



FACULTAD DE
CIENCIAS FORESTALES
Ing. Néstor René Ledesma



UNSE
Universidad Nacional
de Santiago del Estero

CÁTEDRA DE INDUSTRIAS QUÍMICAS DE LA MADERA

INDUSTRIAS QUÍMICAS DE LA MADERA

INTRODUCCIÓN TEÓRICA Y GUÍA DE TRABAJOS PRÁCTICOS



Equipo docente: Esp. Ing. Ind. Ftale. Myriam Ethel Ludueña
Ing. Ind. Ftale. María Elena Carranza
Ing. Ind. Ftale. Magalí de los Ángeles Acosta

Mayo 2024

Ludueña, Myriam Ethel

Industrias químicas de la madera : introducción teórica y guía de trabajos prácticos / Myriam Ethel Ludueña ; María Elena Carranza ; Magalí de los Ángeles Acosta. - 1a ed - Santiago del Estero : Universidad Nacional de Santiago del Estero - UNSE. Facultad de Ciencias Forestales, 2024.

Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online

ISBN 978-987-8922-32-4

1. Industria Química. 2. Madera. 3. Educación. I. Carranza, María Elena II. Acosta, Magalí de los Ángeles III. Título

CDD 662.65

Industrias Químicas de la Madera.

Introducción teórica y guía de trabajos prácticos

Esp. Ing. Ind. Forestales Myriam Ethel Ludueña

Ing. Ind. Forestales María Elena Carranza

Ing. Ind. Forestales Magalí de los Ángeles Acosta

Cátedra de Industrias Químicas de la Madera

Santiago del Estero – Febrero 2024

Fotografía de portada tomada por: Mgter. Feliza del Valle Benítez

Diseño gráfico de la publicación: Mgter. Feliza del Valle Benítez

Agradecimiento a Ramón del Jesús "Cacho" Cardozo Tec. Químico del Laboratorio de Energía de Biomasa del Instituto de Tecnología de la Madera.

Agradecimiento al Ing. en Industrias Forestales Agustín Pascual Ruiz ex director del Instituto de Tecnología de la Madera.

Índice

Prólogo	Pág. 1
Calidad y dimensiones de las fibras. Macerado de fibras.	
Trabajo Práctico N°1	Pág. 3
Densidad básica de la madera.	
Trabajo Práctico N°2	Pág. 18
Chipeado, clasificación por tamizado y humedad de la madera.	
Trabajo Práctico N°3	Pág. 26
Balance de materia en un proceso de fabricación de pulpa celulosa.	
Trabajo Práctico N°4	Pág. 33
Cálculo y preparación de reactivos (licor) para cocción en proceso químico (Kraft).	
Trabajo Práctico N°5	Pág. 41
Factor H.	
Trabajo Práctico N°6	Pág. 54
Pulpado Kraft. Cocción, rendimiento.	
Trabajo Práctico N°7	Pág. 64

Controles de calidad de pasta: NÚMERO KAPPA en pulpa T 236 om-13

(SCAN C1: 77).

Trabajo Práctico N°8 Pág. 71

Viscosidad.

Trabajo Práctico N°9 Pág. 81

Blanqueo de la pasta celulosa.

Trabajo Práctico N°10 Pág. 89

Ensayo de batido en holandesa.

Trabajo Práctico N°11 Pág. 102

Control de batido (grado Shopper, Canadian standar freeness).

Trabajo Práctico N°12 Pág. 109

Formación de hojas para ensayos físicos.

Trabajo Práctico N°13 Pág. 117

Ensayos físicos de la pasta celulosa (resistencia a la tensión, al rasgado y la explosión).

Trabajo Práctico N°14 Pág. 124

Índice de Figuras

Figura 1.1. Plantación de <i>Eucalyptus grandis</i> con fines papeleros.	Pág.4
Figura 1.2. Pulpa celulósica.	Pág.4
Figura 1.3. Técnica de medición de longitud, ancho y espesor de la fibra.	Pág.6
Figura 1.4. a. Vaso de eucalipto.	Pág.9
Figura 1.4. b. Fibras de <i>P. elliottii</i> .	Pág.9
Figura 2.1. Determinación de densidad básica por pesada y desplazamiento de fluidos.	Pág.20
Figura 3.1. Astilladora de cuchillas a campo y en fábrica, con alimentación horizontal.	Pág.27
Figura 3.2. Clasificadora de chips de madera.	Pág.27
Figura 3.3. Astillas obtenidas del clasificador. F1 sobre tamaño, F2 sobre espesor, F3a aceptado, F3b aceptado, F4 pin chip, F5 finos.	Pág.28
Figura 3.4. Tamaño de chips y homogeneidad de chips obtenidos de astilladora de cuchillas para industrias y en carpintería para laboratorio.	Pág.29

Figura 5.1. Proceso de pulpado químico Kraft. Pág.43

Figura 5.2. Proceso kraft. Pág. 44

Figura 5.3. Secuencia y compuestos químicos de licor blanco, negro, verde, en proceso Kraft. Pág.44

Figura 6.1. Ciclo de cocción. Pulpado Kraft. Pág.58

Figura 7.1. Digestor discontinuo, rotativo de laboratorio. Pág.66

Índice de Tablas

Tabla 1.1 Clasificación de la relación de Runkel ($2w / l$) Pág. 6

Tabla 1.2. Clasificación del coeficiente de flexibilidad (l/D) Pág.7

Tabla 1.3. Clasificación del coeficiente de rigidez ($2w/D$) Pág.7

Tabla 1.4. Clasificación del índice de esbeltez o coeficiente de Peteri (L/D) Pág. 8

Tabla 6.1. Constantes de velocidad relativas del factor H ($100\text{ }^{\circ}\text{C} - 199\text{ }^{\circ}\text{C}$). Pág.57

Tabla 6.2. Ejemplo de cálculo del factor H. Pág.59

Prólogo

Este material bibliográfico aspira a que estudiantes universitarios lo utilicen como material de apoyo a las clases teóricas – prácticas de la asignatura Industrias Químicas de la Madera, de la carrera de Ingeniería en Industrias Forestales, como así también de la asignatura Industrias de la Segunda Transformación (área Industrias Químicas) de la carrera de Ingeniería Forestal, y de cualquier asignatura relacionada a las Industrias Químicas de la Madera.

Las temáticas a abordar sobre las características y aplicabilidad de una o más especies forestales nativas o implantadas a la industria de la celulosa, papeles y afines, se vuelcan en las prácticas que se desarrollan en la Planta Piloto y laboratorio de Celulosa y Papel del Instituto de Tecnología de la Madera, de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional de Santiago del Estero, tanto en la enseñanza como en la investigación.

Esta publicación está organizada en doce trabajos prácticos con un ordenamiento interno semiestructurado, donde se plantean conceptos fundamentales hasta llegar a los específicos para la comprensión de los temas abordados. Este material didáctico acompaña el dictado de la asignatura a través de la plataforma MOODLE, y esta metodología adoptada en el proceso de enseñanza y aprendizaje, se implementa en la misma. Se prevé la continuación de este material profundizando temas inherentes a la ecorregión del Parque Chaqueño, como ser: obtención de taninos, extractivos, etc.

El agradecimiento infinito a todas las personas que contribuyeron para que este material didáctico se publique.

Santiago del Estero, febrero de 2024.

Mel, Marilyn y Maga

**Esp. Ing. Industrias Forestales Myriam Ethel Ludueña - Ing. Industrias Forestales María
Elena Carranza - Ing. Industrias Forestales Magalí de los Ángeles Acosta**

Cátedra de Industrias Químicas de la Madera/ Instituto de Tecnología de la Madera/ Facultad de
Ciencias Forestales/ Universidad Nacional de Santiago del Estero/ Argentina

Trabajo Práctico N° 1

Tema: **Calidad y dimensiones de las fibras. Macerado de fibras.**

Asignatura: Industrias Químicas de la Madera - Año 2024

Trabajo práctico N° 1

Tema: **Calidad y dimensiones de las fibras. Macerado de fibras.**

Objetivo

Determinar las dimensiones de las fibras papeleras y su relación con la calidad del papel.

Introducción

En tecnología de la madera se usa la palabra “fibra” para denominar a todas las unidades estructurales con fines papeleros (Fig. 1.1). El tipo de fibra empleada para producir papel es diferente dependiendo de la especie vegetal, representando la madera el 85 % al 90 % de las materias primas fibrosas consumidas mundialmente, correspondiendo el 20 % a especies de angiospermas o latifoliadas (Earl, 1979) y el resto a gimnospermas.



Figura 1.1. Plantación de *Eucalyptus grandis* con fines papeleros

La pulpa celulósica es el producto intermedio antes de obtener el papel, que contiene agua y las fibras con propiedades propias, que luego puedan tener la capacidad de volver a ligarse para formar el papel (Fig. 1.2). Si se mantienen similares condiciones operativas, la calidad del papel dependerá de la longitud, diámetro, flexibilidad, resistencia, etc. de las fibras utilizadas (Area, 2021).



Figura 1.2. Pulpa celulósica.

Los índices de calidad de las pulpas constituyen una magnífica ayuda para anticipar las características generales de la pulpa, tales como: densidad, volumen, resistencia al paso del agua y del aire, resistencia a la tensión, a la explosión, al rasgado y a las propiedades que determinan la impresión. Es decir, las relaciones entre las dimensiones de las fibras contribuyen favorable o adversamente en el tipo y en la calidad del papel producido (Tamolang y Wangaard, 1961).

La calidad de la pulpa está íntimamente relacionada con la especie maderable de la cual procede, de las dimensiones de las fibras, especialmente la longitud, y de las relaciones que se derivan, tales como: coeficiente de rigidez, coeficiente de flexibilidad, coeficiente de Peteri y la relación de Runkel; (Huerta y Corral, 1975).

Aquí se presentan dichos coeficientes:

Coeficiente de flexibilidad

$$CF = \frac{l}{D}$$

Coeficiente o índice de rigidez

$$CR = \frac{2w}{D}$$

Coeficiente de Peteri o índice de esbeltez

$$IE = \frac{L}{D}$$

Relación de Runkel

$$RR = \frac{2w}{l}$$

Donde

D = diámetro de la fibra

L = longitud de la fibra

l = diámetro del lumen

2w = grosor de la pared de la fibra

En la Figura 1.3 se muestra la técnica de medición por microscopio ocular para longitud y diámetros de la fibra.

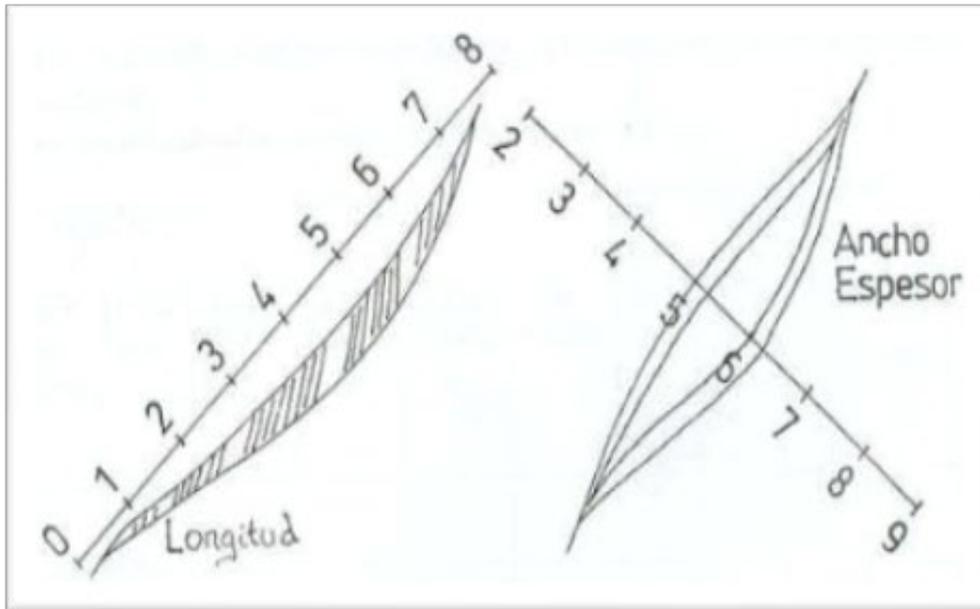


Figura 1.3. Técnica de medición de longitud, ancho y espesor de la fibra.

La calidad de la pulpa de la madera de cada especie se puede determinar con base en la clasificación usada por Larios (1979), en la cual se consideran cinco grados para la relación de Runkel (Tabla 1.1).

Tabla 1.1 Clasificación de la relación de Runkel ($2w / l$) (Larios, 1979)

GRADO	RANGO	CLASIFICACIÓN
I	< 0.25	Excelente
II	0.25 - 0.50	Muy buena
III	0.50 - 1.00	Buena
IV	1.00 - 2.00	Regular
V	> 2.00	Mala

Hernández, (2008) indica que la siguiente clasificación de Tabla 1.2, deriva en propiedades respecto a la conducta que tendrán las fibras disociadas al momento de la manufactura de papel.

Tabla 1.2. Clasificación del coeficiente de flexibilidad (l/D) (Fuentes, 1987)

RANGO	TIPO DE PARED CELULAR	PROPIEDADES
Menor de 0.30	Muy gruesa	Las fibras no se colapsan. Muy poca superficie de contacto. Pobre unión fibra – fibra
De 0.30 a 0.50	Gruesa	Las fibras se colapsan muy poco. Poca superficie de contacto. Poca unión fibra – fibra
De 0.50 a 0.65	Media	Fibras parcialmente colapsadas, con sección transversal elíptica. Buena unión fibra - fibra
De 0.65 a 0.8	Delgada	Parcial colapso de las fibras, buena superficie de contacto y unión entre fibras
Mayor de 0.80	Muy delgada	Las fibras se colapsan. Buena superficie de contacto. Buena unión entre fibra-fibra

En la Tabla 1.3 se muestra la clasificación del coeficiente de rigidez, el cual es útil para la clasificación de qué tan gruesa o delgada es el espesor de pared de la célula, a su vez nos indica el grado de aplastamiento de las fibras o si éstas se colapsan o no durante la elaboración del papel, ya que este aspecto tiene que ver con la unión entre las fibras y por ende con la resistencia de la hoja, teniendo siempre en cuenta que para fines papeleros se considera el espesor de pared dos veces de la misma fibra (Hernández, 2008).

Tabla 1.3. Clasificación del coeficiente de rigidez (2w/D) (Fuentes, 1987)

RANGO	TIPO DE PARED CELULAR	PROPIEDADES
Mayor de 0.70	Muy gruesa	Muy alta
De 0.70 a 0.50	Gruesa	Alta
De 0.5 a 0.35	Media	Media
De 0.35 a 0.20	Delgada	Baja
Menor de 0.20	Muy delgada	Muy baja

Finalmente, en la Tabla 1.4 se clasifica al índice de esbeltez de acuerdo a los valores obtenidos:

Tabla 1.4. Clasificación del índice de esbeltez o coeficiente de Peteri (L/D)
(Hinostroza, 1988)

RANGO	CATEGORÍAS	CARACTERÍSTICAS PAPELERAS
Mayor a 75	Maderas de baja densidad (< a 0.45 gr/cm ³) livianas, fibras de paredes delgadas y lumen ancho.	El material fibroso tiende a plastificarse y tiene buena superficie de contacto, esto quiere decir que tiene buena adherencia entre fibras
Fibras entre 75 - 50	Maderas semipesadas, lumen y paredes de las fibras medianas.	El material fibroso tiende a plastificarse indiferentemente, podemos apreciar de forma elíptica en el corte transversal, teniendo así una superficie de contacto excelente y buena adherencia entre fibras
Fibras entre 50 - 30	Maderas semipesadas, de paredes anchas y lumen poco desarrollado	El material fibroso no se plastifica, o muy pocos tienden a plastificarse, por ende presenta una superficie de contacto muy bajo y consecuentemente poca adherencia entre fibras
Fibras menores a 30	Son maderas pesadas a muy pesadas, fibras de paredes desarrolladas y lumen muy reducido.	El material fibroso mantiene su forma tubular, son fibras rígidas y presentan poca superficie de contacto y mala adherencia entre fibras

Largo de la fibra: Las fibras de maderas latifoliadas varían desde aproximadamente 0,5 mm hasta 3 mm, siendo el promedio de 1 mm, o ligeramente más, de largo (Figura 1.4. a). en la Figura 1.4. b, se identifican fibras de maderas de coníferas muy alargadas y lignificadas con extremos cerrados, muy afilados con una longitud en promedio de 3 mm a 5 mm (Mogollón et al., 2008).



Figura 1.4. a. Fibras latifoliadas
(PROCYP, 2017)



b. Fibras de *P. elliotii*
(Núñez, 2016)

Las fibras largas dan mayor resistencia al papel; aunque si las fibras largas no están batidas producen un papel de muy baja resistencia (Casey, 1990).

Diámetro y lumen de las fibras: Las fibras de maderas latifoliadas poseen un diámetro promedio de 0,02 mm, lumen de 16 μ y el ancho de la pared 2 a 6 μ . Las coníferas tienen un diámetro promedio de 0,03 mm, lumen 24 μ y el ancho de la pared celular es de 3 a 10 μ .

Las maderas que presentan un diámetro amplio del lumen y de la fibra producen pulpas de muy buena calidad, pues desarrollan el colapso y propician una mayor formación de enlaces entre ellas, mejorando así la calidad de las pulpas producidas (Horn, 1978).

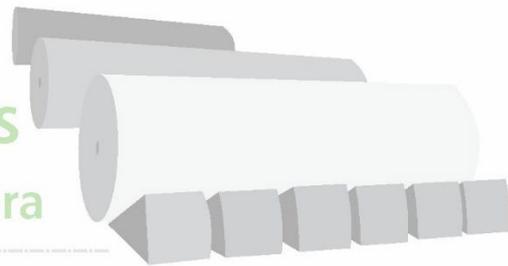
Índices de calidad de pulpas

Las relaciones de las dimensiones de las fibras contribuyen positiva o negativamente en el tipo y en la calidad del papel producido (Luna, 1983). Es primordial producir una pulpa de buena calidad con aquellas maderas que presentan un valor alto en el coeficiente de flexibilidad y valores bajos en el índice de rigidez, en el coeficiente de Peteri (esbeltez) y en la relación de Runkel.

Otros parámetros que influyen en la calidad de la pulpa son el porcentaje de madera temprana y tardía, la cantidad y tipo de inclusiones, y la proporción de las fibras respecto a vasos, rayos y parénquima (Amidon, 1981), el tipo de separación de fibras (químico, semiquímico o mecánico) y sus variantes (sulfato, alcalino, sulfito, etc.) y el método de fibrilación (blanqueo y/o refinación) (Luna, 1983).

*Nota: el método de maceración para la obtención de **preparados microscópicos** se describe en el **Anexo del Trabajo práctico N° 1**.*

Industrias
Químicas
de la Madera



TPN°1

Actividades

Actividades

1. En base a los 2 preparados microscópicos brindados por la cátedra, uno de especie gimnosperma y otro de especie angiosperma, realizar la medición de las fibras: largo, diámetro y espesor de la pared (obtenido de la resta del diámetro de la fibra menos el diámetro del lumen y dividido por dos). Para ello, utilizar un microscopio con un micrómetro ocular y un micrómetro objetivo de 0.1 mm a 0.01 mm. También se puede usar microscopio de proyección con pantalla graduada.

	Especie gimnosperma:				Especie angiosperma:			
	Largo (L)	Diámetr o fibra (D)	Diámetr o lumen (l)	Espesor (2w)	Largo (L)	Diámetro fibra (D)	Diámetro lumen (l)	Espesor (2w)
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								

15								
16								
17								
18								
19								
20								

2. Con los datos tomados determinar los coeficientes de calidad.

Coficiente de flexibilidad

$$CF = \frac{l}{D}$$

Coficiente o índice de rigidez

$$CR = \frac{2w}{D}$$

Coficiente de Peteri o índice de esbeltez

$$IE = \frac{L}{D}$$

Relación de Runkel

$$RR = \frac{2w}{l}$$

3. Clasificarlas según la relación de Runkel.

Bibliografía

- Amidon, T.E. 1981. Effect of wood properties of hardwoods on kraft paper properties. Tappi 64(3):123- 125.
- Area, M. C. 2021. Tecnologías de la industria de pulpa y papel. Texto didáctico "Materias primas". PROCYP.
- Casey, P. J. 1990. Pulpa y papel. Química y tecnología química. Volumen 1. Editorial LIMUSA. pp:187-192.
- Earl, L.C. 1979. Ciencia y tecnología sobre pulpa y papel. Tomo I: pulpa. CECSA. pp:39-78.
- Fuentes S., M. (1987). Efecto de la digestión en los índices de calidad de pulpa para papel, de la madera *Pinus montezumae Lamb.* Tesis profesional, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera, Morelia, México.
- González, V. (2019) Aptitud de fibras de *Feuillea edulis (Mart.) Kuntze* y *Feuillea ruiziana (G. Don) Kuntze* para la producción de pulpa para papel Chanchamayo – Junín (Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Forestal y Ambiental) Universidad Nacional del Centro del Perú – Facultad de Ciencias Forestales y del Ambiente – Huancayo – Perú.
- Hernández, O. M. (2008). Elaboración y caracterización del papel artesanal de la corana del fruto de dos variedades de piña *Ananas comosus (L.) Merr.* (tesis de pregrado). Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Texcoco, México.
- Hinostroza, J. (1988). Estudio Biométrico de las Fibras leñosas *Salix humboldtiana Willd* y *Sambucus peruviana H.B.K.* del Valle del Mantaro. Huancayo (Perú).
- Horn, R.A. 1978. Morphology of pulp fiber from hardwoods and influence on paper strength. Forest Products Laboratory. Forest Service. US Department of Agriculture. 8 p.
- Huerta C., J y G. Corral L. 1975. Características tecnológicas de las pulpas de 10 coníferas. VI Congreso Mexicano de Botánica. Xalapa, México. 10 p.

