

50521
24



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES "ZARAGOZA"

ANÁLISIS DEL ENCOLADO ÁCIDO Y ALCALINO EN LA PRODUCCIÓN DEL
PAPEL

T E S I S

PARA OBTENER EL TÍTULO DE :

INGENIERO QUÍMICO

PRESENTAN:

GODÍNEZ ARENCIBIA ALINE
MARTÍNEZ HERNÁNDEZ MIGUEL ANGEL

ASESOR DE TESIS:

I.Q. MARTHA FLORES BECERRIL.

MÉXICO D.F.

FEBRERO 2003

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

A



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



**FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES ZARAGOZA**

**JEFATURA DE LA CARRERA
DE INGENIERIA QUIMICA**

OFICIO: FESZ/JCIQ/511/02

ASUNTO: Asignación de Jurado

ALUMINO: MARTINEZ HERNANDEZ MIGUEL ANGEL
Presente.

En respuesta a su solicitud de asignación de jurado, la jefatura a mi cargo, ha propuesto a los siguientes sinodales:

Presidente:	I.Q. Francisco J. Mandujano Ortiz
Vocal:	I.Q. Martha Flores Becerril
Secretario:	M. en C. Gloria Peralta Otañez
Suplente:	I.Q. Raúl Ramón Mora Hernández
Suplente:	Q.F.I. Ma. Del Carmen Niño de Rivera Oyarzabal

Sin más por el momento, reciba un cordial saludo.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
México, D. F., 23 de Octubre de 2002

EL JEFE DE LA CARRERA

M. en C. ANDRES AQUINO CANCHOLA

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



**FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES ZARAGOZA**

**JEFATURA DE LA CARRERA
DE INGENIERIA QUIMICA**

OFICIO: FESZ/JCIQ/510/02

ASUNTO: Asignación de Jurado

ALUMNA: GODINEZ ARENCIBIA ALINE
P r e s e n t e.

En respuesta a su solicitud de asignación de jurado, la jefatura a mi cargo, ha propuesto a los siguientes sinodales:

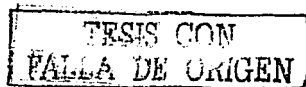
Presidente:	I.Q. Francisco J. Mandujano Ortiz
Vocal:	I.Q. Martha Flores Becerril
Secretario:	M. en C. Gloria Peralta Otañez
Suplente:	I.Q. Raúl Ramón Mora Hernández
Suplente:	Q.F.I. Ma. Del Carmen Niño de Rivera Oyarzabal

Sin más por el momento, reciba un cordial saludo.

A t e n t a m e n t e
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
México, D. F., 23 de Octubre de 2002

EL JEFE DE LA CARRERA

M. en C. ANDRES AQUINO CANCHOLA



C

AGRADECIMIENTOS

ALFME

A MIS PADRES

POR TODO EL CARIÑO QUE ME HAN
BRINDADO Y GRACIAS A SU
APOYO HE LOGRADO CUMPLIR LAS
METAS QUE ME HE PROPUERTO EN
CADA ETAPA DE MI VIDA.

A MIS HERMANOS

CADA UNO DE USTEDES SON MI
ORGULLO Y EJEMPLO A SEGUIR.

A MI ESposa

RESO AL CIELO PARA QUE ME DEJE
VERSE LIBRE DE LOS ANGELOS MAS
QUE YO.

A MI ESPOSO

GRACIAS POR SU APOYO Y POR
COMPLEMENTAR MI VIDA.

A MI UNIVERSIDAD

POR QUE ME PERMISIERO VIVIR LOS
MOMENTOS MAS INOLVIDABLES DE
MI VIDA Y POR PONER EN MI
CAMINO A LOS MEJORES
MAESTROS.

A BRUNO, GISELLA Y
DANIELA

GRACIAS POR SER MIS AMIGOS

0

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ASRADA GIMENOS

MISOS ANOS.

A MIS PADRES

*POR BRINDARME SU APOYO
INCONDICIONAL EN CADA
MOMENTO*

A MIS HERMANOS

*POR SU CARINO Y PORRE TODO
PORQUE SIEMPRE PUEDO CONTAR
CON ELLOS*

A MI FAMILIA ESTOJA

*PARA QUE ESTE SEA EL PRINCIPIO
DE MUCHOS DIAS COMPARTIDOS*

A MIS AMIGOS

*POR TODOS LOS MOMENTOS
ASISTENTES QUE PASAMOS*

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

INDICE

INTRODUCCIÓN

Objetivos	2
Procedimiento	3
Alcance de la investigación	4
Planteamiento del problema	4

Capítulo I PAPEL

I.1 Reseña histórica del papel y encolado	5
I.2 Proceso de obtención de celulosa	9
I.3 Recuperación	10
I.4 Definición de papel y cartón	11
I.5 Tipos de fibras celulósicas	11
I.6 Tipos de cargas minerales	12
I.7 Otros productos químicos	13

Capítulo II. ENCOLADO.

II.1 Industrias consumidoras de papel	14
II.2 Concepto de encolado	15
II.3 Tipos de encolado	16
II.3.1 Desfibrado	
II.3.2 Refinado	
II.3.3 Mezclado	
II.3.4 Formación de la hoja	
II.3.5 Prensado	
II.3.6 Secado	
II.3.7 Encolado	
II.3.8 Secado	
II.3.9 Calandrado	
II.3.10 Embobinado	
II.4 Prensa de encolado	18
II.5 Métodos para medir el encolado	20
II.5.1 Ondulación Carson	22
II.5.2 Prueba del indicador seco	23
II.5.3 Prueba de fluorescencia	23
II.5.4 Prueba de Stockigt	24
II.5.5 Prueba eléctrica KBB	24
II.5.6 Flotación de tinta	25
II.5.7 Probador Hercules	26

II.5.2 Prueba de absorbencia	
II.5.2.1 Prueba de ruptura en húmedo	28
II.5.2.2 Prueba de Cobb	29
II.5.3 Prueba de superficie	
II.5.3.1 Angulo de contacto	30
II.5.3.2 Prueba de la gota	30
Capítulo III TEORIA DE PENETRACIÓN DE LÍQUIDOS EN UN CAPILAR	
III.1 Ley de Jurin	34
III.2 Ecuación de Lucas Washburn	35
III.3 Modelo de Lucas Washburn	37
III.4 Comportamiento del agua y disoluciones acuosas	38
Capítulo IV RANGOS ÁCIDO Y ALCALINO DEL ENCOLADO	
IV.1 Rangos del Ph donde se efectúa el encolado interno	40
IV.2 Rango ácido	41
IV.3 Química del Aluminio	41
IV.4 Química de la Brea	46
IV.5 Acción del resinato sódico	51
IV.6 Necesidad teorica de Brea	57
IV.7 Resultados de laboratorio en el rango ácido	60
IV.8 Rango alcalino	63
IV.9 Química del AKD	63
IV.10 Resultados del laboratorio rango alcalino	65
IV.11 Comparación rango ácido Vs. Alcalino	68
IV.11.1 Kgs/Ton de fibra Vs. encolado	68
IV.11.2 % de carga Vs. encolado	69
IV.11.3 Tiempo de contacto Vs. encolado	70
IV.11.4 Blancura Vs. % de carga	70
IV.11.5 Tensión Vs. carga (resistencia)	71
IV.11.6 Costo alcalino Vs ácido	71
CONCLUSIONES	74
BIBLIOGRAFIA	76

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ACRÓNIMOS

AKD:	Dímero de Alquiceteno.
ASA	Anhidrido Succínico.
ATCP:	Asociación de Técnicos de la Celulosa y el Papel.
HST	Hercules Sizing Test (Probador Hercules de Encolado)
IR	Índice de Refracción.
PIPSA	Productora e Importadora de Papel S.A.
PVA	Alcohol Polivinílico.
TAPPI	Technical Association of the Pulp and Paper Industries. (Asociación Técnica en la industria de Pulpa y Papel)
TWA	Prueba para medir la capacidad de absorción.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación se basa en el estudio comparativo de los métodos de encolado, el cual se define como un proceso que se emplea en la industria de fabricación de papel y cartón cuyo fin es aumentar la resistencia a la penetración de líquido, cuando se pone en contacto una gota sobre el papel comienza esta a penetrar dentro de la estructura fibrosa y a ocupar los espacios que existen entre las fibras cuando se deposita una gota de líquido sobre la superficie del papel, esta puede acomodarse dependiendo del grado de encolado con el que fue fabricado. Un ángulo de contacto menor de 90° es un papel con encolado bajo, un ángulo de contacto proximo a cero corresponde a un papel sin encolado, un ángulo de contacto mayor de 90° es un papel con encolado alto, no hay penetración del líquido o existe poca penetración, a menos que se aplique una presión externa para forzar al líquido que entre hacia los poros.

Las pruebas de laboratorio fueron realizadas en la planta San Rafael perteneciente al grupo Crisoba donde se fabrican aproximadamente 500 tipos de papel con grados de encolado diferentes. Por último se hicieron pruebas de laboratorio, que fueron evaluadas desde el punto de vista técnico-económico.

OBJETIVOS:

1. Conocer la historia de la fabricación del papel en nuestro país, y los métodos para evaluar el encolado.
2. Valorar las ventajas físicas y económicas de fabricar el papel por los diferentes métodos de encolado.
3. Conocer las ventajas del diseño de acuerdo a los requerimientos del grado de encolado. A través de los mecanismos y reacciones que ocurren al encolar el papel, con los diferentes productos químicos disponibles en el mercado nacional.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

PROCEDIMIENTO

1. En el desarrollo de este trabajo, se empleó el método científico para efectuar el presente documento.
2. Recopilación de información en diferentes plantas donde se fabrica el papel, con el fin de establecer la historia para el desarrollo de los capítulos 1, 2 y 3.
3. Recopilación de información técnica de los diferentes productos químicos, tanto para encolado ácido como encolado alcalino, esta información fue pedida a los fabricantes de los productos, una vez obtenida, se tomó, de ella la parte técnica, eliminándole la parte comercial.
4. Selección de los productos para la realización de las pruebas de encolado, tomando como base los existentes en el mercado nacional y que son fabricados en México, pues en la información técnica se hace mención de variedades de productos que no son disponibles en el país por ser de importación.
5. Selección de los métodos más comunes de evaluar el encolado dentro de la industria mexicana del papel. Esta selección se realizó después de obtener un censo en la industria, donde se encontraron los más diversos métodos para evaluarlo, el método seleccionado fue el más técnico, con instrumentos de medición, eliminando los más empíricos, aunque algunos de estos son muy prácticos y económicos.
6. Pruebas de laboratorio, estas fueron realizadas en la Planta San Rafael, perteneciente al Grupo Crisoba, donde se fabrican aproximadamente 500 tipos de papel con diferentes grados de encolado, tanto en el rango ácido como el alcalino.

Como punto final del procedimiento utilizado en el desarrollo, se hace mención de la tendencia para desarrollar el encolado en el papel, el cual se está comenzando a llevar a cabo en la sección de la prensa de encolado de la máquina formadora de papel.

TRABAJO CON
FALTA DE ORIGEN

ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

Los resultados obtenidos de este trabajo son técnico-económicos y estarán encaminados para:

1. Conocer las ventajas físicas de un papel que sea fabricado en rango alcalino o ácido.
2. Comparar estas ventajas físicas y con ellas decidir los nuevos diseños de papeles a ser fabricados.
3. Conocer las ventajas económicas de un papel alcalino vs. un papel ácido y viceversa.
4. Conocer las técnicas y reacciones principales que ocurren en el proceso del encolado.

Los resultados obtenidos del trabajo, este al alcance de compañías fabricantes de papel, cámaras, litógrafos además de que se capacite al personal técnico y obrero en tal proceso

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Con el presente trabajo se pretende establecer una alternativa real al problema que surge en la industria del encolado del papel con los proveedores, ya que manejan según su conveniencia la información técnica de materiales de encolado sin demostrar de forma clara el medio de fabricación del mismo. Por lo que se realizó un estudio que pretender ser uno de los más adecuados para los métodos de encolado que existen (rango ácido y alcalino), y puedan ser manejados por el fabricante del papel de una forma acorde con sus necesidades, tomando como base el presente documento para realizar cualquier selección.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPITULO I

PAPEL

I.1 RESEÑA HISTORICA DEL PAPEL Y ENCOLADO.

La invención del papel fue un descubrimiento chino, (en la zona de Pekín-Tiensin) a fines del Siglo I D.C., permaneciendo durante siglos sin expandirse su técnica y conocimiento.

En el Siglo VII D.C., el papel fue conocido en la zona del desierto del Gobi, en lo que hoy es Mongolia, posteriormente pasó a ser conocido en Samarcanda localizado en Usbekistan en el año de 751 D.C.

El papel tiene aproximadamente 751 años de ser descubierto y se tiene conocimiento de que llega a Medio Oriente Bagdad (Irak) en el año 793 D.C.¹

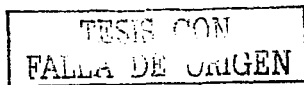
El papel pasó del Medio Oriente al Continente Africano, en Egipto en el año 900 y a Marruecos en el año de 1100.

En el año de 1150 pasa al Continente Europeo donde sufre un rápido desplazamiento en su técnica y conocimiento de fabricarlo, empezando por Jativa (1150), Herault (1189), Montefrano (1276), Colonia (1320) y Nüremberg (1391)

En el año de 1150, el papel es conocido en España y fue en el año de 1492 cuando éste llegó al Continente Americano con el descubrimiento de América.

Sin embargo, ya antes de 1580 había en Culhuacán, D.F. anexo al monasterio, un "batán en el que se hacía papel" siendo el primero en toda América, ignorándose cuándo cesó, su actividad. La aseveración de aquellos viajeros llevó a los historiadores a la consulta de archivos y numerosos documentos, en busca de mayor información, logrando confirmar que operaban dos molinos o batanes papeleros: el de Aparicio (1618) - posteriormente denominado "Rancho el Molino del Papel"-, en Magdalena Contreras, D.F., que estuvo en actividad ocasional hasta aproximadamente mediados del Siglo XIX y el de "Miraflores-Loreto" (entre 1640 y 1657), en San Angel, D.F., (aún existente como fábrica de papel (1960)).

¹ LOS CONTROLES DE LA FABRICACION DEL PAPEL.



Fray Juan de Zumárraga solicitó se enviara un molino de papel a la Nueva España, pero su pedimento no fue atendido. Sólo logró, introducir las primeras imprentas del continente americano: una, tal vez experimental (1534), a cargo de Esteban Martín; la otra, definitiva; en 1539, con Juan Pablo como maestro impresor.

