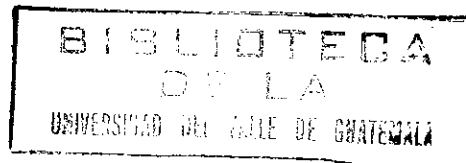


UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades

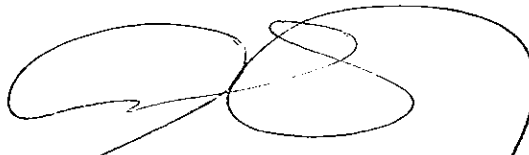
Optimización de los procesos de fabricación  
y transformación de papeles suaves en  
Guatemala



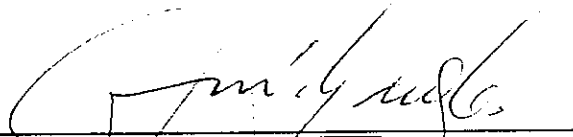
Trabajo de investigación presentado por Félix Fernando Paz Mondal para optar al  
grado de Licenciado en Ingeniería Industrial

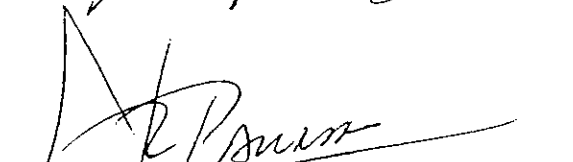
Guatemala  
2003

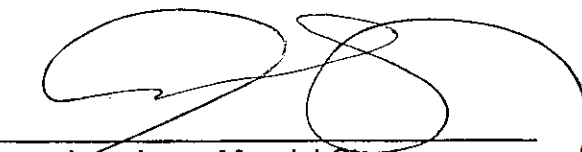
Vo.Bo.:

f)   
Ing. Jorge Mondal Chew

Tribunal

f)   
Ing. Joaquín Garoz

f)   
Ing. Carlos Paredes

f)   
Ing. Jorge Mondal Chew

Fecha de aprobación: 29 de mayo de 2002

## PREFACIO

Guatemala es un país que necesita de industrias pujantes para lograr el desarrollo tan deseado, industrias que brinden oportunidad de trabajo y que busquen ser vanguardistas para poder tener el nivel competitivo que la globalización exige. La industria papelera guatemalteca tiene un desarrollo pujante con la entrada de competidores mexicanos, salvadoreños, multinacionales y por supuesto la única industria papelera netamente guatemalteca.

El conocimiento del papel requiere muchos años de experiencia, debido a las diversas variables que se manejan en el mismo. En Guatemala hay papeleros de alto calibre que tienen el conocimiento y la experiencia para producir papel de la más alta calidad.

Como toda industria siempre hay dificultad para obtener la información, pero siempre se tuvo la colaboración de todo el personal para obtener la información necesaria. La presente tesis necesitó más de un año para poder desarrollar los temas más importantes de la misma, debido a que era necesario realizar las implementaciones y verificar los resultados.

La fabricación de papel es un arte, debido a que intervienen muchas variables que afectan directamente en la calidad del mismo, las cuales deben de estar reguladas por conoedores en la industria. El menor de los descuidos pueden llegar a provocar grandes pérdidas de dinero en minutos.

Quiero agradecer la ayuda y cooperación de todos los trabajadores de la planta de fabricación de papel y de la planta de transformación. Especialmente al Ing. Jorge Mondal, mi asesor de trabajo de graduación y al Ing. Roberto Deleón, gerente de producción de la planta de fabricación en donde se realizó el estudio.

# CONTENIDO

	Página
PREFACIO.....	iv
LISTA DE CUADROS.....	vi
LISTA DE GRÁFICAS.....	vii
LISTA DE ESQUEMAS.....	viii
LISTA DE FOTOGRAFÍAS.....	ix
RESUMEN.....	x
Capítulos	
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	3
III. PROCESOS NECESARIOS PARA LA FABRICACIÓN DE PAPELES SUAVES.....	21
IV. PROCESOS NECESARIOS PARA LA TRANSFORMACIÓN DE PAPELES SUAVES.....	31
V. ALTERNATIVAS PARA OPTIMIZAR EL PROCESO DE FABRICACIÓN Y TRANSFORMACIÓN DE PAPELES SUAVES.....	35
VI. CONCLUSIONES.....	48
VII. RECOMENDACIONES.....	49
VIII. BIBLIOGRAFÍA.....	50

## LISTA DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Calidades de papeles de Desperdicio.....	24
2	Planta de Destintado (Alternativa 1).....	36
3	Planta de Destintado (Alternativa 2).....	37
4	Pérdidas de tiempo.....	39

## LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica		Página
1	Consumo per cápita de papel y cartoncillo en varios países.....	3
2	Resistencia al estallido.....	20
3	Molino de papel con inversión de Planta de Destintado...35	
4	Devolución mensual de papel suave por variaciones de Calidad.....	38

## LISTA DE ESQUEMAS

Esquema		Página
1	Proceso de Destintado.....	26
2	Proceso de Fabricación de Papel.....	30
3	Proceso de Transformación de papel.....	34
4	Transformación de bobinas para Servilleta.....	41

# LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía		Página
1	Materias Primas, sólo desperdicio.....	29
2	Formación de la pasta para papel.....	29
3	Máquina fabricadora de papel.....	30
4	Pacas para reciclar.....	30
5	Bobinas de papel higiénico.....	30
6	Máquina empacadora de rollos.....	32
7	Empacado manual de rollos.....	32
8	Máquina transformadora de papel.....	32
9	Cortadora de rollos de papel higiénico.....	33
10	Formación de las bobinas de papel higiénico.....	33
11	Corte de bobinas de papel higiénico.....	33
12	Detalle del Producción de servilletas.....	41
13	Desenrolladores de Bobinas de servilleta.....	41
14	Grabado y dobles de servilletas.....	42
15	Bobinas de servilleta de 29 ¼".....	42
16	Bobinas de servilleta de 9 ¼".....	42
17	Máquina fabricadora de servilletas especiales.....	42

## RESUMEN

En Guatemala existe una demanda de productos que se obtienen de papeles suaves (papel higiénico y servilletas). La industria papelera en Guatemala es escasa en productos, debido a que únicamente existe una empresa productora de papeles suaves y dos transformadoras en el mercado guatemalteco y necesitan mejoras en sus procesos para aumentar la productividad. Uno de los transformadores es una multinacional, mientras que la otra empresa es netamente guatemalteca y en esta es en donde se realizó el trabajo.

Se definen los distintos procesos que se necesitan para poder producir papel. El cual da inicio desde el momento en que se recolecta la materia prima, pasando por la desintegración, el destintado, el secado y el rebobinado. A su vez los procesos necesarios para la transformación del mismo, entre los cuales están el desenrollado hasta llegar al enfardado final. Pero no todo es proceso, los costos son otro punto de suma importancia para cualquier industria, principalmente si busca tener una estrategia de liderazgo en costos. Entre los factores que intervienen directamente en el proceso para poder definir un costo estándar, están la mano de obra, materia prima, electricidad e insumos. Principalmente se proponen alternativas para aumentar la productividad en el proceso:

- Planta de destintado.
- Control de pegamento en la materia prima.
- Reguladores de consistencia de la pasta.
- Transformación de bobinas.

Con todas estas alternativas se logra aumentar la productividad, eliminando los tiempos muertos en la maquinaria, mejorando la calidad del papel y facilitando mucho de los controles que necesita el proceso.

Existen notables diferencias entre plantas que fabrican papel a partir de pulpa virgen y plantas que fabrican papel por medio del reciclado, principalmente en la calidad. En este trabajo se define la materia prima más adecuada para poder alcanzar papel que pueda brindar suficiente productividad a las plantas de transformación, como por ejemplo el papel para reciclar llamado hardwhite que es uno de los papeles para reciclado que puede brindar la resistencia a la tensión, el gramaje y todos los factores que son necesarios en un papel para su transformación. Las diferentes pruebas que se realizan en el papel para determinar su calidad son muy importantes y se pueden mencionar: la determinación de gramaje, porcentaje de humedad, resistencia a la tensión y resistencia al estallido. Toda industria necesita de mejoramiento continuo para poder mantener su nivel de crecimiento, y si en algún momento puede llevar a cabo algún cambio radical hay que intentarlo, porque esos cambios permiten tomar ventaja delante de todos los competidores.

La búsqueda de optimización de los procesos dentro de cualquier fabricación permiten aumentar producción, disminuir costos y, por supuesto, el mejoramiento de la calidad del producto.

# I. INTRODUCCIÓN

La presente tesis define los distintos procesos que son necesarios para la producción y conversión de papeles suaves. El papel puede ser producido directamente de la pulpa de los troncos de los árboles, pero en este caso se abordará específicamente la producción de papel por medio de papel reciclado es la única manera en como se produce el papel actualmente en Guatemala. Existen varias clases de papel como lo son los planos, papel kraft y papeles suaves entre otros, que se distinguen primordialmente por su gramaje (gramos/metros cuadrados), humedad y resistencia.

Se presenta una historia breve de la evolución de la producción de papel y la definición de ciertos conceptos importantes utilizados en el vocabulario papelerero.

Después de definirse los procesos se presentan varias alternativas para optimizar la producción y la conversión, los cuales son: Planta de Destintado, Reguladores de Consistencia, Control de Pegamento y Transformación de bobinas de servilleta. Estas alternativas no son sólo propuestas, sino que también se han realizado pruebas con las mismas que han brindado excelentes mejoras para el aumento de la producción tanto para el molino (planta productora de papel) como para la planta de transformación.

Finalmente se presenta el costo estándar de fabricación de papel y el costo estándar de transformación punto importantísimo para que cualquier productor de papel pueda crear una estrategia de liderazgo en costo. Primordialmente porque se puede determinar los aspectos de mayor relevancia y que son potencialmente mejorables para la disminución de su costo.

Esta tesis se desarrollo durante dos, ya que se necesitó conocer los procesos de producción tanto de la producción de papel como de la transformación del mismo. Se verificaron los puntos que podrían ser mejor, que debían detectarse en la fábrica productora de papel (molino) debido a que los problemas en producción en esta fase son desequilibrantes para la transformación del mismo. Se propusieron las alternativas y se evaluaron continuamente hasta alcanzar resultados que empezaron a presentar mejoras considerables.

Se detectaron los problemas que puede provocar un bajo control en el pegamento del papel que se produzca. Esto es provocado por la mala calidad en el papel utilizado como materia prima y ninguna implementación de control en el proceso de fabricación, llevando a considerables pérdidas de tiempo y bajas de producción en proceso de transformación.

Los reguladores de consistencia son otra implementación que permite producir un papel de calidad constante es decir con pocas variaciones de gramaje (gramos/metros cuadrados), lo que le permite a las plantas transformadoras acoplar su maquinaria a ese tipo de papel. Si los mismos no son implementados, la variación de papel se vuelve un problema tan fuerte como el del pegamento.

Y, finalmente, la planta de destintado le permite a la fábrica de papel agilizar su producción considerablemente y obtener materia prima casi de inmediato debido a que el papel con tinta es fácil de adquirir.

En general, la tesis presenta la situación actual de la producción del papeles suaves en Guatemala, sus fortalezas, su debilidades y alternativas que le pueden brindar excelentes beneficios.

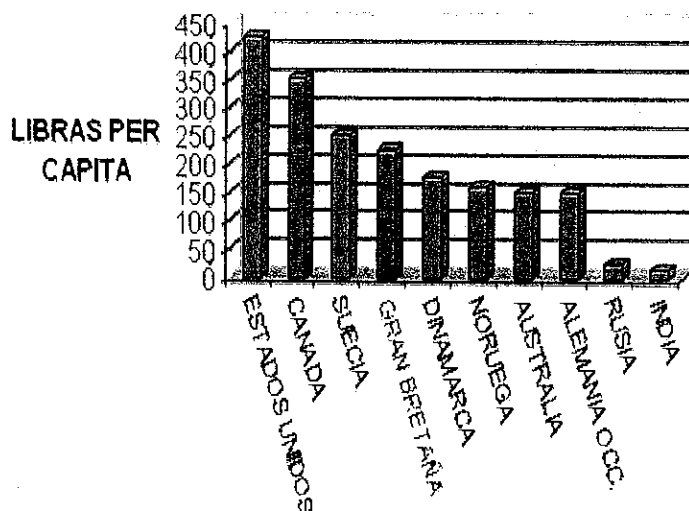
## II. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

### A. Historia de la pulpa y el papel

La fabricación de pulpa y papel es una de las industrias más antiguas y más grandes del mundo. Es difícil comparar, en tamaño, esta industria con otras, debido a los múltiples usos tanto de la pulpa como del papel y a la fabricación de valores de los muchos productos hechos con estos materiales básicos. Al costo de la pulpa usada en la fabricación de papel, debe adicionarse el valor del papel manufacturado, así como el precio del producto acabado.

Gráfica No. 1

Consumo per capita de papel y cartoncillo en varios países



Se ha dicho que el consumo de papel de un país indica su grado de civilización. Sea o no cierta esta afirmación, el caso es que los Estados Unidos consumen más papel per capita que cualquier otro país. La industria del papel tiene un record de tremendo crecimiento detrás de ella, y un potencial casi ilimitado para su futuro desarrollo. Pocas industrias de tan largo historial se pueden jactar de una rapidez de desarrollo tan sólida en términos de tonelaje de producción y de consumo de productos. En los últimos 50 años, la producción de pulpa y de papel ha aumentado 10 a 1 veces aunque la población sólo lo ha hecho el doble. Es interesante hacer notar que el consumo de papel per capita en los Estados Unidos se ha quintuplicado en los últimos 50 años y que no se le ve el fino a este crecimiento. Predicciones basadas en estimaciones de población y en los nuevos productos y los nuevos usos que constantemente se están desarrollando, indican que la producción de papel y cartoncillo aumentará globalmente entre 60 y 100% en los próximos 25 años.

1. **Historia antigua del papel.** Antes de que el papel se inventara, el hombre esculpía sus anotaciones en piedra, las inscribía en lápidas de arcilla o las escribía en papiro o pergamino. El papiro fue precursor del papel y se hacía en Egipto desde épocas tan remotas como el año 2,400 A.C. Se preparaba descortezando las fibras gruesas de la planta de papiro, dejándolas entrecruzadas sobre una superficie dura y lisa, y comprimiéndolas hasta formar una hoja. La superficie se alisaba frotándola con marfil o con piedra. Todavía existen muchos manuscritos en papiro. El pergamino se hacía de la piel de los animales, y actualmente todavía encuentra algunos usos para diplomas y ciertos documentos públicos.

El descubrimiento del arte de fabricar papel, según todas las probabilidades, pertenece a los chinos. No se conoce la fecha exacta de este descubrimiento, pero la mayoría de los historiadores la refieren aproximadamente al año 105 de la Era Cristiana, puesto que fue en dicho año cuando Ts'ai Lun, a quien usualmente se le acredita, informó de este evento al Emperador. Parece que los primeros papeles se hicieron, hasta cierto punto, a partir de la corteza interior de la morera de papel y, en mayor escala, a partir del bambú. La descripción del método de fabricación, que ha llegado hasta nuestros días a través de los sepulcros chinos, es por demás interesante, porque es básicamente el mismo que se emplea actualmente en la elaboración de los papeles hechos a manos, por lo que respecta a las operaciones mecánicas del formado de la hoja. Los tallos de bambú se cortaban cerca del suelo, se escogían en lotes de acuerdo con su edad, y luego se recogían en pequeños atados. Mientras más joven era la planta de bambú, mejor resultaba la calidad del papel que de ella se obtenía. Los atados se arrojaban dentro de un recipiente con cieno y agua, y se enterraban en el fango durante unas dos semanas; esto se hacía con objeto de ablandarlos. Luego se sacaban, se cortaban en trozos de un largo apropiado, y se colocaban dentro de unos morteros con un poco de agua, para machacarlos con grandes piezas de madera hasta convertirlos en pulpa. Esta masa semifluida, después que se le sacaban las partes más gruesas, se pasaba a una gran cuba con agua, a la cual se le seguía agregando material hasta que toda la masa adquiría consistencia suficiente para formar el papel. Entonces se extraía una hoja con un molde o marco de dimensiones adecuadas, el cual se construía con pequeñas tiras de bambú, alisadas y redondeadas como alambres; esto permitía que el agua drenara, dejando una hoja de fibras entrelazadas. A cada lado de la cuba se colocaba un horno con un remate inclinado de arcilla. Se ponía entonces una hoja sobre el horno, quitando el borde del molde (bastidor) y dejando el papel en forma plana sobre el horno, al cual se adhería. Luego se quitaba la hoja que se había puesto previamente sobre el otro horno y el proceso se repetía. Pasando sobre las hojas, después de su proceso inicial de manufactura, una ligera capa de solución de cola de pescado o de alumbre, se obtenía un papel más liso. Los papeles finos de escritura se pulían frotándolos con piedras lisas.

Los chinos establecieron una fábrica de papel en Samarcanda en algún tiempo del siglo sexto. El Asia Central, aun desde aquellas remotas

épocas, estaba asolada por las guerras, y los árabes capturaron la ciudad de Samarcanda en 704 y aprendieron el arte de hacer papel. Bajo la protección de los árabes, la industria floreció y Samarcanda fue reconocida por mucho años como el lugar de origen de la elaboración de papel. En el año 795 D.C., los árabes introdujeron este arte en su propio país, llevando obreros chinos a Bagdad y estableciendo una fábrica. Esta fábrica operaba como un monopolio del estado, y su secreto se guardó celosamente durante 500 años. Los árabes introdujeron ciertas mejoras en dicho arte, la más importante de las cuales fue la sustitución de trapos de lino por fibras de madera. Es probable que este arte fuera introducido en Europa a través de los cruzados, quienes visitaron Palestina y Siria durante el siglo XII y encontraron en estos países orientales muchas artes y refinamientos por ellos ignorados.