- Larios S., P. 1979. Indices de calidad de las pulpas de dos coníferas. Tesis profesional. Departamento de Bosques. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 68 p.
- Luna O., T. 1983. Determinación de los índices de calidad de las pulpas de 29 maderas tropicales de Chiapas. Tesis profesional. Universidad Nacional Autónoma de México. Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala. México. 54 p.
- Mogollón, G, García Hortal, J. A.; León, W. 2008. Materias primas fibrosas. Panorama de la industria de celulosa y papel en Iberoamérica.
- Tamolang, F.N. y F.F. Wangaard. 1961. Relationships between fiber characteristics and pulp-sheet properties. Tappi 44(3):201-216.

Anexo Trabajo práctico N° 1

Tema: **Macerado de fibras**

Objetivo

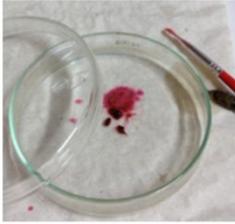
Obtener un macerado de fibras de especie forestal con aptitud papelera para medición de largo, diámetros y espesor de fibras.

Introducción

Para la medición de las dimensiones de la fibra proveniente de una especie forestal es necesario realizar macerados. El método de maceración permite estudiar y observar las fibras separadas y completas para lograr una impresión tridimensional del material celular, utilizando soluciones que disuelven la lámina media y producen la separación de las células, de pequeñas astillas de madera.

Se usa el método de Jeffrey (de acuerdo a los reactivos que se disponga):

<p>1</p>  <p>Se corta el material en astillas pequeñas</p>	<p>2</p>  <p>Se retira el aire del material, hirviendo y enfriando repetidamente o con vacío</p>
<p>3</p> <p>Se macera el material en una solución de partes iguales (1:1) de:</p> <ul style="list-style-type: none">*Solución acuosa de ácido nítrico a 10 %*Solución acuosa de ácido crómico a 10% <p>* La solución se calienta a 40° C, durante varias horas, las células comienzan a separarse alrededor de las 24 hs. Puede usarse una varilla de vidrio de punta redondeada para amasar suavemente el material. Si no separa fácilmente, cambiar por una solución fresca y seguir con la maceración</p> 	<p>4</p>  <p>Se lava bien para remover los ácidos del material. Se seca el material en un embudo con papel de filtro</p>

<p>5</p>  <p>Se lava una vez con una solución saturada de bicarbonato de sodio</p>	<p>6</p>  <p>Se lava con agua destilada</p>
<p>7</p> <p>Se tiñe con una solución acuosa de safranina al 1 %. El tiempo de coloración puede variar entre 15 minutos a 6 horas, conforme al material</p> 	<p>8</p>  <p>Se lava bien hasta retirar el exceso de colorante. Se deshidrata con alcohol 96 % y con alcohol absoluto</p>
<p>9</p>  <p>Se monta el material en un portaobjeto y se desliza un cubreobjeto evitando aire ocluido, para iniciar las mediciones</p>	<p>10</p>  <p>Se realiza la medición por microscopio, con un micrómetro ocular y un micrómetro objetivo de 0.1 mm a 0.01 mm</p>

Bibliografía

Casey, J. P. (1990). Pulpa y papel. Química y tecnología química. Volumen 1. Editorial Limusa. Pág. 187-192.

Díaz Zírpolo, J., Moglia, J. G. (2019). Serie didáctica N° 41. Guía de trabajos prácticos de Dendrología. Pág. 14-15.

Trabajo Práctico N° 2

Tema: Densidad básica de la madera

Asignatura: Industrias Químicas de la Madera - Año 2024

Trabajo práctico N° 2

Tema: **Densidad básica de la madera**

Objetivo

Determinar la densidad básica de la madera y astillas con aptitud papelera.

Introducción

La madera es un material orgánico, heterogéneo y anisotrópico (las propiedades son diferentes según la dirección), con características propias que dependen de su naturaleza, estructura y composición química. Las propiedades físicas permiten obtener un mayor conocimiento del comportamiento de la madera en relación con su ambiente, lo que posibilita una aplicación industrial racional y con máxima valoración económica (Pan et al., 2009). Existen variables físicas, dendrométricas y anatómicas importantes que relacionan las características estructurales con su posterior aplicación (Giménez et al., 2014), como la densidad. Es uno de los parámetros de mayor utilización en la tecnología de la madera y en las industrias de transformación química. Su versatilidad se debe a que reúne las características de ser un buen indicador de calidad de la madera, además de que su determinación es sencilla y económica (Spavento et al., 2008). La relación entre la masa y el volumen de un cuerpo equivale a su densidad (Coronel, 1994):

$$d = m / v \text{ [g/cm}^3\text{]}$$

Uno de los métodos más utilizado y difundido en las industrias químicas de la madera para la determinación de la densidad básica es por pesada y desplazamiento de fluidos (Fig. 2.1) en balanza analítica de 0,01 gramos de precisión y para ello se utiliza la norma TAPPI T 254-om-94: determinación de la densidad básica (peso seco/volumen saturado) (Pinilla et al., 2021). Se mide el volumen de la probeta de madera en función del peso del líquido desplazado por su inmersión. Al sumergir la pieza en un recipiente

con agua, se produce el desplazamiento de su nivel, lo que da lugar a una variación del volumen equivalente al volumen de la pieza sumergida.

La ecuación queda así:

$$P \text{ (peso del líquido desplazado)} = E \text{ (empuje del líquido desplazado)}$$

Por hidrostática (principio de Arquímedes), se tiene:

$$E = v \times d \text{ (agua)}$$

Por lo tanto:

$$P = v \times d \text{ (agua)}$$

Siendo v el volumen del líquido desplazado o volumen de la probeta.

Al ser la densidad del agua igual a $1 \text{ [g/cm}^3\text{]}$

$$P \text{ [g]} = v \text{ [cm}^3\text{]}$$

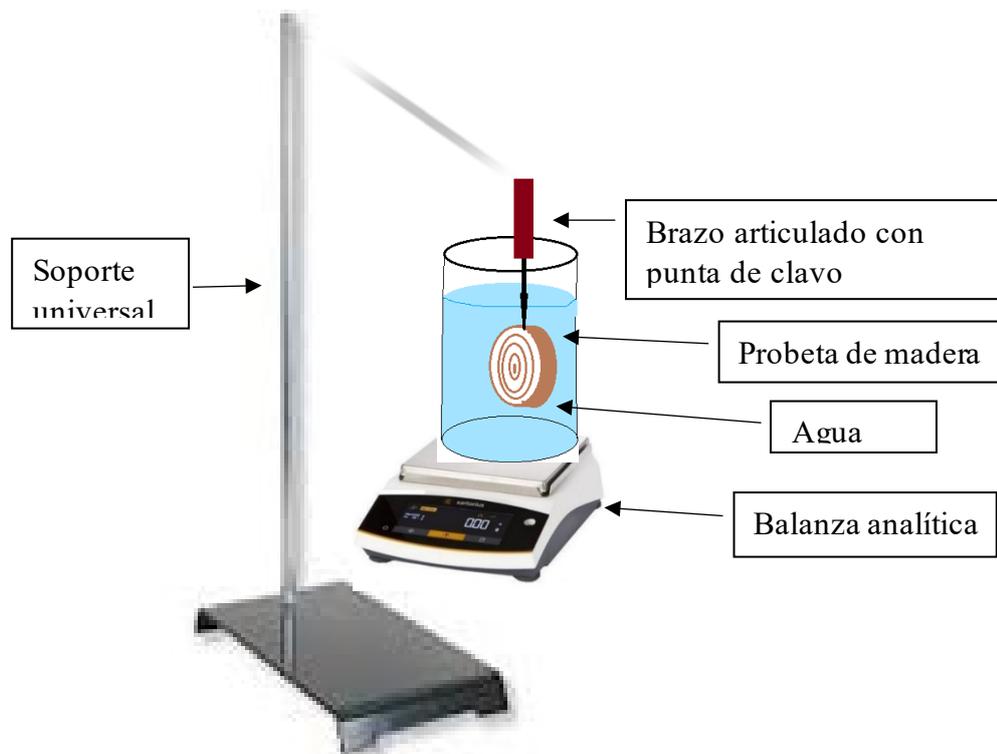
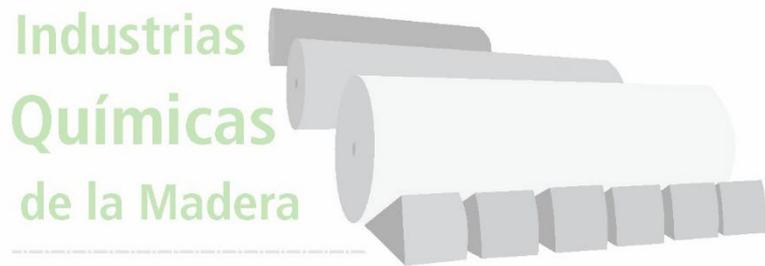


Figura 2.1. Determinación de densidad básica por pesada y desplazamiento de fluidos.

Industrias
Químicas
de la Madera



TPN°2

Actividades

Actividades

I. Densidad básica en rodajas de madera

1. Seleccionar 1 rodaja de madera de angiosperma y 1 rodaja de madera de gimnosperma y limpiar todas las superficies de cualquier suciedad (polvo de aserrín, pequeños restos de corteza, polvo del ambiente) e impermeabilizarlas con una capa de parafina, si se tiene.
2. Identificar cada rodaja de madera de angiosperma y gimnosperma con marcador indeleble.
3. Colocar sobre una balanza un vaso de vidrio con agua suficiente para poder sumergir totalmente una probeta (cada rodaja de madera) y luego se tara la balanza (se lleva a peso 0).
4. Introducir 1 rodaja de madera soportada por el brazo articulado y sostenida por la punta de clavo o aguja en el vaso de vidrio con agua teniendo cuidado que no toque el fondo ni las paredes del recipiente ni arrastre alguna burbuja de aire, y anotar el peso indicado en la balanza.

Peso de rodaja o probeta gimnosperma en gramos: _____

Peso de rodaja o probeta angiosperma en gramos: _____

5. Una vez sumergida la probeta en un tiempo relativamente corto para que la muestra no tome humedad, registrar el peso final (P_f). El peso en gramos de la balanza va a ser numéricamente igual al volumen en cm^3 de la probeta.

Peso de rodaja o probeta gimnosperma en gramos (P_f): _____

Peso de rodaja o probeta angiosperma en gramos (P_f): _____

6. Sacar las probetas y llevarlas a estufa para secarlas a 105°C , durante 24 horas o más, hasta peso constante. Tomar el peso seco (P_s).

Peso de rodaja o probeta gimnosperma en gramos (P_s): _____

Peso de rodaja o probeta angiosperma en gramos (P_s): _____

7. Con los datos obtenidos realizar los cálculos aplicando la siguiente fórmula, y expresar sus conclusiones al comparar las dos especies.

$$D_b = P_s / P_f$$

Donde:

D_b es densidad básica [g/cm^3]

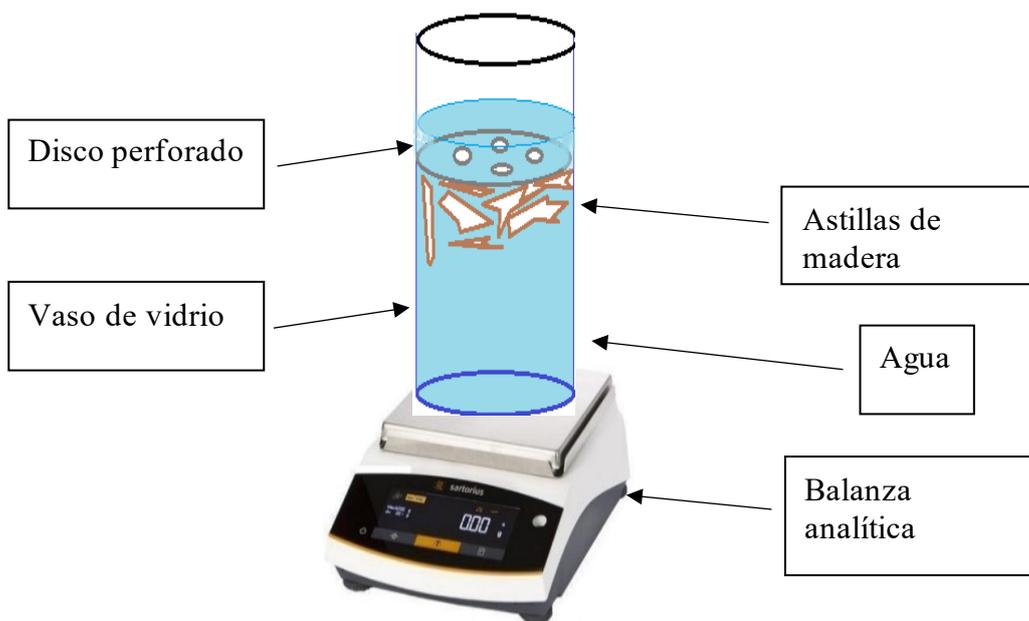
$$D_{b \text{ angiosperma}} = \frac{\text{_____}}{\text{_____}}$$

$$D_{b \text{ angiosperma}} = \text{_____}$$

$$D_{b \text{ gimnosperma}} = \frac{\text{_____}}{\text{_____}}$$

$$D_{b \text{ gimnosperma}} = \text{_____}$$

II. Densidad básica en astillas



1. Seleccionar un puñado de astillas de madera, limpiar todas las superficies de cualquier suciedad (polvo de aserrín, pequeños restos de corteza, polvo del ambiente) y luego pesarlas.
2. Colocar sobre una balanza un vaso de vidrio, que contenga un disco perforado para ejercer fuerza de inmersión sobre las astillas, con suficiente agua para sumergir totalmente las astillas. Luego tarar la balanza (se lleva a peso 0).
3. Introducir las astillas de madera y sumergirlas en el vaso de vidrio con agua teniendo cuidado que no arrastre alguna burbuja de aire, y anotar el peso indicado en la balanza.

Peso de astillas en gramos: _____

4. Una vez sumergida las astillas en un tiempo relativamente corto para que la muestra no tome humedad, registrar el peso final (P_{astillas}). El peso en gramos de la balanza va a ser numéricamente igual al volumen en cm^3 de las astillas.

Peso final de astillas en gramos (P_{astillas}): _____

5. Sacar las astillas y llevarlas a estufa para secarlas a $105\text{ }^\circ\text{C}$, durante 24 horas o más, hasta peso constante. Tomar el peso seco ($P_{\text{s astillas}}$).

Peso final de astillas en gramos ($P_{\text{s astillas}}$):

6. Con los datos obtenidos realizar los cálculos aplicando la siguiente fórmula, y expresar sus conclusiones.

$$D_{\text{b astillas}} = P_{\text{s astillas}} / P_{\text{f astillas}}$$

Donde:

$D_{\text{b astillas}}$ es densidad básica [g/cm^3]

$$D_{\text{b astillas}} = \text{_____} / \text{_____}$$

$$D_{\text{b astillas}} = \text{_____}$$

Bibliografía

- Coronel, E. (1994). Fundamentos de las propiedades físicas y mecánicas de las maderas. Aspectos teóricos y prácticos para la determinación de las propiedades y sus aplicaciones. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero.
- Giménez, A. M., Moglia, J. G., Hernández, P., Gerez, R. (2014). Anatomía de la Madera. Serie Didáctica. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero.
- Pan, E. M., Ruiz, A. P., Vidal Ruiz, E. (2009). Propiedades tecnológicas de la madera. 1° parte. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero.
- Pinilla, J.C.; Navarrete, F.; Luengo, K.; González, J.; Navarrete, M.1 y Acevedo, J. (2021). Aplicación de la metodología seis sigmas para mejorar la calidad de la estimación de densidad básica de la madera en *Acacia mearnsii*. Revista *Ciencia & Investigación Forestal* Vol. 27, N° 1.
- Spavento, E., Keil, G. D., Monteoliva, S. (2008). Propiedades Físicas de la Madera. Facultad de Ciencias de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata.
- TAPPI T 254-om-94. (2006).

Trabajo Práctico N° 3

Tema: Chipeado, clasificación por tamizado y humedad de la madera

Asignatura: Industrias Químicas de la Madera - Año 2024

Trabajo práctico N° 3

Tema: **Chipeado, clasificación por tamizado y humedad de la madera**

Objetivo

Chipear madera apta para pulpa y determinar la humedad de las astillas.

Introducción

En las fábricas o industrias de la pulpa, utilizan directamente los troncos (pulpa mecánica a la piedra) y otras requieren chips. La madera llega a la fábrica de la industria forestal por diversas vías (tren, barcos, camiones), y en forma de troncos o de chips. Estos últimos pueden provenir de un aserradero u obtenidos a campo, o ser producidos en la misma fábrica (Fig. 3.11).

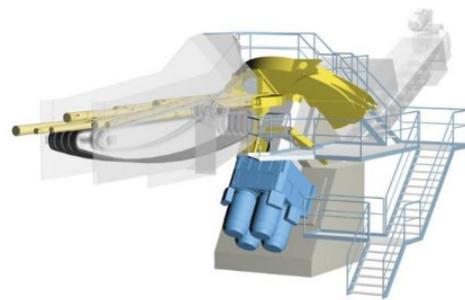


Figura 3.1. Astilladora de cuchillas a campo y en fábrica, con alimentación horizontal.

El objetivo del chipeado es la reducción de los troncos a fragmentos (chips) cuyo tamaño facilite la penetración de licores de cocción o el desfibrado en la obtención de pulpas para papel. En la mayoría de las industrias de pulpa celulósica se busca que la distribución del tamaño de la astilla sea lo más estrecha posible (Robles Santos, 2011). Luego del chipeado, los chips son clasificados en una zaranda vibratoria (Figura 3.2), con el

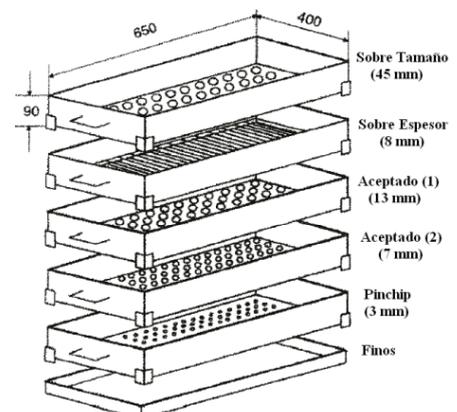


Figura 2. Clasificadora de chips de madera.

propósito de separar el material aceptado de los demasiado grandes o chicos. Un chipeado típico de coníferas puede producir un 85 % de aceptados, 4 % de sobretamaños en espesor, 2 % de sobretamaños en longitud, 7 % de pin chips y 2 % de finos (Figura 3.3). Mientras que los sobretamaños son rechipeados, los finos se queman en la caldera de leña. Es importante que el tamaño de los chips sea uniforme. La variable más importante es el espesor del chip. En la industria forestal, los chips aceptados son almacenados en silos o en pilas al aire libre hasta su consumo donde son tamizados para clasificar en tamaño uniforme (Area, 2021).



Figura 3.3. Astillas obtenidas del clasificador. F1 sobre tamaño, F2 sobre espesor, F3a aceptado, F3b aceptado, F4 pin chip, F5 finos. Fuente: Robles Santos (2011).

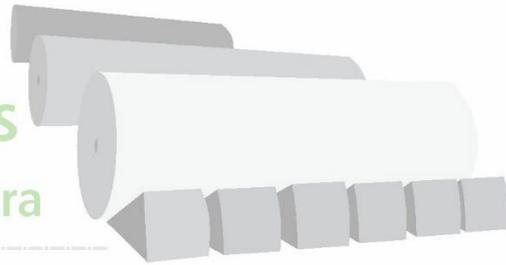
Existen características determinantes en los chips como lo es el **contenido de humedad**, chips muy secos dificultan la impregnación química y chips muy húmedos afectaran el rendimiento. En cuanto al **espesor**, chips muy gruesos dificultan la penetración del licor y la cocción se vuelve incompleta (rechazo de gruesos) y chips muy finos resultan en sobrecocción que reduce el rendimiento y la resistencia de la pulpa. Por otro lado la **edad** del árbol tiene su incidencia marcada en los chips debido a que la madera juvenil posee menor contenido de celulosa y mayor contenido de lignina reduciendo el rendimiento y aumentando el consumo de reactivos. Finalmente, la **posición de la madera en el tronco** influye en el consumo de reactivos debido a que la madera del duramen contiene un mayor nivel de extractivos (pulpa más oscura, mayor consumo de reactivos), menor humedad (más difícil de impregnar) y la madera de la albura lo contrario. En la Figura 3.4 se observa el tamaño de los chips y los chips homogéneos que se obtienen de la astilladora de cuchillas para la industria de la celulosa y en carpintería para laboratorio.



Figura 3.4. Tamaño de chips y homogeneidad de chips obtenidos de astilladora de cuchillas para industrias y en carpintería para laboratorio.

El contenido de humedad de las astillas depende de la especie de madera, de la estación en que se hace el aprovechamiento forestal y del tiempo de almacenaje y sus condiciones. Como se torna dificultoso determinar el porcentaje de materia seca o el contenido de humedad de grandes volúmenes, muchas veces se utilizan técnicas de muestreo. Para ello se deben tomar 5 a 15 muestras de distintas partes de la parva, bien mezcladas y el contenido de humedad se determina sobre la base de esta muestra general. La determinación de la humedad mediante secado en estufa y pesada es un método sencilla y seguro con una exactitud que está normalmente entre + 1,5 y - 0,7 por ciento (FAO, 1978).