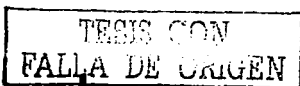
Relativamente pocas obras, la mayoría de indole religioso llegaron a publicarse; ya que escaseaba el papel debido a que las remesas de España se efectuaban irregularmente. La mayor parte de los libros provinieron de la Melrópoli, que también monopolizaba esa rama. Pero todos ellos invariablemente, estaban sujetos a una estricta censura por la Santa Inquisición. Esta rechazaba, amen de imponer severísimas penas o bien modificaba todo texto, aún en escritos que según su criterio contuviesen ideologías contrarias a la fe cristiana. Esas censuras prevalecieron durante 250 años

En 1825, Don Manuel Zozaya instaló en el antiguo molino de Loreto la primera máquina de papel del México independiente. No fue sino hasta octubre de 1830, cuando gobernaba el país el General Anastasio Bustamante, que a iniciativa de su ministro de Relaciones, Lucas Alamán, se constituyó el Banco de Avio para el Fomento Industrial, siendo su objetivo promover la edificación, entre otras, de fabricas textiles de algodón, así como las de papel.

En cuanto a estas últimas, en 1831 Lucas Alamán procedió a ordenar a Estados Unidos dos fábricas completas, más ignoraba donde instalarlas; por lo cual permanecieron almacenadas durante años. Presentándose varios interesados, pero desconocedores de aquella industria, que, además, carecían de recursos económicos para garantizar los créditos que, al respecto, el Banco debería otorgar.

No fue sino hasta seis o siete años después, cuando dichas fábricas de reducida capacidad y ya obsoletas, pudieron entrar en operación: una en el Hospicio de Pobres, en la ciudad de Puebla la otra en Cocolapan, Estado de Veracruz, en la empresa constituida por el propio don Lucas.

Además de Loreto, habían iniciado sus actividades: La Constanca, en Tapalpa y El Batán, en Alemajac, ambas en el estado de Jalisco; Belén, Peña Pobre y Santa Teresa, en el Distrito Federal; Cocolapan, en el estado de Veracruz y la Beneficencia Pública, en la ciudad de Puebla. Belén instaló la primera máquina continua con un cilindro formador y tres secadores; La Beneficencia, también la primera de mesa plana con cinco secadores, siendo ésta la de mayor capacidad. Del resto de aquellas fábricas se carece de información relativa al tipo de sus máquinas de papel; únicamente se concretaron a reportar el número de molinetes de que disponían, de acuerdo con el impuesto anual de 100 pesos por cada uno que tenían que pagar al fisco.



Poco tiempo después de que La Beneficencia Pública y Belén habían iniciado la elaboración de papeles para imprenta (1845), fueron acusadas por los impresores de haber constituido un monopolio en perjuicio de la difusión de la cultura, cargo que había de repetirse periódicamente. Esos ataques a la naciente industria papetera nacional concluyeron casi un siglo después (1935) con la promulgación del decreto federal mediante el cual quedó constituida la Productora e Impartadora de Papel, S. A., conocida por PIPSA.

A excepción de las pequeñas fábricas de papel de Chimalhuacán, Puente Sierra y Puerto Pinto, cuya actividad solo fue de dos o tres años, a partir de 1850 no se tienen noticias relativas a la constitución de otras. Al contrario, produjo un decaimiento de la industria. La Beneficencia suspendió sus labores hacia 1877 y en 1890, también la Constanca Siguierones (alrededor de 1900) tanto Belén como Cocolapan y posteriormente Atemajac y Santa Teresa. Esas paralizaciones se debieron a diversas causas: la muerte del propietario, la venta del establecimiento o de su maquinaria o bien por la aguda escasez del trapo y el equipo ya obsoleto. Solo lograron sobrevivir Loreto y Peña Pobre.

Todas aquellas fábricas empleaban por materia prima el trapo de lino, de cáñamo y de algodón, cuya falta se agudizaba. Ante ello, en una u otra forma, trataron de reducir la escasez vinculando sus operaciones con establecimientos textiles de algodón (La Beneficencia, Cocolapan, Atemajac) a fin de aprovechar los desperdicios o bien instalaron sus propios usos para su hiladura (Belén, Loreto, Peña Pobre), por cada uno de los cuales pagaban tres reales de impuesto anual. Sin embargo, esos desperdicios fueron insuficientes, por lo cual recurrieron en pequeña escala al empleo de las fibras de la penca del maguey, mediante las cuales, aseguraron las dependencias oficiales, las fábricas estarán seguras de nunca carecer de materiales. Hubo quien propuso otras fibras, tales como las de las cortezas de ciertos árboles; del plátano y del trigo; de hierbas y hasta los desechos del asbesto.

En 1890 se inició la era de la madera como materia prima celulósica, al edificarse la fábrica de San Rafael, ésta seguida, hacia 1900, por la de "El Progreso Industrial", que se dedicó a la elaboración de papeles finos y recubiertos.

En 1905 fue modernizada la planta de Loreto. De allí en adelante, hasta 1960 año con el cual se da término a la investigación histórica.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

En la antigüedad los egipcios y los árabes preparaban adecuadamente su material de escritura, el papiro, para ello acostumbraban rellenar con colas vegetales y animales los huecos que quedaban entre las fibras. esta película de cola era elástica y capaz de absorber las tintas utilizadas en la época; de este modo el papiro podía ser escrito sin corrimientos, sin embargo este encolado tenía otros fines como el de reforzar la estructura fibrosa.

Los chinos inventores del papel (en el año 105 D.C.) encolaban la superficie de este descubrimiento que el mundo occidental desconoció aún por mucho tiempo, con almidón, cola animal y caseína y mucho tiempo después (aproximadamente 14 siglos) en Europa se comenzaron a impregnar los pliegos de papel obtenidos a mano en una solución de cola animal y de esta época proviene la palabra ENCOLADO.

De esa manera, sin sufrir cambios en la forma de encolar el papel, transcurrieron los siglos y fue en los inicios del Siglo XIX cuando comenzó la producción mecánica y en forma continua, del papel. Fue tomando más importancia el uso de productos para encolar el papel y a tratar de entender las reacciones posibles que ocurrían y fue en este tiempo donde comenzaron a añadir el sulfato de aluminio junto con las colas animales y vegetales.

En todo el Siglo XIX y las tres cuartas partes del Siglo XX, los agentes encolantes fueron cola vegetal y sulfato de aluminio.

Hacia el año 1806, el ingeniero alemán Moritz Illig, comenzó a desarrollar el encolado interno a base de resina vegetal, demostrando que la resistencia del papel a la penetración podía efectuarse precipitando con alumbre el encolante de resina vegetal (que comenzó, a llamársele brea) sobre las fibras de la celulosa, conforme estas circulaban sobre las pilas de batido para uniformizarlas.

En la misma década del año 1806, fue inventada la máquina de papel y perfeccionada por los hermanos Fordrinier en Inglaterra los que emplearon la técnica del Ing. Moritz Illig, logrando que la fabricación del papel y la manera de encolarlo permaneciera intacta hasta los años de 1970, en que comenzaron a desarrollarse productos sintéticos y a ser consumidos en cantidades importantes. En la actualidad, los productos sintéticos se usan en un 85% a 90% en la industria del papel.

No obstante los adelantos tecnológicos de la industria en el mundo y en México han sufrido una aceleración vertiginosa en todas sus ramas; no quedando atrás el proceso milenario de la fabricación del papel, el cual ha avanzado y tecnificado pasando de ser un arte, a ser una técnica con estudios científicos (químicos, físicos, mecánicos, eléctricos), los cuales lo han impulsado a ser en la actualidad una de las ramas industriales más poderosas mundialmente.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1.2 PROCESO DE OBTENCIÓN DE CELULOSA

Como complemento a la historia del papel, se descubrió el proceso de obtención de la celulosa a partir de la madera, siendo ésta la principal fuente de materia prima para la elaboración de la fibra celulósica (figura 1.1).

La madera se puede recibir en troncos o rajas que tienen que ser convertidos a astilla en un trozador o astillador, las cuales son almacenadas en grandes silos.

De ahí las astillas son alimentadas a los digestores (hervidores), en donde se le agregan reactivos químicos y vapor para su cocción; el cual tiene por objeto extraer la lignina, que es un compuesto orgánico que se encuentra entre las fibras de celulosa y que actúan como cementante.

Después del cocimiento, la celulosa se descarga a un tanque de almacenamiento de donde se bombea a una primera etapa de depuración que tiene por objeto eliminar del proceso astillas grandes que no se cocieron convenientemente.

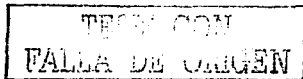
A continuación, la suspensión formada de celulosa y licor negro circula a través del sistema de lavado, éste tiene por objeto separar la celulosa y el licor negro.

El sistema de lavado está compuesto por tres etapas a contracorriente. En la tercera etapa la celulosa se lava con agua caliente limpia. El filtrado de esta etapa se usa para lavar la celulosa en la segunda y a su vez con el filtrado de la segunda etapa se lava la celulosa de la primera y el filtrado de ésta que es licor negro concentrado se envía al proceso de recuperación el cual se describirá más adelante.

La celulosa ya libre de licor negro se depura en una serie de separadores centrífugos y vibratorios; con objeto de eliminar pequeñas astillas mal cocidas, arena y pequeños trozos de corteza. La celulosa que se obtiene hasta este punto se puede enviar a las laminadoras y obtener como producto final celulosa cruda o se puede también continuar el tratamiento de la celulosa a través de la planta de blanqueo.

El blanqueo de la celulosa se puede considerar como una continuación de la digestión, ya que tiene por objeto eliminar la lignina, residual que es el compuesto orgánico que le da el color café a la celulosa cruda.

El blanqueo se efectúa en cinco etapas, que son, de acuerdo al orden en que se aplican los distintos reactivos químicos a la celulosa café:



1°. Tratamiento en cloro o gas. 2°. Extracción alcalina con sosa cáustica. 3°. Primer paso de blanqueo con hipoclorito de calcio. 4°. Segunda extracción alcalina con sosa cáustica. 5°. Segundo paso de blanqueo con hipoclorito de calcio. Al final de esta quinta etapa la celulosa tiene ya el grado de blancura deseado. El equipo usado en el proceso comprende torres de operación continua, filtros rotatorios al vacío además de bombas para manejar suspensiones a alta consistencia, controladores de consistencia y equipos para control de dosificación de reactivos químicos. También se cuenta con una planta de fabricación continua de hipoclorito de calcio.

Después de haber sido blanqueada, la celulosa es sometida a una etapa de depuración en equipos cíclicos con objeto de eliminar pequeñas astillas que no se hayan blanqueado y trozos de corteza. Como un último paso de tratamiento químico, la celulosa blanca se neutraliza con bióxido de azufre para estabilizar su blancura y eliminar cloro residual.

Terminado el tratamiento, la celulosa blanca pasa a las laminadoras en donde se obtienen rollos que son enviados a las fábricas de papel.

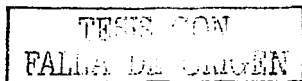
I.3 RECUPERACIÓN

El licor negro que es separado o extraído de la celulosa café es tratado con aire en una torre de platos perforados con el fin de oxidar algunos compuestos olorosos y quitarles esa propiedad. El licor negro oxidado se envía a la planta de evaporación que consta de 7 cuerpos, en donde se concentra el licor negro. El licor negro con aproximadamente 45% de sólidos entra a un disco evaporador que forma parte de la unidad de recuperación, en donde, por contacto con los gases calientes de la misma unidad, se aumenta aún más su contenido de sólidos hasta (aproximadamente 70%).

El licor negro es enviado por medio de bombas de pistón al secador rotativo en donde sigue perdiendo agua hasta llegar completamente seco al homo fundidor o crisol.

Los sólidos orgánicos del licor negro son quemados y el calor producido por la combustión es aprovechado para la generación de vapor en la caldera que forma parte del mismo equipo. Los compuestos inorgánicos del licor negro son recuperados en forma de sales de sodio fundidas, las cuales se reciben en un tanque disolvedor para formar el licor verde.

Los gases de combustión procedentes de la combustión de licor negro pasan por el precipitador electrostático para eliminar completamente el polvo (sulfato de sodio). La eficiencia de este tratamiento es de 99% y en la operación se recuperan diariamente toneladas de sulfato de sodio. Los gases ya tratados son enviados a la atmósfera por medio de la chimenea.



El licor verde obtenido en la unidad de recuperación es tratado con cal viva en un apagador de cal y tres caustificadores. Con este tratamiento, el carbonato de sodio presente en el licor verde es transformado en hidróxido de sodio (sosa cáustica) y se obtiene también en la reacción un sedimento formado por carbonato de calcio. Este último es separado del licor blanco en el tanque asentador, de donde, después de lavarlo, es alimentado al horno de calcinación para regenerar la cal viva (óxido de calcio) que se usa en el proceso.

Como dato complementario a este proceso podemos decir que una tonelada de madera (en tronco descortezado) nos produce entre 400 y 500 Kgs. de celulosa y para fabricar una tonelada de papel se emplean entre 800 y 950 Kgs. de celulosa, siendo la diferencia carbonato de calcio o caolin.

1.4 DEFINICIÓN DE PAPEL Y CARTON

Una hoja de papel o cartón es un material anisótropo, que puede definirse como un velo o fieltro de fibras enmarañada. La hoja de papel está formada por diferentes tipos de fibras celulósicas y por una gran variedad de productos químicos (carga mineral, almidones, colorantes, encolantes).

Entre las fibras y los productos químicos existen finísimos intersticios llenos de aire, de tamaños y configuración variables, es decir, todo un sistema capilar que en unión con la celulosa, que es hidrofílica, dan lugar a la capacidad de absorción del papel y del cartón; la cual es controlada en el proceso del encolado.

1.5 TIPOS DE FIBRAS CELULÓSICAS.

La fibra celulósica es un hidrato de carbono cuya fórmula es $(C_6H_{10}O_5)_n$; es decir, es un polímero en el que el valor de n es variable de unos tipos de fibras a otros.

