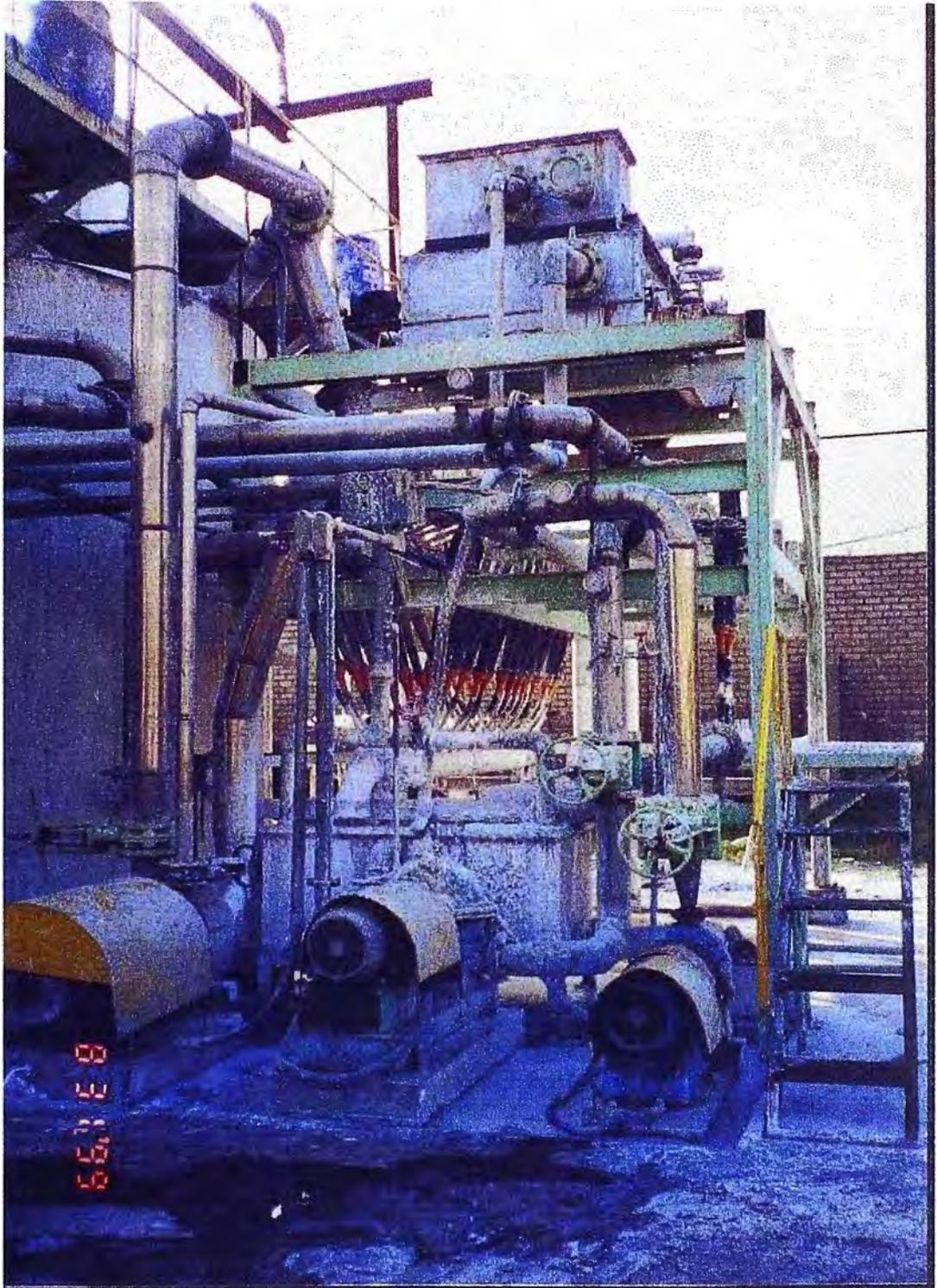


Foto N° 11: Vista panorámica del reactor de repulpado y el sistema de manipulación de pulpa de papel en una planta industrial



Foto N° 12: Vista panorámica de celdas de flotación utilizado para el destintado de pulpa de papel en la industria papelera

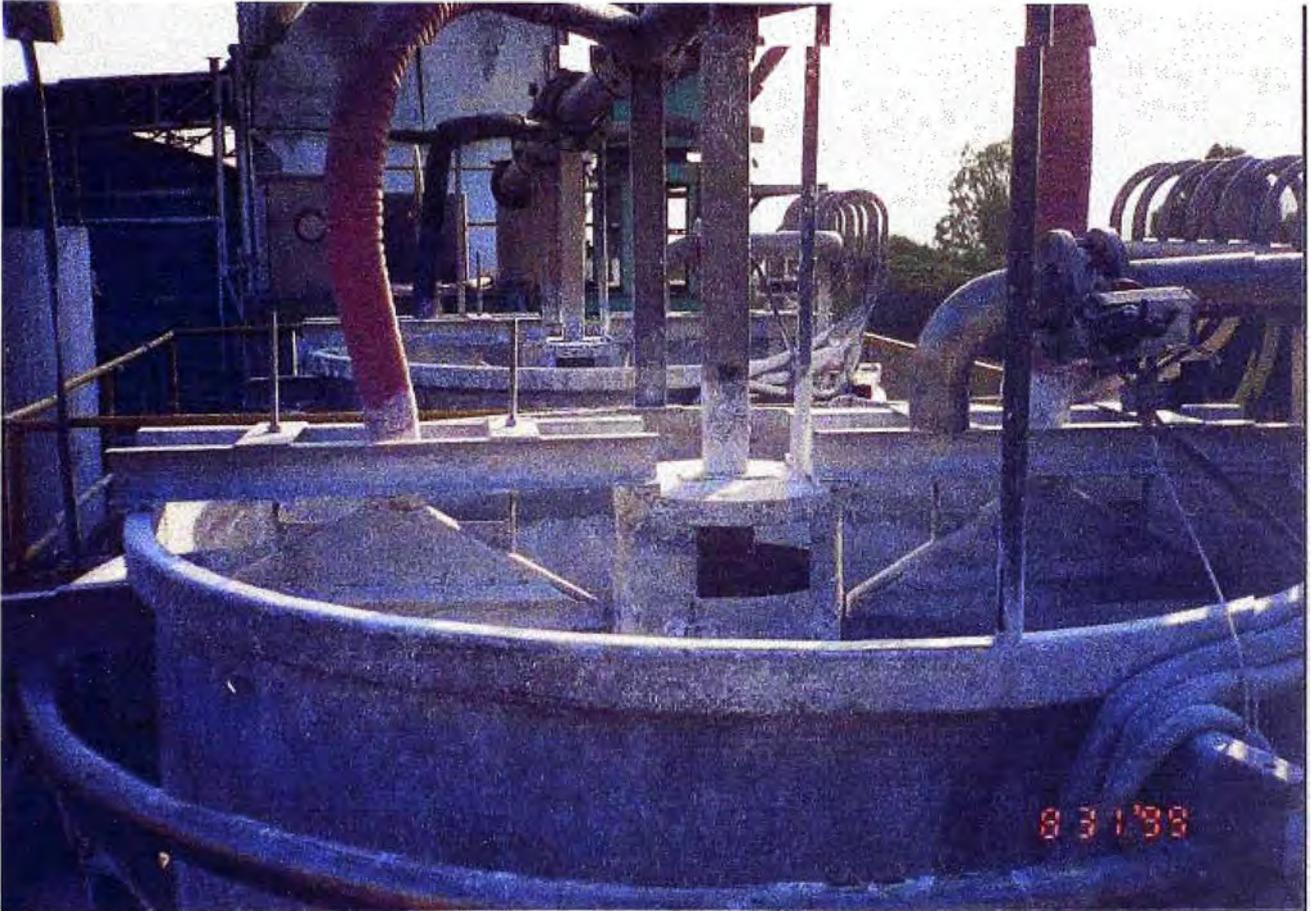


Foto N° 13: Vista panorámica de una celda de flotación utilizado para el destintado de pulpa de papel en la industria papelera