Industrias
Químicas
de la Madera



TPN°3

Actividades

Actividades

1. Tomar una rodaja de madera apta para pulpa con corteza, luego descortezarla manualmente con cincel y cortafierros.
2. En colaboración con la carpintería, obtener chips de 4 mm de espesor (límite superior para los gruesos de las astillas de laboratorio), 15 mm a 30 mm de ancho y 45 mm de largo. *Existe una relación lineal en las astilladoras comerciales entre la longitud y el grueso, con un factor de 5 a 7 (la longitud es 5 a 7 veces mayor que el grueso).*
3. Recolectar todos los chips obtenidos, tomar una parte de los chips y molinarlos.
4. Clasificar el material obtenido: pasar por un tamiz N° 20 (850 µm) y retener en tamiz N° 40 (420 µm).
5. Pesar una muestra 2 g al 0.001 g (A) en una botella de pesaje tarada. Secar durante 2 h en una estufa a 105 ± 3 °C, enfriar en un desecador, volver a colocar el tapón y abrir el tapón momentáneamente para igualar la presión del aire y pesar. Regresar la botella al horno por 1 h; repetir el enfriamiento y pesaje como se indicó anteriormente por períodos sucesivos de horas hasta que se alcance el pesaje constante (B), es decir, hasta que los pesajes sucesivos no varíen en más de 0.002 g.

Muestra astillas (chips madera)	Hora	Peso (g)	Diferencia de peso
Peso muestra 2 g al 0,001 g (A)			
Peso muestra			
Peso muestra (B)			

6. Calcular el porcentaje de humedad en la madera al 0.1 %:

$$\text{Contenido de humedad \%} = \frac{(A - B)}{A} * 100$$

donde A y B son los pesos de la muestra después de restar el peso de las botellas de muestra.

$$\text{Contenido de humedad \%} = \frac{(\text{-----} - \text{-----})}{\text{-----}} * 100$$

$$\text{Contenido de humedad \%} = \text{-----}$$

Bibliografía

Area, M. C. 2021. Tecnologías de la industria de pulpa y papel. Texto didáctico "Preparación de madera". PROCYP.

FAO, (1978). Las astillas de madera: su producción, manipulación y transporte. ESTUDIO FAO: MONTES 9. Roma, Italia.

Normas TAPPI T 264 cm-97 (1997). Método clásico. (Technical Association of the Pulp and Paper Industry).

Robles Santos, R. A. (2011). Control de dimensiones del astillado en la industria de la celulosa. Disertación como parte tesis maestría. Universidade Federal de Viçosa. Brasil.

Trabajo Práctico N° 4

Tema: **Balance de materia en un proceso de fabricación de pulpa celulosa.**

Asignatura: Industrias Químicas de la Madera - Año 2024

Trabajo práctico N° 4

Tema: **Balance de materia en un proceso de fabricación de pulpa celulosa.**

Objetivos

Determinar mediante un balance de materia el consumo de madera utilizada en la producción de pulpa celulosa.

Determinar la superficie necesaria de una plantación dado una determinada producción de pulpa celulosa.

Introducción

La ley de conservación de la materia establece que ésta no puede ser creada ni destruida, lo cual conduce al concepto de masa, y la ley correspondiente puede establecerse afirmando que la masa de la sustancia que interviene en un proceso cualquiera permanece constante.

Para efectuar un balance de masa de un proceso se debe especificar el sistema al cual se le aplicará dicho balance. Un sistema se refiere a cualquier porción arbitraria o a la totalidad del proceso establecido específicamente para su análisis.

El balance de masa no es más que una contabilización del material aplicado al sistema del que se trate. La fórmula general es:

$$\text{ENTRADA} = \text{SALIDA} + \text{ACUMULACIÓN}$$

El último término será negativo cuando hay pérdida de masa en el sistema.

La realización del balance es importante para el cálculo del tamaño de equipos de un proceso que se emplean, cálculo de material que se emplea para una determinada producción, para evaluación de costos, etc.

Este balance se puede aplicar a una unidad de proceso como a todo el proceso completo.

Conceptos a tener en cuenta

Madera verde con corteza: Es la madera tal cual arriba a la fábrica de celulosa. Su expresión en toneladas incluirá la madera seca más la humedad en el momento de la recepción.

Madera verde sin corteza: Es la madera anteriormente definida si eliminamos la corteza.

Madera seca 100 % o madera seca: Es la madera seca en estufa a 105 °C hasta peso constante. También se la denomina bone dry o BD.

Madera expresada al 90 %: Se usa para expresar la madera en toneladas al 90 % de sequedad independientemente de la sequedad real de la madera.

Pasta seca al aire o seca al 90 %: Es usual expresar la pasta en toneladas al 90 % de sequedad independientemente de la sequedad real del producto. También se la denomina pasta AD (air dry).

$$\text{Pasta seca al 90 \%} = (\text{Pasta seca 100 \%} \times 100) / 90$$

Pasta seca 100 %: Es la pasta seca en estufa a 105 °C hasta peso constante. Se denomina también pasta BD (bone dry).

Consistencia: Es el porcentaje en peso de la fibra seca que contiene un volumen determinado de suspensión. Usualmente denominamos consistencia entre 0 – 10 %. Arriba del 10 % nos referimos a sequedad.

Rendimiento de una operación: Es la cantidad obtenida por unidad de producto ingresado a la operación.

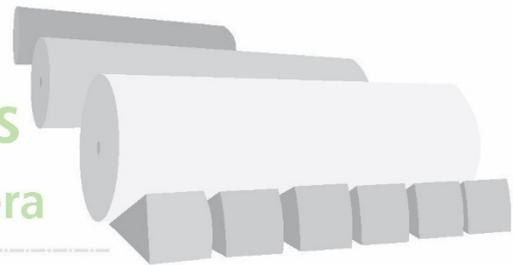
Rendimiento de un proceso de fabricación de pasta:

$$= (\text{Pasta al 90 \%} \times 100) / \text{Madera al 90\%}$$

Consumo de madera: Es la cantidad de madera verde que se consume en el proceso de fabricación por unidad de pasta producida (AD).

$$\text{Consumo de madera} = \frac{\text{Madera verde consumida (t)}}{\text{Pasta al 90 \% obtenida (t)}} = \frac{\text{Madera al 90 \% x 0,9/ seq. Madera}}{\text{Pasta al 90\%}}$$

Industrias
Químicas
de la Madera



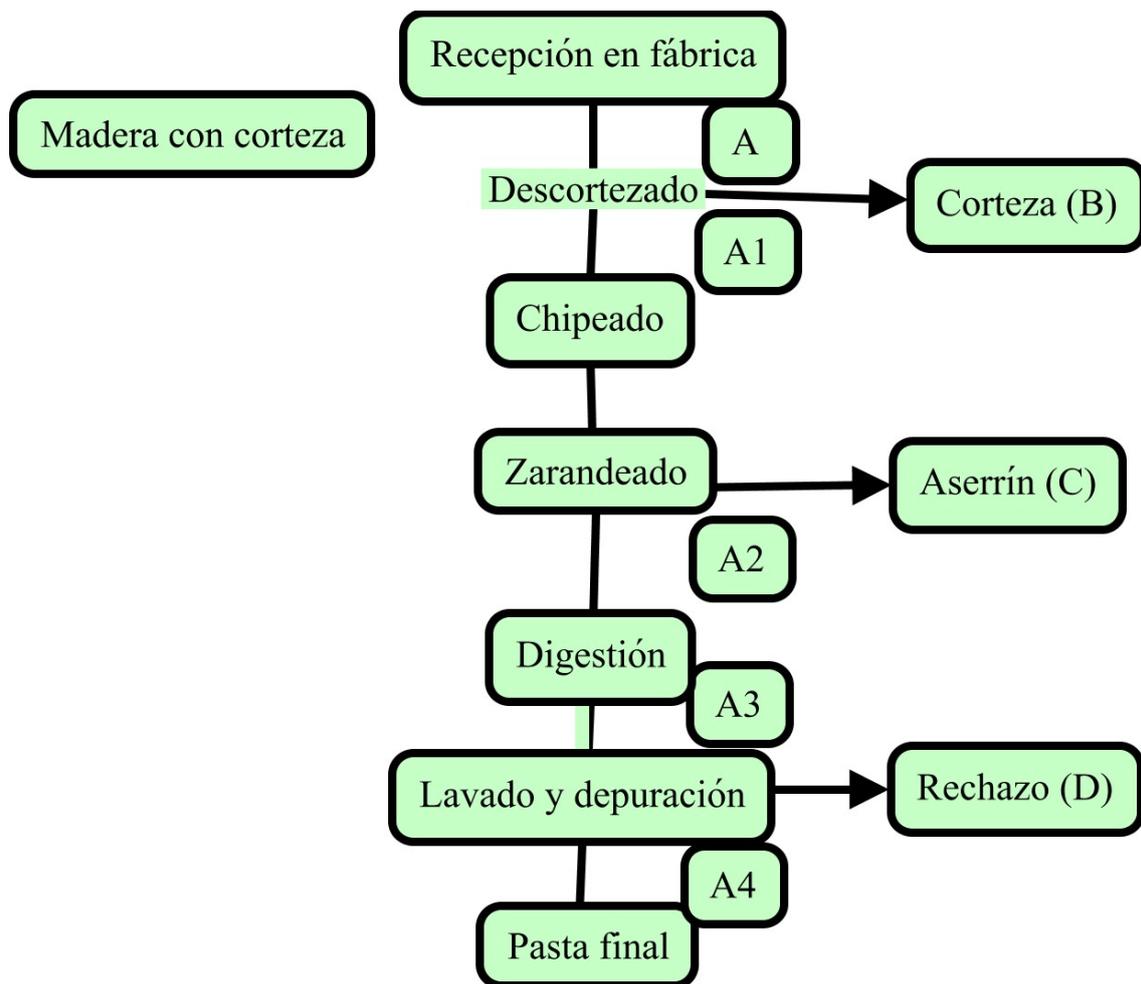
TPN°4

Actividades

Actividades

Problemas

- 1) Dado un proceso de fabricación de pastas que sigue el esquema dado a continuación:



Si se quiere una producción de pasta al 90 % de 400 t/día (A4) y se tiene:

un rendimiento de depuración = 99 %

un rendimiento de digestión = 47 %

un rendimiento de chipeado y zarandeado = 96 %

la sequedad de la madera adquirida = 55 %

y la corteza sobre madera = 15 %

calcular:

a) la cantidad de madera verde con corteza necesaria,

b) el consumo de madera (con corteza) sobre pasta,

c) la corteza (B),

d) el aserrín del zarandeado (C) y

e) el rechazo en la depuración (D), que se necesitaría.

2) Determinar el consumo de la madera en la fabricación de pasta mecánica de álamo si el rendimiento del proceso es del 93 % y la sequedad de la madera es del 50 %.

3) Determinar el consumo de la madera en la fabricación de pasta química de eucalipto si el rendimiento del proceso es del 43 % y la sequedad de la madera es del 60 %.

4) Si se quiere producir 500.000 t de pasta celulósica de fibra larga. ¿Qué cantidad de hectáreas se deben plantar de especies de fibra larga para abastecer esa producción?

Datos:

Rendimiento de la industria: 50 % t de pasta seca al aire/ madera seca al aire

Rendimiento de la plantación: 25 m³/ha y por año

Humedad de la madera: 50 %

Período de corta: 10 años

Densidad de la madera: 0,5 t/m³

Bibliografía

ATIPCA (Asociación Técnica de la Industria de Celulosa y Papel Argentina). 1978.

Tomo I. Fabricación de pasta.

McCabbe, Warren L. & Smith, Julian C. 1978. Operaciones básicas de Ingeniería

Química. Volumen II. Editorial Reverté S.A. 1048 pág.

Mussi. Apuntes.

Trabajo Práctico N° 5

**Tema: Cálculo y preparación de reactivos (licor) para cocción
en proceso químico (Kraft).**

Asignatura: Industrias Químicas de la Madera - Año 2024

Trabajo práctico N° 5

Tema: **Cálculo y preparación de reactivos (licor) para cocción en proceso químico (Kraft).**

Objetivo

Comprender los parámetros del licor de cocción para proceso al sulfato (Kraft) y realizar los cálculos previos a una cocción o digestión.

Introducción

Generalizando, hay dos formas de separación de fibras: de manera mecánica y de manera química, y de allí el nombre de los **procesos mecánicos** y los **procesos químicos**, para la obtención de pulpas para la fabricación de papel, existiendo una gran combinación de estos procesos. El proceso de *pulpas mecánicas* se basaba en presionar los troncos contra una gran piedra que giraba a alta velocidad en presencia de abundante agua. El método continúa vigente en un molino de discos de barras radiales a partir de astillas. Son métodos de máximo rendimiento donde los recursos fibrosos tienen un mayor aprovechamiento y menor carga contaminante, brindando pulpas con mejor formación de hoja, mayor opacidad y otras propiedades específicas que las hacen irremplazables para determinados usos como en el caso de los papeles para diarios. En los *pulpados químicos* (Figura 5.1), las astillas de madera se cuecen con productos químicos adecuados en solución acuosa a temperaturas y presiones elevadas. Se extraen progresivamente la lignina, hemicelulosas, y cadenas cortas de celulosa (de acuerdo con la calidad del producto que se desea obtener) por lo que el rendimiento en pulpa es bajo. Se obtienen pulpas más resistentes y de mayor estabilidad a la blancura.

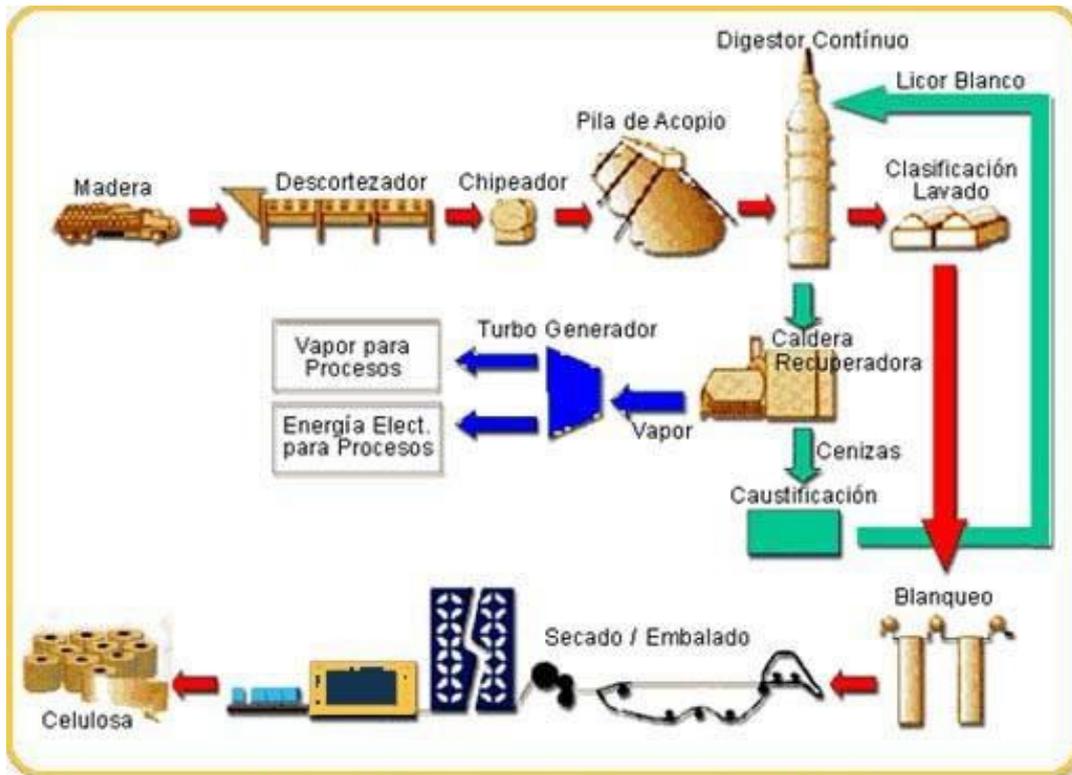


Figura 5.1. Proceso de pulpa Kraft. Fuente: www.papelnet.cl

Rendimientos de procesos de pulpa:

- Mecánicas puras: 93 % – 96 %
- Semiquímicas: 70 % - 80 %
- Quimtermomecánicas: 85 % – 90 %
- Químicas: 40 % - 50 %
- Quimimecánicas: 80 % – 85 %

El 80 % de la producción mundial de pulpas químicas corresponde al proceso kraft. Ha llegado a ocupar una posición dominante debido a sus ventajas en la recuperación de productos químicos y la resistencia de la pulpa. El proceso kraft consiste en dos ciclos fundamentales: el *proceso de pulpa*, y el *proceso de recuperación de químicos*. El *proceso de pulpa* consiste en la cocción de los chips, y el lavado posterior de la pulpa, en la que se separa el licor negro que contiene los químicos inorgánicos residuales, y los materiales disueltos de la madera. El *proceso de recuperación* consiste en la concentración del licor (evaporadores), el quemado del licor negro, la recuperación de los químicos originales (son recirculados a la cocción), la clarificación de licor verde y posterior clarificación de licor blanco (Figura 5.2). La posibilidad de la recuperación de

los productos químicos es una de las principales ventajas del proceso kraft, si no sería antieconómico y nocivo para el ambiente (Area, 2021).

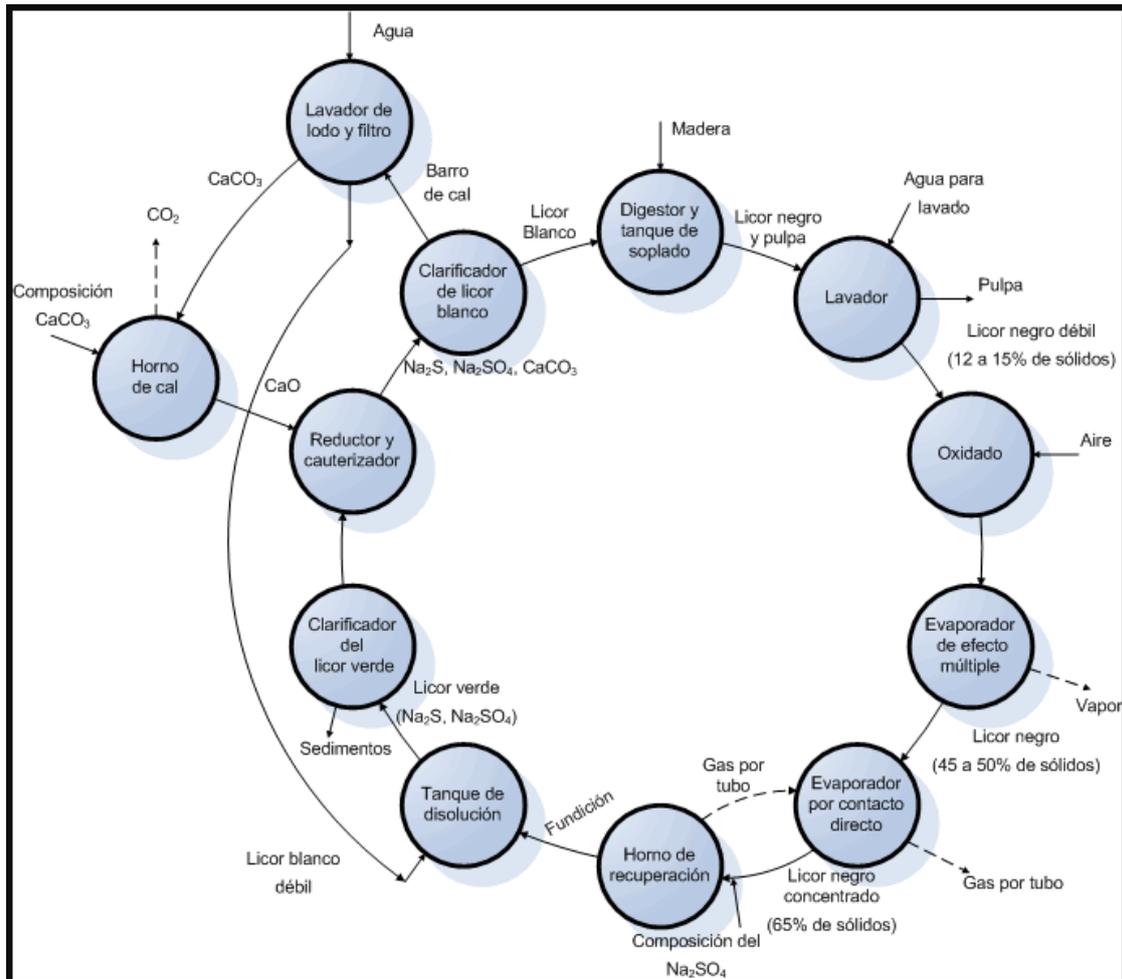


Figura 5.2. Proceso kraft. Fuente: Casey (1990).

Sintéticamente, se puede observar en la secuencia descrita en la Figura 5.3

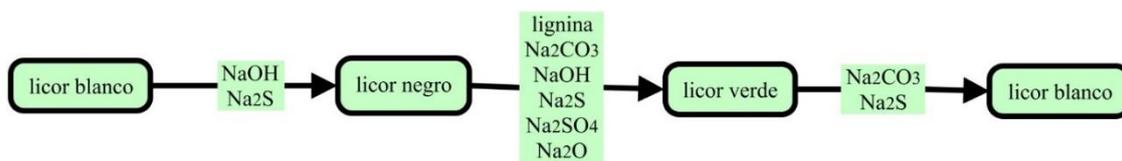


Figura 5.3. Secuencia y compuestos químicos de licor blanco, negro, verde, en el proceso Kraft.

El licor blanco empleado consiste en una mezcla de hidróxido de sodio y sulfuro de sodio, en una relación que depende de la sulfidez y la alcalinidad con que se desee trabajar.

Según Biermann (1996), los parámetros del licor de cocción (licor “blanco”) son:

Álcali total (TA g/L).....	Suma de todas las sales de Na del licor. $\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{S} + \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{Na}_2\text{S}_x\text{O}_y$
Álcali activo (AA, típico 100g/L).	Reactivos que participan en la cocción. $\text{NaOH} + \text{SNa}_2$
Álcali efectivo (EA).....	Reactivos que producen álcali en la cocción. $\text{NaOH} + 1/2 \text{SNa}_2$
Sulfidez (típico 24 % - 28 %).....	$(\text{Na}_2\text{S}/\text{AA}) \times 100$
Alcalinidad %.....	$(\text{alcali activo} / \text{peso madera seca}) * 100$ (todos los componentes expresados como Na_2O o como NaOH).