Los moros en España manufacturaron el primer papel hecho en Europa. Ya en el año 1805 tenían una fábrica en Toledo y posteriormente otra, más famosa, en Valencia. Una importante mejora atribuida a los españoles fue el uso de molinos de agua para accionar elementos trituradores, en lugar de la energía manual usada previamente. Hacia esta época, el alambre había reemplazado a los carrizos de los chinos, para los moldes.

La introducción de la industria del papel en Francia probablemente tuvo lugar no mucho tiempo después que en España. En 1189, Francia tenía una fábrica en Essonnes. En esa época, los franceses estaban bastante más adelantados que los ingleses en cultura y en modo de vivir. Eran activos y sentían grandes inclinaciones por la construcción, las manufacturas y la arquitectura. Aprovechándose de sus nuevos conocimientos, prosiguieron el arte de la fabricación del papel con tal destreza y entusiasmo que pronto estuvieron en posición de surtir, no sólo las necesidades de Francia, sino también las de los países circundantes. La población de los Países Bajos fue estimulada por ejemplo de Francia, y durante bastante tiempo, los franceses y holandeses fueron los mejores, e indudablemente, casi los únicos productores de papel en Europa. A los holandeses pertenece el honor de haber inventado la pila batidora u holandesa en una forma substancialmente igual a la usada hoy en día. Si bien este invento no vino sino hasta por el año 1750, ello, no obstante, indica que los holandeses se contaban entre los más progresistas de los antiguos fabricantes de papel.

Italia, al igual que Francia, aprendió de España el arte de la manufactura del papel, por el año 1200. Entre los siglos XII y XIV, los fabricantes italianos de papel inventaron el arte de fabricar papel con marca de agua. La primera marca efectiva de agua fue una cruz, que apareció por el año 1282. En 1285, dicha cruz estaba acompañada por una letra "B", evidentemente para señalar al fabricante del papel. El siglo XIV mostró una gran variedad de marcas de agua. Se imitaron las marcas que denotaban calidad, haciendo necesario el uso de contramarcas. Las marcas de agua se usaban, algunas veces, para indicar el fabricante, el lugar y la calidad; para designar el tamaño; o para conmemorar algún evento histórico. Los fabricantes italianos de papel usaban sus nombres completos a principios de 1306. En el siglo XVIII, el gobierno francés exigió que se indicaran el nombre y distrito del fabricante. La

práctica de la marca de agua ha ayudado bastante en todas las investigaciones históricas de épocas subsiguientes.

La primera fábrica de papel en Alemania se erigió en 1336, habiéndose introducido el arte de esta manufactura probablemente a través de la frontera alemana con Francia. Una de las primeras fábricas se edificó en Nuremberg, y otra en Ravensburg. El invento de la imprenta por Gutenberg, en Estrasburgo, por el año de 1450, contribuyó enormemente al avance de la industria alemana del papel. Es muy natural que las artes de fabricar e imprimir papel, estando tan íntimamente relacionadas, se deban desarrollar y crecer más rápidamente en forma paralela. Probablemente el invento de la prensa de impresión se deba anotar como la contribución más importante de Alemania al progreso de la industria papelera, puesto que ninguna invención dio nunca mayor ímpetu al crecimiento de esta industria.

Inglaterra no hizo papel antes del reinado de Enrique VII ( por el año de 1500), importando de Francia, España o Alemania, todo el papel que usaba. La primera fábrica de papel, en este país, fue erigida en 1498 por John Tate, hijo de un Alcalde de Londres. Evidentemente su fábrica no floreció, porque poco se oyó de ella. La siguiente que se puso en movimiento esta situada en Dartford y era propiedad de un alemán llamado Spielman, quien llevó de Alemania bastantes conocimientos sobre el proceso de fabricar papel. A pesar del hecho de que Spielman hacía sólo papeles corrientes, sus esfuerzos fueron tan apreciados que fue hecho caballero por la Reina Isabel. A partir de 1678, la fabricación de papel comenzó a establecerse firmemente en Inglaterra, y el número de fábricas aumentó con rapidez.

Por los años de 1800, hasta los cuales se ha seguido aquí el desarrollo del arte de la fabricación de papel, todo el papel que se elaboraba era hecho a mano; es decir, el depósito del material fibroso a partir de su estado acuoso, se llevaba a cabo sobre un molde de alambre o colador manipulado por el operario. No se requería poca habilidad para la operación; pero, puesto que el marco o molde podía ser agitado en todas direcciones, el resultado, si el proceso se efectuaba con destreza, era un papel en el cual las fibras unidas se entrecruzaban en todos los ángulos. Es a esta circunstancia a la que el papel hecho a mano debe muchas de sus propiedades superiores, porque en el papel fabricado a máquina, el movimiento obliga a las fibras a orientarse en una dirección. Sin embargo, el papel hecho a mano no puede elaborarse más que en hojas de tamaño estrictamente limitado. Rollos de papel de uno 6 a 8 Km de largo, tales como los que se emplean para los periódicos de hoy en día. Eran inconcebibles para el antiguo fabricante de papel. Basados en los desarrollos de las máquinas impresoras, hacia fines del siglo XVIII se hicieron esfuerzos para superar las limitaciones de tamaño impuestas por el uso de un molde manual y para proyectar una máquina que produjera el papel en hojas o rollos de longitud prácticamente ilimitada. El primero de estos intentos se hizo en Francia. En 1798, Louis Robert, un ayudante de impresor, inventó una máquina que haría el papel en longitudes de 12 a 15 metros. Estando en dificultades financieras, Robert vendió su patente St. Leger Didot, dueño de una fábrica francesa. Didot, buscando la capitalización de la patente en Inglaterra, entró en contacto con

Henry y Sealy Fourdrinier, dos prósperos comerciantes en papel, de Londres, quienes vieron con simpatía la idea de la máquina de papel. Ellos emplearon a un hábil y competente ingeniero, Bryan Donkin, y, después de mucho experimentar y gastar dinero, lanzaron e instalaron, en 1804, una máquina de papel verdaderamente práctica. Los hermanos Fourdrinier, quienes sufragaron el costo de las experimentaciones y gastaron toda su fortuna particular en la aventura, cayeron en bancarrota y murieron en la pobreza.

El invento de la máquina de Fourdrinier fue, sin duda, el mayor acontecimiento individual en la historia de la fabricación del papel. Sin él, no hubiera habido oportunidad para el desarrollo de la maquinaria y de la técnica distintivas de los siglos XIX y XX. En 1809 la máquina de cilindros fue originalmente perfeccionada en Inglaterra por John Dickinson, en Hertfordshire. Este sistema también ha sufrido desarrollos y modificaciones y, debido a la naturaleza compacta de la cuba del formador, se han podido combinar con éxito unidades múltiples en máquinas diseñadas para la manufactura de papeles y cartoncillos multicapas. Aunque la máquina de cilindros es capaz de elaborar algunos cartoncillos para los cuales no se puede emplear la máquina Fourdrinier, está limitada en su velocidad de operación y, en consecuencia, nunca ha alcanzado la popularidad y el uso tan extendido de la máquina Fordrinier.

2. La fabricación de papel en los Estados Unidos. La primera fábrica de papel en América se estableció en Wissahickon Creek, algunas veces llamadas Paper Mill Run, en Filadelfia, en el año de 1690. Los propietarios fueron William Rittenhouse, un fabricante holandés de papel, y William Bradford, un impresor de Filadelfia. En esta primera fábrica americana, el papel se hacía de trapos de lino, y es probable que se produjeran unos 40 Kg por día. Parece que esta fábrica tuvo éxito en un principio, hasta que fue arrastrada por una inundación 10 años más tarde. Pronto se construyeron otras fábricas en las colonias, siendo la más famosa de las primeras, la edificada en 1729 por Thomas Willcox, en Chester Creek. Esta fábrica ha quedado hasta la actualidad como propiedad de los descendientes de Willcox. Producía un papel de bastante calidad, parte del cual se usaba para los billetes de banco de los Estados Unidos, de bancos particulares, y de muchos gobiernos extranjeros.

En el estado de Nueva York, se presentó en la legislatura en el año de 1724, una iniciativa de ley, demandando que William Bradfor, de Filadelfia, con exclusión de cualquier otra persona, se encargase de erigir una fábrica y de hacer el papel en el estado, durante un periodo de 15 años. La iniciativa fue rechazada. Pasaron casi 50 años antes de que una fábrica pudiese realmente establecerse en Nueva York. Esto aconteció en Long Island, bajo el patrocinio de otro impresor llamado Gaine, quien comenzó a operar una fábrica en 1786.

Massachussets pareció interesarse más en la fabricación de papel que Nueva York, porque en 1728, se otorgó una patente a Daniel Henschman y a otros cuatro socios de él para la fabricación exclusiva de papel por un lapso de 19 años. Su fábrica estaba en Milton, sobre el río Neponset, a 11 o 13 Km de Boston, y se les exigió hacer cuando menos 500 resmas de papel al año. Los

dueños tuvieron dificultades en encontrar personas capaces de operar la fábrica, y la propiedad cambió de manos varias veces. Actualmente pertenece a la empresa Tison & Hollingsworth, que fabrica papel en las proximidades de Hyde Park.

La producción de papel en las primeras fábricas coloniales no mantuvo el mismo ritmo que la demanda. Inglaterra frustraba a toda costa el establecimiento de nuevas fábricas, porque los fabricantes británicos consideraban a las colonias como un mercado exclusivo para sus artículos. Cuando la revolución estalló en 1775 la situación se hizo aún más grave. La demanda de papel para todos los usos aumentó enormemente, pero la producción disminuyó con la misma rapidez, debido a que la mayoría de los papeleros experimentados se alistaron en los ejércitos británico o americano. Por esta época había menos de 20 fábricas en las ocho colonias. El tiempo de la guerra fue, por consiguiente, de gran escasez de papel. Algunos estados, principalmente Nueva York, eximieron del servicio militar a los papeleros experimentados. Conforme la guerra avanzaba, la falta de papel causaba grandes dificultades. Inclusive los gobiernos federal y estatales algunas veces no podían obtener papel para surtir sus necesidades. Debido a esto no se pudo imprimir el boletín de la segunda sesión del Congreso del Estado de Nueva York, en 1781. La fábrica de papel más cercana a Albany, N.Y., estaba en Bennington, Vt. El producto, con frecuencia, se llevaba de la fábrica a lomo de caballo, y aunque era muy burdo y sin blanquear, en comparación con el papel de hoy en día, era tan valioso que cada hoja rota o rasgado se pegaba con engrudo. Este trabajo se hacía tan minuciosamente que en las viejas copias de *The Register*, que se conservan en el Instituto de Albany, los remiendos sólo se pueden ver manteniendo el papel contra la luz.

Cuando el ejército americano entró en Filadelfia en 1778, había una gran escasez de papel para cartuchos. En vista de que las peticiones y las requisas no aportan la cantidad deseada, se envió una partida de soldados a buscarlo. Encontraron, en el desván de una casa en la que Benjamín Franklin había trabajado tiempo antes sus prensas de impresión, unos 2500 ejemplares de un discurso sobre la guerra defensiva. Pronto las decomisaron y las convirtieron en material de guerra ofensiva, como cajas para cartuchos de mosquetón para las tropas, en la batalla de Monmouth. Estos incidentes ilustran la carencia causada por escaso abastecimiento de papel y la importancia que éste había alcanzado en la vida de los colonos.

Un capítulo curioso y por demás interesante en esta historia de los albores de la fabricación de papel en América, es el que se refiere al persistente y no siempre exitoso esfuerzo que se libraba para que las materias primas mantuvieran las fábricas en operación. El trapo constituía, en aquel entonces, la materia prima básica para la industria. Se habían hecho experimentos con otros materiales, pero nada se había descubierto como un sustituto fácilmente disponible. Y aun el trapo, no era abundante, y por más de 100 años la existencia misma de la industria estaba constantemente amenazada por esta escasez. La población del país no era grande, y estaba dispersa. La ropa no se

desechaba sino hasta después de unos muy prolongado y cuidadoso, porque los colonos eran pobres y las condiciones climatológicas eran severas.

Después del término de la guerra, la fabricación de papel se reanudó con renovada energía, y el uso de este material aumentó rápidamente. El censo de 1810 indicó que en el país existían unas 180 fábricas. La mayor parte de ellas eran pequeñas, pero unas cuantas destacaban claramente, ya que eran grandes en tamaño o eran fundadoras de centros manufactureros regionales y, como tales, exigían especial atención. Varias de estas fábricas estaban localizadas en Massachussets, y resultaron ser el principio de esa sección, ahora conocida como distrito de Holyoke, el cual era el mayor centro fabricante de papel en los Estados Unidos, y que es internacionalmente célebre. Entre las primeras fábricas localizadas en este distrito estaba la de Zenas Crane, quien, en 1801, estableció una fábrica en Dalton, Mass, en el centro de Berkshire Hills, sobre el río Housatonic. Las fábricas Crane aún están localizadas en Dalton, en donde elaboran todo el papel moneda de los Estados Unidos, así como papeles de escritura de la más alta calidad, por los que esta región es famosa.

El proceso original de fabricar papel a mano no había sufrido grandes mejoras sino hasta bien entrado el siglo XIX. Las fábricas americanas usaron primero el elemento de molienda impulsado con agua para preparar su trapo para la cuba. La invención de la holandesa les permitió hacer un cambio definitivo en sus métodos de manufactura. Utilizando esta máquina pudieron aumentar grandemente su producción y mejorar la calidad de sus papeles. El invento de la Fourdrinier fue otro paso hacia delante, y la primera de estas máquinas hizo su aparición en los Estados Unidos en 1827, habiendo sido importada por Henry Barclay e instalada en una fábrica, en Saugerties, N.Y.

## B. La celulosa como fuente de producción de papel

La celulosa es una sustancia químicamente definida y la más abundante en el mundo vegetal. Desde el punto vista químico, la celulosa es un polímero lineal de  $\beta$ -D-glucosa, cuyas unidades se unen por enlaces  $\beta$ -1, 4-glicosídicos. Las unidades de glucosa no son planas y se unen entre sí a través de su forma cíclica, en conformación silla. Las cadenas de celulosa pueden unirse entre sí a través de enlaces de hidrógeno entre los grupos hidroxilos de unidades vecinas. Esto se produce gracias a la linealidad de las cadenas, que hace posible el acercamiento lateral de las misma (situación que no ocurre, por ejemplo en el almidón).

Desde el punto de vista de su reactividad puede decirse que la celulosa es insoluble en agua y relativamente inerte, aunque los grupos hidroxilo primarios y secundarios, situados en los carbonos 2, 3 y 6, son susceptibles de oxidarse. También pueden romperse con relativa facilidad los enlaces glicosídicos y por último, el grupo final de cada cadena puede oxidarse a ácidos carboxílicos o reducirse a alcoholes:

1. Con agentes oxidantes. Los grupos hidroxilo se oxidan a aldehídos o ácidos carboxílicos, pudiendo incluso romper el anillo si la oxidación es muy fuerte. Se obtienen las oxixelulosas que conservan su carácter fibroso pero disminuyen su resistencia mecánica pues se producen rupturas de cadena.

2. Con ácidos diluidos. Las cadenas de celulosa se degradan, alterando su resistencia y propiedades químicas. Van rompiendo los enlaces glicosídicos empezando por las zonas amorfas y terminando por las cristalinas. Se obtienen las hidrocelulosas.

3. Con ácidos concentrados. Las cadenas de celulosa y todos los hidratos de carbono se carbonizan quedando sólo la lignina.

4. Con álcalis diluidos. Los enlaces glicosídicos son estables. Sin embargo, las oxixelulosas reaccionan con los álcalis produciendo la degradación de las cadenas. Se obtienen las álcali celulosas. Otro efecto de los álcalis es el hinchamiento de la celulosa al introducirse moléculas de álcali principalmente las zonas amorfa de la celulosa.

5. Determinación del contenido de materia seca. El Contenido de materia seca de una muestra de pasta húmeda o seca al aire se define como la relación entre el peso de una muestra, después de secada hasta masa constante, a una temperatura de  $105 \pm 2^\circ \text{C}$ , en condiciones especificadas, y el peso de la misma muestra antes del secado. Se expresa en tanto por ciento.

Durante el ensayo a la temperatura de  $105^\circ \text{C}$  se evaporará el agua contenida en la muestra dejando un residuo de pasta seca que estará formando exclusivamente por la materia fibrosa. El tiempo de secado de la muestra es función del contenido de agua inicial, por lo que el ensayo durará el tiempo necesario para conseguir un peso final constante, es decir, hasta que toda el agua se haya eliminado (hasta sequedad absoluta).