Anexo 8

▪ Cuadros de evaluación económica

Cuadro 8.1: Costos de los equipos principales

EQUIPO	CARACTERISTICA	CANTIDAD	COSTO US\$
Desintegrador	10 m ³	1	99 536
Depurador centrífugo de alta consistencia	36 m ³	1	19 577
Depurador vibrante plano	4,6 m ²	1	12 938
Despastillador de discos	100 t/d	1	13 299
Sistema de flotación	51,4 m ³	1	156 871
Depurador cetrífugo de baja consistencia	30 t/d	3	58 379
Espesadores	19 m ²	2	27 000
Bombas	Centrífugas	8	16 200
Agitadores	Axial	6	28 739
Tanque de hidratación	33,5 m ³	1	8 375
Tanque de almacenamiento de pulpa (total)	305 m ³	6	76 250
Tanque de almacenamiento de agua residual	16 m ³	1	4 000
Tanques de reuperación de agua	110 m ³	2	27 500
Caldero	150 HP	1	30 000
Compresor de aire	5 HP	1	1 200
COSTO TOTAL DEL EQUIPO			578 663

Fuente: Catálogos de maquinaria para pulpa y papel (Voith S.A.; Sulzer - Escher Wyss. E&M Lamort - Ingénieurs Constructeurs

Cuadro 8.2: Estimación de inversión de capital fijo

COSTOS DIRECTOS	%	US\$
Adquisición de equipos	100.0	578 663
Instalación de equipo	20.0	115 733
Instrumentación y controles	7.0	40 506
Tuberías y accesorios	10.0	57 866
Instalaciones eléctricas	7.0	40 506
Obras civiles	5.0	28 933
Mejoras del terreno	30.0	173 599
Servicios auxiliares	4.0	23 147
TOTAL DE COSTOS DIRECTOS		1 058 954
COSTOS INDIRECTOS		
Ingeniería y supervisión	10	57 866
Gastos de construcción	15.0	86 799
TOTAL COSTOS INDIRECTOS		144 666
TOTAL COSTOS DIRECTOS E INDIRECTOS		1 203 620
Eventuales (10% Costos directos e indirectos)		120 362
TOTAL DE INVERSION DE CAPITAL FIJO		1 323 982
CAPITAL DE TRABAJO		97 640
INVERSION TOTAL DE CAPITAL		1 421 621

Cuadro 8.3: Servicios auxiliares

AGUA :			
Consumo :	636	m ³ /DO ^(*)	
Costo :	0.8	US\$/m ³	
COSTO ANUAL DE AGUA :	167 904	US\$/Año	
COMBUSTIBLE :			
Consumo :	0.5	t/día	
Costo :	300	US\$/t	
COSTO ANUAL DE COMBUSTIBLE :	49 500	US\$/Año	
ENERGIA ELECTRICA			
EQUIPOS	HP	Cantidad	HP
Agitador TK. desintegrador	100	1	100
Bomba de desintegrador	25	1	25
Agitador TK. Hidratación	45	1	45
Bomba TK. Hidratación	8	1	8
Agitador TK Almacenamiento 1	15	2	30
Bomba TK. Almacenamiento 1	8	2	16
Depurador vibrante plano	50	1	50
Agitador TK. Almacenamiento 2	15	1	15
Despastillador de discos	100	1	100
Agitador TK Almacenamiento 3	30	1	30
Bomba TK. almacenamiento 3	8	1	8
Celdas de flotación	15	12	180
Agitador TK. Almacenamiento 4	30	1	30
Bomba TK. Almacenamiento 4	8	1	8
Bomba Depurador baja consistencia	40	1	40
Espesadores	15	2	30
Bomba TK. agua (5)	8	1	8
Bomba TK de pulpa 6	30	1	30
Agit. TK. Espuma 7	10	1	10
TOTAL :			763
	763 HP =	4 504 629	kwh/año
Considerando una eficiencia del 75%:		6 006 172	kwh/año
ALUMBRADO DE PLANTA (500 m²)			
Horas de alumbrado : 12 h/d	Factor=	1 kwh / 95 cm ² de área	
Energía consumida (alumbrado 800 m ²) :		84 211	kwh/año
CONSUMO TOTAL DE ENERGIA		6 090 383	kwh/año
COSTO DE ENERGIA		0.040	US\$/kwh
COSTO ANUAL DE ENERGIA		243 615	US\$/Año
Resumen costo de servicios Auxiliares			
Descripción	US\$/Año		
Agua	167 904		
Combustible	49 500		
Energía eléctrica	243 615		
TOTAL	461 019		

(*) DO: Día de operación

Cuadro 8.4: Estimación del costo de producción

MATERIA PRIMA	
Papel	0.20 US\$/kg
Alimentación horaria	1 120 kg/h
Consumo anual de papel	8 870 400 kg/Año
COSTO	1 774 080 US\$/Año
MANO DE OBRA	
Número de obreros	21
Sueldo de cada obrero US\$/MES	150
Sueldos	44 100 US\$/Año
TOTAL DE MANO DE OBRA	44 100 US\$/Año
SUPERVISION DIRECTA Y TRABAJOS ADM.	34 300 \$/Año

Resumen Costo de Producción

	US\$/Año
Materia prima	1 774 080
Mano de obra	44 100
Supervisión directa y trabajos de administración	34 300
Total servicios auxiliares	461 019
TOTAL	2 313 499

Cuadro 8.5: Estimación del costo total de fabricación de pulpa de papel

I.- COSTOS DE FABRICACION	US\$/año
Costos Directos de Producción	
Materia prima	1 774 080
Mano de obra	44 100
Supervisión directa y trabajos de administración	34 300
Servicios auxiliares	461 019
Mantenimiento y Reparación (6% de equipos)	34 720
Gastos de laboratorio (5% M.O)	2 205
Gastos Fijos	
Depreciación (10% Inv. Capital Fijo)	142 162
Impuestos locales (0.5% I.C.F)	7 108
Seguro (0.7% I.C.F)	9 951
Gastos Generales de la Planta (3% de M.O, Superv, Manten.)	3 394
II.- GASTOS GENERALES	
Gastos de Administración (3.5% CTF)	74 722
Gastos de Distribución y Marketing (3% de Costo Total Fab.)	83 484
Gastos de Investigación y Desarrollo (5% de Costo Total Fab.)	141 663
COSTO TOTAL DE FABRICACION	2 839 592

Cuadro 8.6: Costos variables y fijos

COSTOS VARIABLES	US\$
Materia prima	1 774 080
Mano de obra	44 100
Supervisión directa y trabajos de administración	34 300
Servicios auxiliares	461 019
Mantenimiento y Reparación (6% de equipos)	34 720
Gastos de laboratorio (5% M.O)	2 205
TOTAL COSTOS VARIABLES	576 344

COSTOS FIJOS	US\$
Depreciación (10% Inv. Capital Fijo)	142 162
Impuestos locales (0.5% I.C.F)	7 108
Seguro (0.7% I.C.F)	9 951
Gastos Generales - Planta (3% M.O, Superv, Manten.)	3 394
TOTAL COSTOS FIJOS	162 615