Normalmente las condiciones de cocción varían en los siguientes valores:

Alcalinidad (% Na_2O)	10 - 24
Sulfidez (% Na_2O)	15 - 30
Temperatura máxima de cocción (° C)	160 - 175
Tiempo de digestión, (hs).	1-5

Ventajas del pulpado kraft:

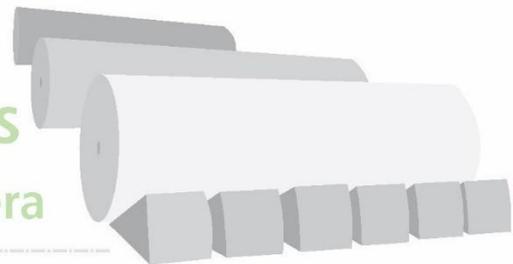
- La recuperación de los productos químicos, en más del 95% de los reactivos.
- Se usa gran variedad de materia de prima: madera, bagazo de caña de azúcar, chips de madera, etc.
- Proceso alcalino con alta eficiencia energética, ya que los componentes disueltos de la madera se convierten en biocombustibles.
- Despolimerización rápida y eficiente y disolución alcalina de la lignina.
- Excelente calidad de pulpa producida favoreciéndola en muchas aplicaciones.
- El blanqueo relativamente fácil y tecnológicamente viable de la pulpa cruda, siendo posible llevarla a los más altos grados de blancura.

- Obtención de fibras de buena calidad y resistencia.
- Fácil degradación de los extractivos de madera.
- El proceso se realiza tanto en digestores continuos como en digestores “batch”.

Carranza, M. E. (2017)

Las numerosas definiciones sobre tipos de pulpa existentes fueron definidas oficialmente para clarificarlas y estandarizarlas por el Comité de Pulpado Mecánico de la División de Manufactura de Papel de TAPPI (Technical Association of the Pulp and Paper Industry).

Industrias
Químicas
de la Madera



TPN°5

Actividades

Actividades

1. Realizar los cálculos para la digestión o cocción de chips de madera, según los datos proporcionados por la cátedra de acuerdo a la materia prima disponible.
 - a. Determinar la humedad de la madera y la cantidad de madera a agregar.
 - b. Calcular el licor de cocción.

1. Cálculos para la digestión o cocción.

a. *Humedad de los chips*

Seleccionar el material y determinar el % de humedad de la madera y con este valor, conociendo el peso seco a digerir (que va estar de acuerdo al tamaño del digestor), calcular la cantidad de material húmedo requerido y el peso del agua en la madera.

Para la determinación de la humedad base húmeda de la madera, pesar muestras de los chips en pesafiltros previamente tarados, y secar en estufa a $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante por lo menos 2 hs. Luego sacarlos, enfriarlos en desecador y pesarlos. Continuar el calentamiento hasta lograr peso constante (2 pesadas no deben diferir en más de 0.002 g) (Tappi T 264 om 88).

	1	2
Pesafiltro vacío (1)		
Pesafiltro + chips húmedos (2)		
Pesafiltro + chips secos (3)		
Chips húmedos (2) - (1) = wh		
Chips secos (3) - (1) = ws		
Humedad (%) $x_h = ((wh - ws) / wh) * 100$		
Humedad promedio		

La cantidad de madera húmeda se calcula empleando la siguiente formula:

$$X = ((wh - ws) / wh) \cdot 100 = (1 - ws / wh) \cdot 100 \quad ws / wh = (1 - x/100)$$

resulta el peso de la madera húmeda

$$wh = ws / (1 - X/100) = \underline{\hspace{10cm}}$$

y el peso del agua en madera: $wh - ws = \underline{\hspace{10cm}}$

b. Licor de cocción

Con los datos de las condiciones de cocción realizar el cálculo de la cantidad de Hidróxido de sodio y de Sulfuro de sodio en gramos, así como la cantidad de agua que se necesitan para la preparación del licor de cocción, recordando que:

Álcali Activo: En el proceso Kraft, está definido por la suma de $SNa_2 + NaOH$ expresado como NaOH.

$$Na_2S + NaOH = \% \text{ Álcali} / \text{madera seca } 100 \%$$

Sulfidez: Es el porcentaje encontrado al dividir el Na_2S expresado como NaOH, por el álcali total titlable x 100. Se utilizará la fórmula que relaciona al álcali activo:

$$\text{Sulfidez} = (Na_2S / (NaOH + SNa_2)) \cdot 100$$

Por lo tanto la cantidad de Na_2S , expresado como NaOH es:

$$Na_2S \text{ (como NaO)} = (\text{sulfidez} / 100) \cdot (NaOH + Na_2S)$$
$$= \underline{\hspace{10cm}}$$

Para calcular la cantidad de Na_2S a pesar, se hace la siguiente conversión:

$$PM \ Na_2S = 78 \quad PM \ NaOH = 40$$

$$\text{como } 2 \text{ PM NaOH} \text{-----} 1 \text{ PM Na}_2\text{S}$$

y el factor de conversión resulta $= Na_2S / 2 \ NaOH = 78 / 80 = 0,9746$.

Entonces se tiene que el:

$$Na_2S \text{ a pesar} = Na_2S \text{ (expresado como NaOH)} \cdot 0.9746 =$$
$$\underline{\hspace{10cm}}$$

La cantidad de:

$\text{NaOH} = \text{Álcali Activo} - \text{Na}_2\text{S (expresado como NaOH)} =$

Además se debe tener en cuenta la pureza de las drogas a utilizar (realizar los cálculos de pureza).

De la relación licor a madera se deduce la cantidad total de licor (L), y restando de ésta el agua contenida en la madera (calculada anteriormente), se obtiene la cantidad de agua a agregar para preparar el licor:

En la práctica, se prepara la solución de los reactivos utilizando un litro de agua para cada uno, resultando así la cantidad total de agua presente en el digestor L:

$L = \text{agua en la madera} + \text{vol. total de los reactivos} + \text{agua de lavados} + \text{agua para completar L}$

Ejemplo de cálculos en función de los siguientes datos

Materia Prima

- Especie: *Pinus elliottii*
- Tamaño de los chips: 19 mm * 15 mm * 5 mm
- Peso de la madera seca: 1500 g

Otras condiciones de cocción

- Alcalinidad: 24 %
- Sulfidez: 25 %
- Relación licor a madera: 4:1
- Temperatura máxima: 170 °C
- Tiempo de calentamiento hasta la temperatura de cocción: 1 h
- Tiempo de calentamiento a la temperatura de cocción: 1 ½ h
- Pureza del NaOH comercial: 97 %
- Pureza del Na₂S comercial: 60 %

Si se tiene un digestor con una capacidad de 2000 g de madera seca y la humedad calculada por el método de secado en estufa es de 20 %, la madera húmeda a pesar para la cocción resulta:

$$\text{peso madera húmeda} \quad W_h = 2000 / (1 - 0.20) = 2500 \text{ g}$$

$$\text{peso del agua en madera} \quad W_h - W_s = 2500 - 2000 = 500 \text{ g}$$

Para el cálculo de reactivos:

Si el álcali activo es 25 %

Na₂S + Na OH = 25 % Alkali / madera seca 100 %

Entonces

$$100 \text{ g} \text{ ----- } 25$$

2000 g ----- x = 2000. 25 / 100 = 500 gr de Álcali activo expresado como NaO.

Si la sulfidez = 25 %

$$\text{Sulfidez} = ((\text{Na}_2\text{S} / (\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{S})) * 100 = 25 \%$$

La cantidad de Na₂S expresado como NaOH es

$$\text{Na}_2\text{S} = (\text{sulfidez} / 100) * (\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{S}) = 0.25 * 500 = 125 \text{ g de Na}_2\text{S (como NaOH)}$$

Para calcular la cantidad de Na₂S a pesar, se hace la siguiente conversión:

$$\text{PM Na}_2\text{S} = 78 \quad \text{como} \quad 2 \text{ PM NaOH} \text{-----} 1 \text{ PM Na}_2\text{S}$$

$$\text{PM NaOH} = 40$$

y el factor de conversión resulta = $\text{Na}_2\text{S} / 2 \text{ NaOH} = 78 / 80 = 0,9746$

entonces se tiene que el Na₂S puro, es:

$$125 * 0,9746 = 121,875 \text{ g de Na}_2\text{S}$$

pero si la droga comercial tiene una pureza del 62 %,

$$\text{la cantidad de Na}_2\text{S real a pesar será} = 121.875 * 100 / 62 = 196,57 \text{ g}$$

La cantidad de NaOH, será la diferencia entre el álcali activo y la cantidad de Na₂S expresados como NaO.

$$500 - 125 = 375 \text{ g de NaOH}$$

Y si el NaOH comercial tiene una pureza del 98 %,

$$\text{la cantidad de NaOH real a pesar será:} = 375 * 100 / 98 = 382,65 \text{ g}$$

Cálculo del agua a agregar

Como la relación licor a madera es en el Ejemplo = 4:1, la cantidad total de licor será:

$$1 \text{ g madera } 100 \% \text{-----} 4 \text{ g de licor}$$

$$2000 \text{ g madera } 100 \% \text{-----} x = 8000 \text{ g de licor.}$$

y el agua en la madera (según lo evaluado anteriormente) es 500 g por lo tanto, restando ésta, de la cantidad de agua total necesaria, se obtiene la cantidad de agua a agregar para preparar el licor:

$$8000 - 500 = 7500 \text{ g de agua}$$

Uso de las pulpas kraft:

Papeles y cartones de envoltura y empaque: Liner y Bolsero

Papeles de impresión y escritura: Bond y Refuerzo

Absorbentes y sanitarios de 1º calidad: Tissue (pañuelos) y Fluff

Bibliografía

- Area, M. C. (2021). Tecnologías de la industria de pulpa y papel. Texto didáctico "Pulpados químicos". PROCYP.
- Carranza, M. E. (2017). Industrias Químicas de la Madera. Apuntes de clase.
- Casey, J.P. (1990). Pulpa y papel. Química y Tecnología Química. Vol.1. Pág.546. Edit. LIMUSA.
- Biermann C. J. (1996). Handbook of pulping and papermaking, second edition, Academic Press.
- FAO Pulp, Paper and Paperboard Capacity Survey 2010-2015.
www.fao.org/docrep/014/i2285t/i2285t00.pdf.
- Libby, C. E. (1979). Ciencia y tecnología sobre pulpa y papel. Tomo I: Pulpa. Compañía Editorial Continental S. A. México.

Trabajo Práctico N° 6

Tema: **Factor H.**

Asignatura: Industrias Químicas de la Madera - Año 2024

Trabajo práctico N° 6

Tema: **Factor H.**

Objetivo

Calcular el factor H para un pulpado químico alcalino.

Introducción

Factor H

Vroom desarrolló en 1957 un método que expresa el grado de cocción conseguido por el efecto combinado de la temperatura y el tiempo. A esta expresión numérica la denominó “factor H”, que representa el área delimitada por la curva de la función de la velocidad relativa de reacción con respecto al tiempo. Es decir, indica la velocidad relativa de la disolución de la lignina. Una ligera variación de la temperatura, afecta notoriamente el tiempo de cocción. *Se creó el Factor H para unificar en una sola variable la temperatura y el tiempo de cocción.*

Matemáticamente: el factor H es la integral en el tiempo de la velocidad relativa de deslignificación.

Geométricamente: el factor H es el área bajo la curva de la velocidad relativa de deslignificación en función del tiempo.

Físicamente: el factor H es el tiempo en horas necesario para disolver una masa de lignina

a una temperatura $T_0 = 100$ °C.

Esta expresión es la que se usa para determinar el factor H con incrementos finitos de temperatura:

$$H = \int \exp (43,20 - 16.113 / T) dt$$

Entonces, la relación entre temperatura y tiempo se puede resumir en un solo número que nos daría la intensidad del pulpado químico alcalino realizado, que es el factor H.

La ecuación de Arrhenius permite comparar las velocidades de reacción a diferentes temperaturas:

$$\ln k = b - a/T \quad \text{Ecuación (1)}$$

k = velocidad específica de reacción

b y a son constantes y están relacionados a la energía de activación molecular

T = temperatura

El valor de a fue fijado por Larroque

$$a = 16113$$

k = 1 (a priori, se fija que la velocidad de la reacción es igual 1 a 100 °C, entonces queda que b = 43,20), de manera que la Ecuación (1) queda:

$$\ln k = 43,20 - 16113/T$$

La velocidad relativa constante para cualquier temperatura T está dada por la velocidad:

$$k = e^{(43,2 - \frac{16113}{T})}$$

Un ciclo completo de pulpado químico consta de dos partes: La primera parte de elevación de temperatura y la segunda parte de temperatura constante.

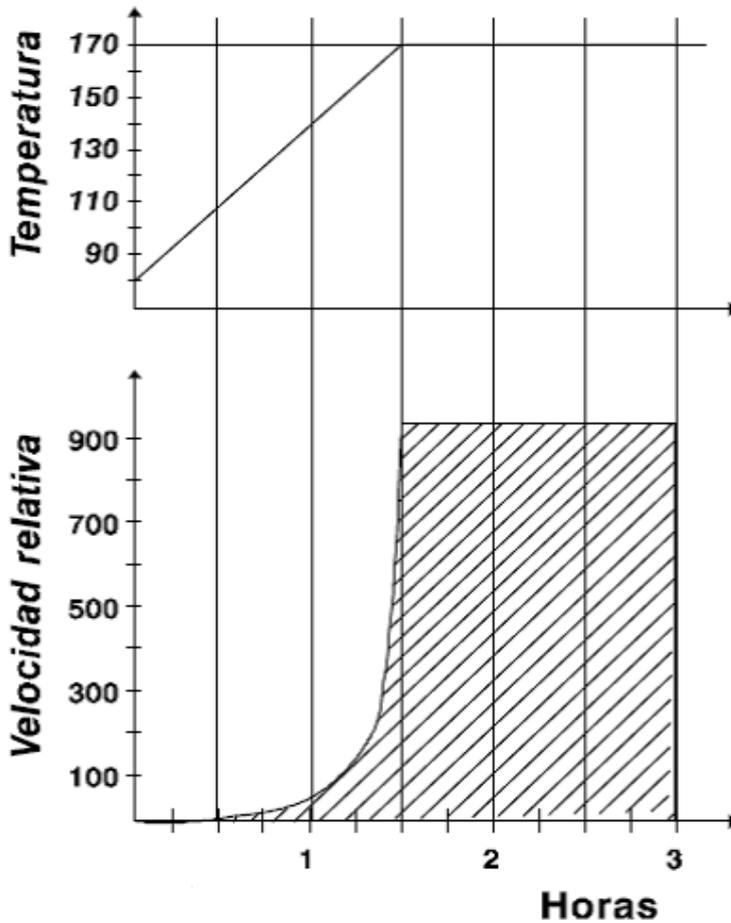
En la Tabla 6.1 se dan valores para la velocidad relativa a temperaturas de 100 a 199 °C.

Tabla 6.1. Constantes de velocidad relativas del factor H (100 °C - 199 °C).

°C	constante velocidad relativa								
100	1.0	120	9.0	140	65.6	160	397.8	180	2056.7
101	1.1	121	10.0	141	72.1	161	433.4	181	2224.3
102	1.3	122	11.1	142	79.2	162	472.0	182	2404.8
103	1.4	123	12.3	143	86.9	163	513.9	183	2599.0
104	1.6	124	13.6	144	95.4	164	559.2	184	2807.9
105	1.8	125	15.1	145	104.6	165	608.3	185	3032.6
106	2.0	126	16.7	146	114.7	166	661.5	186	3274.2
107	2.2	127	18.5	147	125.7	167	719.1	187	3533.8
108	2.5	128	20.4	148	137.7	168	781.3	188	3812.8
109	2.8	129	22.6	149	150.8	169	848.7	189	4112.5
110	3.1	130	24.9	150	165.0	170	921.4	190	4434.2
111	3.5	131	27.5	151	180.6	171	1000.1	191	4779.6
112	3.8	132	30.4	152	197.4	172	1085.1	192	5150.2
113	4.3	133	33.5	153	215.8	173	1176.9	193	5547.7
114	4.8	134	366.9	154	235.8	174	1275.9	194	5974.1
115	5.3	135	40.7	155	257.5	175	1382.8	195	6431.2
116	5.9	136	44.8	156	281.2	176	1498.1	196	6921.1
117	6.6	137	49.3	157	306.8	177	1622.5	197	7445.9
118	7.3	138	54.3	158	334.7	178	1756.6	198	8008.1
119	8.1	139	59.7	159	365.0	179	1901.1	199	8610.1

El cálculo de factor H para cualquier ciclo de cocción consiste entonces en utilizar los valores de la tabla anterior para calcular la superficie encerrada de la curva Temperatura en función del tiempo.

En un ciclo de cocción como el de la Figura 6.1, con una temperatura inicial de 80 °C, una temperatura máxima de 170 °C, un tiempo de calentamiento de 1,5 horas y tiempo a temperatura máxima de 1,5 horas, se traza la curva de la velocidad relativa de reacción, en función de los tiempos de tratamiento, el área comprendida por esta curva y el eje



abscisas (zona rayada) es la suma de cada velocidad relativa de reacción multiplicada por el tiempo en el que actúa, es decir, representa el grado de cocción alcanzado para un determinado ciclo tiempo-temperatura y es lo que se definió como el factor H. *El Factor H es de utilidad si se desea cambiar el tiempo de cocción en un digestor, sin cambiar la pulpa resultante.*

Figura 6.1. Ciclo de cocción. Pulpado Kraft.

El factor H se ha definido de manera que una hora a 100 °C es equivalente a factor H 1.

Un ejemplo en la práctica del cálculo del factor H se realiza usando la tabla 6.2:

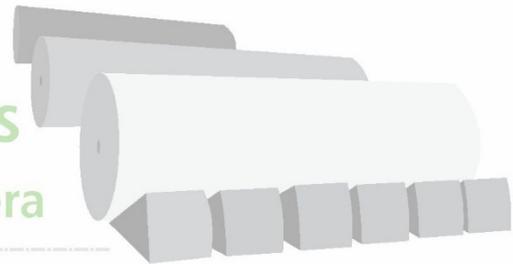
Tabla 6.2. Ejemplo de cálculo del factor H.

Tiempo (horas)	temperatura (°C)	Velocidad relativa	Promedio velocidad intervalo de tiempo	x	Facto H	Factor H acumulable
0,25	95	0	0	x 0,25	0	
0,50	110	3,1	2	x 0,25	0	
0,75	125	15,1	9	x 0,25	2,3	2,3
1,00	140	65,6	40	x 0,25	10,08	12,38
1,25	155	257,5	162	x 0,25	40,5	52,88
1,50	170	921,4	590	x 0,25		

Intervalo de tiempo medido en fracción de hora: 15 minutos (15 min / 60 min/h = 0,25 h).

El factor H no es solamente un valor de correlación sino un elemento auxiliar extremadamente práctico en la operación de cocción en fábrica. Se puede realizar un cambio de ciclo de temperaturas-tiempos, manteniendo un mismo grado de deslignificación, siempre que el factor H permanezca constante. Por otra parte, si por alguna causa no se puede realizar un control preciso del ciclo de cocción, puede calcularse el factor H a medida que se produce la cocción y alcanzarse el factor H total deseado mediante ajuste del tiempo de soplado.

Industrias
Químicas
de la Madera



TPN°6

Actividades

Actividad

- Usando la tabla anterior como ejemplo, buscar los valores de velocidad relativa en la Tabla 1, luego calcular el promedio de velocidad relativa y obtener el factor H y el factor H acumulado. Completar los espacios en blanco:

Tiempo (horas)	temperatura (°C)	Velocidad relativa	Promedio velocidad	x	intervalo de tiempo	Facto H	Factor H acumulable
09:45 - 0,08	100	1	0	x	0,08	0	
09:50 - 0,16	113	4,3	2,65	x	0,08	0	
09:55 - 0,24	117	6,6	5,45	x	0,08	0	
10:00 - 0,32	125	15,1	10,85	x	0,08	1	1
10:05 - 0,4	135	40,7	27,9	x	0,08	2	3
10:10 - 0,48	150	165,0	102,85	x	0,08	8	11
10:15 - 0,56	162	472,0	318,5	x	0,08	25	33
10:20 - 0,64	168	781,3	626,65	x	0,08	50	83
10:25 - 0,72	162	472	626,65	x	0,08	50	133
10:30 - 0,8	153	215,8	157,5	x	0,08	13	146
10:35 - 0,88	162			x	0,08		
10:40 - 0,96	162			x	0,08		
10:45 - 1,04	162			x	0,08		
10:50	160			x	0,08		
10:55	162			x	0,08		
11:00	158			x	0,08		
11:05	163			x	0,08		
11:10	162			x	0,08		
11:15	166			x	0,08		
11:20	165			x	0,08		
11:25	162			x	0,08		
11:30	166			x	0,08		
11:35	167			x	0,08		

11:40	168		x	0,08		
11:45	172		x	0,08		
11:50	170		x	0,08		
11:55	162		x	0,08		
12:00	168		x	0,08		
12:05	170		x	0,08		

Intervalo de tiempo medido en fracción de hora: 5 minutos ($5 \text{ min} / 60 \text{ min/h} = 0,083 \text{ h}$).

Bibliografía

Carranza, M. E. (2017). Industrias Químicas de la Madera. Apuntes de clase.

Libby, C. E. (1979). Ciencia y tecnología sobre pulpa y papel. Tomo I: Pulpa.
Compañía Editorial Continental S. A. México.

Rodríguez. S. K., Torres, M. (1997). Utilización de coligüe (*Chusquea culeou*) en la fabricación de pulpa química. Instituto Forestal (INFOR) Ciencia e investigación forestal. Chile.