La determinación del contenido de materia seca de una pasta se realiza porque en la fabricación de papel, se puede utilizar como materia prima pasta en forma húmeda o secada al aire, o en suspensión en agua. Por tanto, la pasta, inicialmente, tendrá diferentes concentraciones de materia fibrosa, en función del tipo de presentación. Será necesario pues, determinar dicha concentración mediante el análisis de materia seca en pastas húmedas o secas, o mediante el análisis del grado de consistencia en las suspensiones, para conocer en cada proceso el porcentaje de materia fibrosa con la que se está trabajando. El empleo de una u otra forma de presentación de las pastas será función de:

El tipo de instalación: En fábricas integradas, la pasta se almacena normalmente a 10 –14% de consistencia, antes de usarla para papel. En operaciones no integradas, la pasta tiene que secarse para disminuir los costes de transporte. Normalmente, las pastas se preparan para la expedición embaladas en hojas o en copos, secadas a 88 – 90% de sequedad según el país y / o los acuerdos comerciales. En estos casos, suele ser necesario determinar la masa comercial de un lote de balas para la facturación o la verificación del comprador.

Las características del papel que se quiere obtener: Cuando las pastas se secan antes de la fabricación del papel, se producen cambios significativos en las propiedades debido a que se forman enlaces internos irreversibles. El papel es más voluminoso y más resistente al desgarrar, pero presenta menor resistencia al reventamiento y la tracción que si se hubiese fabricado a partir de fibras no secadas.

La preparación de la materia prima fibrosa (pasta) a partir de pasta seca para fabricar papel incluye en primer lugar una dispersión de la pasta seca en agua para trabajar a un grado de consistencia determinado. Por ello, es necesario determinar primeramente el contenido de materia seca inicial. Con este valor podrán ajustarse las cantidades de pasta y agua que deben introducirse en el desintegrados para dar la consistencia buscada, es decir, los cálculos se hacen con la cantidad pasta referida al seco absoluto.

Desde el punto de vista de control de calidad, esta determinación tiene gran importancia en análisis de muestras de pastas tomadas para ensayos químicos y físicos en laboratorio, con la finalidad de reproducir las condiciones de fabricación.

Por último, la importancia de la determinación de la materia seca desde un punto de vista comercial, es fácil de comprender cuando en cualquier transacción, el peso facturado de un lote de pasta seca es él " el peso comercial " indicado por el vendedor. El " peso comercial " se define como el peso bruto multiplicado por la sequedad absoluta y dividido por la sequedad comercial teórica (88 – 90%). El análisis para determinar la sequedad absoluta de un lote de pasta tiene el mismo fundamento que el de la determinación de la materia seca. Por todo lo dicho anteriormente, el conocimiento de la cantidad de materia seca de una pasta húmeda o seca al aire es importante desde el punto de vista de control de la calidad, económico y comercial.

1. Determinación de la consistencia de la pasta. La consistencia o grado de consistencia de una suspensión acuosa de pasta se define como la relación entre el peso del residuo seco de una muestra de suspensión de pasta de la filtración y el peso de la misma muestra antes de la filtración. Se expresa en tanto por ciento.

El ensayo en el laboratorio se realiza filtrando a vacío una muestra de una suspensión acuosa de pasta. Con ello, se consigue separar la mayor parte del agua que forma la suspensión, quedando la torta de fibras en el filtro. A partir de este momento, el ensayo continua como si se tratara de determinar la materia seca de una pasta húmeda. Es decir, se procede a secar la muestra en una estufa a 105 °C con lo que los restos de agua que quedaban se terminan de eliminar. El resultado final es una muestra totalmente seca, cuyo peso referido al peso inicial dará el valor de la consistencia de la suspensión de pasta.

Es importante realizar un correcta toma de muestra para realizar este ensayo, y obtener así unos resultados fiables que sean representativos del lote del producto. La muestra debe tomarse en un recipiente apropiado, con un movimiento rápido para evitar que las fibras se separen del agua, y después de agitar y homogeneizar bien la suspensión. Las normas de ensayo estándar

(UNE, TAPPI) indican la forma más conveniente y la cantidad de muestra que debe tomarse ( en función de la consistencia) para dar resultados lo más precisos posible.

La determinación de la consistencia es aplicable a cualquier tipo de suspensión acuosa de pastas, pudiendo contener cargas y aditivos. Se determina siempre que sea necesario conocer la cantidad de fibra existente en un lote determinado. Ya sea para hacer ensayos de laboratorio o para tomar decisiones en fábrica.

Es un parámetro muy utilizado en los procesos de fabricación de pasta y papel, ya que tiene gran influencia en los diferentes pasos de la elaboración de ambos productos, no sólo desde el punto de vista de la calidad, sino también desde el punto de vista económico y de requisitos necesarios de la instalación y equipos. Pueden servir de ejemplo los siguientes aspectos:

- a. La consistencia de una suspensión acuosa de pasta destinada a un tanque de almacenamiento intermedio, suele ser alta, con el fin de rebajar gastos de almacenamiento. Las operaciones posteriores, por ejemplo, refino, se realizan a consistencias menores, por lo tanto, habrá que diluir convenientemente la suspensión.
- b. Una elevada consistencia favorece, generalmente, una buena respuesta al refino, puesto que habrá mayor superficie de contacto fibra-fibra y menor superficie de fibra expuesta al contacto con el metal del refinador. Como consecuencia, el efecto de cizallamiento de las fibras será menor, es decir, habrá menor roturas de fibras, efecto que frecuentemente se trata de evitar.
- c. Las diferentes partes de la instalación y los equipos están diseñados para trabajar en unas determinadas condiciones, entre ellas las características de consistencia de la pasta. Por ejemplo, el filtrado de una pasta demasiado consistente puede producir la obturación de los filtros, el bombeo de una pasta demasiado consistente y por tanto demasiado viscosa puede sobrecargar el motor de la bomba, interrumpir el paso de producto por las líneas de conducción o aumentar gastos de energía.

6. Refino de pasta para papel. Para que las fibras celulósicas sean útiles para la fabricación del papel deben conformarse unas con otras, produciendo una hoja uniforme. Deben desarrollar fuertes uniones entre ellas en los puntos de contacto y en algunas aplicaciones, la estructura fibrosa debe ser estable durante largos periodos de tiempo.

Las fibras celulósicas exhiben ciertas propiedades que satisfacen los requisitos de la fabricación del papel: alta resistencia a la tracción, capacidad de adaptación, resistencia a la deformación plástica, insolubles en agua, hidrofílicas, amplio rango de dimensiones, capacidad de enlace, capacidad de retener aditivos, estables químicamente, etc. Sin embargo, la mayor parte de las fibras celulósicas no se pueden utilizar en la fabricación del papel sin ningún tratamiento previo, ya que no se conforman entre ellas y tampoco establecen enlaces. Estas fibras deben tratarse mecánicamente con objeto de desarrollar

sus propiedades papeleras, es decir, es necesario modificar sus propiedades físicas o químicas para fabricar con ellas papel.

En este sentido, los objetivos de la preparación de la pasta son procesar las materias primas fibrosas (pasta) y los componentes no fibrosos (aditivos) y combinar estos constituyentes de una manera continua y uniforme para preparar la composición a partir de la cual se hará papel.

El proceso de preparación de pasta comprende normalmente las siguientes operaciones: recepción de la materia prima, desintegración y puesta en suspensión de la pasta, refinado, dispositivos de mezcla y regulación de componentes, dilución, depuración y desaireación. Una vez realizadas estas operaciones la pasta estará preparada para fabricar papel y el producto final tendrá unas características físicas, mecánicas y ópticas en función de los tratamientos dados a la pasta, de las condiciones de formación y los tratamientos posteriores a su formación y su aplicación estará limitada según dichas características.

El refinado o refino es una de las operaciones fundamentales de la fabricación del papel dentro de las operaciones de preparación de la pasta, pero antes de realizarlo la pasta deberá haber sido previamente desintegrada. La desintegración tiene por objeto separar las fibras que están entrelazadas mediante tratamiento mecánico en medio acuoso, sin modificar apreciablemente sus características estructurales. La energía para dicha desintegración depende de las características iniciales de la pasta (por ejemplo el contenido de materia seca, tipo de pasta, condiciones de almacenamiento, presencia de aditivos, etc.). Normalmente, las pastas más difíciles de desintegrar son las producidas a partir de papel recuperado y en general, se puede decir que las pastas con un contenido inicial de materia seca superior al 20% se desintegran en treinta minutos, mientras que las de contenido inicial de materia seca inferior al 20%, lo hacen en cinco minutos.

La desintegración puede hacerse en un desintegrador especialmente diseñado para esta operación (pulpers y despastilladores) o en el propio refinador. Un desintegrador típico consta de un recipiente cilíndrico con cuatro deflectores en su interior, un agitador vertical accionado por un motor eléctrico y un tacómetro, es decir, un equipo que proporciona turbulencia y la circulación necesaria para desintegrar los haces de fibras.

Una vez realizada la desintegración de la pasta podemos pasar a refinarla. El refino podría ser definido como una operación en la preparación de las pastas, posterior a la desintegración, por la que se modifica, mediante la acción de un trabajo mecánico y en presencia de un medio acuoso, la morfología de las fibras y su estructura físico-química, con el fin de lograr las cualidades necesarias para la fabricación de papel y cartón. El refino es necesario para que el papel o cartón resultante tenga las características deseadas.

El refino en principio fue utilizado para la preparación de pastas químicas antes de obtener papel en máquina, posteriormente se aplicó el tratamiento de rechazos de depuración en las fábricas de pastas y ha acabado siendo utilizado en la fabricación de pastas mecánicas.

Las dos características principales de la operación de refino son la necesidad de dispensar energía a las fibras y que éstas tienen que estar en medio acuoso. La manera de proporcionar energía a las fibras, es hacer pasar la suspensión fibrosa entre dos superficies sobre las que existen unas cuchillas. La operación se lleva a cabo en los llamados refinadores (cilíndricos, cónicos o de discos), basados en dos superficies metálicas dentadas en movimiento relativo de un a respecto a la otra. De las dos superficies una suele ser fija y se denomina estator, mientras que la otra se desplaza con un movimiento perpendicular al eje de las cuchillas y se denomina rotor. La separación entre ambas superficies se denomina entrehierro y estará ocupada por la suspensión de fibras en agua.

Al producirse el movimiento relativo de las dos superficies entre las que se encuentra la suspensión de fibras, éstas están sometidas a unos importantes esfuerzos de cizallamiento ya unos pulsos de presión. Las fibras sufren unos efectos de cortadura, aplastamiento y de fricción entre sí y contra las guarniciones del aparato; la acción conjunta de todos estos esfuerzos mecánicos producirá el refinado de la pasta. Los principales resultados que se consiguen con el refino son:

- a. Las fibras se rompen, se acortan, se erosionan y se fibrilan exteriormente es decir, se elimina parcialmente la pared primaria y/o la secundaria externa de la fibra, saliendo al exterior las fibrillas de la capas exteriores. Esto facilitará la interacción o cohesión entre ellas.
- b. Al mismo tiempo, son aplastadas, magulladas o fibriladas interiormente (pues se eliminan parcialmente los enlaces laterales de la pared secundaria media y consiguientemente se produce un aflojamiento de la estructura interna de la fibra), lo que en presencia de agua produce su hinchamiento y se hacen más plásticas y flexibles.
- c. También se produce el revirado de las fibras, dilatación longitudinal, compresión longitudinal y separación de pequeños trocitos de fibra denominados finos.

Todos estos efectos tienen lugar simultáneamente hasta un punto que depende, como es lógico, de las condiciones operatorias: tipo de refinador, tipo y estado de las cuchillas, tipo de pasta, consistencia de la pasta, presión de refino, velocidad de caudal de la pasta a través del refinador, etc. Ajustando las condiciones es posible enfatizar uno o más de ellos pero no eliminarlos todos.

La respuesta de los diferentes tipos de pastas a un determinado tiempo de refino no es el mismo. La aptitud de la pasta al refinado viene condicionada por diversos parámetros tales como el proceso de obtención y la naturaleza de la fibra o su constitución química.

En lo referente a su morfología cabe indicar que las fibras de pared fina y flexible refinan mejor que las de pared gruesa. La constitución química de la fibra afecta también a su aptitud al refino. Mientras que la celulosa pura, altamente polimerizada y con poca fracción amorfa, es poco sensible al refinado, la presencia de hemicelulosas facilita el mismo pues la fibra puede embeber más agua y se facilita el hinchamiento. Por otro lado, la presencia de lignina de

carácter hidrofóbico, impide la penetración de agua hacia las zonas internas de las fibras y dificulta el refinado de las mismas.

## 7. Obtención de pastas para la formación de papel. La

importancia del papel y de los productos papeleros en la vida moderna es obvia. No hay ningún producto manufacturado que tenga un papel tan importante en cualquier área de la actividad humana. El papel constituye el medio para guardar, almacenar y difundir información. La mayor parte de la impresión, escritura se hacen en papel. Es el material de envase y embalaje más utilizado.

Las aplicaciones y usos del papel y de los productos papeleros son virtualmente ilimitadas y continuamente se están desarrollando nuevos productos especiales. Al mismo tiempo, la industria es consciente de la penetración y competición de otros sectores, notablemente los plásticos y la electrónica, en los mercados tradicionales del papel. Cada vez más, están siendo adoptadas nuevas tecnologías y metodologías, para que la industria pueda seguir siendo competitiva en los mercados existentes y ser receptiva a nuevas oportunidades.

Además de los productos y servicios que suministra, la industria de la pasta y del papel proporciona empleo a gran número de personas y tiene una gran importancia en el conjunto de la economía de los países.

El papel se ha definido tradicionalmente como una hoja afieltrada de fibras celulósicas, normalmente de origen vegetal, formada sobre un tamiz fino a partir de una suspensión acuosa. En la práctica la mayor parte de los productos papeleros se fabrican también con aditivos no fibrosos.

El material fibrosos a partir del cual se obtiene el papel se denomina pasta de ceulosa. Por tanto, la fabricación de las pastas tiene por objeto transformar las materias primas fibrosas en fibras para que después de una serie de operaciones puede transformarse en papel, cartón, fibras textiles, fibras artificiales, etc.

La moderna fabricación de pasta y papel utiliza principalmente la madera como materia prima básica. En la madera y en casi todas las plantas, las fibras que la componen están constituidas por celulosa (que es la que determina el carácter de la fibra y permite su utilización en la fabricación del papel), pero en este estado nativo se encuentran unidas entre sí y envueltas en una matriz de material no fibroso y amorfo. Esta está compuesta principalmente por lignina y hemicelulosas, pero también está constituida por resinas y extractos (taninos, aceites esenciales, grasas, ácidos grasos, etc.).

Para obtener papel con fibras de madera o cualquier otro vegetal, es necesario individualizar las fibras en el proceso que se conoce como fabricación de pastas. En el proceso de fabricación se persigue la obtención de una pasta de características dadas, consumiendo la mínima energía y obteniendo el máximo rendimiento. Las operaciones fundamentales que engloba la fabricación de pastas.

- a. El aislamiento de las fibras. Las fibras liberándolas de la matriz

de lignina y dejándolas individualizadas con relativo grado de pureza en función de las propiedades de su uso finales, puede realizarse de tres formas diferentes:

- 1) Consumiendo cantidades variables de energía mecánica para individualizar las fibras: pastas mecánicas.
- 2) Utilización de reactivos químicos (energía química), con objeto de disolver las sustancias que mantienen unidas las fibras: pastas químicas.
- 3) Por combinación de un tratamiento químico ligero con posterior tratamiento mecánico: pastas semiquímicas.

El objeto del pasteado químico es degradar y disolver la lignina, dejando la mayor parte de la celulosa y hemicelulosas en su forma intacta en las fibras. En la práctica, los métodos de obtención de pastas químicas son capaces de eliminar la mayor parte de la lignina, pero también degradan una cierta cantidad de celulosa y hemicelulosa, por lo que el rendimiento en pasta es bajo con relación al pasteado mecánico, usualmente entre el 40 y el 50% de la madera original.

En el pasteado químico, las astillas de madera se cuecen con productos químicos adecuado en solución acuosa a temperatura y presión elevadas. Los dos métodos principales son el proceso Kraft (alcalino) y el proceso al sulfito (ácido). El proceso Kraft ha llegado a ocupar una posición dominante debido a sus ventajas en la recuperación de los productos químicos y la resistencia de la pasta. El proceso sulfito, que fu el más común hasta 1,930, ha experimentado un renacimiento de su interés e importancia.

El proceso Kraft involucra la cocción de las astillas de madera en una solución de hidróxido sódico (NaOH) y sulfuro de sodio (Na<sub>2</sub>S). El ataque alcalino causa una rotura de la molécula de lignina en fragmentos más pequeños, cuyas sales de sodio son solubles en la lejía de cocción. Estas pastas pueden fabricarse a partir de todo vegetal, aunque hasta hace poco el proceso se orientaba hacia las coníferas. Sin embargo, en la actualidad existe una tendencia cada vez más marcada a emplear frondosas, en especial, chopo, abedul y eucalipto. Las pastas Kraft producen papeles muy resistentes, pero las pastas crudas se caracterizan por un color marrón oscuro. La pasta puede ser blanqueada hasta altos grados de blancura pero los costes son elevados, más que en el caso de las pastas al sulfito. Por otro lado, este tipo de pastas poseen poca aptitud al refino y deben sufrir una purificación alcalina, muy difícil de realizar, antes de ser empleadas en usos químicos. Las pastas Kraft de alto rendimiento se destinan a la fabricación de cartones y papeles baratos de embalaje. Las pastas semiblanqueadas se emplean en la fabricación de papeles de escritura, impresión y prensa, y las blanqueadas en la fabricación de papeles de impresión, escritura y embalaje.