Cuadro 8.10: Capital de trabajo

Inventario de Materia Prima	10 D.O.
Inventario de Producto Terminado	10 D.O.
Cuentas por Cobrar	7 D.O.
Cuentas por Pagar	6 D.O.
Costo papel deshecho	200 US\$/t
Costo Pulpa de papel	381 US\$/t
Precio de venta de a pulpa	450 US\$/t
Carga diaria Papel	26.88 t/DO
Producción diaria de Pulpa de papel	20 t/DO
Materia Prima	Costo de materia prima para cada año
10 DO * 26.88 t/DO * 200 \$/t =	US\$ 53 760
Inventario de Productos Terminados	Costo de producción
10 DO * 20 t/DO * 381 \$/t =	US\$ 76 136
Cuentas por Cobrar	Precio de venta de la pulpa
7 DO * 20 t/DO * 450 \$/t =	US\$ 63 000
Cuentas por pagar	Precio de M.P
6 DO * 26.88 t/DO * 200 \$/t =	US\$ - 32 256
Cobros adelantados	
7 DO * 20 t/DO * 450 \$/t =	US\$ - 63 000
TOTAL CAPITAL DE TRABAJO	= US\$ 97 640
CARGA	PRODUCTO
26.88 t/DO	20.00 t/DO
----->	----->
COSTO DEL PAPEL DE DESPERDICIO	COSTO DE PRODUCCION
200 \$/t	DE PULPA = 0.381 \$/kg
	PRECIO DE VENTA
	DE PULPA = 0.450 \$/kg
	330 DO/AÑO

Cuadro 8.11: Capital de trabajo por años

AÑO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
INVENTARIO DE MP	53 760	54 298	54 841	55 389	55 943	56 502	57 067	57 638	58 214	58 797
INVENTARIO DE PT	76 136	76 136	76 136	76 136	76 136	76 136	76 136	76 136	76 136	76 136
CUENTAS POR COBRAR	63 000	63 000	63 000	63 000	63 000	63 000	63 000	63 000	63 000	63 000
CUENTAS POR PAGAR	- 32 256	- 32 579	- 32 904	- 33 233	- 33 566	- 33 901	- 34 240	- 34 583	- 34 929	- 35 278
COBROS ADELANTADOS	- 63 000	- 63 000	- 63 000	- 63 000	- 63 000	- 63 000	- 63 000	- 63 000	- 63 000	- 63 000
CAPITAL DE TRABAJO	97 640	97 855	98 072	98 291	98 513	98 736	98 962	99 191	99 421	99 654
INCREMENTO ANUAL	97 640	215	217	219	222	224	226	228	231	233

Cuadro 8.12: Costo de producción anual \$/año

AÑO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
MATERIA PRIMA	1 774 080	1 791 821	1 809 739	1 827 836	1 846 115	1 864 576	1 883 222	1 902 054	1 921 074	1 940 285
COSTOS VARIABLES	576 344	582 108	587 929	593 808	599 746	605 743	611 801	617 919	624 098	630 339
COSTOS FIJOS	162 615	162 615	162 615	162 615	162 615	162 615	162 615	162 615	162 615	162 615
TOTAL COSTOS	2 513 039	2 536 544	2 560 283	2 584 259	2 608 476	2 632 935	2 657 638	2 682 588	2 707 788	2 733 239
DEPRECIACION	142 162	142 162	142 162	142 162	142 162	142 162	142 162	142 162	142 162	142 162
TOTAL CARGOS	2 655 201	2 678 706	2 702 445	2 726 422	2 750 638	2 775 097	2 799 800	2 824 750	2 849 950	2 875 402

Cuadro 8.13: Costos unitarios de producción US\$/t Pulpa

AÑO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
MATERIA PRIMA	1 774 080	1 791 821	1 809 739	1 827 836	1 846 115	1 864 576	1 883 222	1 902 054	1 921 074	1 940 285
COSTOS VARIABLES	576 344	582 108	587 929	593 808	599 746	605 743	611 801	617 919	624 098	630 339
COSTOS FIJOS	162 615	162 615	162 615	162 615	162 615	162 615	162 615	162 615	162 615	162 615
COSTO \$/t PULPA	381	384	388	392	395	399	403	406	410	414

Cuadro 8.14: Financiamiento y Pago de la Deuda

	FINANCIAMIENTO		50	%
INVERSION TOTAL DE CAPITAL	1 421 621			
A FINANCIAR POR TRES AÑOS				
INTERES	10	%		
INFLACION	4	%		
PORCENTAJE DE FINANCIAMIENTO	50	%		
	AÑO	1	2	3
MONEDA CORRIENTE				
DEUDA AL FINAL	710 811	473 874	236 937	
AMORTIZACION		236 937	236 937	236 937
INTERES(10% DE LA DEUDA FINAL)		71 081	47 387	23 694
PAGO		308 018	284 324	260 631
	AÑO	1	2	3
MONEDA CONSTANTE				
	DOLARES DEL AÑO CERO			
	INFLACION		4	%
DEUDA AL FINAL	710 811	455 648	219 061	
AMORTIZACION		227 824	219 061	210 636
INTERES(10% DE LA DEUDA FINAL)		68 347	43 812	21 064
PAGO		296 171	262 874	231 700

Cuadro 8.15 Flujo de Fondos y Financiamiento Económico

FINANCIAMIENTO 0 %

AÑO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
INVERSION PROPIA DE CAPITAL	1 421 621										
AMORTIZACION DE LA DEUDA											
CAPITAL DE TRABAJO PROPIO		97 640	215	217	219	222	224	226	228	231	- 99 421
TOTAL INVERSION	1 421 621	97 640	215	217	219	222	224	226	228	231	- 99 421
UTILIDAD NETA		189 174	193 199	197 265	201 371	205 518	209 707	213 937	218 210	222 525	226 884
DEPRECIACION		142 162	142 162	142 162	142 162	142 162	142 162	142 162	142 162	142 162	142 162
FLUJO NETO DE FONDOS	-1 421 621	233 697	335 146	339 210	343 313	347 458	351 645	355 873	360 144	364 457	468 467
APORTES											
DIVIDENDOS			168 365	171 947	175 566	179 220	182 911	186 639	190 404	194 207	198 048
SALDO DE CAJA ANUAL		233 697	166 781	167 262	167 748	168 238	168 734	169 234	169 740	170 250	270 420
CAJA RESIDUAL		233 697	400 478	567 740	735 488	903 727	1 072 461	1 241 695	1 411 435	1 581 685	1 852 105

VAN 657 199

TIR 19%

Cuadro 8.16: Flujo de Fondos y Financiamiento Financiero

FINANCIAMIENTO 50 %

AÑO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
INVERSION PROPIA DE CAPITAL	710 811										
AMORTIZACION DELA DEUDA		227 824	219 061	210 636							
CAPITAL DE TRABAJO PROPIO		97 640	215	217	219	222	224	226	228	231	- 99 421
TOTAL INVERSION	710 811	325 463	219 276	210 853	219	222	224	226	228	231	- 99 421
UTILIDAD NETA		141 331	162 531	182 520	201 371	205 518	209 707	213 937	218 210	222 525	226 884
DEORECIACION		142 162	142 162	142 162	142 162	142 162	142 162	142 162	142 162	142 162	142 162
FLUJO NETO DE FONDOS	- 710 811	- 41 970	85 416	113 829	343 313	347 458	351 645	355 873	360 144	364 457	468 467
APORTES											
DIVIDENDOS			125 785	144 652	162 443	179 220	182 911	186 639	190 404	194 207	198 048
SALDO DE CAJA ANUAL		- 41 970	- 40 368	- 30 823	180 871	168 238	168 734	169 234	169 740	170 250	270 420
CAJA RESIDUAL		- 41 970	- 82 339	- 113 162	67 709	235 947	404 681	573 915	743 655	913 905	1 184 325