Las diferentes fibras que pueden entrar en la composición del papel son las provenientes de los siguientes árboles:

MADERAS DURAS

NOMBRE	LONGITUD (mm)	Ø (MICRAS)
Alamo Blanco	1.1	25
Alamo Amarillo	1.4	35
Haya	1.4	15-20
Abedul Amarillo	0.85	25
Maple	0.85	15
Eucalipto	1.3	15
Encino	1.5	30

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

MADERAS SUAVES

NOMBRE	LONGITUD (mm)	Ø (MICRAS)
Abeto del Sur	2.9	50
Abeto de Canadá	3.7	25 - 20
Abeto Douglas	3.5	40 - 50
Pino Rojo	5.0	25

FIBRAS NO PROVENIENTES DE MADERAS

NOMBRE	LONGITUD (mm)	Ø (MICRAS)
Bagazo	1.7	10-30
Algodón	25	12-14
Manila	7.0	18
Yute	2.0	20
Bambú	3.0	14
Lino	25	16

1.6 TIPOS DE CARGAS MINERALES.

Las diferentes cargas minerales que pueden entrar en la composición del papel, cuya finalidad es dar la característica de opacidad y blancura en el papel son las siguientes:

MATERIAL	Ø PARTICULA (micras)	I.R	BLANCURA %
Caolín	2.0 - 5.00	1.55	85 - 82
Carbonato de calcio	0.5 - 5.00	1.56	93 - 98
Oxido de Zinc	2.0 - 3.00	2.01	98 - 99
Bióxido de Titanio	0.3 - 0.35	2.50	98 - 99
Sulfato de Calcio	4.0 - 6.00	1.58	90 - 93
Talco	1.0 - 10.0	1.57	90 - 91

TESIS CON
 FALLA DE CARGEN

Estos materiales se emplean en cantidades que van desde un 3% hasta un 40% en la fabricación de papel.

1.7 OTROS PRODUCTOS QUÍMICOS.

Una gran variedad de productos químicos integran la composición del papel y cuya finalidad son dar color, fijar o cementar las cargas, dar lisura, aumentar la tensión superficial, resistencia al rasgado, a la explosión, al dobles, al desgarre de fibra interna, a continuación se citarán algunos de estos productos.

MATERIAL	FINALIDAD
Colorantes:	Color.
Almidón:	Impartir resistencia interna. Impartir resistencia superficial. Impartir lisura.
Melamina Formaldehído	Impartir resistencia
Poliacrilamidas:	Cementar. Retener carga
Carboximetilcelulosa:	Cementar cargas.
Alcohol polivinílico:	Cementar cargas
Blanqueadores ópticos:	Aumentar blancura. Aumentar luminosidad.
Encolantes:	Oponer resistencia penetración soluciones acuosas.

Ver fotografías 1.1 del papel donde se muestra la estructura enmarañada y también se percibe la carga mineral (carbonatos y caolines).

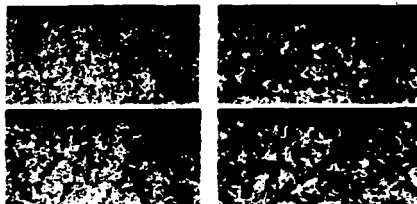


figura 1.1

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPITULO II

ENCOLADO

II.1 INDUSTRIAS CONSUMIDORAS DE PAPEL.

Los adelantos tecnológicos mundiales han transformado a las industrias consumidoras de papel, exigiendo a ésta grandes volúmenes de producción y un mejoramiento en todas sus propiedades físicas para que el papel pueda ser usado sin problemas.

Entre las industrias que consumen el mayor porcentaje de producción del papel se encuentran las siguientes:

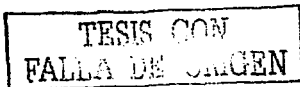
1. Alimenticia (sólidos y líquidos).	20%
2. Editorial (impresores).	30%
3. Publicidad (impresiones gráficas).	35%
4. Transformación (papeles que sufren otros procesos).	15%

Estas industrias exigen que el papel tenga la menor variación en todas sus propiedades físicas como son las siguientes:

Peso, espesor, largo de ruptura a lo largo y ancho, rasgado a lo largo y ancho, dobleces, Mullen (estallido), cenizas, encolado, expansión (elongación), lisura, lacre (resistencia superficial), absorción, blancura, opacidad, rigidez, porosidad, humedad, tono o color, brillo, diferencias de tinta, sellado a tintas, entre otras.

En el presente capítulo se abordará una de tantas variables a controlar y es el encolado.²

² PULPA Y PAPEL.



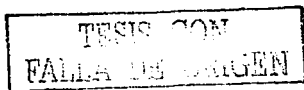
II.2 CONCEPTO DE ENCOLADO.

Se puede definir como un proceso físico-químico que se emplea en la industria de fabricación del papel y cartón cuyo fin es aumentar la resistencia a la penetración de líquidos acuosos dentro de él.³

La finalidad del encolado, es ofrecer a los usuarios de éste la característica de poner resistencia a la penetración de soluciones acuosas que pueden ser:

Tintas de impresión:	industrial editorial.
Tintas de escritura o de impresora de chorro:	(deskjet).
Café:	vasos de papel.
Leche:	cajas de cartón.
Jugos cítricos:	soluciones ácidas en cajas de cartón.
Refrescos:	vasos de papel.
Caseína:	empleada para pegar etiquetas de papel sobre vidrio, plástico, madera.
Alcoholes polivinílicos:	empleados en procesos industriales de transformación del papel.
Carboximetilcelulosa:	empleada en procesos industriales de transformación, del papel.
Pinturas:	empleadas en procesos de recubrimiento del papel con pigmentos y también empleadas en pintura automotriz.
Industria de construcción:	como decoración, papel tapiz.
Industria alimenticia:	platos, vasos, embalajes.

Como se describió antes, el papel es empleado en diferentes procesos y aplicaciones, requiriendo diferentes grados de encolado que van desde papel débilmente encolado hasta fuertemente encolado.



II.3 TIPOS DE ENCOLADO

A continuación se describirán los procesos que se emplean para la formación del papel y se enunciarán sobre cuales de ellos se realizan los tipos de encolado.

La fabricación del papel y del cartón se realiza en equipos y maquinaria bastante complejas, en el cual se desarrollan diferentes procesos.

II.3.1 Desfibrado. En este proceso, las fibras celulósicas son pasadas a un estado de suspensión acuosa, normalmente a un % de sólidos de 3 a 5.

II.3.2 Refinado. En esta parte, las fibras celulósicas son cambiadas de tamaño, por medio de equipos que cortan y fibrilan.

II.3.3 Mezclado. Como su nombre lo indica son mezclas las diferentes fibras y productos químicos que darán las características finales al papel, teniendo un % de sólidos de 2.5 a 3.5.

II.3.4 Formación de la hoja Aquí es formada la hoja, donde la mezcla de las diferentes fibras e ingredientes pasan de un por ciento de sólidos de 2.5 a 3.5 a una fuerte dilución que alcanza valores de 0.3% a 0.8%, para después ser deshidratada a valores de 20% de sólidos.

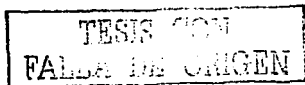
II.3.5 Prensado. En este proceso, la hoja ya formada con un por ciento de sólidos de 20, pasa a ser prensada y deshidratada hasta llegar a un por ciento de sólidos de 40 a 42

II.3.6 Secado Proceso en el cual la hoja es calentada para evaporar agua, para que esta pase de un por ciento de sólidos de 40, 42 a 95, 97 aproximadamente.

II.3.7 Encolado. La hoja es rehumedecida con una gran variedad de soluciones acuosas que pueden contener almidón, cargas minerales, carboximetilcelulosas, alcoholes polivinílicos, pasando de un por ciento de sólidos de 95, 97 a 45, 47.

II.3.8 Secado. Proceso que ocurre por segunda ocasión, en el cual la hoja es calentada para que esta pase de un por ciento de sólidos de 45, 47 a 96, 95.

II.3.9 Calandrado. La hoja es reducida de calibre con rodillos que ejercen fuerte compresión sobre el papel.



11.3.10 Embobinado. Proceso que consiste en enrollar el papel listo para su disposición final.

En la industria del papel y del cartón, se emplean dos tipos de encolado que son usados en forma independiente o mezcladas.

1. **ENCOLADO INTERNO.** Este se caracteriza por la adición de los agentes o productos encoladores en la zona húmeda de la máquina, que corresponde al proceso de mezclado

La característica del encolado comienza a darse en el proceso secado y puede ser alcanzada cuando la hoja alcanza el por ciento de sólidos de 95, 97.

2. **ENCOLADO SUPERFICIAL.** Este se efectúa en la prensa de encolado de la máquina de papel, que corresponde al proceso encolado, en el cual el agente o producto encolante es añadido a la solución acuosa.⁴

La característica del encolado comienza a darse en el proceso secado y puede ser alcanzada la característica de encolado cuando la hoja alcanza por ciento de sólidos de 96, 95.

II.4 PRENSA DE ENCOLADO.

Es un equipo que se usa en la fabricación de papel, cuya finalidad es depositar sobre la superficie del papel una película más o menos continua.

En este proceso, la hoja es rehumedecida con una gran variedad de soluciones acuosas que pueden contener almidones, cargas minerales, carboximetilcelulosa, alcoholes polivinílicos, etc.

Dependiendo de la película aplicada, se mejorarán las distintas propiedades del papel.

La prensa de encolado tiene los siguientes objetivos:

- 1.- Incrementar las resistencias del papel.
- 2.- Incrementar las propiedades ópticas. (blancura, opacidad)
- 3.- Mejorar la impresión.
- 4.- Mejorar el encolado.
- 5.- Controlar la porosidad.
- 6.- Impartir resistencia contra grasas y aceites.

A continuación se describe la manera de lograr los objetivos:

1.- Resistencia

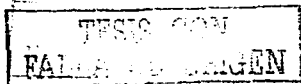
Normalmente se consigue depositando en el papel soluciones de diferentes tipos de almidón, diferentes grados de carboximetilcelulosa o alcoholes, anhídrido maleico, latex y resinas insolubles.

La mejoría en resistencia por lo depositado, puede ser de tal magnitud que sustituya una parte de la resistencia que normalmente debe crearse mediante el empleo de fibras o el refinado.

Si la hoja es porosa y absorbente, la operación del encolado superficial puede considerarse como una impregnación.

El alcohol polivinílico (PVA) debe ser cocido con almidón, normalmente es usado de un 5% a un 15% con respecto al almidón, normalmente el PVA no es compatible con el almidón, pero con una muy buena agitación en el sistema, es suficiente. El PVA puede ocasionar problemas de depósitos tanto en los secadores como en la zona húmeda al ser usado.⁵

El anhídrido maleico, normalmente es mezclado con el almidón, una vez que este es hervido, se debe tener un buen mezclado. Este material también mejora el encolado.



Los látex con el almidón, desarrollan también la resistencia de la película depositada mejorando el polveo. Estos productos normalmente son adicionados cuando el almidón está cocido. El pH es importante cuando estos son usados.

2.- Propiedades ópticas: blancura, opacidad.

El usar pigmento en la prensa de encolado, es uno de los métodos para mejorar las características ópticas, todos los pigmentos para el recubrimiento del papel pueden ser usados, teniendo cuidado que estos tengan una medida menor de 5 micras; los más comunes son bióxido de titanio, caolines y carbonatos, usando como ligantes almidones y látex.

3.- Mejorar la impresión.

Para lograrlo es necesaria una apropiada fórmula que debe ser encontrada usando caolines delaminados, caolines No. 1, No.2 y calcinados, carbonatos de calcio y bióxido de titanio, usando como ligantes almidones y látex, esto es afectado por el levante del papel.

4.- Características del encolado.

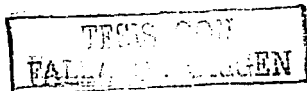
La prensa de encolado puede ser usada para mejorar la característica de resistencia a la penetración del agua usando agentes de encolado como AKD, ASA, poliuretanos y anhídrido maleico.

5.- Control de porosidad

Esta característica es la deseable cuando el papel va a ser porcesado con recubrimientos posteriores, como máquinas OMC o para fabricar papel autocopiante, muchos materiales pueden ser usados y se deben seleccionar por la propiedad de formar películas como CMC, SMA, PVA y pigmentos.

6.- Resistencia a grasas y aceites

El método más común para obtener una resistencia a grasas y aceites es usar fluorocarbonos, estos materiales deben ser usados como buen formador de película disponible como almidones etilados, agregando PVA y anhídrido maleico para mejorar la formación de película y por lo tanto la resistencia. La cantidad depositada por la prensa de encolado (levantamiento al pasar por la prensa) es afectada por varios factores que a continuación se mencionan:



Factores que influyen en el levantamiento.

A) CARACTERÍSTICAS DE LA HOJA

- Peso base, densidad, lisura, estructura capilar.
- Nivel de encolado interno (absorbencia).
- Contenido de humedad y compresibilidad.

B) SOLUCIÓN APLICADA.

- Contenido de sólidos
- Temperatura
- Reología
- Composición (tipos de almidón, aditivos).

C) DISEÑO Y OPERACION.

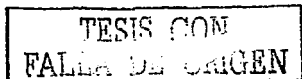
- Velocidad del proceso
- Presión en el nip
- Ancho en el nip
- Dureza en los rodillos
- Diseño de la prensa.

II.5 METODOS PARA MEDIR EL ENCOLADO.

El fabricante debe decidir el tipo del encolante y el método para evaluar su efecto.

Otro punto importante, es que se debe medir el encolado de acuerdo al uso que se le dará al papel; sin embargo, en muchos casos se requieren pruebas aceleradas para tomar decisiones en cuanto al control de calidad, al fabricarlo.

Para encontrar el método de medir el encolado, se hizo un censo en la industria, donde se da gran diversidad de métodos y el seleccionado para este trabajo fue el más técnico, con un instrumento de medición, eliminando los más empíricos, aunque algunos de estos son muy prácticos y económicos.



Una vez teniendo los métodos para evaluar el encolado, éstos se clasificaron en tres grupos:

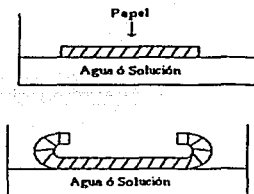
- **PRUEBA DE ABSORCIÓN**. En esta prueba se mide el líquido absorbido en determinado tiempo
- **PRUEBA DE PENETRACIÓN**. Consiste en medir el tiempo invertido en penetrar hasta determinada profundidad; el probador puede elegir entre métodos ópticos y eléctricos para medir la penetración, para aplicaciones en las que el líquido no llegue nunca a penetrar completamente a través de la hoja, puede ser deseable medir la resistencia superficial de la muestra, los papeles para escribir, para boquillas de cigarrillos y la materia prima para recubrimiento con pigmento, constituyen algunos ejemplos.
- **PRUEBA DE SUPERFICIE**. Esta prueba mide el ángulo de contacto, prueba de gota o prueba del plumero y tinta.⁶

⁶ EL ENCOLADO DEL PAPEL.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

PRUEBAS DE PENETRACIÓN	PRUEBAS DE ABSORCIÓN	PRUEBAS DE SUPERFICIE
A) VISUAL	Ruptura en húmedo	Angulo de contacto
Ondulación de Carson	Prueba Cobb	Prueba de la gota
Prueba del indicador seco		
Fluorescencia		
Prueba de Stokgit		
Flotación de tinta		
Probador Hercules		
B) ELÉCTRICO		
KBB		

II.5.1 PRUEBA DE PENETRACIÓN



II.5.1.1 ONDULACIÓN CARSON (ABARQUILLADO)

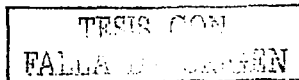
Figura II.2

La ondulación máxima ocurrirá cuando el agua ha penetrado hasta la mitad del espesor de la hoja.