En el proceso al sulfito se utiliza una mezcla de ácido sulfuroso (H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>) e ion bisulfito (HSO<sub>3</sub><sup>-</sup>) para atacar y solubilizar la lignina. El mecanismo de ataque químico elimina la lignina en forma de sales de ácido lignosulfónico, permaneciendo la estructura casi intacta. La cocción al sulfito puede llevarse a cabo en un amplio intervalo de pH. El "sulfito ácido" indica cocción con exceso

de ácido sulfuroso libre ( $\text{pH} = 1.2$ ), mientras que las cocciones "al bisulfito" se realizan bajo condiciones menos ácidas ( $\text{pH} = 3-5$ ).

Las pastas al sulfito son más claras que las pastas Kraft y pueden blanquearse con más facilidad, pero las hojas de papel son más débiles que sus equivalentes Kraft. El proceso al sulfito se emplea con éxito en las resinosas tales como la picea, abeto y tsuga y frondosas que contienen taninos son más difíciles de procesar. Esta sensibilidad a las especies madereras, conjuntamente con la menor resistencia de la pasta y la mayor dificultad de la recuperación de los productos químicos, son las principales razones del declive del proceso al sulfito con relación al Kraft. La tendencia a la utilización integral del árbol supone una desventaja adicional del sulfito, debido a la intolerancia por la corteza. Las pastas duras, blanqueadas o crudas, se emplean en la fabricación de papeles que requieren alto grado de refinado, como papeles de embalaje, papel cristal y semisulfurizado. Las pastas normales, crudas o blanqueadas, se emplean en la fabricación de papeles de impresión, escritura y prensa mezcladas, en este caso, con hasta un 80% máximo de pasta mecánica, y las pastas de bajo rendimiento se emplean para usos químicos.

Las pastas obtenidas por cocción contienen impurezas que no pueden ser eliminadas en el proceso de aislamiento y comunican coloración a la pasta. Las pastas crudas no pueden ser utilizadas para la fabricación de papeles blancos de alta calidad, por lo que muchas veces es necesario una etapa de blanqueo, posterior al aislamiento de las fibras. El objetivo del blanqueo es la obtención de una pasta blanqueada, de color estable, a precio razonable y cuyas propiedades físicas sufran la mínima alteración.

El blanqueo químico de las pastas utiliza dos procedimientos:

- 1) Solubilización y eliminación de las materias colorantes (pastas químicas y semiquímicas).
- 2) Transformación de las sustancias coloreadas en sustancias incoloras estables a la luz y al calor (pastas semiquímicas y mecánicas).

Aunque la ganancia de blancura puede ser sustancial en estos procesos, ningún método conocido de blanqueo selectivo produce un efecto permanente. La exposición a la luz y al oxígeno atmosférico causa una rápida coloración de la lignina, como puede observarse en los papeles viejos de prensa.

Los principales agentes de blanqueo utilizados son:

- 1) Oxidantes:  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ ,  $\text{Na}(\text{ClO})_2$ ,  $\text{ClO}_2$ ,  $\text{NaClO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{O}_2$  y  $\text{O}_2$ .
- 2) Reductores:  $\text{NaHSO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ ,  $\text{ZnS}_2\text{O}_4$  y  $\text{NaBH}_4$ .

El blanqueo es una operación mucho más selectiva que la cocción, pues se aplica a una masa fibrosa y el agente químico puede actuar sobre cada fibra individual. Es una operación más regular y uniforme y debe realizarse en condiciones tales que se mantengan las características de resistencia y demás propiedades papeleras.

El proceso de blanqueo normalmente se realiza en varias etapas que son difíciles de delimitar. Las primeras etapas de blanqueo se pueden

considerar como una continuación del proceso de delignificación iniciado en la cocción. Las últimas etapas emplean agentes oxidantes para destruir y eliminar el color residual.

El blanqueo moderno se realiza normalmente con los tratamientos químicos que se enumeran a continuación:

- 1) Cloración (C): Reacción con cloro elemental en medio ácido.
- 2) Extracción alcalina (E): Disolución de los productos de reacción con NaOH.
- 3) Hipoclorito (H): Reacción con hipoclorito en solución alcalina.
- 4) Dióxido de Cloro (D): Reacción de cloro molecular en medio ácido.
- 5) Peróxido (P): Reacción con peróxidos en medio alcalino.
- 6) Oxígeno (O): Reacción con oxígeno elemental a alta presión y medio alcalino.
- 7) (Dc) o (Cd): Mezclas de cloro y dióxido de cloro.

Cualquiera que se el proceso de blanqueo empleado es importante conocer la cantidad de agentes de blanqueo para obtener una blancura determinada. Esta cantidad de agentes de blanqueo se determina por los índices de aptitud al blanqueo y entre los más empleados se encuentran el índice de permanganato, el índice de cloro (Röe) y el índice de hipoclorito. Para las pastas del mismo origen hay una correlación entre el contenido en lignina de las pastas crudas y el índice de blanqueo. Un índice de blanqueo elevado indica un tratamiento poco enérgico y mayor contenido de hemicelulosas.

El proceso de obtención de la pasta tiene marcada influencia sobre la aptitud del refinado de la misma, puesto que afectará a la constitución química final de la fibra, reparto de componentes en la pared celular y grado de polimerización de la fracción de celulosa y hemicelulosas. Por tanto, la influencia de las operaciones de cocción y de blanqueo sobre el refinado está condicionada a la extensión con que hayan sido eliminadas la lignina y las hemicelulosas, y a la degradación sufrida por los hidratos de carbono que permanecen en la pasta.

Otro factor que afecta a la operación y que no depende de la naturaleza de las fibras, es el secado previo de la pasta antes de la puesta en suspensión en la fábrica de papel. Las pastas que no han sido sometidas a secado, refinan mejor que las que han sido secadas, debido al cambio sufrido por las fibras en dicho proceso. Este efecto es más notable en el caso de pastas recicladas, que han sido secadas, debido al cambio sufrido por las fibras en dicho proceso. Este efecto es más notable en el caso de pastas recicladas, que han sufrido un secado más intenso en la anterior fabricación de papel.

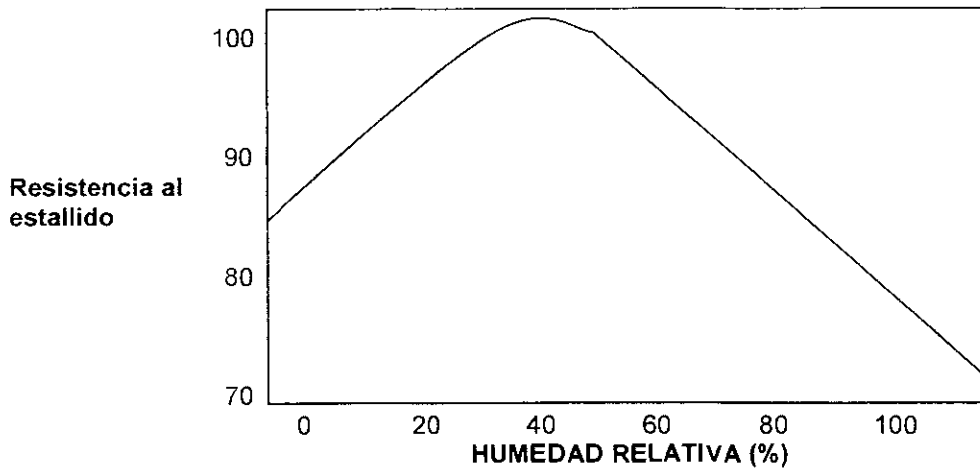
Por otro lado, las fibras de la suspensión de pasta no sufren durante el refinado un tratamiento uniforme, es decir, todas las fibras no son tratadas de forma similar. Dado que el refinado es una operación que implica costes elevados y que su resultado puede indirectamente aumentar o disminuir otros costes de la fabricación del papel, conviene reflexionar sobre la uniformidad de su acción así como sobre su rendimiento energético, es decir, de la efectividad de los sistemas de refinado, que es el resultado de la eficiencia de los mismos y el

resultado que producen. En general, al aumentar el tiempo de refino se reduce la resistencia al desgarrar y mejora la resistencia al estallido, a la tracción y al plegado, debido a la mayor área de enlace. Por otra parte, con el refino aumenta la resistencia desgote y la hoja de papel formada será más densa, con menor porosidad, pérdida de opacidad y menor estabilidad dimensional.

8. **Determinación del gramaje.** El gramaje se define como el peso en gramos de una superficie de 1 m<sup>2</sup> de papel o cartón. Dependiendo de las condiciones de humedad, el resultado del cálculo puede variar. Por ello, unas veces se determina el gramaje en muestras acondicionadas previamente (en ambientes de humedad estándar indicados en las normas UNE, TAPPI,...); otras, en muestras previamente secadas en estufa, es decir, se determina el gramaje, referido al seco absoluto; y, otras, en muestras en las condiciones de recepción o almacenamiento en fábrica. La elección de las condiciones de la muestra para determinar el gramaje, dependerá de la utilidad que se vaya dar al resultado del cálculo, y en el informe final, deben especificarse dichas condiciones.

9. **Determinación de la resistencia al estallido.** La resistencia al estallido, "burs" en inglés, se define como la presión límite que soporta una probeta de papel, aplicada perpendicularmente a su superficie, en las condiciones determinadas para el ensayo. Se mide en unidades de presión, normalmente, Kgf / cm<sup>2</sup> ó KN / m<sup>2</sup>. El índice de estallido se define como la resistencia al estallido del papel, en Kgf /cm<sup>2</sup>, multiplicada por 98.1 y dividida por el gramaje del papel. Si la resistencia al estallido está expresada en KN / m<sup>2</sup>, el cociente entre dicha resistencia y el gramaje del papel será el índice de estallido. La resistencia al estallido es una medida ampliamente utilizada para evaluar la resistencia a la ruptura de muchas clases de papel durante su uso. Aunque es un ensayo simple y barato, su interpretación es muy compleja, ya que, además de la longitud de las fibras y, sobretodo, la fuerza de enlace entre ellas, intervienen otros factores. En primer lugar, el resultado se verá influenciado enormemente por la direccionabilidad del papel. En efecto, durante la fabricación del papel, las fibras se orientan en la dirección de la máquina (MD, machine direction) y por la carga a que son sometidas durante el prensado y el secado, dirección transversal (CD, cross direction). Este efecto debe tenerse en cuenta en el estudio de las propiedades físicas del papel, por lo que en la mayoría de los ensayos físicos se preparan las probetas cortando tiras de papel en direcciones perpendiculares entre sí para proceder a su ensayo. La dirección del ensayo se define como la dirección en que se aplica la fuerza, no la dirección de ruptura. Otro factor que afecta en el resultado se trata de la humedad relativa en el ambiente, que el contenido de humedad en la muestra tiene un pronunciado efecto sobre la respuesta a la resistencia a la tensión del papel. Sin embargo, no se puede generalizar el efecto de la humedad, ya que depende del tipo de fibras, el grado de refino, aditivos, y tratamientos de la superficie de la hoja.

Gráfica No.2  
VARIACIONES DE LA RESISTENCIA AL ESTALLIDO CON LA HUMEDAD



El valor máximo de la resistencia al estallido se obtiene en muestras acondicionadas en una humedad relativa en el ambiente de aproximadamente el 40%, a medida que la humedad relativa aumenta, disminuirá la resistencia al estallido.

10. **Determinación de la resistencia al desgarro.** La resistencia interna al desgarro ("tear" en inglés) se define como la fuerza media necesaria para continuar el desgarro de una hoja de papel en la que se ha efectuado un corte inicial. Si ese corte inicial se realiza en la dirección longitudinal del papel, se determinará la resistencia al desgarro en dirección longitudinal; si el corte se hace en la dirección transversal, se determinará la resistencia al desgarro en dirección transversal. Se expresa en mN (milinewtons

El índice de desgarro se define como la resistencia al desgarro de un papel o cartón, dividida por su gramaje. La resistencia al desgarro es una medida de las propiedades de resistencia del papel. Es una característica que depende del número de fibras que se rompen en el ensayo, de la longitud de las fibras y del número y fortaleza de los enlaces entre fibras; por tanto, se puede decir que la resistencia al desgarro es función del grado de refino, y en general, a medida que aumento el tipo de refino, disminuye la resistencia al desgarro, a la vez que se mejoran otras características como el estallido y estiramiento. La resistencia al desgarro depende casi exclusivamente de la longitud de las fibras.

Otros factores que reducen la resistencia al desgarro son un excesivo contenido de hemicelulosas, carbohidratos degradados y la presencia de aditivos, ya que dichos factores tienden a aumentar la rigidez de las fibras.

Por último, otro factor en ciertos casos muy críticos es importante tener en cuenta, es la humedad. Con la humedad aumenta la resistencia al desgarro pues aumenta la flexibilidad de las fibras que forman las hojas.

### III. PROCESOS NECESARIOS PARA LA FABRICACIÓN DE PAPELES SUAVES

El proceso de fabricación de papel inicia desde la recolección de materia prima. Los procesos pueden tener algunas variaciones según la tecnología que se maneje. Pero siempre se tiene como producto final al papel, en lo que definitivamente puede variar es en la calidad del mismo. A continuación se definirán los distintos procesos para la fabricación de papel.

#### A. Materia prima, utilización del papel de desperdicio en las industrias de papel

El alcance e importancia de la industria del papel de desperdicio pueden entenderse cuando se tiene en cuenta que este producto proporciona una tercera parte de la fibra utilizada por las fábricas de papel y cartón en los Estados Unidos (en varios países de Latinoamérica). Considerando la calidad, se puede dividir el suministro disponible en tres clasificaciones que más o menos determinan su uso final. En términos generales, los grados más bajos de calidad, con alto contenido de pasta mecánica o de pulpa kraft sin blanquear, son consumidas por las fábricas de cartón. Las calidades, cuidadosamente escogidas, con bajo contenido de pasta mecánica o pulpa kraft cruda, se desentintan y blanquean, y los desperdicios industriales sin imprimir, se usan como sustitutos directos de la pulpa virgen.

El papel de desperdicio es un producto de consumidores; de aquí que las mayores cantidades estén disponibles primordialmente en las áreas concentradas de población. La recolección del papel de desperdicio, por consiguiente, se practica bastante en ciudades en donde hay una adecuada "mano de obra flotante" para recogerlo y en donde el tonelaje es lo suficientemente grande para que la operación sea económicamente provechosa.

Como un material sobrante, el papel de desperdicio sigue la ley de la oferta y la demanda. Cuando los precios para el papel de desperdicio son altos, más "mano de obra flotante" se verá atraída hacia la recolección y se dispondrá de una cantidad de papel de desperdicio, adicional al tonelaje que normalmente se recupera. Finalmente, el excedente originará una baja en los precios, y las menores ganancias harán decaer las operaciones de recuperación del desperdicio, con el resultado de que la "mano de obra flotante" buscará por otra parte un trabajo más remunerativo.

Se debe tener en cuenta que el papel de desperdicio es un material sustituto de la pulpa de madera. En los grados más alto de calidad de papel, el desperdicio sustituye cantidades variables de pulpa virgen. Esta sustitución está gobernada por la naturaleza del desperdicio, las propiedades deseadas en la hoja final, y el costo del desperdicio en relación con el de la pulpa virgen. Las reducciones en precio de las pulpas importadas, o los aumentos de

abastecimiento de las pulpas domésticas, inevitablemente originan disminuciones de precio en las existencias de papel de alta calidad.

La industria del papel de desperdicio utiliza una cantidad mucho menor de papel de la que producen cada año las fábricas de papel. Aproximadamente dos terceras partes de todo el papel y cartón producidos se destruyen, se usan en forma permanente o semipermanente (como en papeles de archivo, papeles tapiz, productos para las industrias de construcción, o envases de almacenamiento), o se exportan. Gran parte de este papel se contamina o se modifica mediante operaciones de conversión e impresión, de modo que no puede ser fácilmente recuperada; por ejemplo, papeles tratados a base de asfalto, papeles recubiertos con plástico, papeles encerados y papeles carbón.

1. Selección del papel de desperdicio. El tamaño de las compañías que manejan papel de desperdicio, varía desde muy pequeño a muy grande. Únicamente las compañías grandes tienen operaciones de selección, porque esta operación requiere de utilización de servicio pesado. Los comerciantes más pequeños simplemente empacan papeles mezclados, como periódicos, cajas viejas de cartón corrugado y revistas. Usualmente venden sus existencias a los comerciantes más grandes, que manejan tanto papeles que van a escoger como papeles ya clasificados.

El papel de desperdicio de todos los tipos se lleva a la planta empacadora en bolsas, cestos, atados o pequeñas pacas. Este desperdicio puede recolectarse de las distintas fuentes de abastecimiento, por medio de camiones, o puede ser entregado directamente a la planta de selección por los recolectores en pequeño. Parte de este desperdicio llega de puntos distantes en carros de ferrocarril (en el caso de los Estados Unidos).

La mayoría de las modernas plantas de selección poseen varios pisos; en algunas grandes ciudades, tienen seis o más pisos con departamentos de escogido en cada uno. El papel de desperdicio se envía a los pisos de selección por medio de bandas transportadoras o se sube por elevadores. En los departamentos de selección se abren las pacas, bolsas o atados, y el papel suelto se coloca nuevamente sobre bandas móviles que atraviesan el departamento. Conforme las bandas llevan el desperdicio a través del departamento, los seleccionadores, estacionados a determinados intervalos a lo largo de la banda, separan la calidad específica de papel que están recolectando y la dejan caer en un recipiente apropiado; o bien, las pacas pueden abrirse y el papel de desperdicio separarse en las varias clases, sin necesidad de ponerlo sobre una banda.