VAN 741 683
TIR 23%

Cuadro 8.18: Balance General Proyectado Financiero

FINANCIAMIENTO 50 %

AÑO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ACTIVO											
CAJA BANCO	1 421 621	- 41 970	- 82 339	- 113 162	67 709	235 947	404 681	573 915	743 655	913 905	1 184 325
INV DE MM PP		53 760	54 298	54 841	55 389	55 943	56 502	57 067	57 638	58 214	
INV DE PROD. TERM.		76 136	76 136	76 136	76 136	76 136	76 136	76 136	76 136	76 136	
CUENTAS POR COBRAR		63 000	63 000	63 000	63 000	63 000	63 000	63 000	63 000	63 000	
ACTIVO TANG.E INTANG. NETO		1 279 459	1 137 297	995 135	852 973	710 811	568 648	426 486	284 324	142 162	
TOTAL ACTIVO	1 421 621	1 430 384	1 248 391	1 075 949	1 115 206	1 141 836	1 168 967	1 196 605	1 224 753	1 253 417	1 184 325
PASIVO											
PASIVO A CORTO PLAZO											
CTAS POR PAGAR		32 256	32 579	32 904	33 233	33 566	33 901	34 240	34 583	34 929	
COBROS ADELANTADOS		63 000	63 000	63 000	63 000	63 000	63 000	63 000	63 000	63 000	
PAGO ANUAL DE LA DEUDA	236 937	236 937	236 937								
DIVIDENDOS		125 785	144 652	162 443	179 220	182 911	186 639	190 404	194 207	198 048	201 927
PASIVO A LARGO PLAZO	473 874	236 937									
DEUDA											
PATRIMONIO											
CAPITAL SOCIAL	710 811	710 811	710 811	710 811	710 811	710 811	710 811	710 811	710 811	710 811	710 811
UTILIDAD RETENIDA ACUM.		1 413	3 039	4 864	6 878	8 933	11 030	13 169	15 351	17 576	19 845
RESERVA LEGAL ACUM.		14 133	30 386	48 638	68 775	89 327	110 298	131 691	153 512	175 765	198 453
PERDIDAS O GANANC. POR INFLACION ACUMULADA		9 113	26 988	53 289	53 289	53 289	53 289	53 289	53 289	53 289	53 289
TOTAL PASIVO	1 421 621	1 430 384	1 248 391	1 075 949	1 115 206	1 141 836	1 168 967	1 196 605	1 224 753	1 253 417	1 184 325
PERD. O GANANC. POR INF		9 113	17 875	26 301							

Anexo 9

- **Control de calidad de pulpa y papel**
- **Norma técnica 272.047**

PROCEDIMIENTOS DE CONTROL DE CALIDAD DE PULPA Y PAPEL DE DESECHO

- Determinación de pH.
- Determinación de la consistencia.
- Determinación del índice de blancura.
- Determinación de impurezas.
- Determinación de cenizas.

1. Determinación del pH (según catálogo del instrumento)

Esta norma establece el método para la determinación de la concentración de iones hidrógeno expresada en términos de pH, de una muestra acuosa.

Aparato

Potenciómetro comercial incluye un electrodo de vidrio, un electrodo de referencia. El potenciómetro determinará la f.e.m; indicará el pH directamente con una precisión de 0,1 unidades de pH. El circuito tiene regulación para temperatura.

Procedimiento

Calibrar el potenciómetro usando solución tampón de 4,7 y/o 10 luego lavar el electrodo varias veces con agua destilada.

Colocar las muestras en un vaso de 100 ml, agregar 70 ml de agua destilada y diluir agitando.

- Medir pH según las instrucciones del aparato
- Lavar los electrodos después de cada medida con agua destilada y recalibrar frecuentemente.

Resultado

La precisión entre dos determinaciones de la misma muestra deberá ser de 0,1 unidades de pH.

2. Determinación de la consistencia:

La consistencia referida a la pasta, es el % de material sólido, referido a un litro de suspensión.

El algunos casos la consistencia está referida a la concentración de la fibra en la pasta.

Método de ensayo:**Aparatos**

- Matraz kitasato de 1 L.
- Bomba de vacío de 10-20 psi.
- Embudo, papel de filtro, vaso de precipitado de 1 L.

Procedimiento:

- Tomar la muestra de pasta, previamente pesada y mezclada uniformemente y colocar en el vaso hasta que alcance el volumen de 1 litro.
- Filtrar al vacío con el equipo de succión, hasta que la pasta quede totalmente impregnada en el papel de filtro.
- Secar el papel de filtro y llevarlo a la estufa a $100^{\circ} \pm 3^{\circ}\text{C}$, manteniendo peso constante.
- Pesar la muestra rápidamente evitando exposiciones al aire.

Resultado:

El resultado obtenido dará la concentración de la pasta en gramos de pasta absolutamente seca por litro. Se expresará en porcentaje.

3. Índice de blancura (Norma Técnica Nacional 272.033- INDECOPI).

Se empleó el método de ensayo para determinar el índice de blancura (factor de reflectancia difundida en banda azul del espectro).

Aparato

Reflectómetro modelo 577, de acuerdo a los requisitos especificados por la Norma Tappi 425-05/58.

Con funciones

- Tomacorriente para cordón de potencia normalizada IEC.
- Interruptor ON/OFF
- Soporte para doble fusil
- Selector de tensión 120/240 V

Filtro: Tiene conjuntamente con las características espectrales del instrumento una longitud de onda efectiva de $457 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$ y un ancho de banda a media altura de 44 mm.

Los patrones de trabajo bajo forma de placas de vidrio opal contrastados en relación con patrones secundarios, fabricados por el laboratorio destinado a fabricar los aparatos para medir el grado de blancura. Se utiliza en este método de patrón óxido de magnesio en tabletas comprimidas, que pueden dar en este trabajo de contraste, un factor de reflectancia igual a 97,2%.

Preparación de la muestra y espécimen

Se deben evitar bordes defectuosos y otras impurezas. Se reúnen por lo menos 10 especímenes de 7cm x 14cm con la cara hacia fuera y formar un grupo que tendría si es necesario un número superior a 10 hojas para que el grado de blancura restante no cambie, el número de hojas no debe ser incrementado.

Procedimiento

Asegurar que los filtros convenientes sean colocados en el haz de la luz, quitar las hojas protectoras del grupo de especímenes agrupados.

Sin tocar la superficie de ensayo con los dedos, se mide el factor de reflectancia intrínseca R_{∞} de la cara superior del grupo de especímenes de

acuerdo a las condiciones de empleo del aparato y utilizando un patrón de trabajo en vidrio opal. Se anota éste valor con la aproximación de 0,1 unidades.

Se saca el espécimen superior y se coloca en la parte baja del grupo, después se determina el grado de blancura del segundo espécimen y se sigue el mismo modo para los otros especímenes hasta obtener unas 10 medidas por lo menos.

Expresión de resultado

El grado de blancura de la pasta expresado en porcentaje, es igual al valor promedio del factor de reflectancia intrínseca.

Se debe dar este valor para cada cara de los especímenes (cara y reverso) con una aproximación de 0,5 unidades.

4. Determinación de impurezas:

Impurezas.- Es todo material extraño diferente a la fibra que se encuentra incrustado en la pasta y que tiene acentuado contraste de color con el resto de ésta, que observado es más de un ángulo con luz reflexiva no transmitida, forma una impresión visual de un área equivalente a $0,003 \text{ mm}^2$ ó más.

Método de ensayo

Reflextómetro modelo 577, de acuerdo a los requisitos especificados por la Norma Tappi 425-05/58. Se utiliza una tabla patrón de impurezas que reproduce áreas oscuras equivalentes específicas en mm^2 , de una serie de formas geométricas oscuras sobre el fondo blanco. Las condiciones requeridas son:

- Rango de luz aproximadamente 50cd (candela) de luz blanca o de día sobre el cuerpo de prueba. (no usar un marco con paredes oscuras).
- Preparación de las muestras y espécimen según norma ITINTEC 272.010.
- Retirar las muestras según norma ITINTEC 072.016.

Procedimiento

Seleccionar una forma particular de referencia a la tabla patrón de pintas que tenga un área oscura equivalente tal, que haya por lo menos una pinta de ese

tamaño o mayor en cada 10 cm² del área expuesta a la muestra. El tamaño de esa pinta seleccionada puede variar desde 0,06 mm² para pasta muy limpias hasta 0,25 mm² o más para pastas muy manchadas. Se debe seleccionar dos pintas de referencia, designándolas por media o grande respectivamente. Calcular el área oscura equivalente total de pintas para los dos lados de la pasta separadamente, tomando áreas equivalentes de pintas mayores con otras áreas oscuras equivalentes de pintas menores.