La medición se realiza en el tiempo en que la hoja llega a su máxima ondulación y comienza a invertirse. Como se muestra en la figura II.2

Este método es aceptado por TAPPI como STD T466.

TAPPI (Technical Association of the Pulp and Paper Industries).



II.5.1.2 PRUEBA DEL INDICADOR SECO (TINTE DE AZÚCAR)

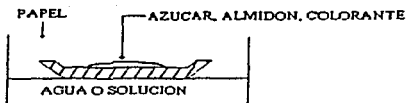


Figura II.3

Se mide el tiempo hasta que el color aparece al ponerse en contacto con el agua tiñendo el azúcar y almidón.

Usado sólo con papeles de encolados suaves, aproximadamente 30 seg.

La mezcla de azúcar almidón es 50% en peso de cada uno. El colorante añadido es sólo el necesario para teñir tenuemente la mezcla almidón-azúcar.

II.5.1.3 PRUEBA DE FLUORESCENCIA

Esta prueba utiliza un colorante fluorescente, que se activa al estar en contacto con agua, se necesita un equipo e instrumentación para detectarlo (luz ultravioleta).

El tiempo se mide en el momento en que el colorante brilla al estar en contacto con el agua.

TESIS CON
FALLA DE CALIBRE

II.5.1.4 PRUEBA DE STOCKIGT



Figura II.4

Al pasar la solución de tiocianato de amonio, el cloruro férrico reacciona dando un color rojo brillante, la medición es el tiempo en que tarda en ocurrir la reacción. (Figura II.4).

II.5.1.5 MÉTODOS ELÉCTRICOS (CONDUCTIVIDAD KBB)

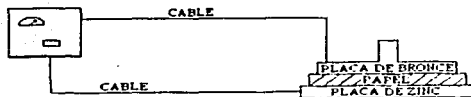


Figura II.5

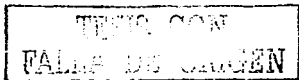
Son varios los métodos para medir el encolado, que se basan en la velocidad de penetración de una solución conductora a través del papel.

La prueba comienza en el momento que sobre el papel se coloca la placa de bronce humedecida

La resistencia eléctrica disminuye a medida que el flujo penetra dentro del papel. (Figura II.5)

El punto final se considera cuando pasa por el circuito cierta corriente.

En el caso del Probador KBB galvánico de encolado, su principio se basa en celdas galvánicas que genera una baja corriente debido a la resistencia del papel, pero a medida que penetra el agua la corriente aumenta, el agua se aplica al papel desde el lado del electrodo de bronce, que es poroso y esta saturado de agua.



II.5.1.6 FLÓTACIÓN DE TINTA.



Figura II.6

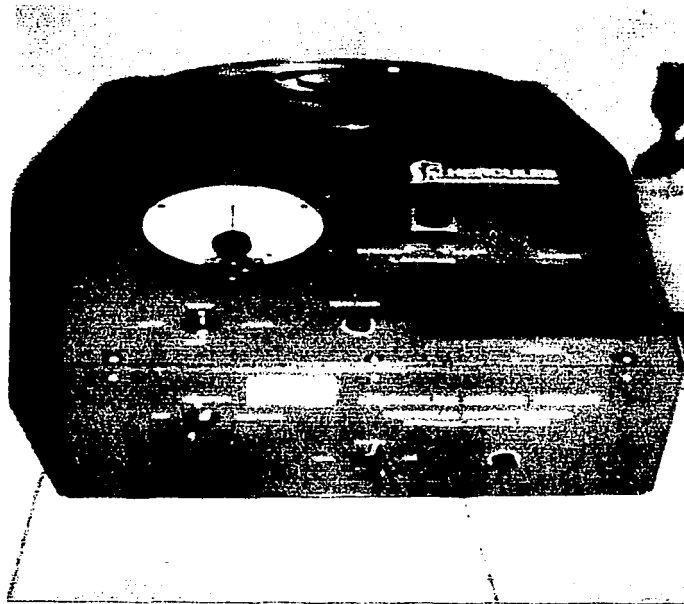
Es la prueba más simple y de mayor uso en papeles de impresión y escritura, se registra el tiempo para alcanzar un punto final arbitrario, con frecuencia este punto final se designa como el 50% de la superficie teñida, debido a la subjetividad del punto final no es raro que dos personas reporten tiempos diferentes, sin embargo es muy usada como control rutinario en fabricación de papel.

Una vez establecida esta prueba, nunca debe de cambiarse la calidad, el color y la marca, pues varía de un fabricante a otro, dando datos muy diferentes con la misma muestra de papel; esto es debido a la composición de la tinta, Figura II.6

TESIS CON
FALLA DE CALIDAD

II.5.1.7 PROBADOR HERCULES (PENETRACIÓN DE TINTA)

Prueba muy frecuente para el control del encolado, utiliza el cambio en reflectancia del papel, la cual se mide a medida que la tinta penetra al papel.



PROBADOR HERCULES DE ENCOLADO.

Figura II.7

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La propiedad que mide es semejante a la de flotación de tinta, pero lo hace de manera eléctrica. Este aparato es el que usaremos durante el desarrollo del presente trabajo por ser el más moderno para esta prueba de encolado, dentro de la industria del papel.

Diagrama eléctrico es el empleado por el probador de encolado Hércules.

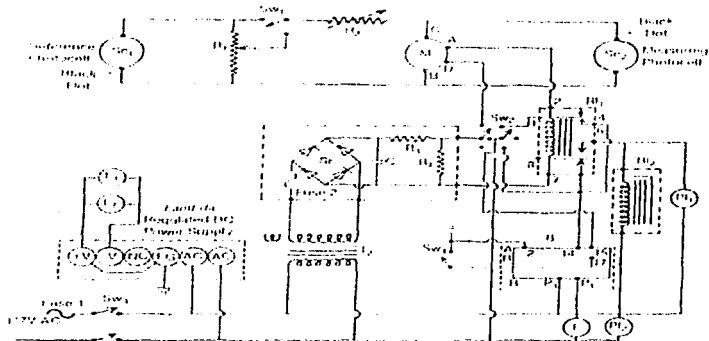


Figura # 8

La iluminación es suministrada por dos lámparas L1 y L2 de 6.0 volts, las cuales son alimentadas por un regulador de corriente directa con 6.0 volts. Un arreglo geométrico óptico provee 45° de iluminación y 90° de vista de la muestra a evaluar.

La reflectancia de la muestra a evaluar es medida por un circuito que tiene dos fotoceldas, una que ve la parte de abajo de la muestra a evaluar y otra que ve la lámpara de filamento.

Las dos fotoceldas están conectadas a un potenciómetro de calibración (R2), la de referencia del lado negativo, la de medición del lado positivo. Un medidor de microamperes (M) en paralelo a través de la fotocelda de medición y un potenciómetro de precisión (R1) a través de las terminales de la fotocelda de referencia; y un switch (SW1) completa el circuito de medición.

II.5.2 PRUEBA DE ABSORBENCIA

La mayoría de los papeles para impresión y escritura requieren tener un grado de resistencia a la penetración de los líquidos y por ello se les adicionan aditivos para desarrollarlos, pero también hay papeles que requieren un alto grado de absorción de líquidos; algunos más comerciales son los papeles secantes, filtro, sanitarios y toallas, estos papeles se fabrican sin aditivos para desarrollar encolado; por el contrario algunos de estos papeles se les trata con aditivos para acelerar la absorción y también en su proceso de fabricación son grabados y corrugados (crepados).

II.5.2.1 PRUEBA DE RUPTURA EN HÚMEDO

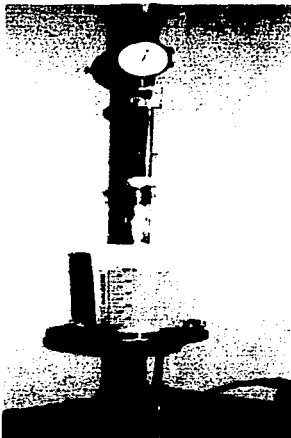


Figura II.9

Este aparato mide la rapidez con la que el papel pierde resistencia al exponerse al líquido penetrante.

El procedimiento es colgar un peso conocido en un extremo de la muestra en tanto que el otro se sostiene rígido, después se hunde el peso y el papel en agua; el tiempo entre la inmersión y la rotura se toma como medida del grado de encolado.

La presencia de una resina para aumentar la tensión en húmedo, falsea el dato del tiempo de ruptura. (figura II.9)

II.5.2.2 PRUEBA COBB

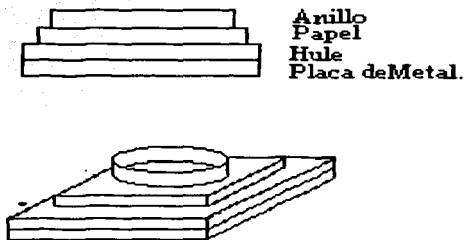
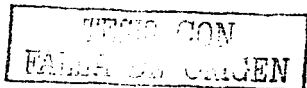


Figura II.10

Es de las más generalizadas para la prueba de encolado, este método es simple de entender y fácil de adquirir, esta especificado por el método TAPPI T441, consta de un anillo con un área de 100 cm^2 (11.28 cm. de diámetro) una placa de metal de 15 X 15 cm; un cuadro de hule de 15 X 15 cm. y 1/8 de espesor. La muestra de papel a probar debe ser ligeramente mayor que el anillo; la muestra se pesa estando seca, antes de la prueba, se coloca entre el anillo y el hule, se agregan 100 ml. de agua y se deja en contacto durante 2 minutos.

Transcurrido el tiempo, la muestra de papel se retira y se le seca el exceso de agua, y el resultado es peso húmedo menos peso seco, que sería el agua absorbida por el papel. Figura II.10



II.5.3 PRUEBAS DE SUPERFICIE

II.5.3.1 ÁNGULO DE CONTACTO

Se coloca una gota del líquido sobre una superficie de papel o cartón, se formará un ángulo de contacto y este debe medirse a través del líquido, resultando una medición sensible y fundamental de la capacidad de humedecimiento de la superficie por parte del líquido, ángulos inferiores a 90 grados indican humedecimiento y superiores ausencia de humedecimiento.

La técnica para medir el ángulo de contacto es descrita en el estándar T458 de TAPPI.

II.5.3.2 PRUEBA DE LA GOTA

Esta prueba mide la extensión superficial de un líquido, se anota el tiempo correspondiente a la absorción completa de la gota por la desaparición del brillo sobre la superficie o el grado de extensión de la gota medida después de un tiempo determinado; esta prueba no es muy útil en encolados muy fuertes, pues la gota puede permanecer durante muchas horas.

TESIS CON
FALTA DE ORIGEN

CAPITULO III

TEORÍA DE PENETRACIÓN DE LÍQUIDOS EN UN CAPILAR

Cuando se pone en contacto una gota de agua sobre el papel o cartón, comienza ésta a penetrar dentro de la estructura fibrosa y a ocupar los espacios que existen entre las fibras.

La velocidad con que penetra el agua, depende de una gran cantidad de factores, como tensión superficial, densidad, diámetro de la capilaridad, temperatura.

Para entender el concepto de encolado del papel, se debe saber de la teoría de penetración de líquidos en un capilar, para comprender la función que tiene el encolado en la hoja de papel o fibra celulósica.

Sea un fluido de densidad ρ y una tensión superficial σ dentro de un tubo capilar.

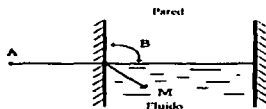
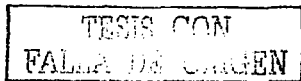


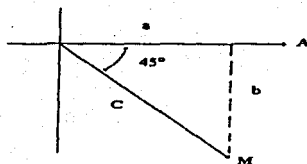
Figura III.1

Sea A la acción de pared sobre las moléculas en contacto con ella (adherencia), sea M la acción de la masa de fluido sobre las mismas partículas (por simetría se tendrá una resultante de 45°).⁷

Si $A = \frac{M}{\sqrt{2}}$ el ángulo de contacto B será 90° por el siguiente desarrollo matemático. Figura III.2

⁷ A NEW SIZING AGENT FOR PAPER





$a = b$ cuando el ángulo es 45°

Figura III.2

$$C^2 = a^2 + b^2$$

$$C^2 = A^2 + A^2$$

$$C^2 = 2(A)^2$$

$$\frac{C^2}{2} = A^2$$

$$A = \frac{C}{\sqrt{2}}$$

Manteniéndose la interacción capilar y líquido de la siguiente manera:

$$A = \frac{M}{\sqrt{2}}, \text{ el ángulo } B = 90^\circ$$

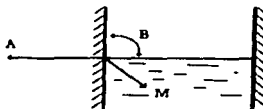


Figura III.3

$A < \frac{M}{\sqrt{2}}$ el ángulo B será menor de 90° y el líquido no moja la pared, en este caso existe una repelencia de la pared hacia el líquido.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

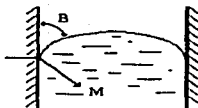


Figura III.4

$\lambda > \frac{\lambda f}{\sqrt{2}}$ el ángulo B será mayor de 90° , entonces el líquido moja la pared. Aquí existe una adherencia y migración del líquido sobre la pared.

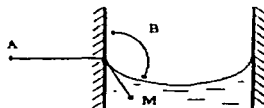


Figura III.5

Si tenemos un flujo que moje las paredes del capilar ($B > 90^\circ$), es decir que este asciende por el capilar hasta llegar al equilibrio, de forma que las fuerzas debidas a la tensión superficial se igualen con las debidas a la gravedad.