Vroom, K. E. (1957). The H factor: a means of expressing cooking times and temperatures as a single variable. Pulp Paper Mag. Can. 58(C): 228–231.

Trabajo Práctico N° 7

Tema: Pulpado Kraft. Cocción, rendimiento.

Asignatura: Industrias Químicas de la Madera - Año 2024

Trabajo práctico N° 7

Tema: **Pulpado Kraft. Cocción, rendimiento.**

Objetivos

Realizar la cocción Kraft. Cálculo de factor H. Construcción de la curva de cocción y determinación de rendimiento de pasta.

Introducción

El proceso al sulfato o pulpa Kraft tiene como objetivo remover la lignina en los chips de madera para que las fibras puedan separarse sin daño mecánico. Al comenzar el proceso, se agrega el licor blanco (químicos compuestos por $\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{S}$), el cual se difunde por lúmenes y a través de la pared o lámina media, y gradualmente produce la disolución de lignina. Los reactivos utilizados son de bajo costo y es un proceso alcalino que permite la reutilización del licor.

Las ventajas del proceso al sulfato son que admite todo tipo de madera (coníferas y latifoliadas), produce una pulpa más resistente en menores tiempos de digestión, tiene menos problemas de pitch (agregados insolubles de ácidos grasos y ácidos resínicos), se obtienen subproductos como tall oil (para maderas de coníferas), y es autosuficiente en energía. Una desventaja es que las pulpas son más oscuras y de mayor dificultad de blanqueo.

La cocción o digestión de la materia prima en fábrica se puede realizar en continuo o discontinuo (batch). En el laboratorio se realiza la digestión en un reactor discontinuo (Figura 7.1). El digestor es de tipo cilíndrico, tumbante con calefacción por medio de mecheros alimentados a gas, Posee manómetro, termómetro, válvula de seguridad, llave de salida de líquido (inferior) y de vapor (superior). En una digestión discontinua se tiene la etapa de carga de materia prima y reactivos, un tiempo de cocción (propriadamente dicho) que se divide en dos fases:

1. calentamiento: elevación de la temperatura hasta llegar a temperatura máxima de cocción, y
2. el período durante el que se mantiene a dicha temperatura (160 °C – 180 °C), regulando la llama.

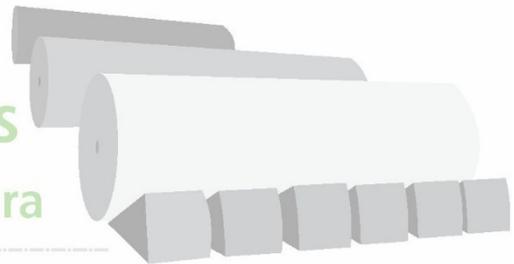
En los digestores con calentamiento eléctrico se regula mediante un termostato.

Finalmente, se tiene el tiempo de enfriamiento y descarga. Siguen las etapas de depuración, lavado y determinación de rendimiento de pulpa.



Figura 7.1. Digestor discontinuo, rotativo de laboratorio.

Industrias
Químicas
de la Madera



TPN°7

Actividades

Actividades

1. Efectuar la digestión o cocción de chips para obtención de pulpa.
2. Cálculo factor H
3. Calcular el rendimiento de pulpa.

1. Digestión o cocción de chips de madera para obtención de pulpa Kraft.

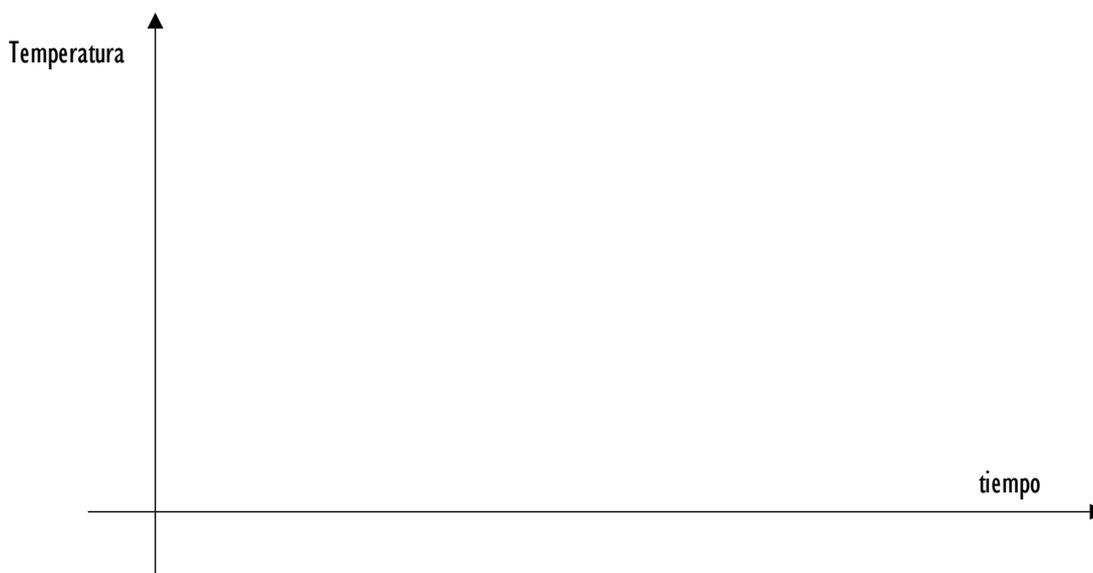
Una vez determinados los siguientes valores de acuerdo al práctico N° 5, introducir en el digestor:

- a) la madera húmeda equivalente al peso seco 100 %,
- b) el álcali activo ($\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{S}$, expresados como NaO), formado por la cantidad de g de NaOH y de Na_2S comerciales calculados y
- c) la cantidad de agua a agregar.

A continuación, cerrar el digestor e iniciar la cocción.

Cocción

Al llegar a 100 °C realizar un purgado de gases, a través de la válvula superior, para regular la presión, y anotar en la tabla de cálculo de factor H, la temperatura cada 5 minutos (hasta alcanzar la temperatura máxima), y continuar hasta terminar la cocción. Con estos datos graficar *la curva Temperatura-Tiempo*, y calcular el Factor H, siguiendo la tabla.



Bibliografía

- Carranza, M. E. (2017). Industrias Químicas de la Madera. Apuntes de clase.
- Libby, C. E. (1979). Ciencia y tecnología sobre pulpa y papel. Tomo I: Pulpa. Compañía Editorial Continental S. A. México.
- Rodríguez. S. K., Torres, M. (1997). Utilización de coligüe (*Chusquea culeou*) en la fabricación de pulpa química. Instituto Forestal (INFOR) Ciencia e investigación forestal. Chile.
- Vroom, K. E. (1957). The H factor: a means of expressing cooking times and temperatures as a single variable. Pulp Paper Mag. Can. 58(C): 228–231.

Trabajo Práctico N° 8

Tema: Controles de calidad de pasta: NÚMERO KAPPA
en pulpa T 236 om-13 (SCAN CI: 77)

Asignatura: Industrias Químicas de la Madera - Año 2024

Trabajo práctico N° 8

Tema: **Controles de calidad de pasta: NÚMERO KAPPA en pulpa T 236 om-13 (SCAN C1: 77).**

Objetivo

Determinar la blanqueabilidad o grado de deslignificación de las pulpas por el número de Kappa y N° de permanganato.

Introducción

Para la evaluación de las propiedades de las pulpas se utilizan distintos ensayos químicos, ensayos de las propiedades físicas, mecánicas y ópticas. Dentro de los ensayos químicos uno de los más empleados es el N° o Índice de Kappa, que es un índice del grado de deslignificación o blanqueabilidad de una pulpa celulósica.

El N° KAPPA es el volumen (en ml) de permanganato de potasio 0,1 N consumido por 1 g de pulpa seca en determinadas condiciones. Los resultados se corrigen para ser equivalentes a un consumo de permanganato del 50 % (TAPPI 236).

El número Kappa es un método de prueba clave para determinar el nivel de lignina restante en una muestra de pulpa terminada o en proceso.

Este método se basa en la reacción de un químico oxidante fuerte, el permanganato de potasio, con lignina, así como pequeños niveles de ciertas otras impurezas orgánicas que quedan en la pulpa en varias etapas de su procesamiento. Se valora por retroceso (se agrega KI y se titula el Iodo liberado con tiosulfato).

El N° de PERMANGANATO es similar, pero se emplea 25 ml ó 40 ml de permanganato. Sólo empleadas para pulpas químicas y depuradas (Tappi T 214wd 76; Tasman and Berzins, 1957).

El número Kappa se aplica a muchos tipos de pulpas químicas, semiquímicas, sin blanquear y semiblanqueadas dentro del rango del número kappa de 1 a 100. Por encima de un número Kappa de 100, la precisión de la prueba puede disminuir y la relación entre el número kappa

y el contenido de lignina puede disminuir, dependiendo principalmente de la especie de madera de la que se elabora la pulpa. No existe una relación general e inequívoca entre el número kappa y el contenido de lignina de otras impurezas orgánicas en una pulpa particular. La relación varía según la especie de madera y los procedimientos de pulpado y deslignificación utilizados durante el proceso de un pulpado específico. El número Kappa es esencialmente una relación lineal con el índice klason de lignina para pulpas por debajo del 70% del rendimiento total de pulpa. El porcentaje de lignina klason en una muestra de pulpa cuyo número kappa se determina mediante el procedimiento de este método de prueba estándar puede aproximarse utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Nivel de lignina (\%)} = \text{número Kappa} \times 0,13$$

Si se va a utilizar el número Kappa para determinar un valor numérico preciso con respecto a la cantidad de lignina presente en una pulpa específica de interés, se puede establecer una relación más precisa probando la pulpa específica de interés. Se destina la utilización de este procedimiento para las pruebas de laboratorio de pulpas. Sin embargo, se reconoce que el número kappa se usa ampliamente como una prueba en proceso en la fábrica de pulpa y papel, en algunos casos con modificaciones.

El rendimiento total de cocción disminuye a medida que aumenta el N° Kappa o el grado de deslignificación, según se muestra en la figura 1.

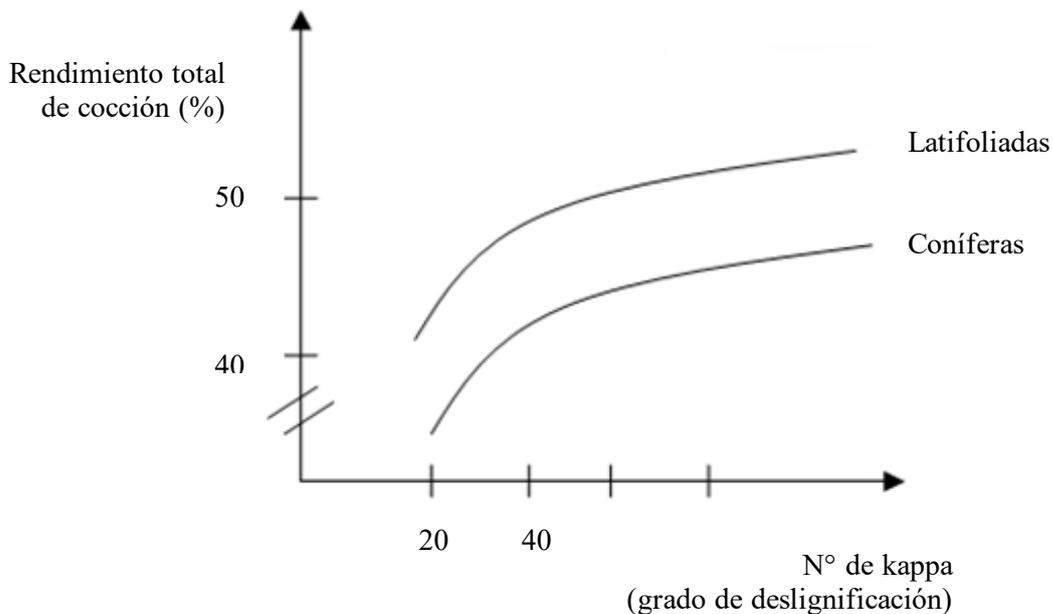


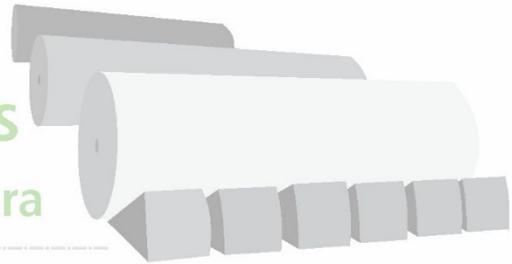
Figura 1. Gráfico de N° de Kappa en función del rendimiento total de cocción.



Significado

El nivel de lignina y otras impurezas es muy importante en la producción de pulpa, ya que está directamente relacionado con la cantidad y el tipo de químico blanqueador requerido para producir una pulpa terminada con propiedades de uso final específicas, particularmente brillo de la pulpa. El número Kappa se puede utilizar como una especificación para la pulpa utilizada en varios productos de papel de uso final, tales como bolsas de papel, papeles de impresión y escritura y otros (SGS Testing, 2021).

Industrias
Químicas
de la Madera



TPN°8

Trabajo de laboratorio

Actividades

- 1) Pesar la cantidad de muestra que se calcula consumirá aproximadamente el 50 % de la solución de permanganato de potasio usada en el ensayo.
El consumo de permanganato de potasio debe estar entre el 30 % y 70 % para cumplir con la Norma TAPPI específica. Dicha condición se logra variando el peso de muestra.
- 2) El ensayo se realiza por duplicado.
- 3) Romper con la mano, las hojas de pulpa secas al aire, en pequeños trozos.
Al mismo tiempo que se pesa la muestra, se realizará la determinación de sequedad, pesando aprox. 2 g de muestra y secándola en estufa a 105 °C.
- 4) Desintegrar la muestra en 500 ml de agua destilada, hasta obtener una suspensión homogénea. Transferir, la suspensión, al vaso de reacción agregando agua destilada hasta un volumen total de 750 ml.
- 5) El vaso de reacción se coloca en un baño de temperatura constante a $25 \pm 0,2$ °C, la que se mantendrá durante todo el ensayo. El contenido del vaso se agita usando un agitador mecánico.
- 6) En un vaso de precipitado, se colocan 100 ml de solución de permanganato de potasio 0,1 N + 100 ml de ácido sulfúrico 4 N, el que también estará acondicionado a $25 \pm 0,2$ °C. Se agrega este contenido al vaso de reacción, enjuagándolo con 50 ml de agua destilada. Simultáneamente se pone en marcha el cronómetro. El volumen total debe ser de 1000 ± 5 ml (*en el Anexo I se puede seguir la secuencia de preparación y valoración del permanganato de potasio, $KMnO_4$, 0,1 N*).
- 7) Al transcurrir exactamente 10 minutos, se corta la reacción agregando 20 ml de IK 1 N e inmediatamente el iodo liberado se titula con tiosulfato de sodio 0,2 N, usando solución de almidón al 0,2 %, como indicador cerca del punto final (*en Anexo II se puede seguir la secuencia de preparación y valoración del tiosulfato de sodio, $Na_2S_2O_3$, 0,1 N*).
- 8) Se debe realizar la determinación de un blanco (por duplicado), usando exactamente el mismo procedimiento dado anteriormente, pero sin la muestra de pulpa.

Calcular el N° KAPPA como sigue:

$$K = \frac{p \times f}{W} \qquad p = \frac{(b - a) \times N}{0,1}$$

donde:

K = N° KAPPA.

f = factor para corregir a 50 % el consumo de permanganato de potasio, dependiendo del valor de p (ver Tabla 1).

w = peso de muestra de pulpa seca, g.

p = cantidad de permanganato de potasio 0,1 N realmente consumidos por la muestra ensayada, ml.

b = cantidad de tiosulfato consumido en la determinación del blanco, ml.

a = cantidad de tiosulfato consumido por la muestra ensayada, ml.

N = normalidad del tiosulfato de sodio.

$$K = \frac{\text{-----} \times \text{-----}}{\text{-----}}$$

$$p = \frac{(\text{-----} - \text{-----}) \times \text{-----}}{0,1}$$

Nota:

a) Los factores de la Tabla TAPPI X-1 se basan en la ecuación:

$$\log K = \log \frac{p}{w} + 0,00093 (p - 50)$$

b) La relación:

$$\% \text{ de Lignina Klason} = 0,15 \times K$$

puede aplicarse a pulpas que posean un rendimiento por debajo del 70 %.

La relación lineal entre número Kappa y lignina Klason se quiebra para pulpas con rendimiento por encima del 70 %, debido a la existencia de una porción de lignina Klason resistente a la oxidación del permanganato bajo las condiciones especificadas en el ensayo. Debido a que el consumo de permanganato depende de la cantidad de lignina presente en la muestra, y de la extensión de su reacción con los agentes de cocción, no es posible

establecer una relación precisa de consumo de permanganato a lignina en la región de altos rendimientos.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
30	0,958	0,960	0,982	0,964	0,966	0,968	0,970	0,973	0,975	0,977
40	0,979	0,981	0,983	0,985	0,987	0,989	0,991	0,994	0,996	0,998
50	1,000	1,002	1,004	1,006	0,009	1,011	1,013	1,015	1,017	1,019
60	1,022	1,024	1,026	1,028	1,030	1,033	1,035	1,037	1,039	1,042
70	1,044									

Tabla 1. Factor f para corregir los diferentes porcentajes de permanganato usados.

Bibliografía

Casey, P. J. (1990). Pulpa y papel. Química y tecnología química. Volumen 1. Editorial LIMUSA. pp:187-192.

Normas TAPPI T 236-cm-85 (1993). Kappa number of Pulp (Technical Association of the Pulp and Paper Industry).

SGS Testing (2021). <https://ipstesting.com/find-a-test/tappi-test-methods/tappi-t-236-kappa-number/>.

Rodríguez de Cáceres, L. (1978). Métodos de análisis empleados en la industria papelera. Editorial Universidad Industrial de Santander. Colombia. pp:75-79.

Smook, G. A. (1990). "Manual para Técnicos de Pulpa y Papel"; Tappi Press.

Tasman, J. E., and Berzins, V. (1957) "The Permanganate Consumption of Pulp Materials"; Pulp Paper Mag. Canadá. 58 n° 10. Septiembre 1957.

Anexo I

Preparación y valoración de permanganato de potasio 0,1 N

Etapa	Procedimiento
1. Secar y pesar oxalato de sodio.	Secar el reactivo durante una hora en estufa a 105 °C. Pesar 6,7 gramos, disolverlos en agua destilada y diluir exactamente a 1 litro para obtener una solución 0,1 N.
2. Pesar y disolver permanganato.	Pesar 3,1610 gramos de permanganato de potasio y disolverlos en 100 ml de agua destilada. Llevar a ebullición y dejar hervir suavemente durante 1 hora. Filtrar por asbesto. Diluir en 1 litro de agua, almacenar en la oscuridad y conservar en botella ámbar.
3. Medir alícuotas.	Medir 50 ml de oxalato de sodio 0,1 N en un Erlenmeyer que contenga 100 ml de agua destilada y 5 ml de ácido sulfúrico concentrado.
4. Calentar y titular.	Calentar de 60 °C a 80 °C y titular inmediatamente con solución de permanganato de potasio hasta que una gota produzca color rosado que persista durante al menos 30 segundos.
5. Anotar el volumen y calcular la normalidad.	<p>Anotar la cantidad de permanganato de potasio durante la valoración y calcular la normalidad aplicando la fórmula:</p> $V * N = V' * N'$
<p>Informar la normalidad como el promedio de tres valoraciones que no difieran en más de 0,05 ml.</p>	

Anexo II

Preparación y valoración de tiosulfato de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) 0,1 N.

Etapas	Procedimiento
1. Secar, pesar y disolver dicromato de potasio.	Secar el reactivo no más de 20 minutos en estufa a 105 °C. Enfriar y pesar 4,9035 g, disolverlos en agua destilada y diluir exactamente en 1 litro para obtener una solución 0,1 N.
2. Pesar y disolver el tiosulfato de sodio.	Pesar 24,82 g de tiosulfato pentahidratado. Disolverlo en agua destilada recientemente hervida y fría, añadir una lenteja de hidróxido de sodio. Completar el volumen a 1 litro y dejar en reposo por varios días.
3. Preparar un recipiente para valoración.	En un recipiente de 350 ml con tapón de vidrio, colocar 100 ml de agua destilada, 2 g de bicarbonato de sodio, 30 ml de yoduro de potasio al 10 % y 5 ml de ácido clorhídrico concentrado. Si la solución se vuelve amarilla, añadir tiosulfato gota a gota hasta que se decolore.
4. Agregar dicromato de potasio y valorar.	Agregar 20 ml de solución de dicromato de potasio 0,1 N, agitar, tapar el recipiente y mantenerlo en sitio oscuro por 3 minutos. Titular con tiosulfato de sodio hasta que el color de la solución pase de pardo a amarillo.
5. Adicionar almidón y continuar valorando.	Añadir 1 ml de solución de almidón y continuar valorando hasta obtener color azul claro.
6. Anotar el volumen y calcular la normalidad.	Anotar el volumen de tiosulfato gastado en la valoración y calcular la normalidad aplicando la fórmula: $V * N = V' * N'$
Informar la normalidad como el promedio de tres valoraciones que no difieran en más de 0,05 ml.	
Nota: volver a valorar la solución cuando tenga más de 2 meses. Para preparar soluciones 0,2 N pesar 49,64 y proceder como se indica arriba.	

Trabajo Práctico N° 9

Tema: **Viscosidad**

Asignatura: Industrias Químicas de la Madera - Año 2024

Trabajo práctico N° 9

Tema: **Viscosidad.**

Objetivo

Determinar el grado de polimerización de la celulosa.

Introducción

La celulosa es un polímero de la glucosa de alto grado de polimerización. Durante los pulpados químicos las grandes moléculas se van rompiendo y perdiendo propiedades de resistencia.