Resultado

Expresar la medida de pintas en términos de mm² de área oscura de superficie examinada, esto es en partes por millón por cada uno de los lados conforme a las necesidades.

5. Determinación de cenizas en madera y pulpa (NORMA TAPPI T 211 Om- 80)

Principio

La cantidad de cenizas es una medida - aproximada de las sales minerales y otras sustancias presentes en la madera y en la pulpa.

Equipo

- Balanza Analítica con 0,1 mg. de precisión
- Mufla con temperatura controlada entre
- $(575 \pm 25) ^\circ\text{C}$
- Desecador
- Crisol o cápsula tarados de porcelana (ó preferentemente de platino).

Procedimiento

Se pesan 5,0g de muestra con una aproximación de 0,5 mg, y se coloca en una mufla a temperaturas entre $575 \pm 25 ^\circ\text{C}$, durante 3 horas, hasta que el material se carbonice completamente, es decir hasta verificar la ausencia total de partículas de carbón en la muestra. Luego se retira la cápsula de la mufla y se

enfria en un desecador hasta temperatura ambiente. Pesar con precisión de 0,1 mg, repetir la incineración hasta peso constante.

Resultados

La cantidad de cenizas se expresa en porcentaje en peso de la muestra seca en la estufa y se calcula por la siguiente formula:

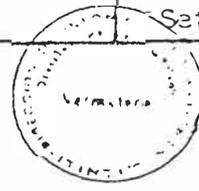
$$C = \frac{P_c}{P} \times 100$$

Donde:

C = Cantidad de cenizas en porcentaje

P_c = Peso de Cenizas

P = Peso de muestra seca en la estufa



PERU
LIMA
ITINTEC
NORMAS TECNICAS
Y DE
INDUSTRIAL
TECNOLOGICA
INVESTIGACION

1. NORMAS A CONSULTAR

- ITINTEC 272.010 PAPELES Y CARTONES. Acondicionamiento de las muestras para ensayo.
- ITINTEC 272.011 PAPELES Y CARTONES. Método para determinar el espesor y el volumen específico aparente de papeles y cartones.
- ITINTEC 272.012 PAPELES Y CARTONES. Método para determinar la humedad de papeles y cartones por secado en estufa.
- ITINTEC 272.014 PAPELES Y CARTONES. Método para determinar el peso por metro cuadrado de papeles y cartones.
- ITINTEC 272.016 PAPELES Y CARTONES. Extracción de muestras.
- ITINTEC 272.017 PAPELES Y CARTONES. Método para determinar la resistencia del papel y cartón a la rotura por tracción.

- ITINTEC 272.028 PAPELES Y CARTONES. Método de ensayo para determinar el apresto o suavidad de papeles para impresión.
- ITINTEC 272.030 PAPELES Y CARTONES. Método de ensayo para determinar la opacidad.
- ITINTEC 272.033 PAPELES Y CARTONES. Método de ensayo para determinar el grado de blancura (factor de reflectancia difundida en la banda azul del espectro).

2. OBJETO

2.1 La presente Norma establece los requisitos que deben cumplir los papeles para escritura e impresión tipográfica.

3. DEFINICIONES

3.1 Papel para escritura e impresión tipográfica.- Es el papel destinado a la escritura e impresión tipográfica con buena resistencia al impacto, con buena resistencia al borrado mecánico y con su superficie libre de pelusa.

4. REQUISITOS

4.1 Los papeles para escritura e impresión tipográfica deberán cumplir con los requisitos de la Tabla Nº 1.

TABLA 1 - Requisitos del papel para escritura o impresión tipográfica

Característica	Unidad	Requisitos
1. Gramaje	g/m ²	Valores entre 50 y 120 con una tolerancia de $\pm 5\%$ del valor nominal
2. Humedad	%	7 + 2 - 1
3. Volumen específico aparente	cm ³ /g	Mín 1,2
4. Blancura*	%	Mín 78
5. Opacidad	%	Mín 70
6. Longitud de rotura		
- Dirección máquina	m	Mín 3 000
- Dirección transversal	m	Mín 1 500
7. Índice de reventamiento	kPa m ² /g	Mín 1,5
8. Lisura Gurley	s	Máx 60 Mín 20
9. Cenizas	%	Máx 20 Mín 5

* Sólo para papel blanco

5. INSPECCION Y RECEPCION

5.1 El muestreo se efectuará de acuerdo a la Norma ITINTEC 272.016.

5.2 Las muestras se acondicionarán de acuerdo a la Norma ITINTEC 272.010.

6. METODOS DE ENSAYO

6.1 Para los métodos de ensayo se aplican las Normas ITINTEC que aparecen en el capítulo 1. NORMAS A CONSULTAR.

7. ROTULADO, ENVASE Y EMBALAJE

7.1 Rotulado del papel en bobinas.

7.1.1 Razón social del productor.

7.1.2 Número del lote.

7.1.3 Nombre del producto.

7.1.4 Gramaje(g/m²)

7.1.5 Peso de la bobina (kg)

7.1.6 Otros datos establecidos por la norma metrológica de rotulado y otros dispositivos legales vigentes.

- 7.2 Rotulado en resmas o formatos finales
- 7.2.1 Razón social del productor.
- 7.2.2 Razón social del convertidor.
- 7.2.3 Registro industrial.
- 7.2.4 Registro de Productos Industriales Nacionales.
- 7.2.5 La frase "Producto Peruano" o "Hecho en Perú" o "Industria Peruana".
- 7.2.6 Nombre del producto.
- 7.2.7 Gramaje (g/m²)
- 7.2.8 Formato final (ITINTEC 272.002).
- 7.2.9 Número del lote del convertidor.
- 7.2.10 Número de hojas.

8. ANTECEDENTES

- 8.1 NFQ 11-001 1975: PAPIERS ET CARTONS. Caracteristiques des papiers pour machines a ecrire (originaux).
- 8.2 NFQ 11-011 1975: PAPIERS ET CARTONS. Caracteristiques des papiers pour cahiers scolaires, articles assimilés et lettres.
- 8.3 ICONTEC 1673:1981 PAPEL Y CARTON. Papel para escribir e imprimir.
- 8.4 ICONTEC 1870:1983 PAPEL Y CARTON. Papel para cuadernos grapados para escritura.

ANEXO 10

- **Ejemplo de diseño de tanque agitado**
- **Gráficos**

1. CONSUMO DE POTENCIA EN TANQUES AGITADOS

a) Variables que influyen sobre el consumo de potencia

Un factor importante en el diseño de un tanque agitado, es la potencia necesaria para mover el rodete. La potencia dependerá del tipo de flujo dentro del mezclador y de las proporciones geométricas del equipo.

Las variables controlantes son las siguientes:

- Dimensiones principales del tanque y del rodete.
- Viscosidad del líquido (μ)
- Densidad del líquido (ρ)
- Velocidad del giro del rodete (n)
- Aceleración de la gravedad (g)

Las distintas relaciones lineales pueden convertirse en relaciones adimensionales, llamadas factores de forma, dividido cada uno de ellas por otro que se elige arbitrariamente como dimensión fundamental.

El diámetro del rodete (D_a) es una elección adecuada como magnitud fundamental, y los factores de forma se calculan dividiendo las restantes dimensiones por D_a . Sean $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, \dots, S_n$, los factores de forma así definidos.

Sean las dimensiones

Diámetro del rodete	D_a
Diámetro del tanque	D_t
Altura del rodete sobre el fondo del tanque	E
Longitud de las palas del rodete	L
Anchura de las palas	W
Anchura de las placas deflectoras	J
Altura del líquido	H

y los factores de forma serán:

$$S_1 = \frac{D_t}{D_a} \quad , \quad S_2 = \frac{E}{D_a} \quad , \quad S_3 = \frac{L}{D_a}$$

$$S_4 = \frac{W}{D_a} \quad , \quad S_5 = \frac{J}{D_t} \quad , \quad S_6 = \frac{H}{D_t}$$

Dos mezcladores de las mismas proporciones geométricas pero de diferentes tamaños son geoméricamente semejantes y se dice que poseen semejanza geométrica.

b) Cálculo del consumo de potencia

$$P = \frac{\phi N_{Fr}^m n^3 Da^5 \rho}{gc}$$

Donde:

P : Potencia necesaria para mover el rodete.