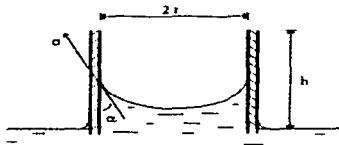


Figura III.6

Por una parte tenemos las fuerzas de tensión superficial:

$$F_s = 2\pi r\sigma \cos \alpha$$

Por otra parte, tenemos la fuerza gravitatoria:

$$F_g = \pi r^2 h \rho g$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Donde igualando y simplificando

III.1 LEY DE JURIN

ECUACIÓN 1

$$2\pi r\sigma \cos \alpha = \pi r^2 h \rho g$$

$$2\sigma \cos \alpha = \pi r h \rho g$$

$$h = \frac{2\sigma \cos \alpha}{r \rho g}$$

Que es conocida como la Ley de Jurin.

Para el caso de penetración horizontal, la fuerza impulsora es el producto de la tensión superficial por el coseno del ángulo de contacto, siendo la fricción la fuerza resistente.

Modificando la ecuación de Poiseville:

$$Q = \frac{\pi r^4 \Delta P}{8\eta h}$$

En donde:

- Q = Caudal gasto.
- r = Radio del capilar.
- ΔP = Diferencia de presiones.
- η = Viscosidad del fluido.
- h = Distancia recorrida por el fluido.
- Q = $\frac{v}{r^2}$
- v = $\frac{dh}{dt}$
- ΔP = Es debida a la acción capilar de la ECUACION 1.

$$\Delta P = \rho g h = \frac{2\sigma \cos \theta}{r}$$

Sustituyendo q, v, y ΔP en la ecuación de Poiseville

$$\frac{dh}{\pi r^2} = \frac{\pi r^4 2\sigma \cos \theta}{8\eta h} = \frac{dh}{dt} = \frac{r\sigma \cos \theta}{4\eta h}$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

III.2 ECUACION DE LUCAS WASHBURN

ECUACION 2

$$\frac{dh}{dt} = \frac{r\sigma \cos\theta}{4nh}$$

$$h dh = \frac{r\sigma \cos\theta}{4n}$$

Integrando:

$$\int h dh = \frac{r\sigma \cos\theta}{4n} \int dt$$

$$\int (1)^n du = \frac{(1)^{n+1}}{n+1} + C$$

$$\int a du = au + C$$

$$\frac{h^{1+1}}{1+1} = \frac{r\sigma \cos\theta}{4n}$$

$$\frac{h^2}{2} = \frac{r\sigma \cos\theta}{4n}$$

$$h^2 = \frac{r\sigma \cos\theta}{2n}$$

$$h = \sqrt{\frac{r\sigma \cos\theta}{2n}}$$

Ecuaón de Lucas Washburn aplicada a la industria papelera.

En donde:

- h = Profundidad de la penetración del liquido = cm
- t = Tiempo de penetración o contacto = seg.
- r = Radio de capilar = cm.
- σ = Tensión superficial del liquido = dinas
- n = Viscosidad del liquido = Poises
- θ = Angulo de contacto.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



EL LIQUIDO HUMEDECE
LA SUPERFICIE DE LA
FIBRA



EL LIQUIDO NO HUMEDECE
LA SUPERFICIE DE LA
FIBRA

Figura III.7

ECUACIÓN 2

$$\frac{dh}{dt} = \frac{r\alpha \cos\theta}{4\eta h}$$

$$\text{Razón de penetración} = \frac{\text{Tensión Superficial} \times \text{Angulo de Humedecimiento de la superficie de la fibra} \times \text{Radio del capilar}}{\text{Viscosidad} \times \text{Distancia de penetración}}$$

III.3 PENETRACIÓN DE UN LÍQUIDO EN EL PAPEL MODELO DE LUCAS WASHBURN:

$$h = \sqrt{\frac{r\alpha \cos\theta}{2\eta}}$$

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

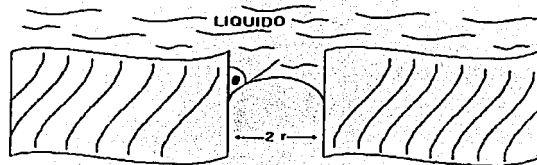


Figura III.8 Representación de la penetración de un líquido en el papel modelo de Lucas Washburn

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

III.4 COMPORTAMIENTO DEL AGUA Y DISOLUCIONES ACUOSAS.

Cuando se deposita una gota de agua sobre la superficie del papel, esta puede acomodarse, dependiendo del grado de encolado con el que fue fabricado.

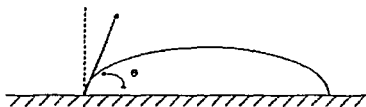


Figura III.9 Ángulo de contacto mayor de 90°

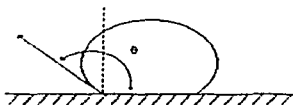


Figura III.10 Ángulo de contacto menor de 90°

Un ángulo de contacto menor de 90° es un papel con encolado bajo, un ángulo de contacto próximo a cero corresponde a un papel sin encolado.

Un ángulo de contacto mayor de 90° es un papel con encolado alto, no hay penetración del agua o existe poca penetración, a menos que se aplique una presión externa para forzar al líquido hacia los poros.

Tomando nuevamente la ecuación: $h = \sqrt{\frac{r\sigma \cos \theta}{2\gamma}}$

Esta ecuación muestra el número de factores que tienen relación con el papel y la absorción del agua o cualquier solución acuosa que se le aplique sobre su superficie.

Los agentes encolantes tienen poco efecto en la porosidad del papel y por ello su contribución a r es despreciable pues su principal efecto es al ángulo de contacto del líquido con la superficie del papel.

La disminución del tamaño del poro (con mas refinación) para dar una hoja mas cerrada, menos porosa, tiende a aumentar el encolado, al retardar la velocidad de transporte del liquido.

La viscosidad alta de los líquidos retarda la penetración porque se transporta más lentamente a través del tejido.

Con la fórmula anteriormente descrita, es posible aplicarla y usarla donde se produce el papel, pero desgraciadamente es casi imposible pactar con ella la especificación del encolado con los clientes finales, por lo que se tiene el dilema de como medir el encolado que satisfaga a los clientes, que no entienden de ecuaciones complejas

Por lo tanto, una medida cuantitativa muy cuidadosa debe darse al definir los requerimientos del encolado con los clientes, pues los hay desde el necesario para resistir una solución de prensas offset, que son fracciones de segundo hasta con encolado sumamente alto, como el necesario para resistir durante semanas líquidos ácidos, alcalinos y calientes.

Existen muchas aplicaciones en las que el papel o el cartón deben resistir líquidos distintos del agua pura, con frecuencia las fórmulas para recubrirlo con pigmentos y látex son alcalinas.

Las tintas acuosas para escritura, las soluciones de las prensas para impresión offset, los jugos de cítricos y los jarabes de las bebidas suaves son todas ácidas en diferentes grados.

En general, la acidez y la alcalinidad de los líquidos aumenta la velocidad de penetración sobre el papel mas rápidamente que el agua neutra.

Las soluciones alcalinas penetran rápidamente en los papeles encolados con brea o resina por que el álcali las saponifica haciéndola pasar a un estado soluble, teniendo que buscar un encolante sintético para ofrecer resistencia.

TESIS CON
FALLA EN EL ENCOLO

CAPITULO IV

RANGOS ÁCIDO Y ALCALINO DEL ENCOLADO

IV.1 RANGOS DE pH DONDE SE EFECTÚA EL ENCOLADO INTERNO.

Como se describió en el Capítulo II, en la antigüedad los egipcios encolaban el papiro relleno de los huecos que quedaban entre las fibras con colas vegetales y animales.

Los chinos inventores del papel, en el Siglo I D.C. encolaban la superficie de este descubrimiento con una mezcla de almidón, cola animal y caseína.

De esta manera y sin sufrir cambios, transcurrieron los siglos, a principios del XIX, cuando comenzó la producción mecánica y en forma continua fue tomando importancia el uso de los productos para encolar y entender sus reacciones y en esta época se comenzó a añadir sulfato de aluminio junto con las mezclas de colas animales y vegetales y en esta forma surgió, el encolado ácido.

En los años de 1960, surge la necesidad de encolados más altos y resistentes a soluciones ácidas y alcalinas, apareció el encolado alcalino desarrollado a base de productos sintéticos.

En la actualidad, la industria efectúa el encolado entre rangos de pH de 4 a 8.5.

Entre el rango de 4 a 5 de pH se emplean breas libres o fortificadas, usando como precipitante el sulfato de aluminio.

De 6 a 7 de pH se emplean breas modificadas con sulfato de aluminio, pero los encolados obtenidos no son altos y resistentes a los alcalis.

Con un rango de 7 a 8.5 de pH se emplean encolantes sintéticos, los encolados obtenidos pueden ser altos, medios y bajos, con buena resistencia a los alcalis y ácidos. Siendo de 4 a 5.5 el rango ácido y de 6.5 a 8.5 el rango neutro-alcalino.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

IV.2 RANGO ÁCIDO

En esta parte se estudiarán los productos utilizados en el encolado ácido, siendo estos el sulfato de aluminio de la brea.

Al finalizar papel rango ácido, se emplean otros productos químicos como son colorantes, blanqueadores ópticos, caolines, resinas y opacificantes, pero no están considerados en este estudio.

A continuación se estudiara la química del aluminio, que este es aportado por el sulfato de aluminio.

IV.3 QUÍMICA DEL ALUMINIO

El ion aluminio tiene un número de coordinación de 6, formando un octaedro:

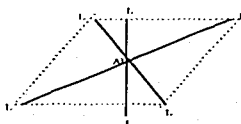
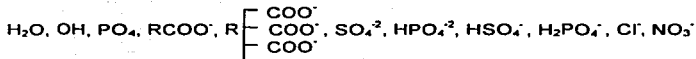


Figura IV.1

Donde L puede ser H_2O o cualquiera de los siguientes aniones:



Mayor fuerza de enlace, por lo tanto mayor afinidad.
Esto significa que los primeros (H_2O, OH^-, PO_4^{3-}) con pocas cantidades ocupan fácilmente a L.⁶

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

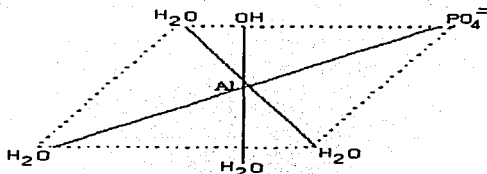


Figura IV.2

Entorpeciendo lo que debería ser un resinato de aluminio cationico en el encolado.

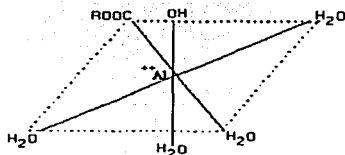


Figura IV.3

O entorpeciendo sólo a medias, pero permite la formación del resinato.

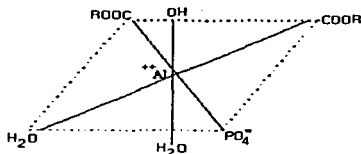


Figura IV.4

En cambio, los últimos aniones ($H_2PO_4^-$, Cl^- , NO_3^-) para interferir precisan alcanzar grandes concentraciones.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

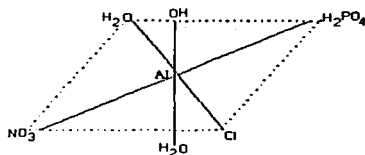


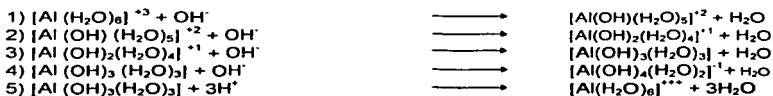
Figura IV.5

Dicho de otra manera, los aniones que están antes de RCOO^- , necesitan estar presentes en menor cantidad de producto que el RCOO^- para interferir en el encolado.

Los aniones que están después del RCOO^- necesitarán que estén presentes en mayor cantidad del RCOO^- para interferir.

Los primeros agentes de interferencia son el H_2O Y OH^- , dan una química extremadamente compleja.

El aluminio en soluciones acuosas ha dado origen a numerosas teorías sobre las reacciones de su hidrólisis, sin embargo deben considerarse las siguientes fórmulas o reacciones como representativas de la reacción del sistema sulfato de aluminio-agua.



TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

La siguiente tabla dá una idea más clara de la distribución de las especies formadas en la hidrólisis del aluminio como una función del pH. ⁹

pH \longrightarrow 100%

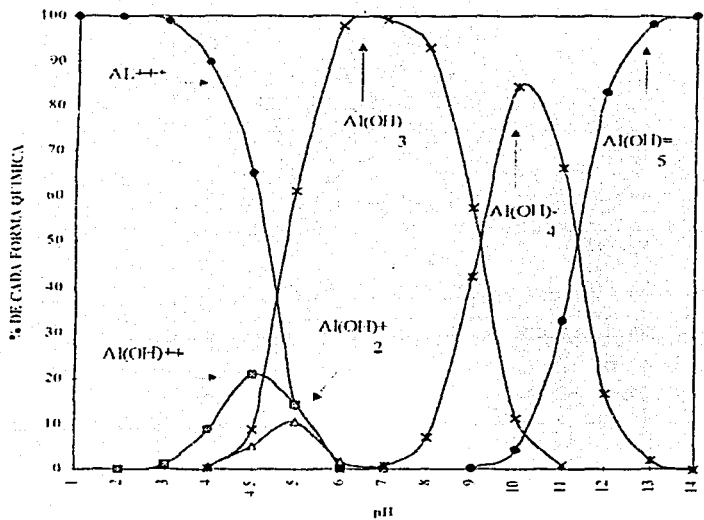
pH	Al ³⁺	Al(OH) ²⁺	Al(OH) ₂ ⁺	Al(OH) ₃	Al(OH) ₄ ⁻	Al(OH) ₅ ⁻
1	100	-	-	-	-	-
2	99.9	0.1	-	-	-	-
3	99.0	1.0	-	-	-	-
4	89.8	9.0	0.6	0.4	-	-
4.5	65.3	20.9	5.0	8.8	-	-
5	14.1	14.2	10.6	61.1	-	-
6	-	0.2	1.7	97.9	0.1	-
7	-	-	0.2	99.1	0.8	-
8	-	-	-	93.1	6.9	-
9	-	-	-	57.3	42.4	0.2
10	-	-	-	11.3	84.4	4.2
11	-	-	-	0.8	66.4	32.7
12	-	-	-	-	16.8	83.1
13	-	-	-	-	2.0	98.0
14	-	-	-	-	0.1	99.9

Concentración = 0.04136 grs. de aluminio por litro de disolución = 0.4136% Al.