Uno de los ensayos disponibles para determinar la longitud de las cadenas moleculares de la celulosa de la pasta en cuestión es la de la determinación de la viscosidad de soluciones de celulosa elaboradas de ciertas y con solventes adecuados. Se usa para establecer el ataque de la celulosa durante la cocción y el blanqueo, que influyen en la calidad del papel y de las pastas para rayón.

Dado que este polímero es insoluble en todos los solventes comunes, se utiliza soluciones de complejo de coordinación de metales pesados.

Esto es cierto para todos los solventes ensayados al presente y limita así la aplicabilidad del método. Los dos solventes más usados son: el hidróxido tetramonio cúprico (TAPPI T 206) y el hidróxido de cuprietilamina (TAPPI T 230). En este último se mide la viscosidad de la solución resultante expresándose en centipoise por ser el método más generalizado por su precisión y rapidez.

Las determinaciones se realizan en viscosímetros capilares tipo Ostwald Cannon – Fenske modificado que se calibran en el laboratorio con soluciones de viscosidad conocida. Los valores de viscosidad dinámica determinados se correlacionan por medio de tablas con viscosidad intrínseca que en la práctica, Con el dato de la viscosidad intrínseca y por medio

de la ecuación de Immergut, se pueden obtener un grado de polimerización medio de la muestra.

$$\text{Viscosidad dinámica (cp)} = C \cdot t \cdot d$$

Donde:

C es la constante del viscosímetro

T es el tiempo

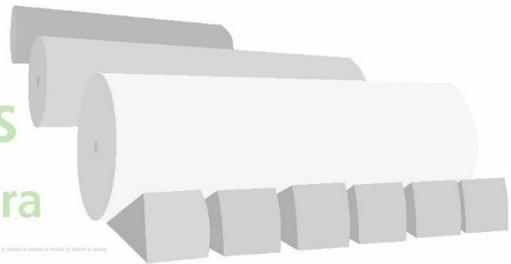
D es la densidad de la solución en (g/cm³)

Y de la viscosidad intrínseca, puede relacionarse con el grado de polimerización por fórmula:

$$DP^{0,905} = 0,75 * \text{viscosidad intrínseca}$$

Baja viscosidad indica cadenas moleculares cortas lo que equivale en general a pastas débiles, alta viscosidad indica cadenas moleculares largas lo que equivale a pastas fuertes.

Industrias
Químicas
de la Madera



TPN°9

Actividades

Procedimiento

Materiales y soluciones necesarias

Recipientes estandarizados para contener 46 ml

Viscosímetro

Solución cuproetilendiamina (1,0 molar de Cu y 2,0 molar de etilendiamina)

Solución de pulpa 5 (g/l)

Se agrega 23 ml de agua a la solución de la pulpa y 23 ml de cuproetilendiamina. Se agita por 20 minutos en baño a 25 °C. Luego se carga el viscosímetro y se determina el tiempo de escurrimiento a 25 °C. Hacer 2 determinaciones, y luego se calcula la viscosidad según la fórmula indicada en la teoría.

Bibliografía

Carranza, M. E. (2022). Industrias Químicas de la Madera. Apuntes de clase.

Casey, P. J. (1990). Pulpa y papel. Química y tecnología química. Volumen 1. Editorial LIMUSA. pp:187-192.

Normas TAPPI T 215-m-50 (1993). Kappa number of Pulp (Technical Association of the Pulp and Paper Industry).

Smook, G. A. (1990). "Manual para Técnicos de Pulpa y Papel"; Tappi Press.

Anexo I

Preparación y valoración de permanganato de potasio 0,1 N

Etapa	Procedimiento
1. Secar y pesar oxalato de sodio.	Secar el reactivo durante una hora en estufa a 105 °C. Pesar 6,7 gramos, disolverlos en agua destilada y diluir exactamente a 1 litro para obtener una solución 0,1 N.
2. Pesar y disolver permanganato.	Pesar 3,1610 gramos de permanganato de potasio y disolverlos en 100 ml de agua destilada. Llevar a ebullición y dejar hervir suavemente durante 1 hora. Filtrar por asbesto. Diluir en 1 litro de agua, almacenar en la oscuridad y conservar en botella ámbar.
3. Medir alícuotas.	Medir 50 ml de oxalato de sodio 0,1 N en un Erlenmeyer que contenga 100 ml de agua destilada y 5 ml de ácido sulfúrico concentrado.
4. Calentar y titular.	Calentar de 60 °C a 80 °C y titular inmediatamente con solución de permanganato de potasio hasta que una gota produzca color rosado que persista durante al menos 30 segundos.
5. Anotar el volumen y calcular la normalidad.	Anotar la cantidad de permanganato de potasio durante la valoración y calcular la normalidad aplicando la fórmula: $V * N = V' * N'$
Informar la normalidad como el promedio de tres valoraciones que no difieran en más de 0,05 ml.	

Anexo II

Preparación y valoración de tiosulfato de sodio (Na₂S₂O₃) 0,1 N.

Etapas	Procedimiento
1. Secar, pesar y disolver dicromato de potasio.	Secar el reactivo no más de 20 minutos en estufa a 105 °C. Enfriar y pesar 4,9035 g, disolverlos en agua destilada y diluir exactamente en 1 litro para obtener una solución 0,1 N.
2. Pesar y disolver el tiosulfato de sodio.	Pesar 24,82 g de tiosulfato pentahidratado. Disolverlo en agua destilada recientemente hervida y fría, añadir una lenteja de hidróxido de sodio. Completar el volumen a 1 litro y dejar en reposo por varios días.
3. Preparar un recipiente para valoración.	En un recipiente de 350 ml con tapón de vidrio, colocar 100 ml de agua destilada, 2 g de bicarbonato de sodio, 30 ml de yoduro de potasio al 10 % y 5 ml de ácido clorhídrico concentrado. Si la solución se vuelve amarilla, añadir tiosulfato gota a gota hasta que se decolore.
4. Agregar dicromato de potasio y valorar.	Agregar 20 ml de solución de dicromato de potasio 0,1 N, agitar, tapar el recipiente y mantenerlo en sitio oscuro por 3 minutos. titular con tiosulfato de sodio hasta que el color de la solución pase de pardo a amarillo.
5. Adicionar almidón y continuar valorando.	Añadir 1 ml de solución de almidón y continuar valorando hasta obtener color azul claro.
6. Anotar el volumen y calcular la normalidad.	Anotar el volumen de tiosulfato gastado en la valoración y calcular la normalidad aplicando la fórmula: $V * N = V' * N'$
Informar la normalidad como el promedio de tres valoraciones que no difieran en más de 0,05 ml.	

Nota: volver a valorar la solución cuando tenga más de 2 meses. Para preparar soluciones 0,2 N pesar 49,64 y proceder como se indica arriba.

Trabajo Práctico N° 10

Tema: Blanqueo de la pasta celulosa.

Asignatura: Industrias Químicas de la Madera - Año 2024

Trabajo práctico N° 10

Tema: **Blanqueo de la pasta celulosa.**

Objetivo

Reconocer la importancia del proceso de blanqueo en la obtención de pulpas de buena calidad. Manejar su nomenclatura en las diferentes etapas de blanqueo.

Introducción

El blanqueo puede definirse como un proceso químico aplicado a pastas químicas y mecánicas con el objetivo principal de incrementar su nivel de blancura. El término “blancura” se usa ampliamente para indicar la capacidad de la pasta para reflejar la luz monocromática (medida del factor de reflectancia difusa en el azul, según Norma ISO 2470) comparada a la correspondiente al óxido de magnesio (98 - 99 % de reflectancia absoluta). Las pastas crudas presentan un amplio rango de valores de blancura: 15 % - 30 % ISO las pastas químicas alcalinas (kraft, sosa), 40 % – 50 % las pastas semiquímicas NSSC, 50 % – 65 % las mecánicas clásicas y las químicas al bisulfito. Por consiguiente, la mayoría de las pastas una vez obtenidas son demasiado oscuras para ser utilizadas en productos que requieren un nivel de blancura elevado (por ejemplo calidades impresión o tisúes)



(García Hortal et al., 2008). La figura 1 muestra el color de la pulpa en las etapas del blanqueo.

La blancura de las pulpas se incrementa ya sea por eliminación o por modificación de algunos constituyentes de las pulpas crudas tales como la lignina y sus productos de degradación, resinas, iones metálicos, hidratos de carbono no celulósicos y otras impurezas. Es importante que la blancura obtenida sea estable, es decir, que no se pierda blancura o resistencia con el envejecimiento (Area, 2007).

El blanqueo es un requisito esencial para la obtención de una alta calidad. La pasta elaborada con cualquiera de los métodos de fabricación presenta un aspecto algo parduzco. Todas las pastas pueden blanquearse para aumentar su blancura. EL blanqueo resulta imprescindible en la producción de papel para impresión de alta calidad, para una reproducción de colores superior.

Las principales sustancias absorbentes de luz en la pulpa de madera son los componentes derivados de la lignina y resina de la madera original. Por lo tanto, para hacer una pulpa blanca, estas sustancias deben ser químicamente transformadas en estado sólido (para disminuir sus características de absorción de luz), o bien ser oxidadas, reducidas o hidrolizadas para hacerlas solubles en soluciones acuosas y poder eliminarlas de la pulpa. Los pasos fundamentales de una etapa de blanqueo son:

- a. **Mezclado** (de la pulpa con los químicos de blanqueo).
- b. **Reacción química** (generalmente en torres, donde se mantiene un determinado “tiempo de residencia” a una dada temperatura).
- c. **Lavado** (donde se separan la pulpa de los productos de reacción y químicos residuales).

Por lo tanto, en un proceso en múltiples etapas, estos tres pasos se van repitiendo secuencialmente. Esto se realiza debido a que es preferible extraer la lignina de a poco para no degradar a los carbohidratos (Area, 2021).

Pulpas de alto rendimiento y pulpas de alta calidad

Los métodos de blanqueo de las pastas de alto rendimiento (mecánicas, CTMP, CMP y algunas semiquímicas), que tienen porcentajes muy elevados de lignina, difieren

de los utilizados en el blanqueo de las pastas químicas. Este blanqueo se lleva a cabo mediante tratamientos que destruyen de manera selectiva los grupos cromóforos responsables del color de las pastas, pero sin eliminación significativa de la lignina, puesto que ocasionaría una pérdida importante de rendimiento y un consumo muy importante de productos químicos costosos. Los agentes de blanqueo más utilizados son el peróxido de hidrógeno (oxidante) y los hidrosulfitos (reductores). Mediante exposición a la luz solar y al oxígeno atmosférico se regeneran los grupos cromóforos y las pastas amarillean de nuevo (reversión de blancura), como puede observarse con los papeles viejos de prensa.

En el blanqueo de las pastas químicas, en la producción de pastas de alta calidad y estables, se deben utilizar métodos que deslignifican la pasta. En el blanqueo deslignificante se elimina la lignina casi o completamente mediante un proceso en continuo que utiliza diferentes etapas simples en secuencia, con lavados intermedios y recirculación de filtrados dentro de la secuencia

El proceso en múltiples etapas es necesario porque ningún sistema con etapa simple puede producir pastas de elevada blancura (87–90% ISO). Se puede conseguir una mayor blancura con una menor degradación si se aplican cantidades más pequeñas de agentes de blanqueo en etapas sucesivas, con lavado entre ellas. Una etapa de blanqueo comienza cuando se adiciona a la pasta el reactivo químico, y finaliza con el lavado de la pasta. La Figura 2 esquematiza una etapa de blanqueo. Cada etapa es optimizada para contribuir al proceso deslignificante mediante la eliminación, solubilización y decoloración de los materiales coloreados remanentes, sin disminuir la resistencia de la pasta.

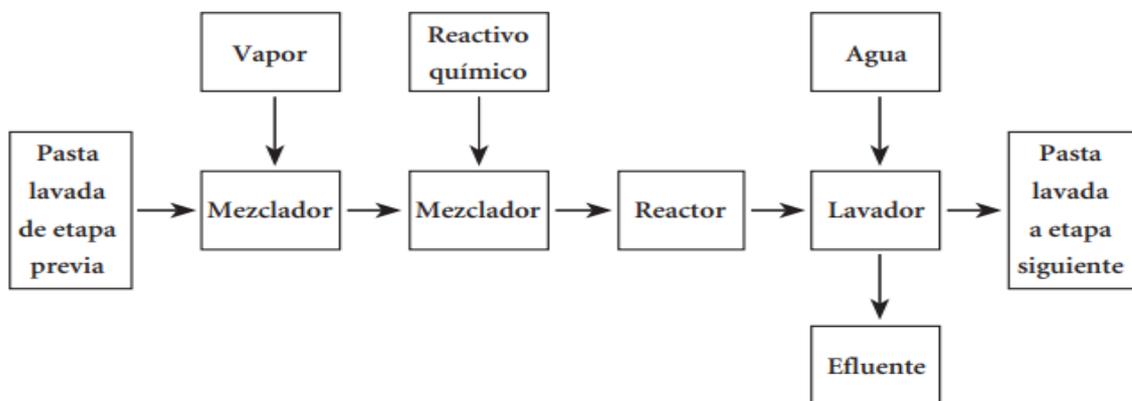


Figura 2. Operaciones unitarias en una etapa de blanqueo.

La nomenclatura correspondiente a los tratamientos químicos comúnmente aplicados en las secuencias de blanqueo se presenta en la Tabla 1:

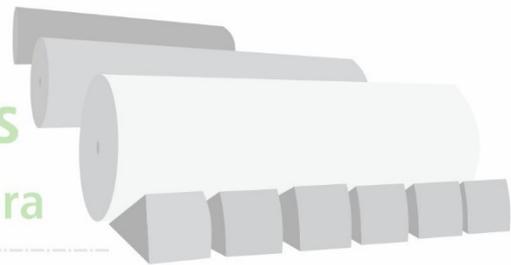
Tabla 1. Nomenclatura de las etapas de blanqueo.

Etapa	Nombre	Tratamiento
C	Cloro gaseoso (Cl_2)	Cloración: reacción con cloro elemental en medio ácido
D	Dióxido de cloro (ClO_2)	Reacción oxidante con dióxido de cloro
E	Extracción alcalina (NaOH)	Disolución con hidróxido de sodio de los productos de reacción de la etapa anterior
E0	Extracción alcalina reforzada con oxígeno molecular (O_2)	Disolución con NaOH y O_2 de los productos de reacción de la etapa anterior
EP	Extracción alcalina reforzada con peróxido de hidrógeno (H_2O_2)	Disolución con $\text{NaOH} + \text{H}_2\text{O}_2$ de los productos de reacción de la etapa anterior
EOP	Extracción alcalina reforzada con O_2 y H_2O_2	Disolución con $\text{NaOH} + \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}_2$ de los productos de reacción de la etapa anterior
O	Oxígeno (O_2)	Deslignificación con oxígeno (gaseoso) en medio alcalino (NaOH) a alta presión
D P	Peróxido (H_2O_2)	Oxidación con peróxido de hidrógeno en medio alcalino (NaOH)
Q	Quelación de iones metálicos	Aplicación de agentes quelantes (secuestrantes) de iones de Fe, Mn, Cu, etc. para evitar reacciones catalíticas de descomposición del H_2O_2
S	Metabisulfito de sodio	Reducción con metabisulfito de sodio para destruir el H_2O_2 residual
Z	Ozono (O_3)	Oxidación con O_3 (gaseoso)

El blanqueo con disolución de lignina representa una continuación de la cocción, con pérdidas de rendimiento entre 3 y 10 %. La blancura lograda en el blanqueo de pulpas químicas puede ser muy elevada (90-95%) y el blanco es estable. Debido a las restricciones ambientales a los compuestos clorados derivados de la lignina, el campo de aplicación del

peróxido de hidrógeno se ha extendido considerablemente en el blanqueo de estas pulpas. Bajo condiciones severas, el peróxido puede comportarse como un agente deslignificante. Su inclusión ha contribuido en parte a disminuir la carga contaminante de los efluentes de la planta de blanqueo. Las secuencias de blanqueo desarrolladas en los últimos tiempos incluyen las tecnologías llamadas ECF (elementary chlorine free: libre de cloro elemental) y TCF (total chlorine free: libre de cloro total). Mientras la primera incorpora el dióxido de cloro, la segunda utiliza fundamentalmente oxígeno y peróxido de hidrógeno.

Industrias
Químicas
de la Madera



TPN°10

Actividades

Laboratorio

Blanqueo de pulpas en laboratorio puede realizarse mediante 3 métodos: *método clásico* (Cloro – extracción alcalina – hipoclorito), *blanqueo con clorito de sodio* y *blanqueo de pulpas químicas en etapas múltiples*.

Blanqueo de pulpas químicas en etapas múltiples

Primera etapa: cloración

Preparación de la muestra

Tomar cerca de 450 gramos de pulpa seca, agregarle agua hasta completar 60 litros. Homogeneizar y determinar la consistencia.

Luego de calcular la consistencia, tomar el volumen correspondiente a 10 gramos de pulpa seca, filtrar en la formadora de hojas y colocar la pulpa en una bolsa de plástico tarada. Preparar 6 muestras de 10 gramos base seca, para cada una de las pruebas tentativas de cloración y 2 de 200 gramos base seca, cada una para el blanqueo definitivo. Es necesario obtener 360 gramos de pulpa seca, blanqueada para batir.

Pruebas tentativas para determinar cloro óptimo en la etapa de cloración

Conocido el porcentaje de lignina de la pulpa, buscar en la Tabla 2 el porcentaje correspondiente de cloro teórico necesario para el blanqueo. Encontrado éste, calcular el 60 %, 70 %, 80 % y 90 % de su valor.

Pesar las bolsas con la muestra húmeda y calcular el volumen de agua de cloro correspondiente a cada porcentaje y el agua de dilución para tener consistencia deseada (3 % – 3,5 %). Agregar a cada una de las 4 muestras el agua de dilución y mezclar, añadir el agua de cloro, cerrar la bolsa y agitar bien.

Dejar reposar las muestras durante 1 hora, homogeneizando frecuentemente durante el tratamiento. Después de este tiempo, transferir la pulpa a una bolsa de tela seca,

exprimirla y recibir el licor residual en un Erlenmeyer con tapa esmerilada. Tomar 100 ml de licor, valorarlo y calcular el porcentaje de cloro activo.

Tabla 2. Relación de grado de dureza o porcentaje de lignina con los diferentes índices, para encontrar el cloro necesario para blanqueo (Fuente: Rodríguez de Cáceres, 1978)

		Índices							
	Grado de dureza (Lignina residual)	Roe	Sieber	Bjorkman	Permanganato Tappi	Permanganato Ostrand		Contenido de Lignina %	Cloro necesario blanqueo %
						Original	Modificado		
1	Muy blanda	1,0	10	28	4	5,5	5,0	1,0	1,9
2		1,5	16	38	5	8,0	6,8	1,1	2,2
3		2,0	20	46	6	10,0	9,1	1,2	2,5
4	Blanda								
5		2,5	25	55	7	12,0	10,8	1,4	2,8
6		3,0	29	65	8	14,1	13,3	1,7	3,2
7	Semiblanda	3,5	32	72	9	16,0	14,8	2,0	3,8
8		4,0	36	80	11	18,2	17,1	2,4	4,6
9	Normal	4,5	40	86	12	19,8	18,8	2,8	5,4
10	Blanda	5,0	44	93	14	21,9	20,7	3,2	6,2
11	Normal	5,5	48	98	15	23,5	22,4	3,6	7,0
12		6,0	52	104	16	25,4	24,2	4,0	7,8
13	Normal	6,5	55	110	18	26,6	25,6	4,4	8,7
14	Dura	7,0	58	115	20	28,7	27,4	4,8	9,5
15	Semidura	7,5	62	120	22	30,0	28,8	5,2	10,3
16		8,0	65	123	24	31,6	30,5	5,6	11,1
17	Dura	8,5	68	128	25	33,2	31,8	6,0	12,0
18		9,0	71	131	27	34,6	33,0	6,4	12,8
19		9,5	74	134	28	35,9	34,4	6,8	13,5
		10,0	77	137	30	37,0	35,6	7,2	14,5
20	Muy Dura	10,5	79	140	32	37,8	36,3	7,6	15,3
21		11,0	82	142	34	38,3	36,9	8,0	16,1
22		11,5	85	144	36	38,8	37,4	8,4	16,9
23		12,0	87	146	38	39,0	37,8	8,8	17,7
24		12,5	90	148	40	39,2	38,8	9,2	18,5

Cálculos

$$\% \text{ cloro consumido} = \% \text{ cloro agregado} - \% \text{ cloro residual}$$

Hacer una gráfica colocando en el X el porcentaje de cloro agregado y en el eje Y el porcentaje de cloro consumido (Las coordenadas deben estar en la misma escala). Trazar en el gráfico una línea de 45°. Los puntos que caen por debajo indican el cloro en exceso, unirlos entre sí, el punto de corte con la línea de 45° indica el cloro activo óptimo para la cloración (ver Figura 3).