ϕ : Función de potencia que depende experimentalmente del número de Reynolds (N_{Re}) para factores de forma constante. Ver figuras 10.1 y 10.2.

$$N_{Re} = \frac{nDa^2\rho}{\mu}$$

$$N_{Fr} = \text{Número de Froude} \left(N_{Fr} = \frac{n^2 Da}{g} \right)$$

m : Constante relacionada empíricamente con N_{Re} mediante la ecuación:

$$m = \frac{a - \log N_{Re}}{b}$$

Siendo a y b constantes cuyos valores se dan en el Cuadro N° 10.1 para las curvas de las figuras 10.1 y 10.2.

CUADRO N° 10.1

Figura N°	Línea	a	B
10.1	B	1,0	40,0
10.2	B	1,7	18,0
10.2	C	0,0	18,0
10.2	D	2,3	18,0

n : Velocidad de giro del rodete

Da : Diámetro del rodete

ρ : Densidad del líquido

gc : Constante de aceleración de la gravedad

El número de Froude interviene cuando se forma vórtice y solamente para $N_{Re} \geq 300$. En tanques con placas deflectoras con agitadores de hélice introducidos lateralmente, o para $N_{Re} < 300$ no se forma vórtice y el N_{Fr} deja de ser una variable.

Para $N_{Re} < 10$ el flujo es laminar y la densidad deja de ser un factor importante y la potencia se calcula por la siguiente ecuación:

$$P = \frac{K_L n^2 Da^3 \mu}{gc}$$

Para $N_{Re} > 10^4$ el flujo es completamente turbulento, y en tanque agitado con placas deflectoras la función potencia es independiente del N_{Re} y la viscosidad deja de ser un factor. La variación del N_{Fr} tampoco influye.

La potencia se calcula por la siguiente ecuación:

$$P = \frac{K_T n^3 Da^3 \rho}{gc}$$

En el Cuadro N° 10.2 se dan valores de las constantes K_L y K_T para diferentes tipos de rodetes.

Cuadro N° 10.2 Valores de los constantes K_L y K_T para tanques provistos de cuatro placas deflectoras situadas en la pared y con una anchura igual al 10% del diámetro del tanque.

Tipo de Rodete	K_L	K_T
Hélice (paso cuadrado, tres palas)	41,0	0,32
Hélice (paso igual a 2, tres palas)	43,5	1,00
Turbina (seis palas planas)	71,0	6,30
Turbina (seis palas curvadas)	70,0	4,80
Ventilador de turbina (seis paletas)	70,0	1,65
Paletas planas (dos palas)	36,5	1,70
Turbina cerrada (seis palas curvadas)	97,5	1,08
Turbina cerrada (con stator, sin placas deflectoras)	172,5	1,12

Fuente: Operaciones Básicas de Ingeniería Química, Mc Cabe, W; Smith, J. Editorial Reverte S.A. Barcelona, España 1981.

c) Memoria de cálculos

Diseño de un tanque agitado a Nivel de Laboratorio.

Consideraciones:

El tanque de hidratación será accionado con un agitador tipo turbina de 6 palas, con 4 placas deflectoras.

Factores de forma:

$$S_1 = \frac{\text{Diámetro del tanque}}{\text{Diámetro del rodete}} = \frac{D_t}{D_a} = 3,3$$

$$S_2 = \frac{\text{Diámetro entre el rodete y el fondo}}{\text{Diámetro del rodete}} = \frac{E}{D_a} = 1$$

$$S_3 = \frac{\text{Longitud de las palas del rodete}}{\text{Diámetro del rodete}} = \frac{L}{D_a} = 0,35$$

$$S_6 = \frac{\text{Altura del Líquido}}{\text{Diámetro del tanque}} = \frac{H}{D_t} = 1$$

Datos de diseño:

Consistencia de la pasta	=	2,5%
Densidad de las pasta(ρ)	=	10^3 kg/m^3
Viscosidad de la pasta (μ)	=	$1,08 \text{ C}_p = 1,1 \times 10^{-4} \text{ kg s/m}$
Velocidad de giro del rodete (n)	=	880 r.p.m.
Diámetro del rodete (D_a)	=	0,102 m
Diámetro del tanque (D_t)	=	0,335 m
Tiempo de hidratación (t)	=	1,5 h
Gravedad específica (Sg)	=	1,0
Potencia requerida para el funcionamiento del tanque agitado		

$$P = \frac{\phi N_{ir}^m n^3 D_a^5 \rho}{gc} \dots\dots\dots (1)$$

donde P : potencia necesaria para mover el rodete

ϕ : función de potencia que depende experimentalmente del número de Reynolds (N_{Re}) para factores de forma constante.

$$N_{Re} = \frac{n D_a^2 \rho}{\mu}$$

$$N_{Re} = \frac{\left(\frac{880}{60} \right) rps (0,102m)^2 \left(10^3 \frac{kg}{m^3} \right)}{1,10 \times 10^{-4} \frac{kg \cdot s}{m}} = 1,39 \times 10^6$$

$$N_{Re} = 1,39 \times 10^6$$

$$N_{Fr} = \frac{n^2 Da}{g} = \frac{\left(\frac{880}{60} \text{ rps}\right)^2 (0,102\text{m})^2}{9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 2,24$$

$$N_{Fr} = 2,24$$

Como el Número de Reynolds (N_{Re}) $> 10^4$ el flujo es completamente turbulento.

Luego el consumo de potencia se evaluará con la ecuación siguiente:

$$P = \frac{K_T n^3 Da^3 \rho}{gc} \dots\dots\dots (2)$$

donde K_T es una constante que depende del tipo de rodete.

Del Cuadro N° 10.2 encontramos $K_T = 6,30$ que corresponde a un agitador de turbina de 6 palas planas.

Reemplazando Valores en (2):

$$P = \frac{6.3 \left(\frac{880}{60} \text{ rps}\right)^3 (0,102\text{m})^5 \left(10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)}{9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 29,77 \frac{\text{kgm}}{\text{s}}$$

$$P = 29,77 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}} \times \frac{1 \text{Hp}}{76 \frac{\text{kgm}}{\text{s}}} = 0,3 \text{Hp}$$

$$P \approx 0,3 \text{ Hp}$$

2. ESCALAMIENTO DE UN PROCESO DE AGITACIÓN

a) Introducción

Los efectos de mezclado, conseguido en planta de laboratorio es preciso adaptarlo a planta industrial mediante unos criterios de escalamiento. En agitación intervienen diversos parámetros y en función de la aplicación, tiene más importancia unos u otros.

No es posible un escalamiento manteniendo constante todas las relaciones entre parámetros de planta piloto y planta industrial, por lo que cada tipo de procesos tiene un único procedimiento de escalamiento. Para ello se utilizan, las semejanzas entre parámetros de una y otra planta.

Existen tres tipos de semejanza: geométrica, cinemática y dinámica. En semejanza geométrica, todas las dimensiones son semejantes con una relación constante; incluyen diámetro de agitador, diámetro de tanque, ancho de pala, etc.

En semejanza cinemática, todas las velocidades en ambas escalas deben tener una relación constante.

En semejanza dinámica, todas las fuerzas o energías en ambas escalas deben tener una relación constante.

Las fuerzas más importantes que entran en juego en agitación son:

- La de la energía introducida por el mezclador también llamada "fuerza de inercia". Esta fuerza está determinada por la elección de la velocidad y el diámetro del móvil.
- Las fuerzas de viscosidad, de gravedad y de tensión superficial, que se oponen a la primera.

La semejanza dinámica requiere que la relación de estas cuatro fuerzas sea constante. Con el mismo fluido (misma densidad y viscosidad), solo pueden mantener relación constante dos fuerzas.