Analizando las dos tablas encontramos que el pH ideal para efectuar el encolado es entre 4 y 5, pues es donde se encuentran suficiente Al³⁺ y Al(OH)²⁺ disponible y donde es el pH óptimo para que el resinato de sodio precipite en ácido resínico, que se explicará en la segunda parte, correspondiente a la breca.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

⁹ A GENERAL MECHANISM OF INTERNAL SIZING



Gráfica IV.1

Gráfica de distribución de especies formadas en la hidrólisis del aluminio en función del pH.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

IV.4 QUÍMICA DE LA BREA.

La brea se obtiene de los árboles de preferencia de maderas suaves mediante tres métodos:

- 1) Por sangría de los pinos vivos.
- 2) Por una extracción de los tocones.
- 3) Por destilación del espumado del licor negro en las fábricas de celulosas kraft de maderas suaves (espumado es el líquido remanente de la cocción de la madera).

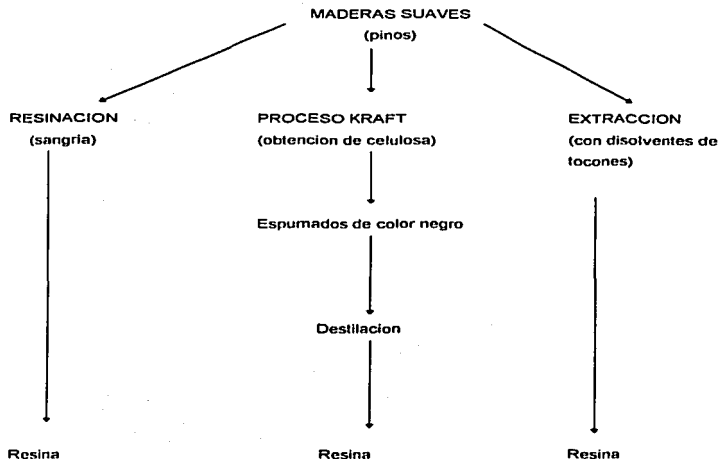
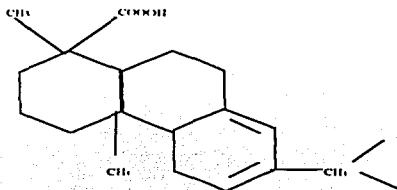
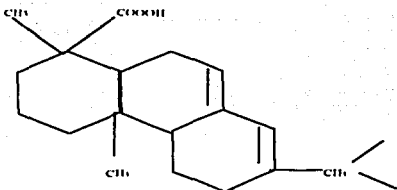


Figura IV.6 Obtención de la brea

La brea es una mezcla de compuestos, en el cual los principales son la familia de los tricíclicos, llamados ácidos de resina, un ejemplo de ellos es el ácido abiético y el ácido levopimarico de aproximadamente 20 carbonos, cuya fórmula condensada es $C_{19}H_{29}COOH$, en el cual el grupo carboxílico y la parte hidrofóbica de la molécula juegan importantes papeles en el desarrollo del encolado.



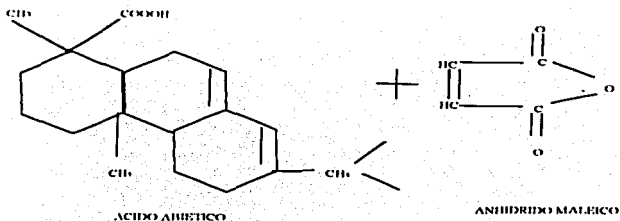
ACIDO LEVOPIMARICO



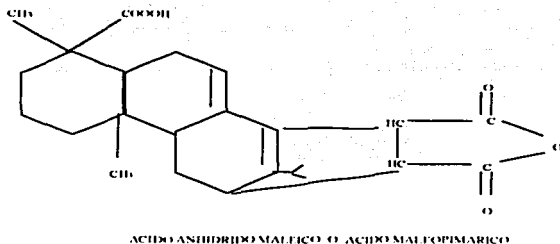
ACIDO ABIETICO

Estos dos ácidos de resina pueden hacerse más reactivos, haciéndolos reaccionar con anhídrido maleico para producir un ácido tricarbóxico que es el siguiente:

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



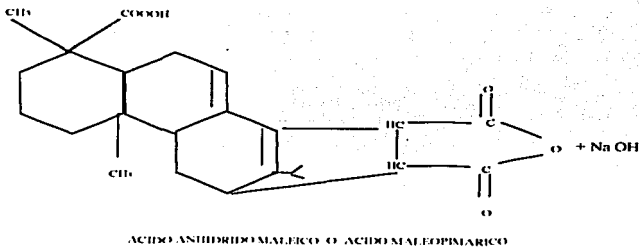
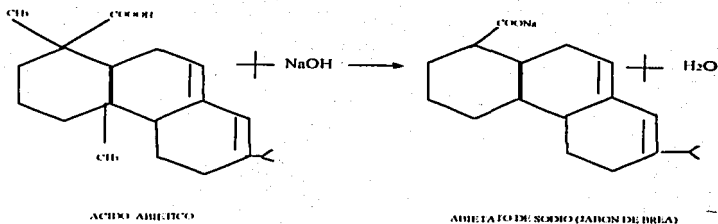
da el siguiente compuesto:



El ácido anhídrido maleico es más reactivo que el ácido abiético y ácido levopimárico.

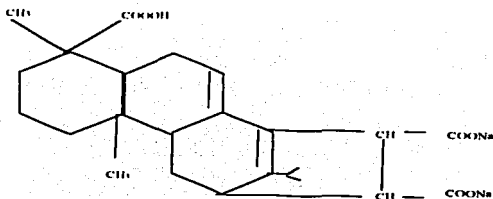
Los ácidos resínicos (abiético, levopimárico, anhidromaleico) son insolubles al agua pero en cambio su sal sódica es completamente soluble a concentración y P^H adecuados, por lo tanto, para obtener un producto que pueda homogeneizarse dentro de la suspensión fibrosa de una máquina de papel, es necesario agregarla ya saponificada bajo la siguiente reacción:

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN



Cuando se ponen en contacto el ácido con NaOH da como resultado el siguiente compuesto:

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN



MALEOPIMARATO SÓDICO (AJON DE BREA)

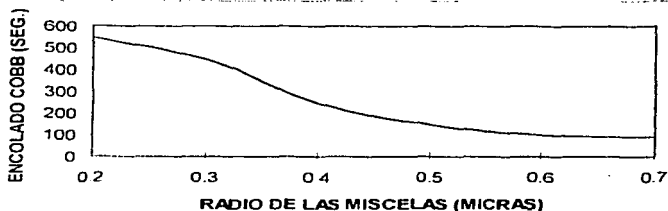
El abietato de sodio y el maleopimarato sódico, son productos normalmente usados al encolar, dando mejores resultados con ahorro de producto el maleopimarato sódico por tener más radicales que pueden reaccionar.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

IV.5 ACCIÓN DEL RESINATO SÓDICO (ABIETATO DE SODIO, MALEOPIMARATO SÓDICO)

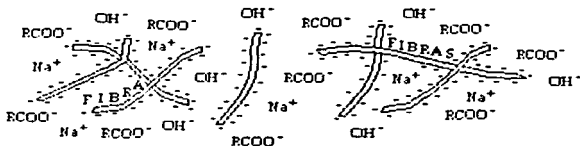
Quando se adiciona el resinato sódico a un medio ácido, se precipita en ácido resinico, tanto más rápidamente, cuanto más ácido es el medio y forma micelas (agrupaciones) cuyo tamaño es mayor, al aumentar la acidez.

La práctica ha encontrado que entre menor sea el diámetro de la micela, mejores valores de encolado se obtienen.



Gráfica IV.2

Antes de la acidificación, se tiene que lograr la más perfecta homogeneización posible del agente encolante, (resinato de sodio), en la suspensión fibrosa y esto se puede lograr si se añade a un P^H igual o superior de 7 a 7.5, de esta manera se mantendrá como $R-COO^-$ soluble en un medio aniónico (de partículas electronegativas) como se puede ver en el siguiente esquema: Figura IV.10

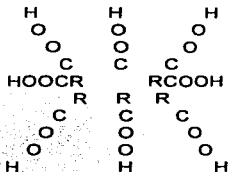


TRIS CON
FALLA DE ORIGEN

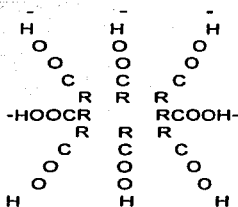
En el momento en que se añade sulfato de aluminio y si baja el P^H a 4.5, el resinato de sodio pasa a ácido resínico que es insoluble e hidrofóbico bajo la siguiente reacción:



Al suceder la reacción, se comienzan a formar pequeñas micelas con la parte hidrofóbica de las moléculas hacia el interior y la parte hidrofílica hacia el exterior, como lo indica la siguiente figura.



Estas micelas adquieren una superficie con gran proporción de grupos -COOH lo que les da un carácter electronegativo.



A un pH adecuado para que el aluminio esté en forma catiónica de la siguiente forma $Al(H_2O)^{+++}$ y $Al(OH)(H_2O)^{++}$, estos iones comienzan a rodear a la micela, cationizándola y acercándola a la celulosa a una distancia que depende del potencial electronegativo de ésta; interpuestas por un colchón de moléculas de agua.¹⁰

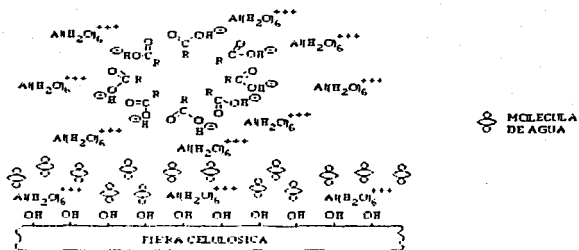


Figura IV.13

Cuando la mezcla de fibras, micelas, aluminio, pasan a la sección de secado de la máquina de papel, se produce la evaporación del colchón de moléculas de agua, la reorganización de las micelas y reacción de los grupos carboxílicos con los iones aluminio, formando carboxilatos de aluminio.

Por la parte cationizada por el aluminio se atraen las micelas sobre la fibra celulósica cargada electronegativamente y éstas se depositan sobre ella con la parte hidrofóbica en la parte exterior, quedando en agrupaciones más o menos grandes según la micela de la que provienen, si estas micelas eran excesivamente grandes pueden llegar a no reorganizarse.

Se pueden obtener tres tipos de acomodos, como se muestra en las tres siguientes figuras

1. Perfecta distribución, muy buena reorganización, muy buen encolado. Fig. IV.14
2. Mala distribución, buena reorganización, encolado regular. Fig. IV.15
3. Mala distribución, mala reorganización, mal encolado. Fig. IV.16

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
AI	AI	AI	AI	AI	AI	AI	AI	AI	AI
OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH

FIBRA CELULOSICA

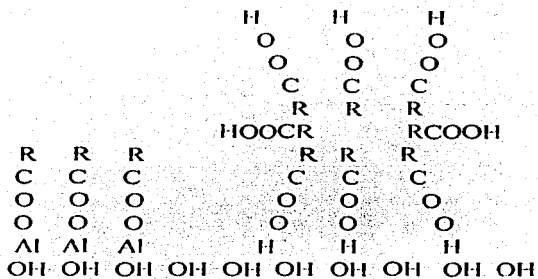
**PERFECTA DISTRIBUCION MUY BUENA
REORGANIZACION .MUY BUEN ENCOLADO**

R	R	R						R	R	R
C	C	C						C	C	C
O	O	O						O	O	O
O	O	O						O	O	O
AI	AI	AI						AI	AI	AI
OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH

FIBRA CELULOSICA

**MALA DISTRIBUCION, BUENA REORGANIZACION
ENCOLADO REGULAR**

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



FIBRA CELULOSICA

**MALA DISTRIBUCION, MALA REORGANIZACION
MAL ENCOLADO**

Figuras IV.14, 15 Y 16

Las fotografías muestran el tamaño de 1μ m los aglomerados de la brea precipitada sobre la fibra de la celulosa.
Figura IV.17



TESIS POST
GRADO DE INGENIERIA

IV.6 NECESIDAD TEORICA DE BREA PARA CUBRIR TODAS LAS FIBRAS
CON UNA CAPA MOLECULAR.

DIMENSIONES PROMEDIO DE LA BREA.

Longitud = 1 mm = 0.1 cm.

Diámetro = 20 micras = 0.02 mm = 0.002 cm = $\frac{1}{500}$ cm.

Densidad = 1.56 grs/cm³.

Dimensión aproximada de una molécula de resina = 20°A X 20A°.

Superficie exterior = $\pi \phi L$.

Superficie = (3.1416) $\left(\frac{1}{500}\right)$ (0.1) = 6.28 X 10⁻⁴ cm² / fibra.

Volumen de una fibra = $\pi r^2 L$.

Volumen = (3.1416) $\left[\left(\frac{1}{500}\right)(0.5)\right]^2$ (0.1) = 3.1416 X 10⁻⁷ cm³ / fibra.

Peso de la fibra = densidad X volumen.

Peso de la fibra = 1.56 grs/cm³ X 3.1416 X 10⁻⁷ cm³ / fibra.

Peso = 4.9008 X 10⁻⁷ grs / fibra.

Para 100 grs de fibra el número de fibras será:

$$1 \frac{100}{4.9008 \times 10^{-7} \text{ grs}} \times \frac{4.9008 \times 10^{-7} \text{ grs}}{1}$$

X = 2.0404 X 10⁸ fibras en 100 grs de fibras.

La superficie exterior de 100 grs de fibra será:

$1 \frac{2.0404 \times 10^8 \text{ fibras}}{100 \text{ grs}} \times 6.28 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{fibra} = 12.81 \times 10^4 \text{ cm}^2$

X = 12.81 X 10⁴ cm² / 100 grs fibra.

X = 12.81 m² / 100 grs de fibra.