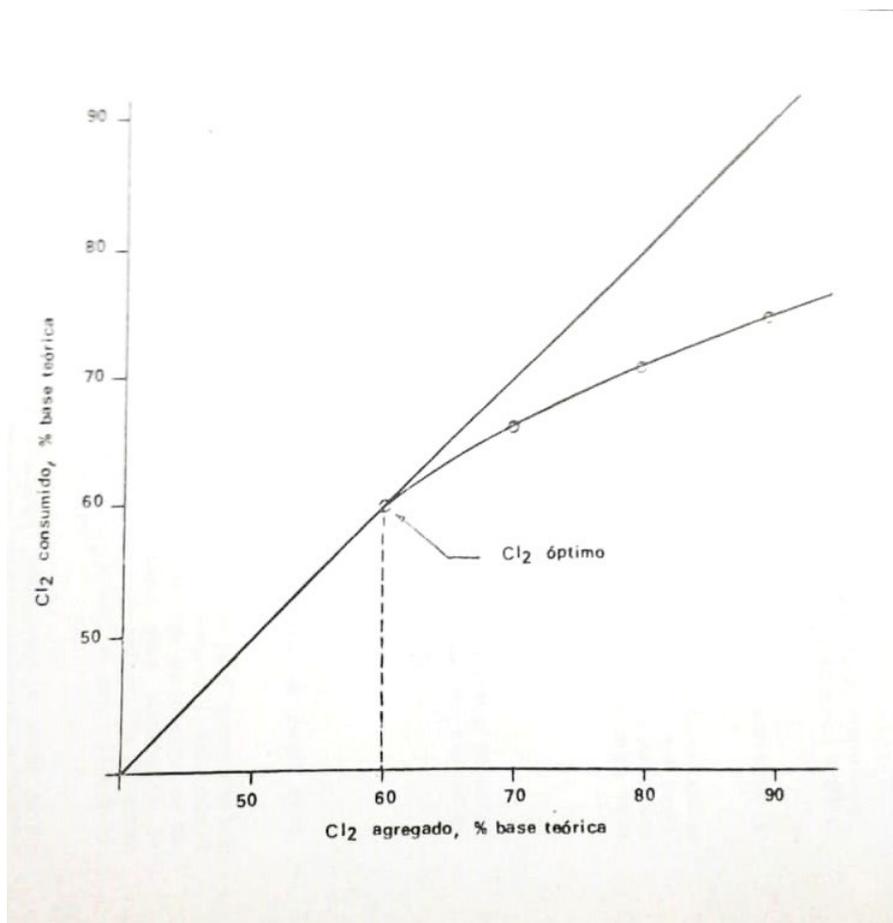


Figura 3. Demanda de cloro (Fuente: Rodríguez de Cáceres, 1978).

Para tener un margen de seguridad en el blanqueo definitivo, se recomienda trabajar con un porcentaje de cloro uno o dos puntos más alto que el óptimo.

Ejemplo

Peso pulpa seca

10 gramos

Peso pulpa húmeda	110 gramos
Agua de la pulpa	100 ml
Consistencia	3 %
Lignina residual	2,8 %
Cloro teórico (tabla 2)	5,4 %
60 % de cloro teórico, b. p. s,	3,24
Cloro por añadir b. p. s.	0,324 gramos
Concentración solución ClO ₂	4,54 g/l

$$\text{Volumen total de la suspensión} = \frac{\text{Peso pulpa seca} * 100}{\% \text{ consistencia}}$$

$$\text{Volumen total de la suspensión} = \frac{10 * 100}{3\% \text{ consistencia}} = 333 \text{ ml}$$

$$\text{Volumen total de la suspensión} = \text{Volumen total suspensión peso pulpa seca}$$

$$333 - 10 = 323 \text{ ml}$$

$$\text{Agua de cloro por añadir} = \frac{0,324 \text{ [gramos]}}{4,54 \left[\frac{\text{g}}{\text{l}} \right]} = 71 \text{ ml}$$

$$\text{Agua de dilución} = 323 * (71 + 100) = 152 \text{ ml}$$

Cloración

Colocar 200 gramos de pulpa base seca en una bolsa o recipiente de plástico, calcular el volumen de agua de cloro correspondiente al porcentaje óptimo + 2% y el agua de dilución para tener la consistencia deseada (3 a 3,5 %).

Proceder como se indicó en las pruebas tentativas, medir con papel de pH 1-5 el pH inicial y pH final (deben ser menores a 2,5). Valorar el licor residual y lavar pulpa hasta que esté libre de cloro, verificando con papel yodo-almidón en las aguas de lavado.

Segunda etapa: tratamiento alcalino – Oxidante

Tratar la pulpa con 4 % de NaOH, base pulpa seca y 1 % de agua oxigenada b. p. s. Calcular el agua de dilución, para obtener una consistencia del 5 %. Mezclar con los reactivos y

adicionar la solución caliente a la pulpa, homogeneizar, medir el pH (éste debe estar entre 10,5 y 11,0), dejar la suspensión a 60 °C durante 1 hora, agitar repetidas veces en esta fase.

Nota: la mezcla pulpa, agua reactivos debe ser homogénea y la alcalinidad suficiente: pH 10,5 – 11,0.

Al finalizar el tratamiento, debe quedar H₂O₂ residual. Para comprobarlo retirar unas gotas de licor y agregarlas a una solución acidulada de yoduro de potasio que contiene molibdato de amonio y almidón, se produce color azul.

Al terminar este paso, recoger licor residual, lavar la pulpa y continuar con la tercera etapa.

En el licor residual determinar: álcali y agua oxigenada residual y cloro residual.

Tercera etapa: ClO₂

Trabajar con consistencia 5 % y calcular el reactivo y el agua de dilución. Añadir en este paso 1 a 1,5 % de ClO₂ equivalente a 2,53 – 3,94 de cloro activo, b. p. s. (Si se trabaja con el ClO₂ obtenido por el método de Gibson, agregar a la pulpa el agua de dilución caliente y luego el reactivo Si se trabaja con clorito de sodio y agua de cloro, mezclar el clorito de sodio con el agua de dilución y luego agregar el agua de cloro, se desprenderá ClO₂, verter inmediatamente la mezcla sobre la pulpa).

Medir el pH (debe estar cerca de 6,5) tapan el recipiente y dejar la suspensión durante 3 horas a 70 °C, agitando de vez en cuando.

Al final del proceso medir el pH (debe estar cercano a 4,0). Tomar muestra de licor para valorar y fabricar hoja para medición de blancura.

Cuarta etapa: H₂O₂

Efectuar el tratamiento con la mayor consistencia posible. En la práctica no puede ser superior a 8 %, a esta consistencia es necesario contar con una buena distribución de los reactivos.

Agregar 0,5 % de H₂O₂, 0,5 % de NaOH y 3 % de volumen de silicato de sodio, con base en pulpa seca. Añadir el agua de dilución caliente. Tomar el pH (10,5 – 11,0) y dejar la suspensión 3 horas a 60 °C al finalizar el tratamiento valorar en el licor el H₂O₂ residual, lavar la pulpa y fabricar una hoja para determinación de blancura.

Nota:

- a) Si el blanqueo se hace utilizando agua destilada, añadir sulfato de magnesio 0,1 % base pulpa seca.
- b) Se puede usar peróxido de sodio en vez de agua oxigenada pero es necesario añadir ácido sulfúrico en vez de NaOH para mantener la alcalinidad constante, pues el peróxido de sodio es alcalino.

Quinta etapa

Se efectúa en condiciones idénticas a la tercera etapa pero usando menor cantidad de ClO_2 (0,5 – 1 %, b. p. s.)

Al finalizar el tratamiento valorar en el licor el ClO_2 residual, lavar la pulpa, determinar consistencia, efectuar una neutralización con bisulfito de sodio o dióxido de azufre y fabricar hojas para determinación de blancura. Calcular rendimiento total, base pulpa seca y base madera seca. No olvidar incluir el peso de las hojas donde se mida blancura.

Nota: algunos autores recomiendan efectuar en la segunda etapa extracción alcalina sin adicionar agente oxidante, ya que la mayor parte de éste se gasta en reacciones secundarias con el material extriado y no en el mejoramiento de la blancura.

Bibliografía

Area, M. C. (2021). Tecnologías de la industria de pulpa y papel. PROCYP.

Area, M. C. (2007). Tecnología EFC sigue ganando espacio - Blanqueo de pulpas celulósicas, Mari Papel & Corrugado, 20 (4), pág. 42 – 44. ISSN 17943396.

García Hortal, J.A., Roncero, M.B., Vidal, T. (2008). Capítulo 3. Blanqueo en Panorama de la Industria de Celulosa y Papel en: Ibero-América 2008, Area, M.C. (Ed.). Red Ibero-Americana de Celulosa y Papel - CYTED, Bs.As.

<http://www.riadicy.org.ar/images/stories/Libro/capitulo3.pdf>.

Rodríguez de Cáceres, L. (1978). Métodos de análisis empleados en la industria papelera. Editorial Universidad Industrial de Santander. Colombia. pp:103-114.

Trabajo Práctico N° II

Tema: Ensayo de batido en holandesa.

Asignatura: Industrias Químicas de la Madera - Año 2024

Trabajo práctico N° 11

Tema: **Ensayo de batido en holandesa.**

Objetivo

Refinar pulpa celulósica en refinador tipo pila Valey (pila holandesa) obtenida en laboratorio. Comprender la operatoria en el manejo de la maquinaria en laboratorio. Obtención de muestras para control de refinación y formación de hojas.

Introducción

El principio general del pulpado se basa en la separación de las fibras vegetales para obtener una pasta celulósica donde las fibras adquieren las propiedades óptimas requeridas para el empleo final. La refinación o el batido de la pulpa es un tratamiento mecánico de fibras en un medio acuoso para desarrollar las propiedades óptimas de fabricación del papel. El efecto del batido varía de acuerdo al equipo, condiciones del proceso y características dimensionales de las fibras. Aumenta la fuerza de los enlaces de fibra a fibra aumentando la superficie de contacto entre ellas, la formación de finos, variación en la longitud de fibra e incremento en la capacidad retención de agua, entre otros. Con el batido o refinación se producen efectos primarios y secundarios según lo indica la Tabla 1:

Tabla 1. Efectos primarios y secundarios de la refinación o el batido sobre la pulpa.

Efectos primarios	Efectos secundarios
Ruptura de puentes hidrógeno interfibrilares con formación de puentes de hidrógeno fibra-agua, que se fortalecen a medida que pierde agua la hoja de papel (la tensión superficial del agua acerca las fibras), mejorando la resistencia mecánica del producto.	Resistencia al flujo Resistencia al drenado Resistencia de la hoja en húmedo Resistencia de la hoja al seco Área de unión del papel
Acortamiento de la fibra y formación de finos ocasionados por un batido prolongado, con lo cual disminuyen las propiedades de resistencia mecánica del papel.	Densidad del papel Resistencias físico-mecánicas a la ruptura, explosión, doblez, rasgado.

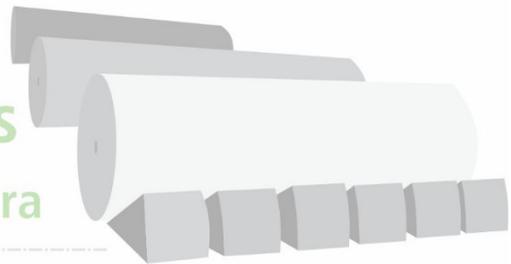
El método de refinación de la holandesa (Figura 1) se refiere al proceso que se somete a la pulpa por medio de una holandesa de laboratorio en una etapa previa a la formación de la hoja con el propósito de determinar su comportamiento cuando se haya sometido a un programa definido de refinación o batido. Según TAPPI 200, la pulpa es batida o refinada entre las barras del rollo y las de la platina en la Holandesa. Las muestras son retiradas a intervalos regulares durante el tratamiento para determinar su grado de refinación y formar hojas para su evaluación.

La pila holandesa es un refinador tradicional de laboratorio para batir el equivalente de 360 gramos de pasta/pulpa seca en 23 litros de agua. Si bien es un sistema lento de refino, permite batir una gran cantidad de pasta, realizar toma de muestras para mediciones del grado de refino y formación de hojas. De esta manera, pueden ser trazadas las diferentes curvas de refino por medio de las cuales se pueden clasificar las pastas. Tiene buena reproducibilidad de presión de refino, ajustable por medio de pesas. Se puede realizar ensayos de coloración y encolado en masa.



Figura 1. Pila holandesa

Industrias
Químicas
de la Madera



TPN°11

Actividades

Actividades

1. Calibrar la batidora “holandesa” para realizar el batido de la siguiente forma:

Calibrado de “holandesa”

Antes de comenzar con el batido, llevar la holandesa a 23 litros de agua y ajustar el perno inferior de la palanca y la platina con el rodillo en movimiento, hasta que una leve presión sobre la palanca cause contacto entre la platina y las costillas. Ya realizado este paso, vaciar la holandesa y agregar una suspensión de 10 litros de agua con 360 ± 5 gramos de pulpa base seca y completar el volumen a 23 litros para obtener una consistencia de 15,7 g/l.

Nota: desintegrar la muestra de pulpa equivalente a 360 gramos secos al 100 % en 10 litros de agua durante unos 10 minutos.

2. Comprobar la consistencia de la pulpa en la holandesa de la siguiente forma:

Comprobación de la consistencia en la holandesa

Cuando la holandesa está cargada, agitar la pulpa sin peso en la palanca, hasta homogeneizar el material (5 – 10 minutos). Tomar una muestra de suspensión homogénea de 200 ml (3,14 g de pulpa seca), completar el volumen a 1000 ml con agua y pasarlo a la formadora de hojas. Formar la hoja, identificarla, secarla a 105 °C hasta peso constante y anotar el peso. **Este valor es la consistencia en la holandesa.**

Si el peso de la hoja es menor a 3,14 g se debe corregir la consistencia de estas dos formas:

- a. *Agregando pulpa a la holandesa.*

Ejemplo: peso de la hoja fabricada 3,0 g.

$$\text{Gramos de pulpa seca en la holandesa} = \frac{23000 \text{ [ml]} * 3,0 \text{ [g]}}{200 \text{ [ml]}} = 345 \text{ g}$$

Nota: para obtener la consistencia de 15,7 [g/l] agregar a la holandesa el equivalente a 15 gramos de pulpa seca (360 g – 345 g = 15 g de pulpa seca).

b. Retirando agua.

Para 360 gramos se deben tener 23 litros, para 345 gramos serán:

$$\frac{345 [g] * 23 [l]}{360 [g]} = 22,04 [l]$$

$$23 \text{ litros} - 22 \text{ litros} = 1 \text{ litro}$$

Entonces, tomar 1 litro de suspensión, llevar a la formadora de hoja, retirar el agua de la formadora de hojas y devolver la pulpa a la holandesa.

Si el peso de la hoja es mayor a 3,14 g se debe corregir la consistencia sacando pulpa de la suspensión de esta forma:

Ejemplo: peso de la hoja fabricada 3,4 g.

$$\frac{3,4 [g] * 23000 [ml]}{200 [ml]} = 391 [g]$$

Sobran 31 gramos de pulpa seca.

Realizar el razonamiento siguiente:

$$ml \text{ de suspensión que se deben sacar} = \frac{200 [ml] * 31 [g]}{3,4 [g]} \cong 1800 [ml]$$

Entonces, retirar 1800 ml de suspensión homogénea, desechar el agua en la formadora de hojas, guardar la pulpa en la bolsa que corresponde y agregar 1800 ml de agua a la holandesa.

Bibliografía

Carranza, M. E. (2022). Industrias Químicas de la Madera. Apuntes de clase.

Libby, C. E. (1979). Ciencia y tecnología sobre pulpa y papel. Tomo I: Pulpa. Compañía Editorial Continental S. A. México.

Normas TAPPI T 200-om-89 (1993). Laboratory processing of pulp (beather method) (Technical Association of the Pulp and Paper Industry).

Rodríguez de Cáceres, L. (1978). Métodos de análisis empleados en la industria papelera. Editorial Universidad Industrial de Santander. Colombia. pp:75-79.

Trabajo Práctico N° 12

Tema: Control de batido (grado Shopper, Canadian standar freeness).

Asignatura: Industrias Químicas de la Madera - Año 2024

Trabajo práctico N° 12

Tema: **Control de batido** (grado Shopper, Canadian standar freeness).

Objetivo

Determinación del grado de refinación en pasta por el método de Schopper-Riegler.
Curva de refinación.

Introducción

La calidad y propiedades de los papeles a fabricar dependen principalmente del grado de refinación de las fibras. Para mejorar o desarrollar determinadas propiedades papeleras, es necesario someter las pastas químicas a un tratamiento mecánico especial denominado “refino”. La energía mecánica aplicada a las pastas produce modificaciones en las fibras celulósicas variando su drenabilidad y las propiedades físicas del papel que se puede obtener con ella. La drenabilidad de la pulpa se determina mediante un ensayo que da una medida de la velocidad a la cual drena una suspensión de pulpa bajo condiciones arbitrariamente normalizadas. Los aparatos de Schopper Riegler y el Candian Freeness (Fig. 1) permiten leer, rápida, segura y directamente el grado de refinación y velocidad de escurrimiento del agua de una pulpa. La diferencia fundamental entre ellos es que el primero (SR) la pasta queda soportada por una tela metálica en cambio en el segundo (CSF) es sobre un disco perforado. Las determinaciones son sumamente rápidas, de modo que es posible medir el efecto de una holandesa o de cualquier otro aparato de refinación y determinar el límite o el punto óptimo de batido.



Figura 1. Aparatos de laboratorio para medir drenabilidad de pulpa celulósica (izq.: Schopper Riegler, der: Canadian Freeness)

Diseño del aparato de Schopper Riegler

El diseño del aparato de Schopper Riegler (Fig. 2) consiste en una cámara de filtración que contiene una malla metálica, un cono de cierre y un embudo montado sobre un soporte apropiado. Todas las partes están hechas de metal no corrosivo. La cámara de filtración es un cilindro de diámetro interior de 137 mm y en la parte inferior, una sección cónica de 45°, seguida de una parte cilíndrica con un diámetro de $112,9 \pm 0,1$ mm (el área en sección transversal es de 100 cm^2). La sección cónica forma un asiento para el cono de cierre. La tela metálica es de bronce fosforoso y entra apretadamente dentro del cilindro a 25 cm por debajo de la conicidad. El cono del cierre está unido a un eje vertical de 20 mm de diámetro exterior. Axialmente por el cono de cierre y el eje existe un canal de venteo, con un diámetro de 10 cm, que permite el pasaje de aire cuando el cono se levanta. El eje tiene dos aletas dispuestas diametral y verticalmente para evitar que se formen remolinos en la suspensión de pulpa.

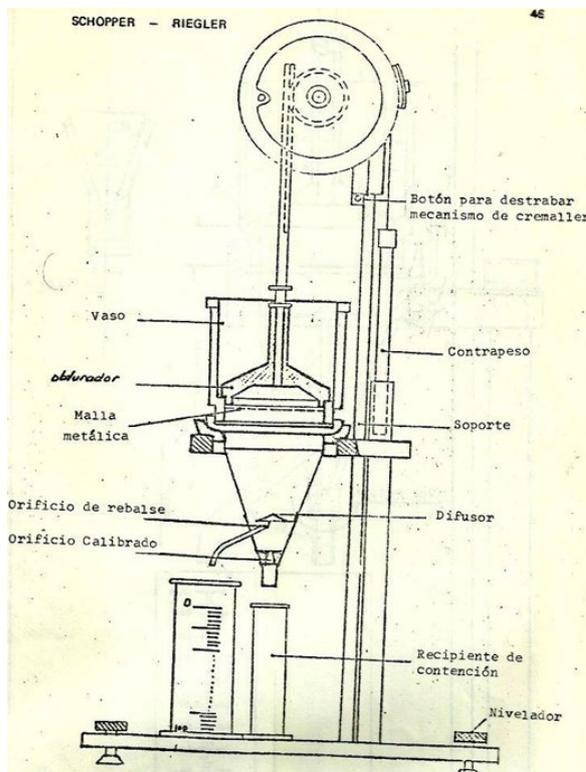


Figura 2. Diseño del aparato Schopper-Riegler

El cierre lo forma un anillo de goma y el embudo tiene una sección superior cónica, que proporciona el apoyo para la cámara de filtración y permite que el cono de cierre quede centrado exactamente en dicha cámara. A esta sección cónica sigue una sección cilíndrica con un área transversal. La sección cilíndrica tiene tres surcos que fijan la ubicación del dispersor.

La parte inferior del embudo es cónica y termina en un orificio separable. El orificio lateral penetra en el embudo y está conectado al eje central del embudo y al borde del rebalse lo más cercano posible al centro del embudo.

En esta posición, el volumen entre el borde inferior del orificio del fondo y el borde de rebalse del orificio lateral es de 7,5 a 8 ml.

El nivel del borde de rebalse es regulable. En el embudo se coloca un dispersor para evitar salpicaduras que pueden ingresar al orificio lateral. Una de las patas de apoyo del dispersor está dispuesta lateralmente al orificio lateral.

Probeta de medición

La probeta está graduada para realizar una lectura directa del número de Schopper Riegler (°SR), de modo que un volumen de 1000 ml, corresponde a 0 unidades y un volumen de 0 ml corresponde a 100 unidades SR (Figura 3)



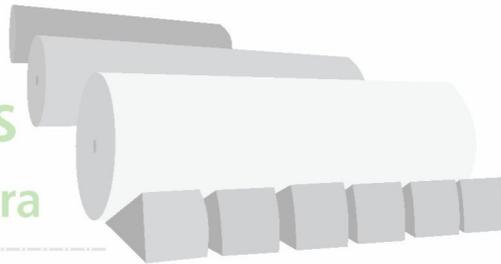
Figura 3. Probeta de medición.

Forma de proceder al ensayo

El cono obturador se encuentra en su lugar al momento de empezar el ensayo y la muestra es vertida en la cámara de alimentación. Enseguida, con un movimiento uniforme, se levanta el cono por medio del contrapeso. La mezcla de pasta y agua, pasa entonces, a ocupar la parte inferior de la cámara de alimentación, cuyo fondo está constituido por el tamiz. La materia fibrosa se deposita sobre el tamiz en una uniforme capa, mientras que el agua pasa a la cámara de separación, atravesando la capa de la pasta formada sobre el tamiz. De la cámara de separación, el agua sale por los orificios lateral e inferior y cae en las probetas graduadas. La cantidad que pasa por una u otra abertura, depende de la composición de la pasta. Cuando se trata de una pasta "flaca", el agua se cuela rápidamente

y es recogida principalmente en el recipiente graduado colocado debajo del orificio lateral; cuando se trata de una pasta “gorda”, el agua se cuela más lentamente y entonces se recoge mayor cantidad en la probeta graduada colocada debajo de la salida inferior. Para la determinación del grado de refinación, la lectura del nivel de agua se hace en la probeta graduada colocada debajo del orificio lateral.