Los seleccionadores, por lo general, son mujeres que requieren de seis meses a un año de experiencia para efectuar este trabajo satisfactoriamente. Esta experiencia es necesaria no sólo para clasificar el desperdicio apropiadamente en los tipos: blancos duros, manilas, "ledgers", krafts, blancos suaves, tarjetas tabuladoras y otras calidades específicas, sino también para separar los materiales contaminados que pueden inutilizar el papel de desperdicio. Como no existe equipo mecánico que separe las distintas clases de papel de desperdicio, la selección a mano es un prerequisite para un

desperdicio de alta calidad. Este tipo de desperdicio se lleva a los escogedores , en realidad, se maneja sobre la base de pieza individual. Aún con experiencia, no obstante, existen bastantes dificultades para identificar ciertos materiales objetables. Como resultado de lo anterior, algunos comerciantes en papel de desperdicio cuentan ya con sus propios laboratorios para identificar materiales sospechosos.

Los seleccionadores separan el papel de desperdicio en tantas calidades como sea posible desde un punto de vista práctico y económico, de manera que pueda ser usado por las fábricas del modo más ventajoso, ya sea para relleno o "liner", en fábricas de cartón, o como sustituto de pulpa, en fábricas de papel. Un escogedor importante de papel de desperdicio puede empacar hasta seis calidades diferentes de papel.

Es indispensable que exista una total cooperación entre los consumidores de papel y sus abastecedores, especialmente en el caso de papel para destintado. Si el comerciante en desperdicio comprende los problemas de las fábricas consumidoras, puede recomendar la calidad correcta y producir en su planta paquetes especiales para satisfacer las necesidades especiales de sus consumidores.

2. Pruebas en el papel de desperdicio. La resistencia, limpieza y blancura del producto final que se va a elaborar total o parcialmente a partir de uno o más tipos de papel de desperdicio, definirán la calidad o calidades que se puedan utilizar. Las pruebas del papel de desperdicio para determinar su clasificación de calidad y su adaptabilidad para un producto o proceso en particular, representan una función importante, tanto del laboratorio del comerciante en desperdicio, como del laboratorio de la fábrica de papel.

Los papeles de desperdicio que se utilizarán en productos para construcción y en cajas de cartón, tienen diferentes requerimientos básicos de los que se usan para destintado y blanqueo. En general deben estar libres de productos perjudiciales, tales como plásticos, pegamento y hule, aunque, en caso contrario, si el desperdicio se desintegra satisfactoriamente y tiene resistencia adecuada, es aceptable. Ciertas calidades con una impresión muy ligera o enteramente libres de impresión, se pueden emplear para "liners" exteriores de cajas de cartón, pero, de no ser así, la cantidad y tipo de tinta del desperdicio empleado en estos productos es, relativamente, de poca importancia. La depuración y el lavado centrífugo adecuados pueden separar bastante material que de otra manera podría causar dificultades.

Los papeles de desperdicio que se van a destintado y a blanquear tienen especificaciones mucho más exactas, y es necesario probarlos y evaluarlos constantemente, tanto en las operaciones de escogido como a través de todo el proceso de la fábrica. En general, de las pacas de papel de desperdicio es difícil obtener muestras representativas. Para una evaluación cuidadosa es preciso tomar muchas muestras. La evaluación del papel de desperdicio usualmente se efectúa en relación con el escogido. Dicha evaluación complementa el juicio del personal de escogido y puede ser de utilidad en mejorar la calidad y la economía. De ser posible, la gente involucrada debe ser provista con

instrucciones y métodos sencillos de prueba para confirmar o complementar su criterio. Muchas de las instrucciones se comprenden mejor trabajando con personal experimentado bajo supervisión adecuada; sin embargo, hay algunas pruebas sencillas que pueden aplicarse en el mismo sitio de trabajo, ya sea por el supervisor o por los mismos escogedores.

Para determinar en el papel de desperdicio la pérdida por destintado, la pérdida por blanqueo; la presencia de agentes de resistencia húmeda, de materiales pegajosos, y de recubrimientos especiales, cada fábrica debe desarrollar su propio método en pequeña escala que simule la práctica común de destintado. Tal procedimiento de prueba dará una idea regular de los resultados que se pueden obtener, sin arriesgar una partida grande del material.

3. **Calidades del papel de desperdicio.** Para ilustrar los tipos tan variados de papeles de desperdicio escogidos para el destintado comercial, a partir de datos recién reportados, se ha hecho el siguiente análisis:

Cuadro No.1

Calidades de papeles de desperdicio	Número de plantas de Destintado
"Ledger"	5
"Ledger" No.1, libros y revistas	16
"Ledger" No.1, libros, revistas y periódicos	3
Libros y revistas	2

La compra de diversas calidades por un fábrica no siempre significa que se tengan que mezclar indistintamente. Pueden mezclarse o destintarse por separado, de acuerdo con los requerimientos de la pulpa final. Todas las clasificaciones son forzosamente generales, y los papeles vendidos bajo una denominación de calidad pueden variar bastante en muchos aspectos, por ejemplo, contenido de cenizas, naturaleza de los pigmentos de carga o de relleno, porcentaje de materiales aglutinantes solubles, porcentaje de pasta mecánica y blancura original de la pulpa en el papel. No obstante, con materiales tan heterogéneos como el papel de desperdicio, las clasificaciones de calidad son todavía de mucho valor para las plantas de destintado.

Se pueden tener dos alternativas de recolección de materia prima, una es a partir de materia prima virgen, es decir desde los bosques utilizando la madera para obtener la pulpa de la cual se obtendrá el papel. En Guatemala el método más utilizado es el reciclado, pero en otras plantas principalmente las estadounidenses (Procter & Gamble, Kimberly Clarck) la materia prima que utilizan es de los bosques brasileños.

Para la obtención de materia prima hay que tomar las siguientes consideraciones que afectan directamente en la calidad y además en el peso de la materia prima recolectada:

- a. La humedad relativa que puede tener la materia prima, entre más humedad más peso, pero menos materia prima utilizable. Se debe de tener mucho cuidado en este aspecto, debido a que hay que fijar bien las condiciones, porque pueda ser de que se obtenga menos peso del que se compro provocado por la humedad.
- b. Las cargas minerales de la materia prima, todo papel tiene residuos minerales, que provocan un incremento en el peso del mismo. Este es un problema difícil ya que es fácil obtener materia prima con demasiada carga mineral. Lo que provoca problemas no sólo de alto costo (por tener un peso relativamente "alto") sino que también de funcionamiento de la maquinaria de fabricación y de transformación.
- c. Las veces que ha sido reciclado el papel. En la fabricación de papel hay un factor importante en la materia prima este es el del tipo de fibra que se esté utilizando. Cuando se trabaja con materia prima virgen se utiliza fibra química o fibra larga, la cual tiene superior resistencia al desgarramiento y al estallido. Mientras que la materia prima reciclada tiene fibra mecánica o fibra corta, la cual tiene menos resistencia que la fibra química, y la misma se vuelve más corta después de varias veces de reciclado.
- d. Residuos de pegamento en la materia prima.

En varias plantas se emplea, en diversas formas, la cocción continua y combinaciones de cocción continua e intermitente, como sigue:

Desfibrador continuo, seguido de tanques de cocción intermitente

Desfibrador continuo, seguido de tanques de cocción continua con circulación a base de bombas

Desfibrador intermitente, seguido de refinador continuo

Desfibrador intermitente, seguido de tanques de cocción continua con circulación a base de bombas

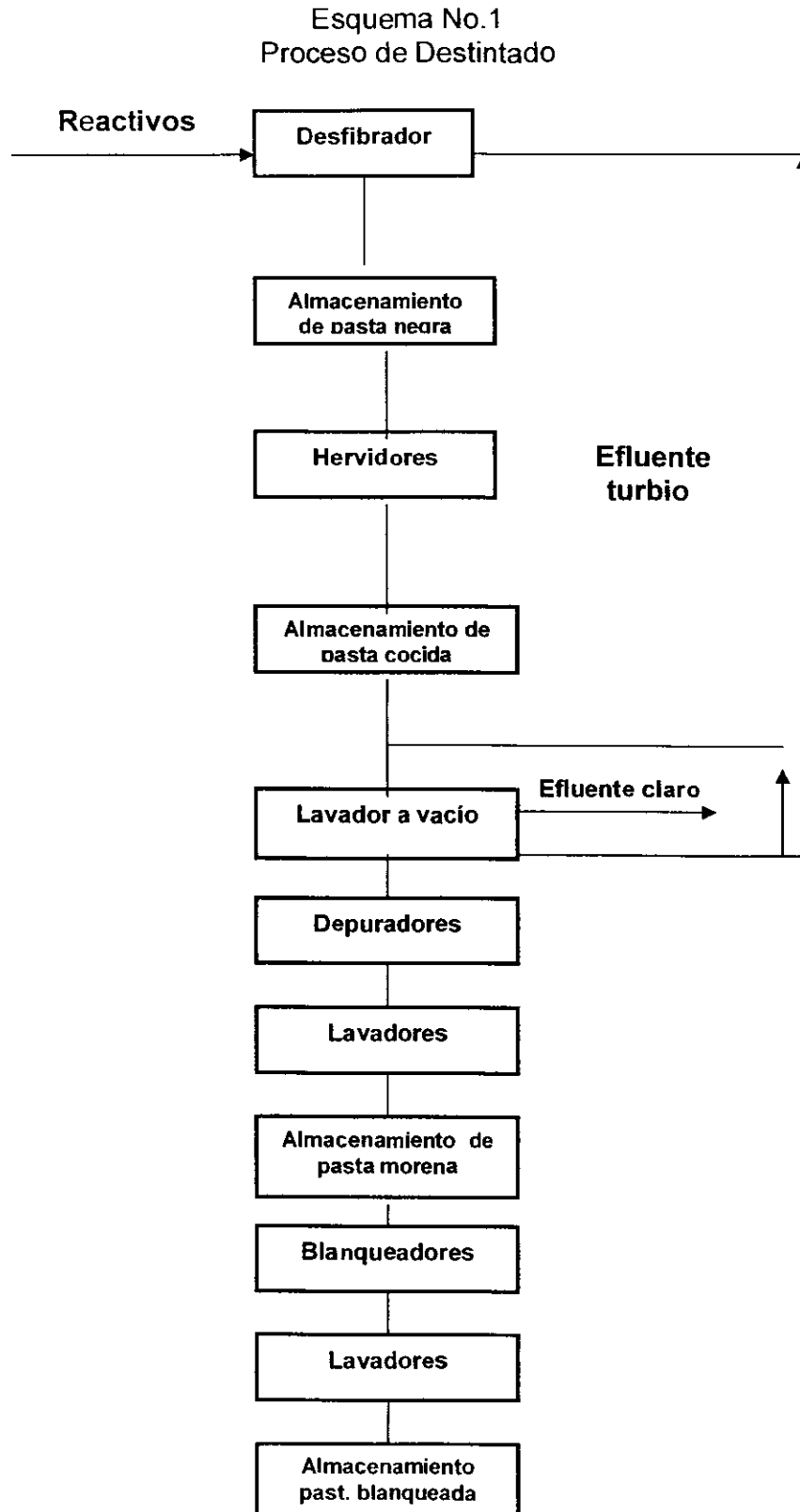
Desfibrador intermitente, seguido de tanque de cocción continua con bombas de circulación.

En algunos casos, estas instalaciones han sido el resultado de combinar equipo nuevo con el existente; en otros, pueden haber sido planeadas como instalaciones completamente nuevas. De cualquier manera, en ambos casos el equipo se ha hecho funcionar eficientemente. Todas las instalaciones son básicamente para procesos a baja consistencia. Es interesante hacer notar que ninguna instalación tiene un solo hervidor continuo sencillo; todos son hervidores múltiples, ya sea total o sólo parcialmente continuos.

## B. Proceso de Destintado

En todos los casos en los cuales la primera unidad es de tipo intermitente, el control de la consistencia y de la relación de reactivos es relativamente sencilla, no siendo diferente de la operación intermitente anteriormente descrita. Sin embargo, en donde el primer recipiente de cocción se opera continuamente, se necesitan técnicas especiales para mantener en la pasta la consistencia y la concentración de reactivos adecuados. El agua y los reactivos pueden fluir de manera continua por medidores ajustados a la velocidad de introducción del

papel de desperdicio, o bien, pueden agregarse "de golpe" ayudando el volumen dentro del hervidor a disminuir las variaciones temporales.



En todos los casos en los cuales la primera unidad es de tipo intermitente, el control de la consistencia y de la relación de reactivos es relativamente sencilla, no siendo diferente de la operación intermitente anteriormente descrita. Sin embargo, en donde el primer recipiente de cocción se opera continuamente, se necesitan técnicas especiales para mantener en la pasta la consistencia y la concentración de reactivos adecuados. El agua y los reactivos pueden fluir de manera continua por medidores ajustados a la velocidad de introducción del papel de desperdicio, o bien, pueden agregarse "de golpe" ayudando el volumen dentro del hervidor a disminuir las variaciones temporales.

Los primeros cocedores de papel de desperdicio, es decir, las pilas de batido, los hervidores rotatorios y las cajas abiertas por la parte superior, eran apropiados solamente para las operaciones intermitentes y dejaban mucho que desear con respecto al uso eficiente de mano de obra, fuerza y vapor. Durante los últimos 15 años, los costos de mano de obra han aumentado al triple, y otros gastos se han incrementado en la misma proporción. Como resultado de lo anterior, en el desarrollo de maquinaria para el destintado se ha puesto énfasis en la adaptación de dispositivos mecánicos para el manejo del papel de desperdicio, tanto en forma suelta como empacado; en el diseño de quipo más eficiente de cocción y desfibración con capacidades crecientes, y en el desarrollo de métodos continuos de cocción.

En muchas fábricas, los papeles viejos se manejan mecánicamente. Los camiones o los carros de ferrocarril se descargan mediante montacargas de gasolina o eléctricos. El papel escogido se conduce por medio de bandas transportadoras. Los desfibradores, ya sean intermitentes o continuos, se alimentan mediante montacargas de cajón por vía inclinada, transportadores de tablillas, o bandas transportadoras. Un sistema más moderno, enteramente continuo, emplea un desfibrador continuo con refinador cónico de recirculación en el cual se verifica la desfibración y parte de la cocción. El destintado y el desfibrado finales se efectúan en una serie de tanques cocedores, abiertos en la parte superior, con recirculación. Aunque la economía de fuerza y vapor de este sistema es probablemente mejor que la de la pila abridora y refinador, algunas veces es más difícil controlar la calidad del producto final que en el caso de cocción intermitente. Para obtener las ventajas de un proceso continuo y conservar, además, la flexibilidad de la cocción intermitente, se ha hecho una combinación mediante la cual el papel de desperdicio se desfibra primero en forma continua y después se cuece y desfibra en forma intermitente. Para realizar lo anterior, se han desarrollado muchos equipos ingeniosos y eficientes.

## C. Fabricación de Papel

La primera parte del proceso es la preparación de pasta que da inicio en la desintegración la cual busca separar las fibras que están entrelazadas mediante tratamiento mecánico en medio acuoso. Para realizar esta parte del proceso es necesario un desintegrador (pulper) especialmente diseñado, el cual consta de un recipiente cilíndrico con cuatro deflectores en su interior, un agitador vertical accionado por un motor eléctrico en sí un equipo que

proporciona turbulencia y la circulación necesaria para desintegrar las fibras. La pasta que sale del pulper puede variar entre un 8 y un 15% de papel y un 92 al 85% de agua, este porcentaje es conocido como consistencia.

Después de haber pasado por la desintegración, la pasta se dirige a una de las mayores inversiones en nuestra planta, que es la planta de destintado. Debido a que las pastas obtenidas después de la desintegración no son las más adecuadas ya que nuestra planta fabrica papeles blancos de la más alta calidad, por lo que es necesario una etapa de blanqueo.

Con esta planta se tiene la ventaja de poder procesar cualquier tipo de materia prima. Pero al utilizar cualquier tipo de materia prima, las pastas que se obtienen son de color oscuro a causa de la lignina o cualquier otro agente colorante principalmente las tintas. Por ello, normalmente la pasta se trata con agentes blanqueantes, para mejorar sus propiedades ópticas. El objetivo principal de esta etapa es eliminar la lignina o modificar los grupos responsables del color. Pero nuestra planta de destintado no sólo elimina la tinta, sino que también limpia la materia prima. La planta cuenta con centrifugaradoras, cinco tanques en donde la pasta es limpiada constantemente antes de enviarla al tanque principal de la máquina fabricadora de papel. Conforme la pasta se hace circular en la planta de destintado su consistencia es disminuida hasta un 3%.

Una vez depurada la pulpa, la pasta puede pasar a ser refinada. El refinado es una operación en la preparación de las pastas en donde se modifica la fibra y su estructura físico-química mediante la acción de un trabajo mecánico y en presencia de un medio acuoso con el fin de facilitar la unión de la misma y brindar las cualidades del papel que se desee fabricar.

Las dos características principales de la operación de refinado son la necesidad de dispensar energía a las fibras y que éstas tienen que estar en medio acuoso. La manera de proporcionar energía a las fibras, es hacer pasar la pasta entre dos superficies sobre las que existen unas cuchillas. La operación se lleva a cabo en los llamados discos refinadores, que son dos superficies metálicas dentadas en movimiento relativo de una respecto a la otra. De las dos superficies, una es fija y se denomina estator, mientras que la otra se desplaza con movimiento perpendicular al eje de las cuchillas y se denomina rotor. La separación entre ambas superficies se denomina entrehierro y estará ocupada por la pasta.