Los conceptos de semejanza geométrica y dinámica sugieren el uso de grupos adimensionales:

$$N_{Re} = \frac{\text{Fuerzas de Inercia}}{\text{Fuerzas Viscosas}}$$

$$N_{I'r} = \frac{\text{Fuerzas de Inercia}}{\text{Fuerzas de Gravedad}}$$

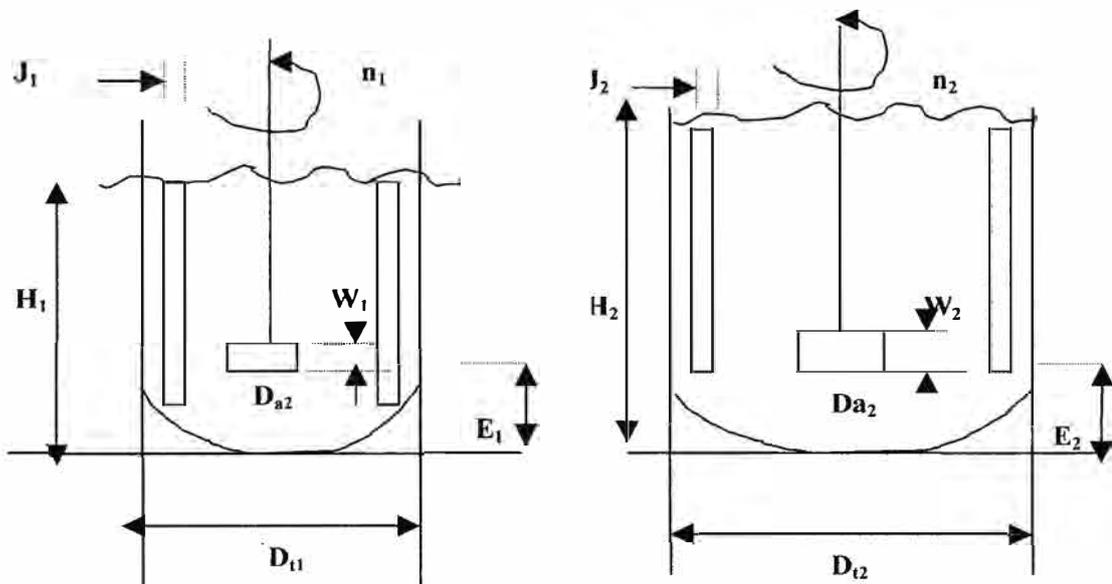
$$W_e = \frac{\text{Fuerzas de Inercia}}{\text{Fuerzas de Tensión Superficial}}$$

b) Procedimiento

Los parámetros que definen un proceso de agitación son numerosos y no es posible mantener la semejanza entre todos. Por tanto, es importante reducir la influencia de los geométricos escalando con semejanza geométrica. De esta forma, las posibles desviaciones serán más controladas y menores.

Se tiene una planta piloto de dimensiones D_{t1} y D_{a1} , como en la figura N°1, y el agitador con una velocidad de giro n_1 . Vamos a escalar a una planta industrial de dimensiones D_{t2} y D_{a2} y con una velocidad de agitador n_2 desconocida.

Figura N° 1



$$\frac{D_{a1}}{D_{t1}} = \frac{D_{a2}}{D_{t2}} \quad ; \quad \frac{W_1}{D_{a1}} = \frac{W_2}{D_{a2}} \quad ; \quad \frac{H_1}{D_{t1}} = \frac{H_2}{D_{t2}} \quad , \text{ etc.}$$

Sea R la razón de proporción:

$$R = \frac{D_{a2}}{D_{a1}} = \frac{D_{t2}}{D_{t1}} = \frac{W_2}{W_1} = \frac{H_2}{H_1}$$

La magnitud de la velocidad del equipo de mayor escala está dado por la ecuación :

$$n_2 = n_1 \left(\frac{1}{R} \right)^\alpha = n_1 \left(\frac{D_{a1}}{D_{a2}} \right)^\alpha$$

Donde el exponente α está basado en la teoría de consideraciones empíricas y depende del tipo de agitación.

$\alpha = 1$ para una misma intensidad de agitación.

$\alpha = 0$ para un mismo tiempo de mezcla; igualdad en Q/V

$\alpha = 1/2$ para un mismo movimiento; igualdad en N_{Fr}

$\alpha = 2/3$ para una misma transferencia de masa; igualdad en P/V

La fuerza requerida para el escalamiento puede ser determinado con la velocidad del agitador, diámetro del agitador y propiedades del fluido según la ecuación:

$$P = \frac{Da^5 n^3 Sg}{(394)^5}$$

donde P : Potencia Hp

Da : Diámetro del agitador en pulgadas

n : r.p.m.

Sg : gravedad específica de la solución

Referencia CHEMICAL ENGINEERING, October 25, 1976 Copyright 1976 Mc. Graw

Hill, Inc., New York, N.Y.

c) Memoria de cálculos

Diseño de un Tanque Agitado a Nivel Industrial.

Tanque de hidratación (semejanza geométrica)

Datos:

Diámetro del tanque	$(D_{t1}) =$	0,335 m
Diámetro del rodete	$(D_{a1}) =$	0,102 m
Velocidad del agitador	$(n_1) =$	880 r.p.m.
Gravedad específica	$(Sg) =$	1
Volumen del tanque	$(V_1) =$	12 litros
Volumen del tanque a diseñar	$(V_2) =$	$33,5 \times 10^3$ litros

1. Razón de proporción (R)

$$R = \frac{D_{a2}}{D_{a1}} = \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{1/3}$$

$$R = \left(\frac{33,5 \times 10^3}{12} \right)^{1/3} = 14,08$$

2. Diámetro del tanque (D_{t2})

$$D_{t2} = D_{t1} \cdot R$$

$$D_{t1} = 0,335 \text{ m} \quad \text{y} \quad R = 14,08$$

$$D_{t2} = 0,335 \times 14,08 = 4,717 \text{ m}$$

$$D_{t2} = 4,72 \text{ m}$$

3. Diámetro del rodete (D_{a2})

$$D_{a2} = D_{a1} \cdot R$$

$$D_{a2} = 0,102 \text{ m} \times 14,08 = 1,44 \text{ m}$$

$$D_{a2} = 1,44 \text{ m}$$

4. Velocidad del agitador (n_2)

$$n_2 = n_1 \left(\frac{1}{R} \right)^\alpha$$

para $\alpha = 1$, $R = 14,08$ y $n_1 = 880 \text{ r.p.m.}$

$$n_2 = 880 \text{ r.p.m.} \left(\frac{1}{14,08} \right)^1 = 62,5 \text{ r.p.m.}$$

$$n_2 = 62,5 \text{ r.p.m.}$$

5. Potencia requerida

$$P = \frac{n_2^3 D_{a2}^5 S_g}{(394)^5}$$

$$D_{a2} = 1,44 \text{ m} \times \frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}} \times \frac{1 \text{ pulg}}{2,54 \text{ cm}} = 56,54 \approx 57 \text{ pulgadas}$$

$$n_2 = 62,5 \text{ r.p.m.}$$

$$S_g = 1$$

$$P = \frac{(62,5)^3 (57,0)^5}{(394)^5} (1) = 15,47 \text{ Hp} \approx 15,5 \text{ Hp}$$

$$P = 15,5 \text{ Hp}$$

El consumo de potencia es 15,47 Hp para una pasta desintegrada al 2,5% de consistencia. A nivel industrial la consistencia de la pasta desintegrada es de 5%, para lo cual se requiere mayor potencia.