Industrias
Químicas
de la Madera



TPN° 12

Actividades

Actividades

1. Se pone en marcha la holandesa para homogeneizar la suspensión (360 gramos de pasta en 23 litros, según práctico N° 11), libre circulación entre rotor y platina.
2. Tomar aproximadamente 128 ml de la suspensión de manera de lograr en el Schopper Riegler, una hoja de aproximadamente 2 gramos. A esta muestra se le agrega 1 litro de agua y se hace el ensayo de drenabilidad colocando esta suspensión en el vaso correspondiente de SR. Este es el primer ensayo.
3. Luego colocar la pesa de 5 kg en la holandesa que tiene la función de mantener la platina contra el rotor, para que al circular la pasta entre ellos se vaya refinando. Esto se realiza durante una hora sacando muestras de aproximadamente 128 ml cada 10 minutos, realizando idéntico procedimiento del punto cero, y luego se hace la curva de refinación con los valores obtenidos.
4. Colocar los valores en la siguiente tabla:

Tiempo	Schopper-Riegler (°SR)	
5'		Sin pesa
10'		Con pesa
20'		Con pesa
30'		Con pesa
40'		Con pesa

5. Se confecciona la curva de refinación.

Nota: De acuerdo a cómo se quiera expresar el grado de batido o consistencia de la pulpa, se puede convertir los grados de Canadian Standar freeness (CSF) (Fig. 3):

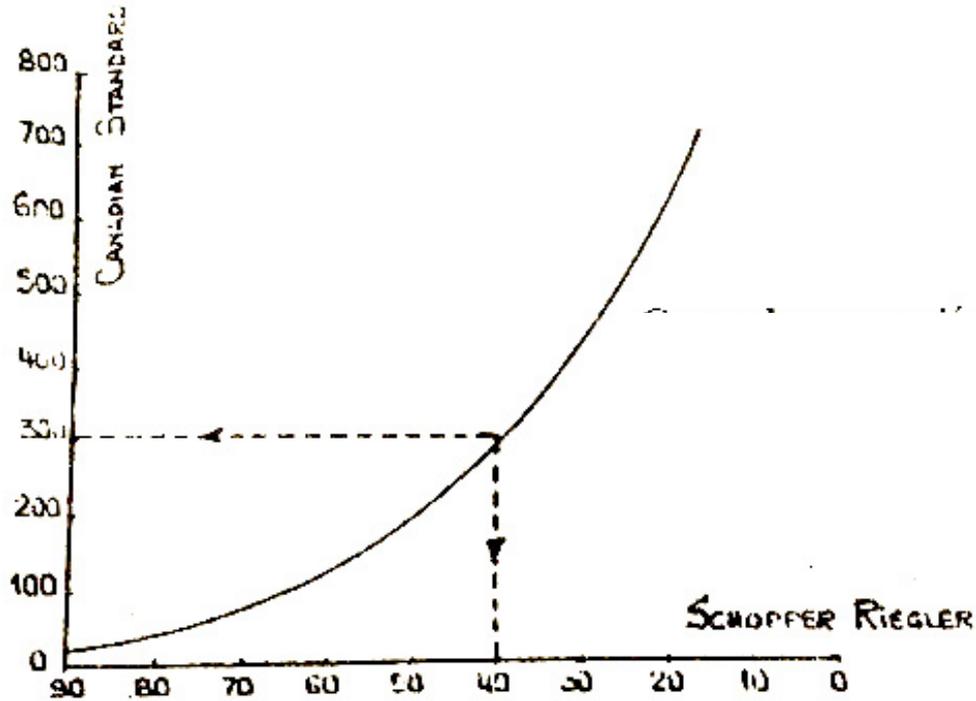


Figura 3. Curva de conversión °SR a °CSF y viceversa

Bibliografía

- Carranza, M. E. (2022). Industrias Químicas de la Madera. Apuntes de clase.
- Casey, P. J. (1990). Pulpa y papel. Química y tecnología química. Volumen 1. Editorial LIMUSA. pp:187-192.
- Normas TAPPI T 227-om-89 (1993). Freeness of pulp (beather method) (Technical Association of the Pulp and Paper Industry).
- Rodríguez de Cáceres, L. (1978). Métodos de análisis empleados en la industria papelera. Editorial Universidad Industrial de Santander. Colombia. pp:75-79.
- Smook, G. A. (1990). "Manual para Técnicos de Pulpa y Papel"; Tappi Press.

Trabajo Práctico N° 13

Tema: Formación de hojas para ensayos físicos.

Asignatura: Industrias Químicas de la Madera - Año 2024

Trabajo práctico N° 13

Tema Formación de hojas para ensayos físicos.

Objetivo

Formar hojas de pulpa celulósica para realizar los ensayos físicos.

Introducción

La formación de la hoja se realiza en una máquina formadora que consiste de un cilindro metálico (A), abierto en ambos extremos, que se puede ajustar verticalmente sobre una platina circular con una tela metálica (B) de 150 mallas, de tal modo que ésta sea como la base del cilindro y que no haya fuga de agua en toda su circunferencia. En la parte inferior de la platina se encuentra un embudo metálico (D) que está conectado con el tubo de drenado (E) que termina en un sumidero (H) rodeado con una cubeta de derrame (G), tal cual se ve en la Figura 1. La cierra la válvula inferior y la columna o sumidero se llena de agua hasta al menos 5 cm debajo de la tela metálica. Cuando se agrega la suspensión diluida en el vaso formador, se agita la misma utilizando el agitador perforado con movimientos vigorosos hasta lograr un buen mezclado, y luego de 10 segundos, se abre la válvula de drenaje con un movimiento rápido, de manera de lograr que las fibras se depositen en la tela metálica mientras el agua drene por acción del vacío.

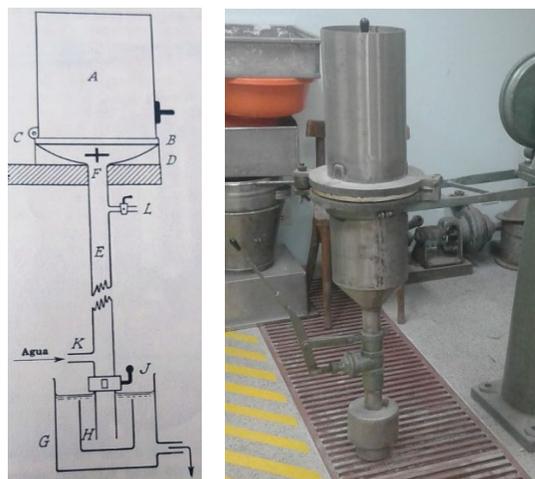


Figura 1. Esquema y máquina formadora de papel.

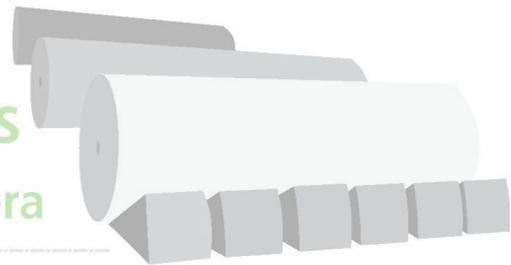
El formador de hoja normalizado por la TAPPI 205, es de forma circular, con un diámetro de 159 mm lo que da una superficie de hoja de 200 cm². En la planta piloto del Instituto de Tecnología de la Madera se cuenta con un formador también circular cuyo diámetro es de 215 cm lo que da una superficie de hoja de 350 cm².

El formador cuenta con un accesorio como agitador que es un platino horizontal perforado, según se muestra en la Figura 2.



Figura 2. Agitador del formador de hoja.

Industrias
Químicas
de la Madera



TPN° 13

Actividades

Actividades

Utilizando el formador de hoja de la planta piloto del ITM se elaborará hojas con un gramaje de 70 g/m² siendo la superficie de cada hoja de 350 cm². Para lograr esto se debe pesar teóricamente 2,45 gramos, según el siguiente cálculo:

10000 cm²-----70 gramos

$$350 \text{ cm}^2 \text{ ----- } x = \frac{350 [\text{cm}^2]}{10000 [\text{cm}^2]} * 70 [\text{g}] = 2,45 \text{ gramos (peso de cada hoja seca)}$$

Se coloca en la holandesa el equivalente a 360 gramos de pasta seca en 23 litros de agua (aproximadamente 15,65 g/l de consistencia), de acuerdo al práctico N° 11.

Después de 10 minutos de funcionamiento (sin pesas) (punto cero) tomar 1.600 ml, llevando a 10 litros y desintegrar durante 5 minutos. Tomar 1 litro con la probeta y hacer una hoja de prueba en el formador de hoja, secarla y pesarla.

Con este peso, que tiene que estar entre 2,16 y 2,60 gramos, se busca en la Tabla 1, el volumen a tomar para cada una de las 5 hojas a formar para los ensayos posteriores como así también el volumen que corresponde tomar para la determinación del tiempo de drenado (°SR), completando a 1000 ml.

De esta manera, se coloca la pesa en la holandesa y se van tomando de la misma forma 1600 ml diluyéndolo a 10 litros para cada punto de refinación.

Con cada una de estas suspensiones se toma el volumen como se hizo en el punto cero y se forman con ellas las 5 hojas para ensayar así como para la determinación del tiempo de drenado (°SR).

A cada una de las hojas formadas se la saca de la malla del formador presionando suavemente con un rodillo. Se prensa y se las seca en un secador con calentamiento eléctrico. Finalmente, se lleva a un lugar cerrado y acondicionado a 23 ± 1 °C y 50 ± 2 % de humedad relativa.

Tabla 1. Relación de la consistencia de la hoja con el grado de refinación de Schopper Riegler (°SR).

Consistencia (peso de la hoja en gramos por litro, g/l)	Para la hoja	Para los °SR
2,16		930
2,15		919
2,20	1120	909
2,22	1110	900
2,24	1100	892
2,26	1090	885
2,28	1080	877
2,30	1070	870
2,32	1060	862
2,34	1050	855
2,36	1040	847
2,38	1030	840
2,40	1020	833
2,42	1010	826
2,44	1000	820
2,46	1000	813
2,48	1000	807
2,50	996	800
2,52	990	793
2,54	980	786
2,56	970	779
2,60	960	762

Bibliografía

Carranza, M. E. (2022). Industrias Químicas de la Madera. Apuntes de clase.

Casey, P. J. (1990). Pulpa y papel. Química y tecnología química. Volumen 1. Editorial LIMUSA. pp:187-192.

Normas TAPPI T 205-om-88 (1993). Forming handsheets for physical test of pulp (Technical Association of the Pulp and Paper Industry).

Rodríguez de Cáceres, L. (1978). Métodos de análisis empleados en la industria papelera. Editorial Universidad Industrial de Santander. Colombia. pp:75-79.

Smook, G. A. (1990). “Manual para Técnicos de Pulpa y Papel”; Tappi Press.

Trabajo Práctico N° 14

Tema: Ensayos físicos mecánicos de la pasta celulosa (resistencia a la tensión, al rasgado y la explosión)

Asignatura: Industrias Químicas de la Madera - Año 2024

Trabajo práctico N° 14

Tema: **Ensayos físicos mecánicos de la pulpa celulosa (resistencia a la tensión, al rasgado y la explosión).**

Objetivo

Comprender el procedimiento de los ensayos físicos mecánicos de hojas normalizadas de pulpa celulósica.

Introducción

Las pulpas celulósicas tienen un gran número de propiedades que pueden ser medidas. Entre las propiedades de mayor importancia, se encuentran el peso por unidad de área (peso base o gramaje), la humedad, el espesor y volumen específico, la resistencia a la tensión, resistencia al rasgado, resistencia a la explosión, resistencia al doble plegado. Para efectuar las pruebas anteriores, las hojas a ensayar deben estar acondicionadas, es decir, deben estar en un lugar cerrado (cámara), a 23 ± 1 °C de temperatura y 50 ± 2 % de humedad relativa, en donde se realizan los ensayos de resistencia. Con estas condiciones, la hoja formada tendrá una humedad aproximada del 7 % (93 % de sequedad). El tiempo para acondicionar la muestra será de 24 horas.

Peso por unidad de área o peso base (gramaje)

Determinar el peso base promedio de 5 hojas acondicionadas, que no presenten pliegues, defectos de mala formación o marcas de agua. Pesarlas juntas en una balanza de precisión, sensible a 0,01 g.

Para hojas confeccionadas según TAPPI 205 de 159 mm de diámetro, el área de cada hoja es de 200 cm². Por lo tanto si “n” hojas pesan “w” gramos, el peso por unidad de área, o peso base acondicionada será:

$$\text{Peso base, en } \left[\frac{g}{m^2} \right] = \frac{10000 \text{ cm}^2 * w}{200 \text{ cm}^2 * n} = \frac{50 * w}{n}$$

Si se realiza la determinación de la humedad en estufa a 105 °C de las hojas ensayadas es:

$$\text{Peso seco por unidad de área} = \frac{50*w*z}{n*y}$$

Siendo:

y: el peso de la muestra antes de ser llevada a la estufa

z: el peso de la muestra seca

w es el peso de las 5 hojas

n: el número de hojas (5)

Para las hojas formadas y acondicionadas en la planta piloto del ITM, de una superficie de 350 cm², el gramaje se obtiene con la siguiente fórmula:

$$\text{Peso base, en } \left[\frac{g}{m^2} \right] = \frac{10000 \text{ cm}^2 * w}{350 \text{ cm}^2 * n}$$

Espesor y volumen específico

El volumen específico y su inverso, la densidad, son las características físicas de mayor importancia en el papel, ya que están íntimamente relacionadas con la porosidad, rigidez y resistencia, además influyen sobre las propiedades ópticas.

Procedimiento

Colocar las 5 hojas juntas con la superficie brillante en la misma dirección. Con un lápiz suave marcar la posición de cada uno de los 10 huecos, que se muestran en la Fig. 1.

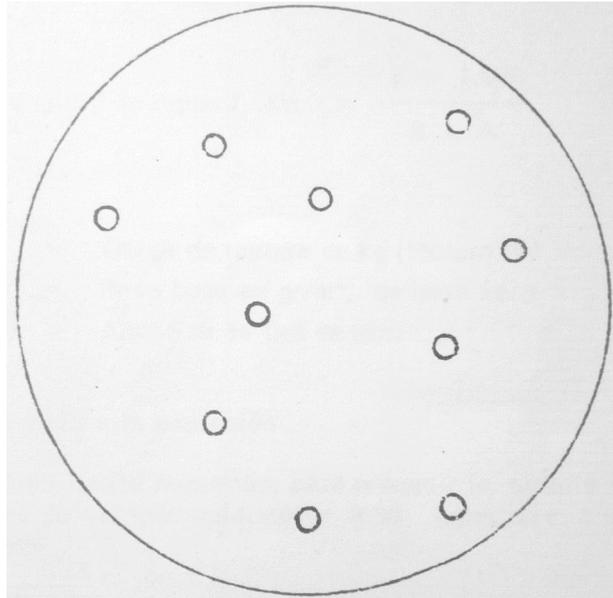


Figura 1. Disposición de sitios para determinación de espesor de hojas de pulpa.

Usando un micrómetro realizar la medición de espesor de los sitios marcados. Cuando las lecturas de sitios adyacentes muestren diferencias mayores de 5 % asegurar si éstas son causadas por astillas o motas, si es así descartarlas. El promedio de las lecturas será el espesor, con este valor calcular el volumen específico e informar con 3 cifras significativas.

$$\text{Volumen específico} \left[\frac{\text{cc}}{\text{g}} \right] = \frac{25,4 * E}{B}$$

Donde:

E = espesor promedio en milésimas de pulgadas

B = peso base en g/m², en base seca

Preparación de muestras para pruebas mecánicas

Cortar la pila de 5 hojas en la prensa cortadora NAEF como se indica en el Fig. 2. Destinar las diferentes secciones para:

Resistencia a la explosión	Sección A
Resistencia a la tensión	Sección C
Resistencia al rasgado	Sección B
Resistencia al dobléz	Sección C-1

La Fig. 2 muestra la división de las hojas para pruebas mecánicas.

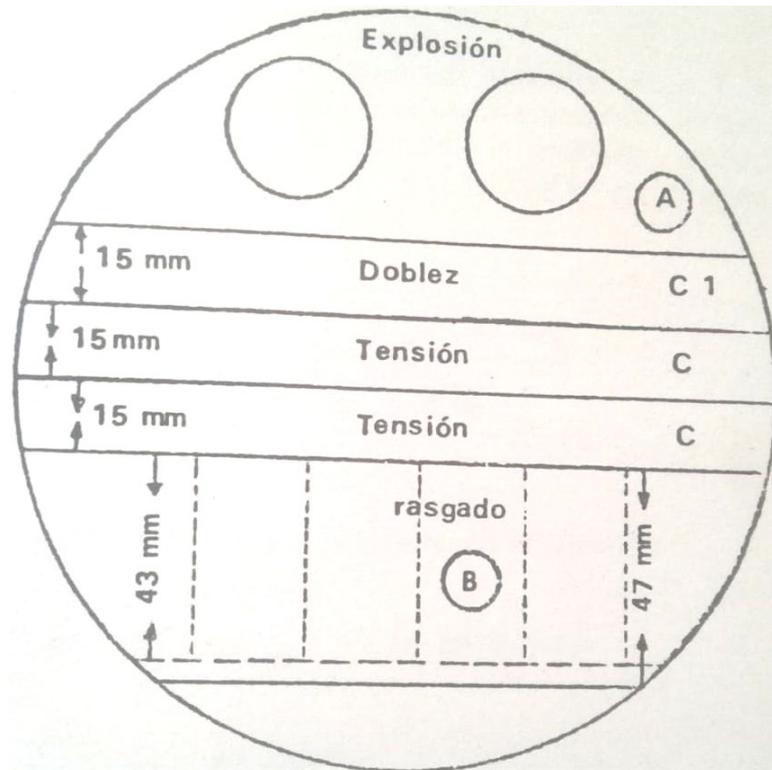


Figura 2. División de hojas para pruebas mecánicas.

Resistencia a la tensión o ruptura

Es la resistencia límite de una muestra de hoja sometida a una fuerza creciente de tensión en cada extremo. Esta resistencia límite se denomina límite de ruptura (*Longitud de ruptura es la longitud límite calculada de una tira de papel, de cualquier anchura uniforme por encima de la cual, si dicha tira se suspendiera por un extremo, se rompería por su propio peso*).

Procedimiento

Usar 10 tiras de muestra de 15 mm de ancho cada una, las mandíbulas del dinamómetro deben estar separadas 100 mm. Sujetar de un extremo todas las tiras en la mandíbula superior del aparato e insertar sucesivamente, en la mandíbula inferior, una a una cada tira para proceder a la determinación. Aplicar la carga uniformemente a una velocidad de $0,45 \pm 0,15$ kg por segundo hasta que se produzca la ruptura. Si la carga es menor de 1,8 kg disminuir la velocidad para que la ruptura ocurra en 5 ± 1 segundos.

Cálculos

$$\text{Longitud de ruptura, } m = \frac{200000 * P}{3 * G}$$

Donde:

T = tensión de rotura en kg sobre una tira de 15 mm

G = gramaje en base seca en g/m²

Resistencia a la explosión (al reventamiento)

Es la presión límite requerida para producir la ruptura del material cuando se aplica presión perpendicularmente a su superficie, a una velocidad creciente y controlada. *(El factor de explosión es equivalente al número de metros cuadrados de papel, cuyo peso, al ser aplicado a cada centímetro cuadrado de la hoja de ensayo, causaría explosión).*

Procedimiento

Efectuar 10 determinaciones, 2 por cada segmento de hoja. Coloque la muestra con el lado brillante hacia el diafragma y fijela con la palanca. Aplique la presión a velocidad creciente y controlada. Cuando se produzca la explosión, anotar el valor indicado por la aguja del manómetro.

Cálculos

$$\text{Factor de explosión (reventamiento)} = \frac{F}{G}$$

Donde:

F = fuerza de reventamiento, en g/cm² (lectura del aparato: Mullen, figura 3)

G = gramaje base en g/m², en base seca



Figura 3. Aparato Mullen

Resistencia al rasgado

El factor de rasgado es equivalente a la fuerza en gramos que se debe aplicar a una hoja de papel, de peso base determinado, para ocasionar su rasgado (ver Figura 4).

Procedimiento

Levantar el péndulo del instrumento a su punto más alto. Ajuste entre las mandíbulas las 5 porciones juntas de muestra, con la misma presión en ambos lados. Hacer un corte inicial con el cuchillo, oprimir hasta que éste haya oscilado una vez en cada dirección y se complete el rasgado. Tomar el péndulo en la oscilación de regreso y bajarlo suavemente contra el freno. Anotar la lectura indicada por la aguja del aparato. Hacer 4 determinaciones en cada muestra con una separación de aproximadamente de 20 mm. Descartar los ensayos que estén afuera del 5 % del promedio aritmético. Multiplicar por 16 y dividir por el número de hojas para obtener la fuerza en gramos necesaria para una sola hoja.

Cálculos

$$\text{Factor de rasgado} = \frac{L * 16 * 100}{n * G}$$

Donde:

L = promedio de las lecturas en el aparato

n = número de hojas

G = gramaje base en g/m², en base seca



Figura 4. Aparato para ensayo de resistencia al rasgado.

Resistencia al doblado o plegado

El ensayo consiste en someter a una banda de papel a plegados sucesivos a tensión constante, midiendo el número de doble plegado necesario para romper. El instrumento especificado por la norma T-423 es el aparato Schopper.

Bibliografía

Carranza, M. E. (2022). Industrias Químicas de la Madera. Apuntes de clase.

Casey, P. J. (1990). Pulpa y papel. Química y tecnología química. Volumen 1. Editorial LIMUSA. pp:187-192.

Normas TAPPI T 227-om-89 (1993). Freeness of pulp (beather method) (Technical Association of the Pulp and Paper Industry).

Rodríguez de Cáceres, L. (1978). Métodos de análisis empleados en la industria papelera. Editorial Universidad Industrial de Santander. Colombia. pp:75-79.