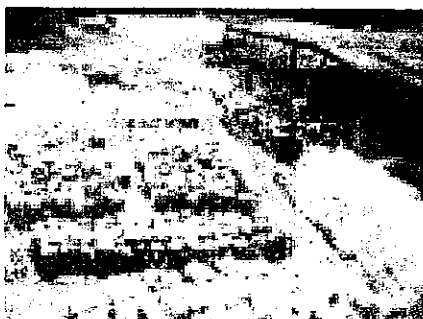
Al producirse el movimiento relativo de las dos superficies entre las que se encuentra la pasta, las fibras están sometidas a unos importantes esfuerzos de cizallamiento y a unos pulsos de presión. Las fibras sufren unos efectos de cortadura, aplastamiento y de fricción entre sí. Al ser refinada, la consistencia de la pasta se reduce por hasta valores de 0.6 a 0.4%. Uno de los mayores problemas en las plantas de fabricación de papel es no poder mantener la consistencia de la pasta antes de ingresar a la máquina productora de papel. Para esto nuestra planta cuenta con reguladores de consistencia que trabajan automáticamente. Estos agregan agua cuando la consistencia es muy alta, o quitan agua cuando la consistencia es baja.

Después de haber pasado por el refino, la pasta se dirige a la caja de formación en donde la pasta es depurada y esparcida totalmente en medio acuoso y así iniciar la formación de la hoja. Al salir de la caja de formación, la pulpa tiene una consistencia de 0.5%, es decir que en su mayoría es agua, la cual debe de ser eliminada en su mayoría.

Para iniciar la formación de la hoja, la pulpa se adhiere a la malla la cual se mueve a una velocidad establecida por este movimiento se logra eliminar un % alto de agua de la pulpa, pero esto no es suficiente. Al terminar la pulpa su paso por la malla, esta es absorbida por el fieltro, el cual elimina agua, y a la vez le envía la pasta al "yankee" que es el secador principal de la máquina, lugar donde se lleva a cabo la remoción del 85% de la humedad de la hoja. El "yankee" es un rodillo de acero inoxidable de 12 pies de diámetro y de un ancho de 108 pulgadas el cual por medio de vapor y aire caliente elimina un alto porcentaje de humedad. Finalmente la hoja es enrollada en una bobina como producto terminado con un 5 a 7% de humedad promedio.

Para la fabricación de servilleta se tiene un caso especial, las bobinas que se producen para este tipo de papel tienen un ancho de 80 pulgadas. Pero el ancho que requieren las máquinas de transformación son de 9.75 pulgadas o de 6.75 pulgadas. Por lo tanto estas pasan por un proceso de transformación de dos bobinas de 29.25 pulgadas y una de 20.25 pulgadas. Posteriormente pasan a otro proceso de transformación para obtener bobinas del ancho deseado en la planta de transformación.

El vapor utilizado en el secado es producido por un sistema de calderas, que a la vez es utilizado para el grupo de cogeneración. Este grupo tiene capacidad nominal de 3MW, el cual produce energía eléctrica mediante vapor generado por el sistema de calderas el cual cede su energía a la turbina. La turbina parte del sistema de cogeneración, posee dos medios de extracción, una de vapor a mediana presión (120 PSIG), y la segunda de vapor a baja presión (35 PSIG).

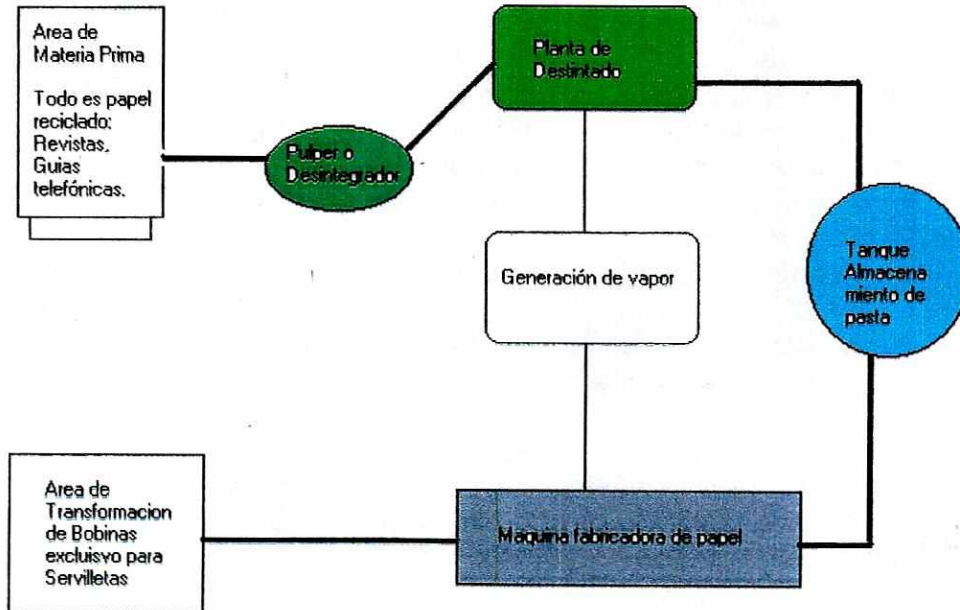


**Materia Prima, sólo papel reciclado**  
Fotografía No.1

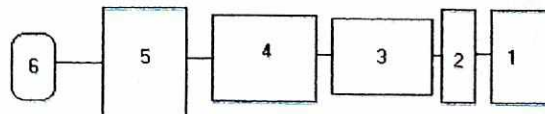


**Formación de la pasta para papel**  
**Vista del pulper**  
Fotografía No.2

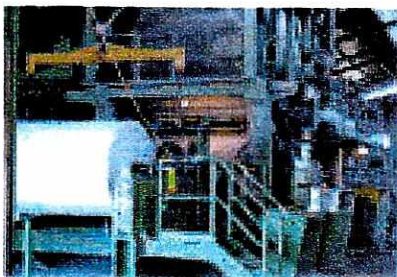
**Esquema No.2  
PROCESO DE FABRICACIÓN DE PAPEL**



**DETALLE DE LA FABRICACIÓN DE PAPEL**



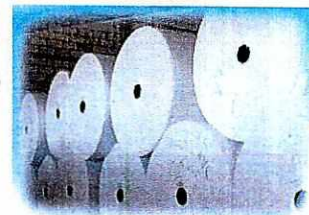
1. Refinamiento de pasta
2. Caja de formación del papel
3. Eliminación de agua
4. Secado de la hoja por medio de vapor
5. Enrollado de bobina
6. Bobina de higiénico o servilleta



**Máquina fabricadora de papel**  
Fotografía No.3



**Pacas y vista pulper**  
Fotografía No.4

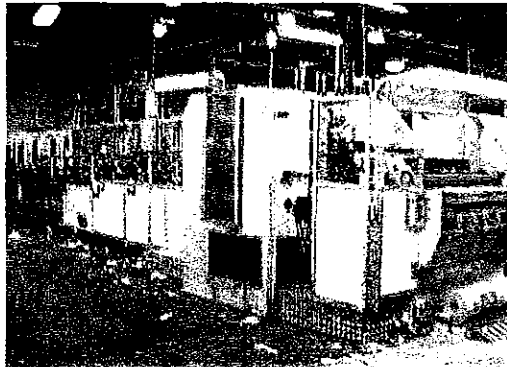


**Bobinas de papel higiénico**  
Fotografía No.5

## IV. PROCESOS NECESARIOS PARA LA TRANSFORMACION DE PAPELES SUAVES

Este da inicio desde el momento en que la bobina es colocada en el desenrollador. Seguidamente el papel pasa al área de gofrado en donde el papel es grabado por medio de un rodillo de metal y un rodillo de hule, los cuales son operados mediante un motor de más de 90 HP que es controlado por un variador de velocidad. Después del gofrado, toma parte importante el tubo de cartón, el cual es fabricado en la tubera por medio de dos tiras de cartón que se entrelazan entre sí y así estar listo para ingresar a la máquina de transformación.

Posterior al paso por el gofrado, el papel recibe las cuchillas de perforación que marcan la sisa de la hoja. Esta sisa puede ser variada automáticamente desde el panel de control con sólo pulsar una tecla. Seguidamente el papel se dirige al rebobinado en donde este se enrolla al tubo, que previamente ya ha ingresado a la transformadora, y forma la nueva bobina de papel. Para su buen mantenimiento, la máquina cuenta con un sistema de lubricación centralizado que opera automáticamente sin tener necesidad de un mecánico que intervenga directamente. El proceso de transformación puede alcanzar velocidades arriba de los 600 m/min esta es controlada en el panel de control, lugar en donde se definen las características que deseamos de la bobina de papel. Al tener la bobina de papel ya formada pasa al encolador, este tiene como función pegar la última hoja de la bobina, después de quedar pegada la hoja la bobina se encuentra lista para ser cortada. Previa a ser cortadas, las bobinas son acumuladas para evitar cualquier cuello de botella cuando la cortadora tenga algún problema. La cortadora utiliza como herramienta principal una cuchilla estrictamente afilada, para poder efectuar un corte perfecto en la bobina esta cuchilla es afilada por medio de esmeriles los cuales utilizando una simple programación que afilan a la cuchilla automáticamente. Al finalizar este paso se tiene como producto final el rollo de papel higiénico. Pero este necesita pasar al área de empaque. Hay dos opciones de empaque una es la línea de empaque manual y la otra la línea de empaque automático. En la línea de empaque automático los rollos necesitan ser alineados según el producto que se desea fabricar. La empacadora utiliza como recursos principales el lienzo plástico, el aire y la temperatura para poder formar los paquetes de rollos. La temperatura es importantísima para poder sellar el empaque. Pero los paquetes de rollos necesitan de otro empaque. Como parte final del proceso los paquetes pasan a la máquina enfardeladora, la cual empaca varios paquetes en uno solo para formar los fardos con rollos de papel higiénico. Estos son entarimados para dirigirse a las bodegas de producto terminado y estar listos para ser despachados en cualquier momento. El proceso de transformación de papel a servilletas es un proceso bastante rudimentario aunque productivo. Aquí las bobinas son colocadas en un desenrollador. Después de haber pasado por el desenrollador el papel pasa por el gofrador que tiene un funcionamiento similar a la máquina de producción de higiénico. Posteriormente el papel pasa por un dobles, y así estar listas para el empaque



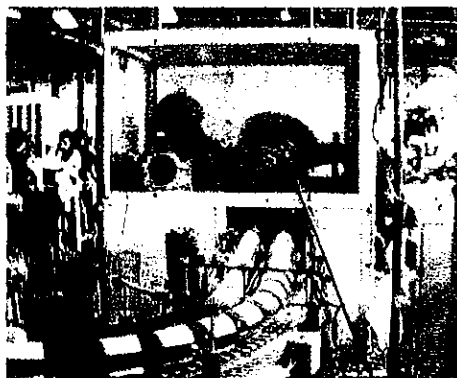
**Máquina Empacadora de rollos, de alta tecnología**  
Fotografía No.6



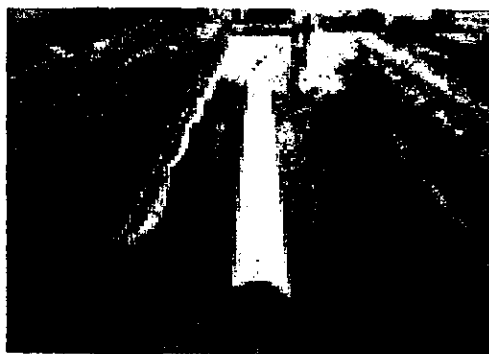
**Sección de empacado manual**  
Fotografía No.7



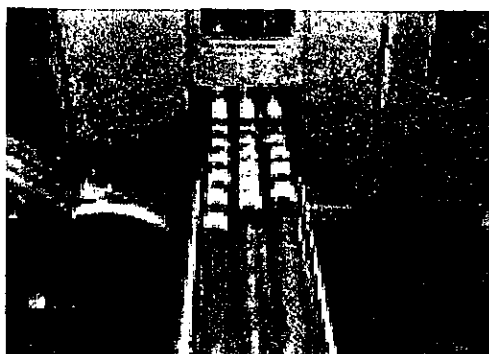
**Máquina Transformadora de papel, vista  
Del Desenrollador**  
Fotografía No.8



**Sección de la cortadora de rollos de  
papel higiénico**  
Fotografía No.9



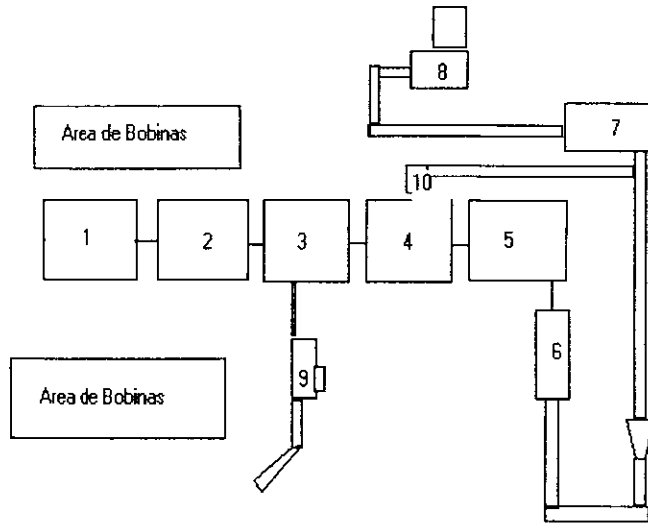
**Formación de la bobina de papel higiénico**  
Fotografía No.10



**Corte de las bobinas de papel higiénico**  
Fotografía No.11

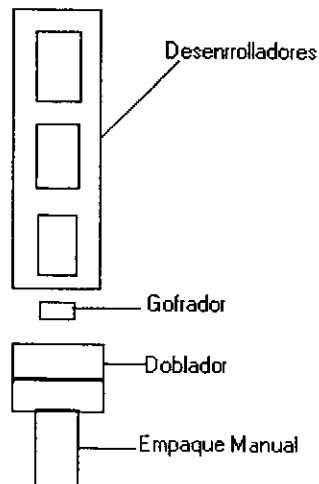
Esquema No.3

▪ PROCESO DE TRANSFORMACIÓN DE PAPEL A PAPEL HIGIENICO



- 1. Desenrollador
- 2. Gofrador
- 3. Rebobinador
- 4. Encolador
- 5. Acumulador
- 6. Cortadora
- 7. Empacadora Automática
- 8. Enfardeladora Automática
- 9. Tubera
- 10. Linea de empaque manual

▪ PROCESO DE TRANSFORMACIÓN DE PAPEL A SERVILLETAS



## V. ALTERNATIVAS PARA OPTIMIZAR EL PROCESO DE FABRICACIÓN Y TRANSFORMACION DE PAPELES SUAVES

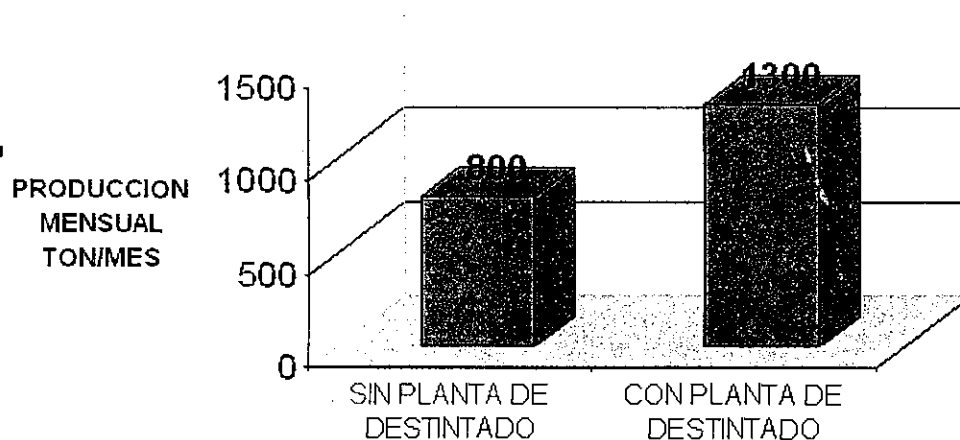
### A. Planta de destintado

Esta es una alternativa de mucha importancia para los molinos de fabricación de papel que utilizan como materia prima el papel reciclado. Muchos de los papeles que se obtienen para reciclar tienen tinta y este es un obstáculo para la producción de papel blanco. El escoger materia prima resulta demasiado costoso debido a que si se quiere fabricar papel blanco es necesario comprar papel para reciclar que tenga poca contaminación de tinta y además tener un proceso exclusivo de escoger papel que se encuentre en condiciones para fabricar el papel deseado.

La planta de destintado es una de las mayores inversiones que puede tener un molino fabricante de papel. Esta requiere de muchos recursos para obtener una planta que logre eliminar en más de un 95% la tinta presente en la materia prima. La planta de destintado también brindará un aumento considerable de la producción, ya que la selección de materia prima no será necesaria. En inicio la inversión será fuerte, pero con el aumento de la producción los costos por tonelada producida disminuirán. Es por eso que si cualquier proceso productivo desea bajar costos, la solución no necesariamente es disminuir personal, sino que realizar inversiones inteligentes, para que en un futuro cercano los costos disminuyan por el efecto del aumento de la producción.