Utilizando una correlación lineal se tiene:

$$P_2 = 15,5 \left(\frac{5\%}{2,5\%} \right) = 31 \text{ Hp}$$

Si la eficiencia es del 68%

$$P_2 = \frac{31 \text{ Hp}}{0,68} = 45,5 \text{ Hp}$$

$$P_2 = 45,5 \text{ Hp}$$

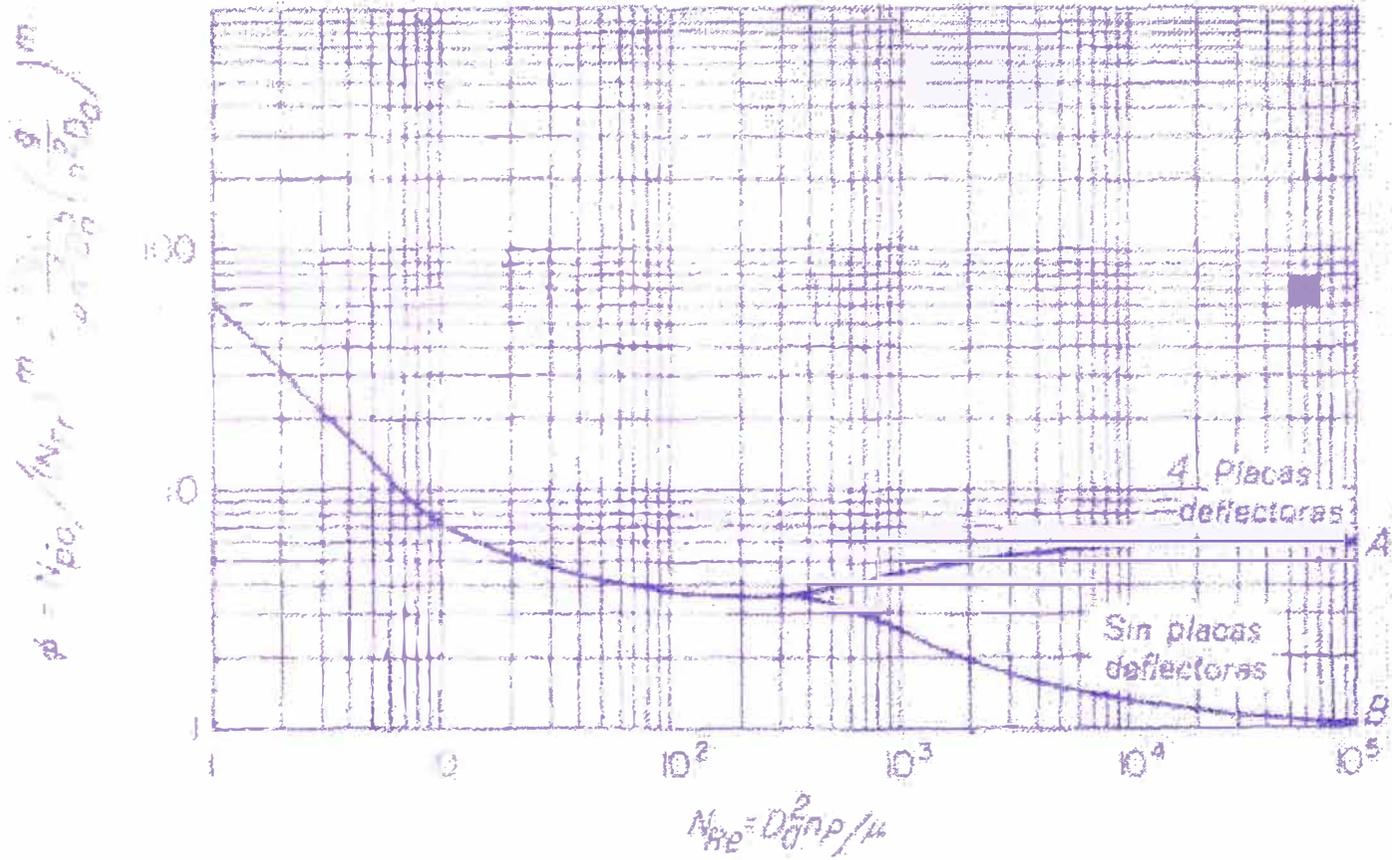


Fig. 10.1 Función de Potencia ϕ frente a N_{Re} para un agitador de turbina de seis palas

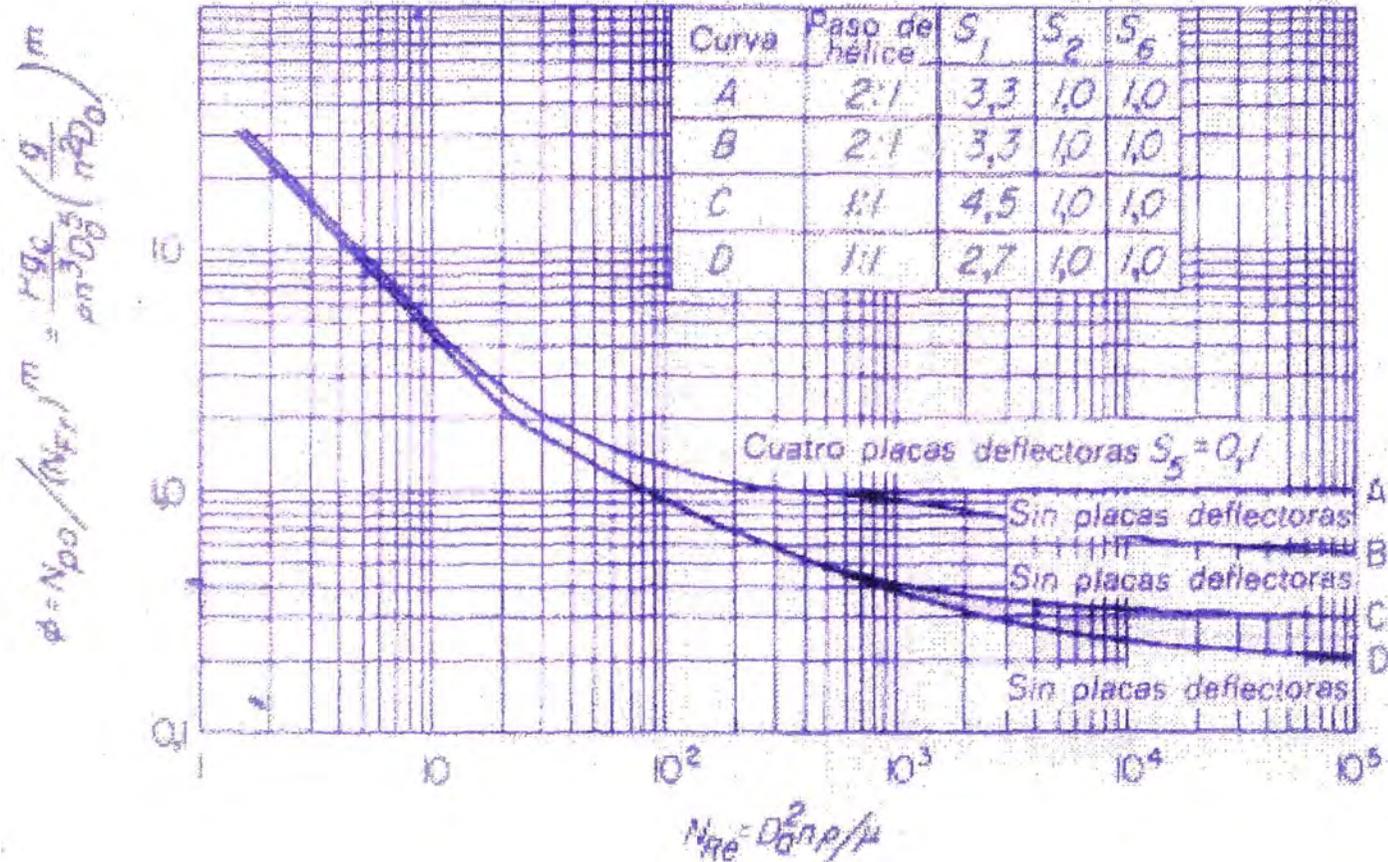


Fig. 10.2 Función de Potencia ϕ frente a N_{Re} para agitadores de hélice de tres palas