Si se añade 1% de resina sobre 100 grs de fibra o sea 1 gr

$\frac{1 \text{ gr de resina}}{100 \text{ grs fibra}} = \frac{12.81 \times 10^4 \text{ cm}^2}{100 \text{ grs fibra}} \times \frac{1 \text{ gr de resina}}{100 \text{ grs fibra}} = \frac{1 \text{ gr de resina}}{12.81 \times 10^4 \text{ cm}^2}$

El peso molecular de la resina (C₂₀ H₃₀ O₂) = 302.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

El número de moléculas por molécula gramo = $6.023 \times 10^{23} \frac{\text{moléculas}}{\text{moléculas-gr}}$

$$\frac{1 \text{ gr de resina}}{12.81 \times 10^4 \text{ cm}^2} \times \frac{6.023 \times 10^{23} \text{ moléculas}}{\text{molécula-gramo}} + \frac{302 \text{ grs de resina}}{\text{molécula gramo}} =$$

$$\frac{1 \text{ gr de resina}}{12.81 \times 10^4 \text{ cm}^2} \times \frac{6.023 \times 10^{23} \text{ moléculas}}{\text{molécula-gramo}} + \frac{1}{\frac{302 \text{ grs de resina}}{\text{molécula gramo}}} =$$

$$\frac{1 \times 6.023 \times 10^{23} \text{ moléculas}}{12.81 \times 10^4 \text{ cm}^2 \times 302} = 1.556 \times 10^{16} \text{ moléculas de resina / cm}^2 \text{ de fibra}$$

Area aproximada de una molécula de resina:

$$\frac{20 \text{ \AA}}{108 \text{ \AA}} \times \frac{20 \text{ \AA}}{10^8 \text{ \AA}} = \frac{4}{10^{14}} \frac{\text{cm}^2}{\text{molécula de resina}}$$

Multiplicando:

$$1.556 \times 10^{16} \frac{\text{moléculas e resina}}{\text{cm}^2 \text{ de fibra}} \times \frac{4 \text{ cm}^2 \text{ de resina}}{10^{14} \text{ moléculas de resina}}$$

$$622.4 \frac{\text{cm}^2 \text{ de resina}}{\text{cm}^2 \text{ de fibra}}$$

O sea, que cuando se añade 1% de resina, se coloca 636 veces más resina que la teóricamente necesaria para cubrir a la fibra con una capa monomolecular.

Dicho en otras palabras, para recubrir todas las fibras con una capa monomolecular de resina, solo precisamos teóricamente añadir un 0.0016% de resina (1/622.4).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Resumiendo de una manera muy simple el proceso de encolado es el que se muestra en la figura IV.18

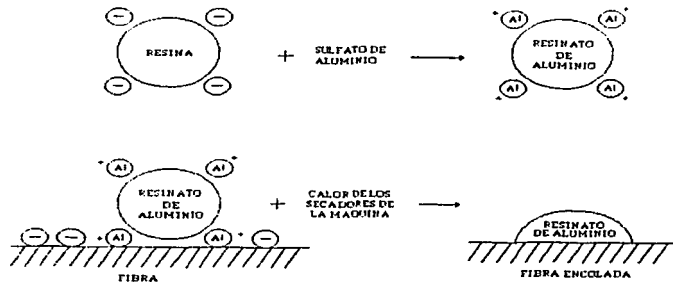


Figura IV.18 Proceso de encolado.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

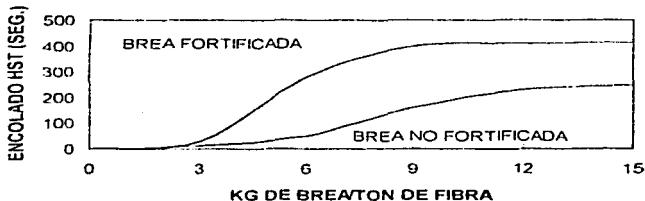
IV.7 RESULTADOS DE LABORATORIO DEL RANGO ÁCIDO.

Ahora se analizarán los resultados que se obtuvieron a nivel laboratorio:

- 1) Los productos empleados fueron Brea no fortificada, Brea fortificada saponificada (reaccionada con anhídrido maléico) y sulfato de aluminio.
- 2) Las hojas formadas en el laboratorio para este estudio fueron de 60 grs/m², con una composición de 60% de fibra larga de pino y 40% de fibra corta de encino; siendo ésta una composición promedio en la industria del papel para este gramaje.

Se escogió este peso por ser el más común en la industria editorial, publicidad y transformación, con un consumo en México de este gramaje con 400,000 tons anuales, distribuidas de la siguiente forma:

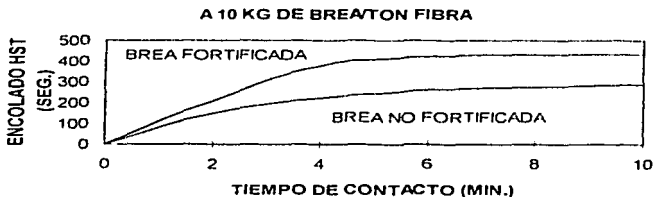
Escritura	100,000 tons.
Impresión	150,000 tons
Publicidad	150,000 tons



Gráfica IV.3

Analizando esta gráfica encontramos que a una misma cantidad de brea adicionada, la fortificada desarrolla mayores niveles de encolados.

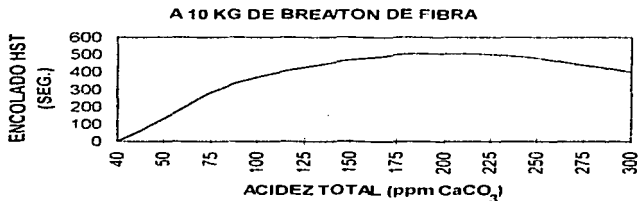
TESIS CON
FALLA DE URGENTE



Gráfica IV.4

Una vez encontrada la eficiencia de las breas, se escogió a la fortificada para el desarrollo del estudio en el cual se simularon las condiciones de operación de una máquina de papel.

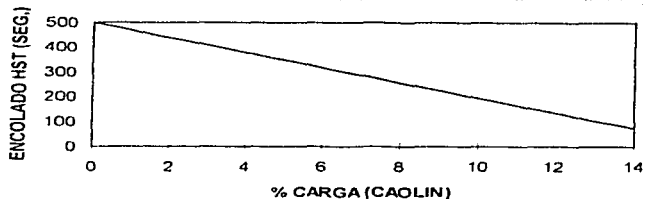
Se varió la cantidad del ion aluminio para encontrar la dosificación óptima de acidez del sistema.



Gráfica IV.5

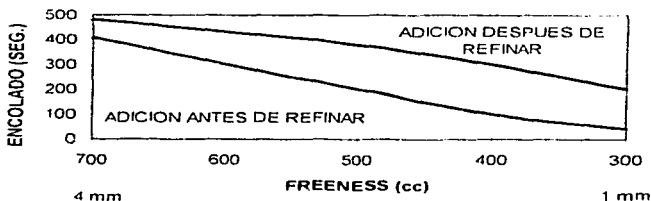
Cuando se encontraron las cantidades óptimas de dosificación y de tiempo de contacto, se procedió a evaluar cómo es afectado el encolado al añadir carga mineral para dar características de opacidad y lisura, moviendo la dosificación de éste desde 0% a 14% encontrándose los siguientes resultados.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Gráfica IV.6

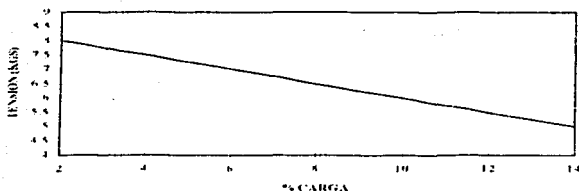
En la gráfica superior encontramos que la prueba del encolado cae drásticamente. La conclusión es que la carga mineral absorbe la brea nulificando su acción de encolado sobre la fibra. También se cambió el orden de adición de la brea antes de refinar (cambiar el tamaño de la fibra de 4 a 1 mm de longitud).



Gráfica IV.7

En esta prueba se ve que se baja la efectividad del encolado al adicionar la brea antes de refinar; la explicación a todo esto es que se están cambiando de tamaño de fibra, la acción mecánica del refinador destruye las uniones ya formadas entre la brea, aluminio y celulosa, y también la parte de finos que se forman al refinar, los cuales absorben brea dejando fibras sin encolar.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Gráfica IV.8

Al realizar la presente prueba se ve que la resistencia del papel cae drásticamente al incrementar la cantidad de carga mineral en la hoja, pudiendo afectar la operación de la máquina de papel por resistencias bajas.

IV.8 RANGO ALCALINO

Este se efectúa como se mencionó anteriormente entre el rango de pH de 7 a 8.5 empleándose encolados sintéticos. El P^{II} viene dado por el carbonato de calcio que es usado como carga en el papel, y que da un sistema Buffer sin necesidad de adicionar otro producto.¹¹

El producto químico usado como encolante es el:

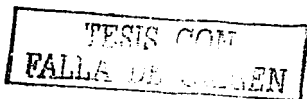
Dímero de alquilceteno (AKD)

IV.9 QUÍMICA DEL AKD

El AKD tiene una fórmula estructurada de la siguiente forma:



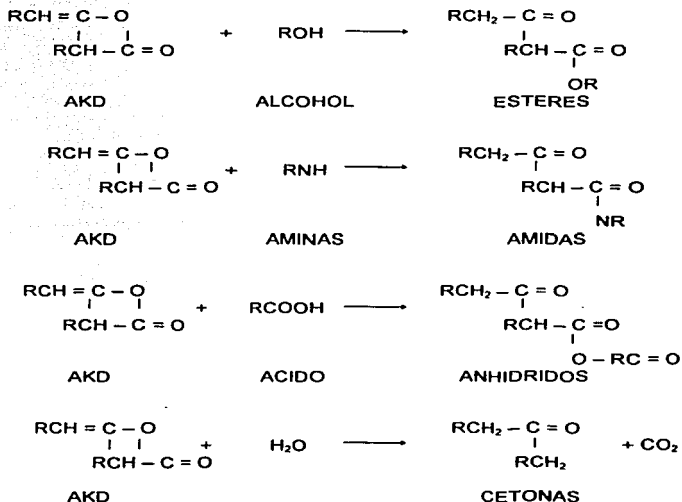
¹¹ NEW INSIGHTS IN TO THE AKD SIZING MECHANISM



R = CH₃ (CH₂), donde X = 13 a 15 dependiendo del ácido graso del que proviene (ácido esteárico, ácido palmítico, etc.)

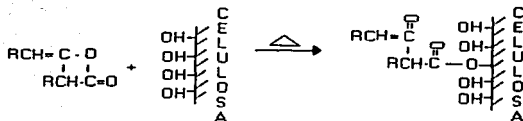
La fórmula del AKD tiene una parte reactiva y una parte alifática que es hidrofóbica.

La parte reactiva reacciona con los alcoholes para formar ésteres, con aminas para formar amidas, con ácidos para formar anhídridos, con agua para formar cetonas.



TESIS CON
 FALLA DE VIRGEN

La reacción del AKD con las fibras celulósicas es la siguiente:



La reacción que ocurre es la esterificación de los grupos hidróxilos superficiales de la celulosa.

El tratamiento de las fibras con AKD, no produce un derivado de la celulosa, sólo los grupos hidróxilos superficiales de la celulosa son afectados, y sólo las características superficiales de la celulosa son también afectadas.

Como evidencia o comprobación de que una reacción química ha ocurrido, puede mostrarse es que el AKD NO PUEDE SER EXTRAÍDO CON DISOLVENTES ORGANICOS. También después de la reacción, las fibras no pueden disolverse completamente en soluciones de cuproamonio (como lo hacen las fibras sin tratar), dejando una cáscara, la cual es la pared externa de la celulosa reaccionada.

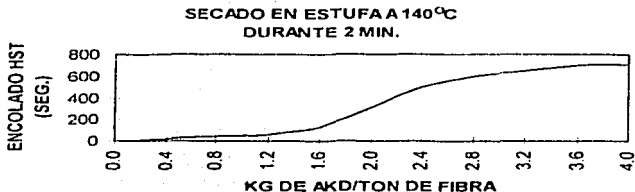
El mecanismo de la fijación del AKD a la fibra es muy parecida al de la brea; sólo que en lugar de iones aluminio se emplean almidones catiónicos y poliacrilamidas catiónicas para hacer un enlace entre el AKD - almidón - fibra ó AKD - poliacrilamida - fibra.

Cuando la mezcla de fibras, almidón, AKD pasan a la sección de secado, se produce la evaporación del colchón de agua que existe junto con la mezcla y al llegar a una sequedad aproximadamente de 90% y una temperatura aproximadamente de 92°C, comienza la reacción entre el AKD y la pared de la celulosa, y termina entre 12 y 14 días después en el cuál se alcanza el máximo grado de encolado.

IV.10 RESULTADO DE LABORATORIO DEL ENCOLADO ALCALINO

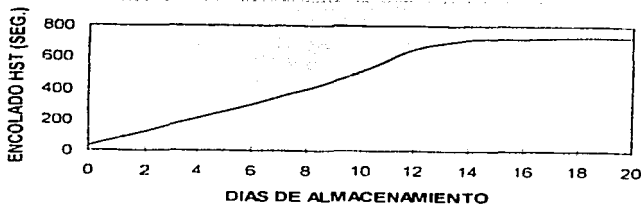
A continuación se analizaran los resultados que se obtuvieron a nivel laboratorio.

TESIS COM
FALSA DE ORIGEN



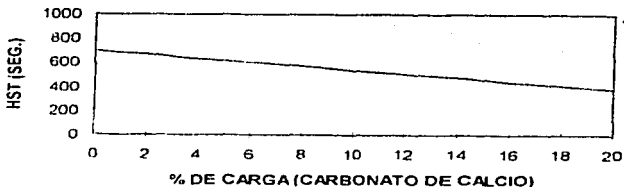
En esta gráfica se ve la dosificación máxima deberá ser 4.0 kgs de AKD/ton de fibra durante el estudio. Gráfica IV.9

A continuación se buscará el tiempo máximo de maduración natural.



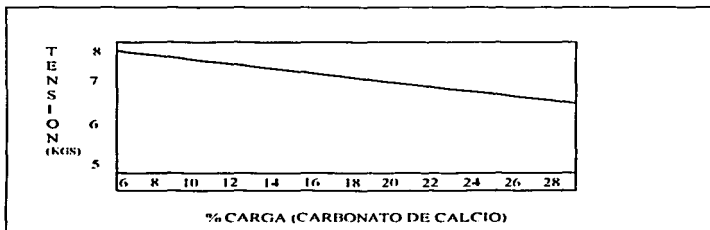
Analizando esta gráfica, vemos que el tiempo de reacción del AKD con celulosa alcanza su máximo nivel entre los días 12 y 13; por lo tanto, se debe tomar en cuenta este tiempo cuando se fabrique el papel y le llegue al cliente ya con la característica del encolado desarrollado. Gráfica IV.10

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Una vez encontrada la cantidad máxima de dosificación de AKD, como segunda etapa de pruebas, se añadirá carga mineral para dar características de opacidad y lisura, moviendo la dosificación de éste desde 0 hasta 25 %, encontrándose los siguientes resultados. Gráfica IV.11

En esta prueba se observa que el valor de encolado cae a medida que se agrega carga mineral, pero es menos drástica la caída que en el rango ácido.