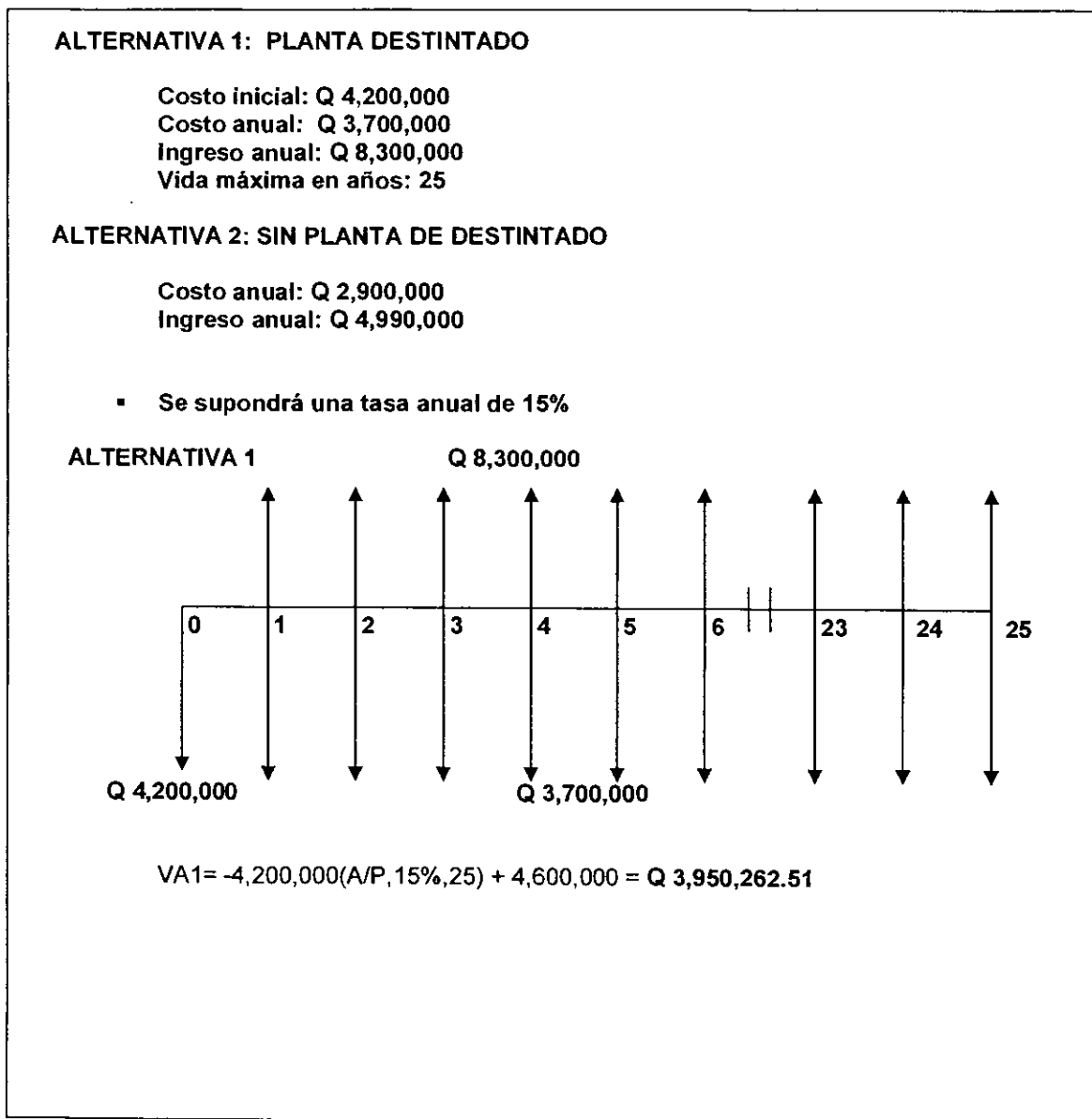
Gráfica No.3

### MOLINO DE PAPEL CON INVERSIÓN DE PLANTA DE DESTINTADO

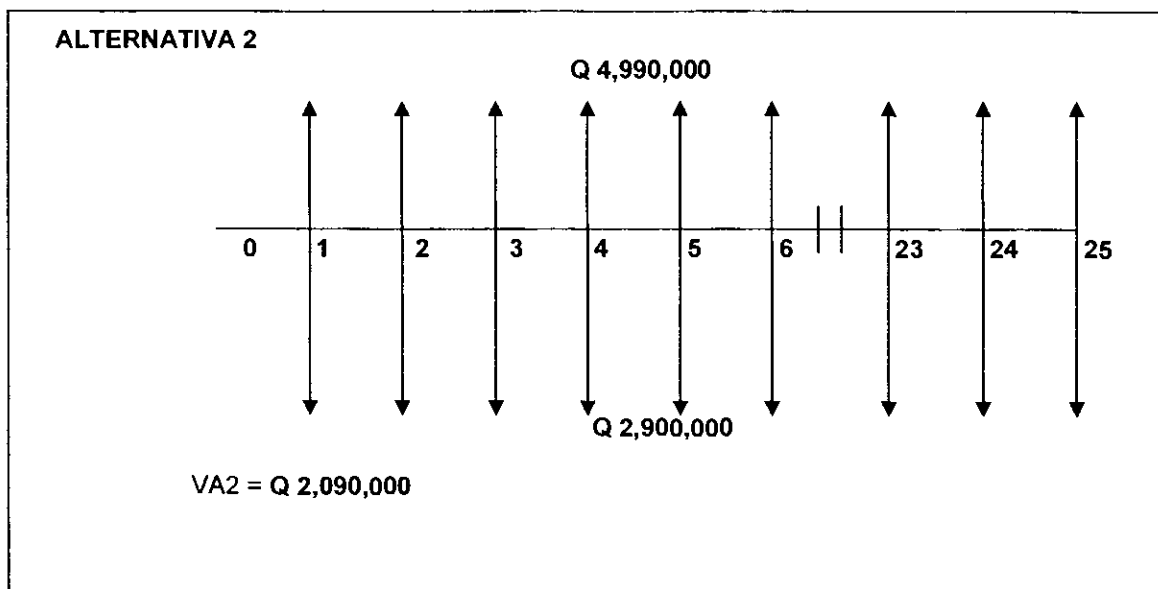


La gráfica anterior es un ejemplo real de una planta guatemalteca, la producción con la utilización de una planta destintado aumenta en un 62.5%. Este aumento en la producción es una justificación importante para poder invertir en la instalación de una planta de destintado. Pero para poder dar un mayor soporte a esta alternativa, se puede realizar un análisis económico utilizando el VALOR ANUAL, comparando la alternativa de planta de destintado con la alternativa de no instalación de planta de destintado.

Cuadro No.2



Cuadro No.3



Definitivamente en base al VALOR ANUAL, la alternativa uno es mucho más favorable puesto que su VA es numéricamente más grande comparando con la alternativa dos en un 89%.

La inversión inicial es considerable, pero además de brindar mayores ingresos anuales, también mejora la calidad del papel blanco que se produce, siendo una ventaja competitiva con aquellas fábricas que sólo seleccionan la materia prima, sin olvidar que la planta de destintado se da un tratamiento de limpieza. La planta de destintado no sólo brinda mejoras a la planta de fabricación de papel, sino que también a la planta transformadora debido a que se puede producir productos (papel higiénico y servilletas) de mejor blancura y con mayor calidad.

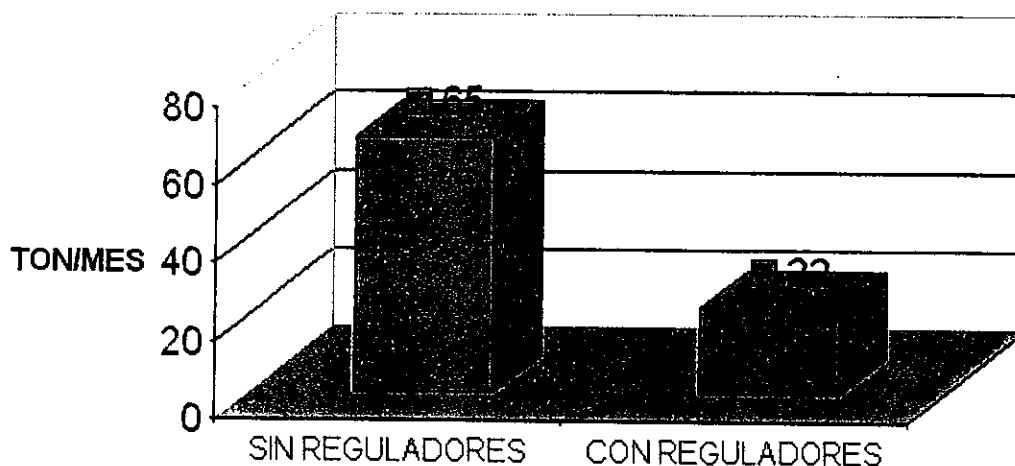
## B. Reguladores de Consistencia

Los reguladores de consistencia son el arma principal para poder mantener el gramaje en el papel fabricado, principalmente si se utiliza materia prima reciclada. El mantenimiento de un gramaje constante brinda varias ventajas, como por ejemplo:

- Gramaje constante en las bobinas de papel producidas.
- Consumo constante de pasta para producir el papel.
- Eliminación del producto rechazado por variaciones de gramaje.
- Al eliminar los rechazos (costo de la no calidad) se tiene como resultado un aumento en la transformación.
- Aumento de las toneladas de papel transformado.

Gráfica No.4

### DEVOLUCION MENSUAL DE PAPEL SUAVE POR VARIACIONES DE CALIDAD



Gráfica No.4

Con la utilización de reguladores de consistencia las devoluciones mensuales descienden considerablemente, en este caso la disminución fue de un 66%. Por lo tanto las 43 ton de diferencia, se vuelven producción efectiva por parte del molino fabricante de papel. Hay otras razones que aún siguen provocando devoluciones, principalmente el pegamento el cual se analizará más adelante. Es indudable que la calidad de la materia prima utilizada es el factor más relevante para el producto final.

Para poder tener un buen control en la consistencia de la pasta, es necesario colocar dos reguladores en la planta de destintado y a su vez dos reguladores de consistencia antes de que la pasta llegue a la máquina fabricadora de papel. El costo aproximado por cada regulador es de \$ 5,500 y al colocar cuatro, la inversión para poder tener este control es de \$ 22,000. Al colocar reguladores de consistencia, los resultados están directamente enfocados a disminuir el costo de la no calidad que son las devoluciones. En conclusión, es una alternativa que logrará muy buenos resultados.

### C. Control del Pegamento en la Materia Prima

Mucha de la materia prima que se utiliza para la fabricación de papel, se encuentra contaminada de pegamento. Por ejemplo, los libros y guías telefónicas tienen pegamento en el lomo, a su vez hay gran cantidad de revistas que tienen un recubrimiento de látex o barniz. Los problemas de pegamento repercuten directamente en las plantas de transformación, ya que al tener este problema implica paros en la producción lo que implica una disminución de la misma, además de desperdicio. El pegamento después de haber sido

controlado las variaciones de gramaje, es la principal fuente de devoluciones de papel. En muchas ocasiones se adquiere materia prima contaminada con pegamento, debido a que el precio es mucho menor que la que no está contaminada.

Hay dos formas de control de pegamento. Uno es tener mejor cuidado en la selección de materia prima, y la otra es la utilización de químicos para controlarlo (pero no para eliminarlo por completo). Uno de estos químicos que pueden ser adquiridos en el mercado guatemalteco es el ZENIX que tiene un costo por galón arriba de los Q.8.00. Lo más que se puede llegar a consumir de este químico, son 400 galones al mes. Es una inversión pequeña (apenas de Q 3,200 al mes) pero que eliminará en buen porcentaje los costos de la no calidad. Es imposible producir bobinas sin residuos de pegamento debido a la materia prima, pero utilizando este químico, el mismo se puede controlar.

Como se mencionó anteriormente, problemas de pegamento en bobinas en la planta de transformación tiene los siguientes efectos:

- Al presentarse el residuo de pegamento en las bobinas de papel, las mismas al ser desenrolladas, sufren una ruptura, lo que provoca paro seguro en la máquina de transformación.
- Al tener un paro en la producción representa menos producción de rollos de papel higiénico.
- Devolución de papel al molino fabricante de papel.
- Limpieza de la máquina por contaminación de pegamento.

Para las plantas que utilizan papel reciclado, los reguladores de consistencia y el control de pegamento, se vuelven las manos más importantes para poder producir papel de la mejor calidad. Al tener papel de buena calidad, la producción de las plantas de transformación tiene un incremento hasta llegar a su máxima capacidad de producción

Cuadro No.4

MES MARZO		AÑO 2002		
PRODUCCION ESPERADA		13000000		
CAUSA DE LA PERDIDA DE TIEMPO	TIEMPO PERDIDO (MIN)	TIEMPO PERDIDO (DIA)	% DEL TIEMPO PERD	ROLLOS NO PRODUCIDOS
	<b>3168</b>	<b>2.20</b>	<b>44.41%</b>	<b>953,333.3</b>
AGUJEROS	350	0.243	4.91%	105,324.0
PEGAMENTO	1470	1.021	20.61%	442,361.1
AÑADIDURAS	668	0.464	9.36%	201,018.5
ARRUGAS	104	0.072	1.46%	31,296.3
PAPEL PEGADO EN GOFRADO	576	0.400	8.07%	173,333.3
<b>OPERATIVOS</b>	<b>2196</b>	<b>1.525</b>	<b>30.78%</b>	<b>660,833.3</b>
CAMBIO DE BOBINA	788	0.5472	11.05%	237,129.6
ACUMULADOR LLENO	109	0.0757	1.53%	32,800.9
FALTA TUBO	1299	0.9021	18.21%	390,902.7
	<b>656</b>	<b>0.456</b>	<b>9.20%</b>	<b>197,407.4</b>
	<b>848</b>	<b>0.589</b>	<b>11.89%</b>	<b>255,185.1</b>
	<b>266</b>	<b>0.185</b>	<b>3.73%</b>	<b>80,046.31</b>
<b>TOTAL TIEMPO PERDIDO (MIN)</b>	<b>7134</b>	<b>4.9542</b>	<b>100%</b>	<b>2,146,805.51</b>
<b>DIAS DISPONIBLES 30</b>				
<b>TIEMPO PERDIDO EN DIAS 4.954166667</b>				
<b>DIAS UTILIZADOS PARA LA PRODUCCION 25.04583333</b>				
<b>% DE UTILIZACION DE TIEMPO 83%</b>				

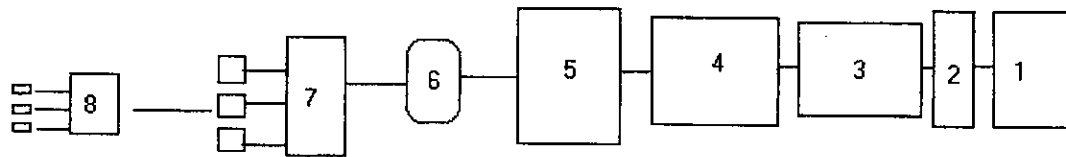
En la estadística anterior se demuestra, que el pegamento es la principal fuente de problemas en las plantas de transformación. En este caso el pegamento representa más del 20% del tiempo que se perdió en el mes de marzo mientras que en rollos equivale a más de 440,000 rollos. Para no sólo hablar en términos operativos los problemas de pegamento equivalen a más de Q 500,000. Por lo tanto se vuelve de urgencia para las plantas que utilizan papel reciclado controlar adecuadamente el pegamento en las bobinas que producen.

#### D. Transformaciones en las bobinas de papel para producción de servilletas

Este tipo de transformación se realiza en la planta de fabricación de papel en donde se hizo el estudio. El proceso será el de transformar las bobinas. La secuencia de este es el siguiente:

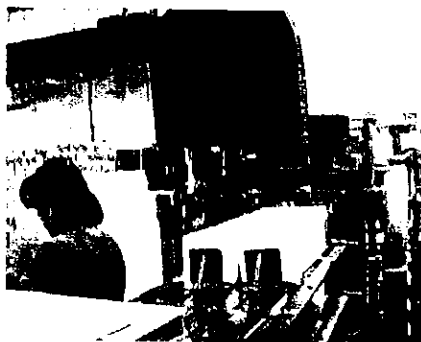
- Fabricación del papel para servilletas
- Se obtienen bobinas de ancho 80" . Estas bobinas tienen un peso de más 1 toneladas
- Las bobinas de ancho 80" son cortadas a dos bobinas de ancho 29 ¼" y una bobina de 20 ¼"
- Después de este corte queda un desperdicio de ancho 1 ¼" (aproximadamente 30 libras)
- Pero el proceso tiene otra etapa que realmente solo le sirve a la Planta de Transformación, que es la de cortar nuevamente esas bobinas. Aquí se obtienen seis bobinas de 9 ¾" y tres bobinas de 6 ¾".
- Seguidamente las bobinas son empacadas e identificadas
- Las bobinas son colocadas en la bodega de producto terminado
- Las bobinas son trasladadas a la Planta de Transformación
- Las bobinas son recibidas en la Planta de Transformación y son ingresadas en la bodega de insumos
- Las bobinas son requeridas a la bodega de insumos, y las mismas inmediatamente son colocadas en las cercanías de la máquina de transformación de papel.
- Se colocan tres bobinas en el desenrollador de la máquina (ya que se tienen tres desenrolladores a efecto de producir tres carriles de servilleta)
- Las servilletas son empacadas en bolsas con impresión de la marca que se esté produciendo y la cantidad de servilletas según la presentación (pueden ser paquetes de 100, 300 y 500 servilletas)
- Ya cuando se hayan empacado un número determinado de paquetes, los mismos son enfardelados (pueden ser fardos de 10 paquetes, de 15 paquetes o 6 paquetes)
- Al haber producido 60 fardos, los mismos son trasladados a la bodega de producto terminado, pero estos previamente debieron haber sido entarimados

Esquema No.4  
Transformación de bobinas para servilleta



1. Refinamiento de pasta
2. Caja de formación del papel
3. Eliminación de agua
4. Secado de la hoja por medio de vapor
5. Enrollado de bobina
6. Bobina de higiénico o servilleta
7. Transformación de bobinas (de 80" a 2 de 29.25" y 1 de 20.25")
8. Transformación de bobinas (de 29.25" a 3 de 9.75", de 20.25" a 3 de 6.75")

Este proceso tiene varias partes que no están beneficiando al producto final. Principalmente en las transformaciones que recibe el papel y para ser más específicos, cuando pasa al sector de corte de bobinas de 9  $\frac{3}{4}$ " y 6  $\frac{3}{4}$ ". Este sólo incrementa el tiempo, le quita resistencia al papel por tener demasiado estiramientos. Pero hay que tomar como razón primordial la maquinaria sumamente vieja que tiene la planta de transformación, por eso no se debe descartar una mejor posibilidad para mejorar el procesos. Pero no sólo mejorarlo en tiempo, sino que también en calidad de papel.



En esta fotografía aparece el detalle de la producción de servilletas. Se puede observar lo rudimentario de la maquinaria. Aquí se tiene la servilleta doblada, y la misma se encuentra lista para empaque.

Fotografía 12



En estos desenrolladores son colocadas las bobinas. Para poder colocarlas se necesitan a dos operadores (el peso aprox. Por bobina es de 105 libras). Las bobinas que se tienen en esta fotografía son de 9  $\frac{3}{4}$ "

Fotografía 13



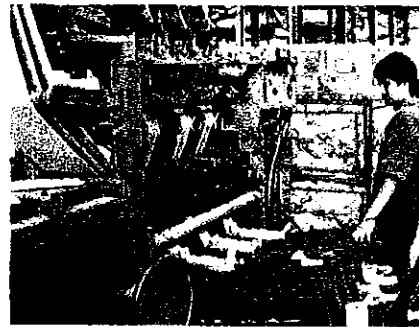
En esta parte de la servilletera se tiene la sección de gofrado (grabado) y el dobles de la servilleta, para después pasar al empaque. Estas máquinas son aproximadamente del año 1,947  
Fotografía 14



Estas son las bobinas de servilleta de 29 1/4", las cuales todavía tienen que pasar a ser cortadas a 9 3/4". La propuesta es trabajar con este tipo de bobinas.  
Fotografía 15



Después de cortar las bobinas de 29 1/4", se obtienen este tipo de bobinas que son de 9 3/4", las cuales se están utilizando en la actualidad  
Fotografía 16



Servilletera que produce servilletas para hospital, utilizada principalmente por dentistas  
Fotografía 17

1. Argumento proacción y visión para el rediseño del proceso. El proceso de Fabricación de papel para servilletas y Transformación del papel a servilletas es uno de los procesos a los que no se le ha brindado la importancia que necesita en las papeleras centroamericanas. La servilleta es un producto comúnmente utilizado, al que no se le pone mucha importancia, pero cuando hace falta se trata de conseguir de cualquier forma.

#### a. Análisis del rediseño

1) Tipo de proceso: El mismo es de tipo operativo, ya que añade valor y produce un bien.

## 2) Proacción para el rediseño del proceso

a) Eliminar la sección de transformación de bobinas de  $9 \frac{3}{4}$ " y  $6 \frac{3}{4}$ ". Y dejar únicamente la transformación de bobinas de  $29 \frac{1}{4}$ " y de  $20 \frac{1}{4}$ ".

b) Planificación, cotización y construcción de desenrolladores que permiten utilizar las bobinas de  $29 \frac{1}{4}$ " y  $20 \frac{1}{4}$ ", los mismos pueden ser construidos en la propia planta. Se tienen algunos diseños que puedan funcionar.

c) Formación del equipo de trabajo encargado de la construcción e implementación del proceso rediseñado.

d) Compromiso de la alta gerencia para poder brindar los recursos necesarios para poder realizar el proyecto

## 3) Visión del proceso rediseñado

a) Aumentar la productividad en más de un 40%, por medio de menos pérdida de tiempo en operaciones innecesarias que no agreguen valor.

b) Automatización del proceso de transformación

c) Eliminación del desperdicio en más del 50%

d) Utilización del personal operativo en la transformación de bobinas pequeñas en procesos más importantes en el molino de papel

e) Mejorar la calidad de papel a efecto de aumentar la productividad y la calidad de nuestra servilleta

## 4) Rediseño

a) **Solución:** Eliminación de la transformación de bobinas de  $9 \frac{3}{4}$ " y  $6 \frac{3}{4}$ ". Y buscando la automatización de la transformación por medio de desenrolladores más modernos que permitan utilizar bobinas de  $29 \frac{1}{4}$ " y  $20 \frac{1}{4}$ ", los cuales pueden ser diseñados y construidos en el extranjero o enfocarlo como proyecto directo de la planta de transformación.

2. Análisis de la forma en que la tecnología puede influir en el rediseño. La tecnología influirá directamente y será la herramienta más importante para poner en marcha el nuevo proceso. A la maquinaria de fabricación es bastante difícil y costoso realizarle cambios para aumentarle velocidad. Pero esos cambios no transformarían el proceso, por lo que se tiene que pensar en la elaboración de servilletas en la Planta de Transformación. Para lograr un cambio radical en la transformación se debe invertir en la compra o fabricación de una maquina que permita desenrollar las bobinas de ancho  $29 \frac{1}{4}$ " o de  $20 \frac{1}{4}$ " y que se flexible para utilizar bobinas más grandes y de más diámetro. Pero también debe de tener la función de corte de la bobina en tres filas para poder producir la servilleta al ancho que se quiera vender.

## E. Costo estándar del proceso de fabricación y transformación de papeles suaves

### 1. Costo estándar de fabricación de papeles suaves (papel higiénico blanco 20 g/m<sup>2</sup>)

#### a. Fabricación de pasta

PROCESO INVOLUCRADO EN LA FABRICACION:

**FABRICACION DE PASTA**

COSTOS DE LA FABRICACION DE PASTA

COSTOS DE LA FABRICACION DE PASTA	
<b>GASTOS FIJOS</b>	
MANO DE OBRA	Q31,523.19
<b>GASTOS VARIABLES</b>	
MATERIA PRIMA (PACAS)	Q2,944,326.86
QUIMICOS PARA DESTINTADO	Q385,137.41
AGUA	Q9,906.74
	<b>Q3,370,894.19</b>

TON/H  
HORAS  
TON. PRODU.

TON DE PAPEL PRODUCIDA

Para la fabricación de pasta el factor más relevante es la materia prima, la cual puede tener variaciones según la calidad de la materia prima que se utilice.

#### b. Proceso de destintado

PROCESO INVOLUCRADO EN LA FABRICACION:

**PROCESO D**

DESTINTADO

DESTINTADO	
<b>GASTOS FIJOS</b>	
MANO DE OBRA	Q156,773.74
<b>GASTOS VARIABLES</b>	
ENERGIA ELECTRICA	Q471,954.60
REPUESTOS	Q18,815.83
	<b>Q646,544.16</b>

TON/H  
HORAS  
TON. PRODU

El factor más importante en el proceso de destintado es el consumo de energía eléctrica.

## c. Generación de vapor

PROCESO INVOLUCRADO EN LA FABRICACION:

PRODUCCION DE VAPOR

COSTOS DEL VAPOR

COSTOS DEL VAPOR	
<b>GASTOS FIJOS</b>	
MANO DE OBRA	Q7,936.38
INVERSION	Q42,825.00
<b>GASTOS VARIABLES</b>	
BUNKER	Q694,642.52
ENERGIA ELECTRICA	Q111,809.65
QUIMICOS TRAT. INTERNO Y PROPANO	Q15,154.56
DESMINERALIZADOR	Q83,277.44
SUAVIZADOR	Q0.00
MANTENIMIENTO	Q7,425.00
	<b>Q963,070.55</b>

/1000 LIBRAS DE VAPOR

El gasto que más afecta en el costo de generación de vapor, es el bunker. El vapor es importante para la producción de papel debido a que es el factor que forma la hoja de papel, y si este vapor no se genera, el secado de la pasta es imposible, y por lo tanto no se puede producir papel.

## d. Fabricación de papel

PROCESO INVOLUCRADO EN LA FABRICACION:

PROCESO DE FABRICA

FABRICACION DE BLANCO UNA HOJA ANCHO 93 MAQUINA 3

TON/H  
HORAS  
TONL. PRODU.

COSTOS DE FABRICACION	
<b>GASTOS FIJOS</b>	
MANO DE OBRA	Q183,402.60
<b>GASTOS VARIABLES</b>	
QUIMICOS UTILIZADOS EN PROCESO	Q24,529.18
ENERGIA ELECTRICA	Q838,398.60
VAPOR UTILIZADO EN FABRICACION	Q784,577.26
REPUESTOS	Q115,628.33
COMBUSTIBLE	Q539,809.92
	<b>Q2,486,345.90</b>

Este es el costo de la máquina fabricadora de papel, simple y sencillamente la energía eléctrica es el factor más influyente el mismo asciende a más de Q. 600,000. Para poder tener un costo bajo es necesario tener una productividad elevada, buscando la mayor capacidad de producción.

RESUMEN DE COSTOS DE FABRICACION	
COSTOS DE FABRICACION	
COSTOS DE FABRICACION	
COSTOS DE FABRICACION	

FABRICACION DE PASTA	Q3,370,894.19
DESTINTADO	Q646,544.16
FABRICACION DE PAPEL	Q2,258,024.35
MANTENIMIENTO	Q23,077.40
REPUESTOS	Q63,529.66
GASTOS BODEGA	Q7,620.29
GASTOS CONTROL CALIDAD	Q6,758.25
GASTOS ADMINISTRATIVOS	Q131,798.57
GRAN TOTAL	Q6,508,246.88
COSTO TONELADA EN Q.	Q5,676.88
COSTO TONELADA EN \$.	\$ 706.96
COSTO POR LIBRAS EN Q.	Q2.84

TASA DE CAMBIO Q8.03

Este es el resumen del costo del papel higiénico blanco (20g/m<sup>2</sup>) en donde la fabricación de pasta es el factor más influyente. En la fabricación de pasta interviene directamente la materia prima (pacas de papel reciclado). A su vez la fabricación de papel también incrementa el costo provocado principalmente por la energía eléctrica utilizada por la máquina fabricadora de papel. En tercer plano aparece la planta de destintado en donde también la energía eléctrica interviene considerablemente.

## 2. Costo estándar de transformación de papeles suaves (papel higiénico blanco 20 g/m<sup>2</sup>)

### PROCESO INVOLUCRADO EN LA TRANSFORMACION:

#### TRANSFORMACION DE HIGIENICO EN LINEA AUTOMATICA

<b>GASTOS FIJOS</b>	
MANO DE OBRA	Q192,514.04
<b>GASTOS VARIABLES</b>	
ENERGIA ELECTRICA	Q94,741.38
PEGAMENTO DE TRANSFERENCIA	Q62,058.50
PEGAMENTO DE COLA	Q8,260.15
PEGAMENTO DE TUBO	Q21,790.40
CARTON CHIP PARA TUBO	Q184,071.75
MANTENIMIENTO	Q18,576.69
REPUESTOS	Q43,436.65
TOTAL	Q622,443.52

### PROCESO DE TRANSFORMACION DE PAPEL

ROLLOS PRODUCIDOS	16854022
ROLLOS MAQUINA PERMI	11385134
% DE PRODUCCION	0.675514367
TON. PAPEL UTILIZA.	602.6888517

En el proceso de transformación, el cartón chip para tubo es el gasto que más afecta en el costo de una planta de transformación. Sin no se tiene el tubo para el rollo de papel higiénico, simple y sencillamente no se puede convertir la materia prima. Los costos de fabricación y transformación deben considerarse individualmente, para poder realizar comparaciones y trabajar directamente con el proceso que realmente incrementa el costo de producción general.

**PROCESO INVOLUCRADO EN LA TRANSFORMACION:**

**FABRICACION DE HIGIENICO**

<b>COSTO INVOLUCRADO</b>	<b>COSTO</b>
<b>GASTOS CONVERSION</b>	Q622,449.52
<b>INSUMOS</b>	
BOLSAS PARA FARDO	Q128,760.36
BOLSAS PARA EMPAQUE	Q273,152.03
LIENZO PARA EMPAQUE	Q293,019.89
EMPAQUE INDIVIDUAL	Q124,827.79
<b>GASTOS ADMINISTRATIVOS</b>	Q0.00
	Q0.00
	Q0.00
	Q0.00
<b>TOTAL</b>	<b>Q1,442,209.58</b>

**PROCESO DE TRANSFORMACION DE PAPEL**

ROLLOS PRODUCIDOS 16854022

TON. PAPEL UTILIZA. 892.1925

**TOTAL Q0.0856 /POR ROLLO DE PAPEL**

**Q1,616.48 /POR TONELADA DE PAPEL CONVERTIDA**  
**\$201.30**

El costo anterior incluye el proceso de transformación como también todos los insumos necesarios para el empaque de los productos que se deseen producir

## VI. CONCLUSIONES

- a. En las plantas de fabricación de papel que utilizan como materia prima papel reciclado es necesario tener reguladores de consistencia que permitan mantener un gramaje constante. Al mantener este factor con poca variación, las plantas de transformación aumentan su productividad ya que pueden adaptar las máquinas convertidoras a un tipo estándar de papel.
- b. Las principales razones de rechazo de papeles suaves son las variaciones de gramaje y papel contaminado con pegamento. Principalmente el pegamento.
- c. Realizar la inversión de una planta de destintado brinda grandes beneficios, como lo son: aumento en la productividad, ahorro en la obtención de la materia prima, mejor calidad en el papel producido y mejor calidad para la planta de transformación.
- d. Con lo que respecta a los aspectos técnicos del papel, la relación de esfuerzo-deformación en el papel se afecta notablemente por el contenido de humedad. La elongación bajo el esfuerzo previo a la ruptura se incrementa bastante al aumentar el contenido de humedad, en tanto que la resistencia a la tensión se reduce.
- e. La industria del papel de desperdicio utiliza una cantidad mucho menor de papel de la que producen cada año las fábricas de papel. Aproximadamente dos terceras partes de todo el papel y cartón producidos se destruyen. Gran parte de este papel se contamina o se modifica mediante operaciones de conversión e impresión.
- f. El papel de desperdicio es un material sustituto de la pulpa de madera. En los grados más altos de calidad de papel, el desperdicio sustituye cantidades variables de pulpa virgen. Esta sustitución está gobernada por la naturaleza del desperdicio, las propiedades deseadas en la hoja final, y el costo del desperdicio en relación con el de la pulpa virgen.
- g. La importancia del papel y de los productos papeleros en la vida moderna es obvia. No hay ningún producto manufacturado que tenga un papel tan importante en cualquier área de la actividad humana. El papel constituye el medio para guardar, almacenar y difundir información. La mayor parte de la impresión y escritura se hacen en papel. Es el material de envase y embalaje más ampliamente utilizado.
- h. El mercado guatemalteco es de alta competitividad con la entrada de productos extranjeros, por lo tanto se vuelve indispensable el aumento de la producción. Buscando una estrategia que tenga alcance, bajo costo y diferenciación por medio de la calidad para poder ser competitivo en cualquier momento.

## VII. RECOMENDACIONES

- a. Es conveniente que exista una total cooperación entre los consumidores de papel y sus abastecedores, especialmente en el caso de papel para destintado. Si el comerciante en desperdicio comprende los problemas de las fábricas consumidoras, puede recomendar la calidad correcta y producir en su planta paquetes especiales para satisfacer las necesidades especiales de sus consumidores.
- b. En el proceso de destintado se recomienda recircular al desfibrador la primera agua del ciclo de lavado, con esto se puede conseguir un ahorro definitivo de agua, calor y reactivos. Dicho ahorro puede ser hasta del 40% en vapor .
- c. Es conveniente crear un buen sistema de control de calidad tanto en los molinos como en las plantas de transformación. Un sistema que busque el aseguramiento de la calidad, formando un buen grupo de trabajo dirigido por un líder que se vuelva dueño del proceso. El mismo debe de fijar todas las variables que influyan en la fabricación y transformación algunas de estas pueden ser: gramaje, humedad, calibre, resistencia a la tensión, blancura, contaminación de pegamento, elongación, etc. (todas estas para molinos fabricantes de papel). Mientras que para plantas de transformación, éstas pueden ser: altura del rollo, corte del rollo, cantidad de hojas, diámetro, peso del rollo, largo de la hoja, calidad del tubo, empacado, enfardelado, etc.
- d. Se aconseja tener un control estricto de la contaminación del pegamento en las bobinas de papel, ya que no sólo generan devoluciones por mala calidad, sino que también una baja considerable en la producción de las plantas transformadoras.
- e. Se recomienda realizar la inversión de una planta de destintado para los molinos fabricantes de papel. Los resultados que se obtienen son considerablemente buenos a efecto de aumentar la producción, y también se vuelve una ventaja competitiva a favor del molino que realizar la inversión.