En la gráfica encontramos que al añadir carga, las resistencias se caen, pero en menor grado que en el rango ácido. Gráfica IV.12

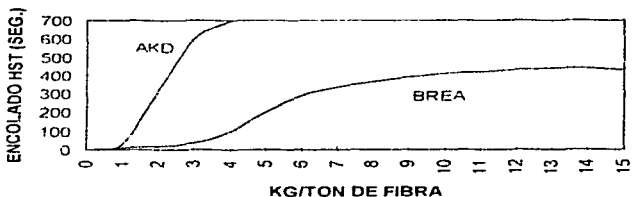
TESIS CON
FALLA DE CALIBRE

IV.11 COMPARACION RANGO ÁCIDO VS. ALCALINO

En este capítulo se comparan los resultados más importantes de las pruebas de laboratorio, así como los resultados de dos producciones que se hicieron en campo (en máquina de papel) para comprobación de los resultados de laboratorio.

IV.11.1KGS/TON. DE FIBRA VS. ENCOLADO.

La primera comparación será de los resultados obtenidos con las dosificaciones de brea vs. A.K.D.



Gráfica IV.13

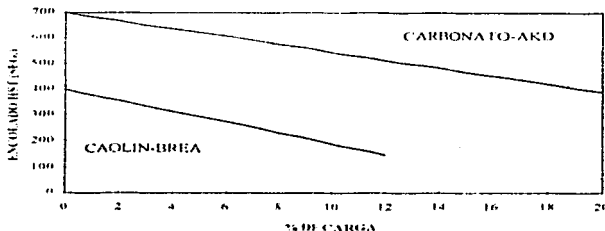
Se aprecia que el A.K.D. con menos dosificación desarrollará más altos encolados que la brea.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

IV.11.2 % DE CARGA VS. ENCOLADO

La siguiente gráfica da la comparación y diferencias en el encolado obtenido con el encolante de brea y el encolado con AKD ambos mezclados con la carga correspondiente a diferentes niveles.

Las cantidades de encolante fueron 10 Kgs/Ton. de brea y 4.0 Kg/Ton. de AKD.



Gráfica IV.14

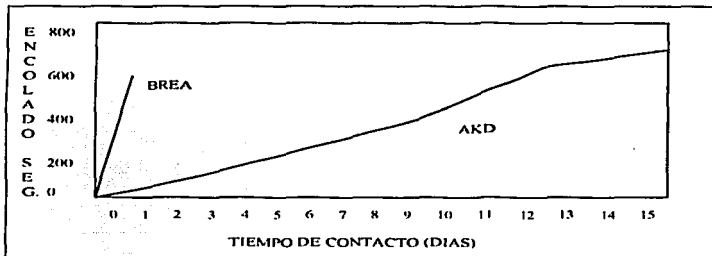
En esta comparación de carga en el papel, se encontró que el valor del encolado es más alto en el sistema AKD-carbonato a pesar de tener mayor nivel de carga (12 vs. 20), más adelante se establecerá la diferencia de carga que hace al sistema Carbonato-AKD más económico al fabricarlo.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

IV.11.3 TIEMPO DE CONTACTO VS. ENCOLADO

En la siguiente gráfica se analizará el tiempo de reacción necesario para que el papel fabricado tenga la característica del encolado.

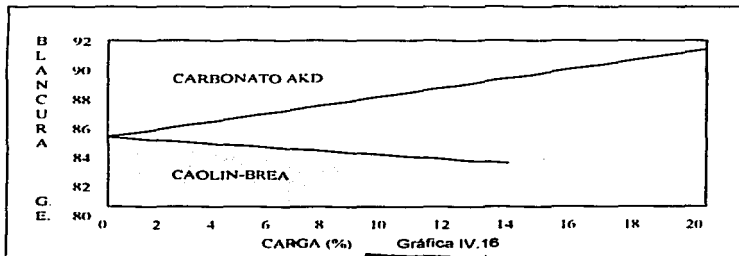


Gráfica IV.15

Al compararla se encontró que la reacción de encolado en sistema ácido es instantáneo en comparación con el sistema alcalino (AKD) que su tiempo de reacción es hasta 12 días con máximo desarrollo.

IV.11.4 BLANCURA VS. % DE CARGA

En la gráfica VIII.4 se observó otra característica que es la blancura, y esta viene dada por el carbonato y el caolín.



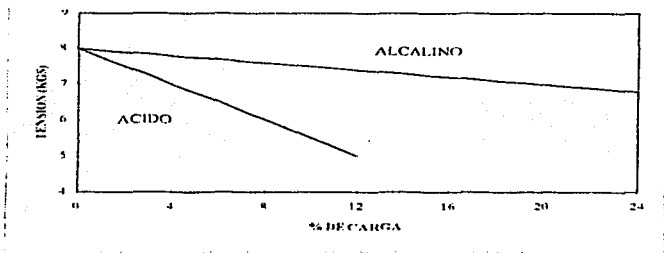
Gráfica IV.16

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Por lo que la fabricación del papel con AKD-carbonato da como resultado papeles con mayor blancura, más limpios, más agradables a la vista y el resultado es que el carbonato es más blanco que la celulosa, subiendo la blancura al ir teniendo mayor contenido de carga y lo mismo ocurre con el caolín pero en forma inversa.

IV.11.5 TENSION VS. CARGA (RESISTENCIA).

La gráfica VIII.5 da como resultado de incrementar las cargas en el papel, afectando las resistencias de este.



Gráfica IV.17

Esta disminución de resistencias en el papel, afecta la buena operación de una máquina de papel, siendo mucho más notable en el sistema ácido, donde la reducción es hasta de 3 Kgs.

IV.11.6 COSTO ALCALINO VS. ACIDO.

Se realizaron costos de papel en rango alcalino y rango ácido, encontrando los valores que se muestran en la parte inferior. Estos costos están basados en dejar fijos todos los ingredientes y celulosas (FL 60%, FC 40%, 10 Kgs/Ton de AKD), solo se varió la cantidad de carbonato y caolín para ver su efecto en el costo de fabricación al mover las cenizas del papel obtenido.

TESIS CON
FALLO DE CARGA

SISTEMA ALCALINO

CENIZAS DEL PAPEL %	COSTO \$/TON DE PAPEL	% DIFERENCIA
25	3817.95	
20	3897.80	2.09
15	4014.47	5.15
10	4144.66	8.56
5	4290.87	12.39

Ejemplo: $3897.80 - 3817.95 / 3817.95 = 2.09\%$
 $4290.87 - 3817.95 / 3817.95 = 12.39\%$

SISTEMA ACIDO

CENIZAS DEL PAPEL %	COSTO \$/TON DE PAPEL	% DIFERENCIA
5.0	4265.27	11.72
7.5	4205.99	10.16
10.0	4161.05	8.99
12.5	4107.74	7.59
15.0	4057.38	6.27

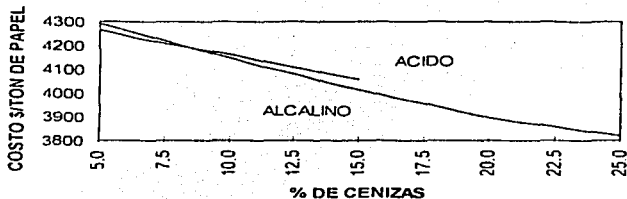
Ejemplo: $4265.27 - 3817.95 / 3817.95 = 11.716\%$
 $4107.74 - 3817.95 / 3817.95 = 7.590\%$

En el sistema alcalino el costo mínimo por tonelada que se obtuvo fue de \$3817.95 por tonelada de papel con 25% de cenizas, que es normal cuando se trabaja en rango alcalino.

En el sistema ácido el costo mínimo que se obtuvo fue de \$ 4057.38 por tonelada de papel con 15% de cenizas; lo normal en el ácido es trabajar a 12.5% de cenizas para no tener problemas de operación (roturas en el papel por bajas resistencias) y por consiguiente pérdidas de producción.

Graficando los costos vs. las cenizas encontramos que en un principio, cuando las cenizas son 5% en rango ácido y alcalino, es más caro fabricar papel alcalino. Cuando los papeles están en rangos de 8.5% de cenizas, los costos son iguales, dando lo mismo fabricarlo en rango ácido o alcalino. Cuando los papeles son superiores a esas cenizas, es más caro el rango ácido. Gráfica IV.18

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Gráfica IV.18

Si se saca la diferencia de un papel fabricado en rango alcalino con cenizas de 25% con uno de 12.5% de cenizas en rango ácido, encontramos que:

$$\frac{4107.74 - 3817.95}{38.17.95} \times 100 = 7.59\%$$

El papel alcalino es más económico en su fabricación, además de tener ventajas físicas, logrando mayor eficiencia en las fabricas productoras de papel.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CONCLUSIONES

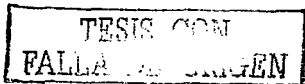
Como se mencionó en los objetivos del presente trabajo, los resultados obtenidos fueron técnico-económicos y estuvieron encaminados para conocer las ventajas físicas de un papel que se ha fabricado en rango ácido o alcalino, comparar estas ventajas, decidir su diseño, conocer las ventajas económicas de un papel alcalino contra un papel ácido, saber las técnicas y reacciones que ocurren en el proceso de encolado, pudiendo emplearse este estudio como recurso para la capacitación para el personal técnico, obrero y en general fabricantes del papel en los procesos de impresión.

El método de rango alcalino alcanzó un mayor grado de encolado comparado con el ácido, teniendo que usar menos cantidad de encolante por tonelada de fibra, al obtener encolados más altos, el papel es más resistente a la penetración de líquidos, para poderse emplear el encolado alcalino, donde los requerimientos de esta característica sea más crítica, ejemplos: papel para vasos, cajas de leche, contenedores de jugos de frutas, mapas de navegación, etc.

El encolado en rango alcalino soporta mayor cantidad de carga mineral en el papel terminado que en el rango ácido, permitiendo que el papel sea empleado para lo que fue diseñado, un ejemplo de esto es un papel en rango alcalino con 12% de cenizas, tiene un encolado de 500 seg. De HST, se le puede incrementar la carga al 20% bajando su encolado a 400 seg. De HST y sigue funcionando para impresión en una rotativa de cuatro tintas y no sucede lo mismo en el rango ácido cuando se incrementa las cenizas de 4% a 8% cayéndose el encolado de 300 a 150 seg. De HST, donde este valor de encolado ya no es propio para la impresión a cuatro tintas, ocasionando que estas migren y pasen a la otra cara del papel, teniendo una impresión defectuosa.

El papel fabricado en rango alcalino siempre tendrá mayor blancura, siendo medida en cualquier aparato y esta, será incrementada al ir aumentando la cantidad de carga mineral en el papel carbonatado.

La blancura disminuirá al incrementar la carga mineral en el papel fabricado en rango ácido, debido a que el carbonato de carga empleado en la fabricación del papel siempre tendrá mayor blancura que las celulosas empleadas y el caolin de carga usado siempre será de menor blancura que la celulosa.



El papel fabricado en rango alcalino conservará mayor resistencia a la tensión que uno fabricado en rango ácido, ejemplo; un papel alcalino con 12% de carga se le puede incrementar esta, a valores de 20%, sufriendo un decremento en la tensión de 8 a 7 Kgs, sin afectar la operación de la máquina de papel; a un papel ácido con una carga de 8%, al incrementarse a 12%, su tensión baja de 6.2 a 5.0 Kgs, esto ocasiona problemas de roturas en la máquina de papel que trabajan a velocidades de 400 m/min. o más

En el rango alcalino, se tienen costos de fabricación más bajos que el rango ácido, debido a que soporta mayor cantidad de carga mineral o cenizas en papel, sin dar problemas de operación para la máquina formadora, economizando hasta en un 7.59% el costo de fabricación (bastante atractivo para las utilidades de las empresas).

Lo anterior fueron ventajas que presentan ambos rangos, y ahora se abordarán las desventajas.

El papel fabricado en rango alcalino desarrolla la propiedad de encolado hasta aproximadamente 10 o 12 días después de ser fabricado, aunque puede ser usado desde el sexto día, teniendo aproximadamente un encolado de 300 seg. de HST, en su proceso de maduración. En el sistema ácido se encuentra la ventaja de que encola de manera inmediata de modo que puede ser usado luego de ser fabricado.

TESIS COM
FALLA DE ORIGEN

BIBLIOGRAFIA

1) Autor: Asenjo J.L., Bobadillo P., González P.
Diccionario terminológico iberoamericano de celulosa de papel y cartón
Año: 1992
Editorial: IPE

2) Autor: Casey P. James
Química y tecnología química vol. 3
Año: 1998
Editorial: Latinoamericana

3) Autor: Curtis Thomson C.
Paper develop process and making
Año: 1991
Atechnomic Publishing Co. Lancaster Pennsylvania

4) Autor: Friedhelm Muller ., Tuespsch Hans., Ulrich Bech
El encolado del papel
Año: 1997
Bayer

5) Autor: Klass P. Charles
Surface sizing and precoating
Año: 1994
Class Associates Inc.

6) Autor: Pybus Roger
Paper chemical structure
Año: 1998
Ed. Mapfre. Great Britain

7) Autor: Rodríguez Jiménez Juan
Los controles en la fabricación de papel.
Año: 1998
Fac. Cs. de Madrid.

8) Autor: Von Haller B.
Paper properties
Año: 1996
MC. Graw Book, New York.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

HEMEROGRAFIA

Autor: Bottorff K.J. and Sullivan M. J.
New insights in to the AKD sizing mechanism.
Abril 1993
Revista Pulp and Paper Research Journal

Autor: Brisow A., Kolseth P.
Paper: structure and properties.
Agosto 1999
Revista TAPPI

Autor: Davidson A., Waiss R.
A general mechanism of internal sizing.
Abril 1986
Hercules Conference TAPPI. Resaerch Scientist

Autor: Davis J. W., Roberson W. H., Weisgerber C.A.
A new sizing agent for paper.
Enero 1956
Revista TAPPI

Autor: Hanson, Robert.
Precision scale models from paper.
Febrero 1957
Revista TAPPI

Autor: McMahon Martin
The impact of alkaline paper making
Septiembre 1994
Revista TAPPI

Autor: Moyers M. B.
Diagnostic sizing-loss problem solving
Junio 1991
Revista TAPPI

Autor: Roberts J.C.
Paper chemistry
Septiembre 1989
Revista TAPPI

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN