

CONTENIDO

Artículos

1. Universidad, sistemas educativos y carreras académicas: un enfoque sistémico..... 13-36
Herrera, Rodolfo.
2. Sistema y lo sistémico en el pensamiento contemporáneo 37-52
Herrera, Rodolfo.
3. Propiedades a compresión de la mampostería de bloques de concreto..... 53-70
Navas, Alejandro.
4. Capacidad estructural de juntas T de perfiles de acero laminado en frío 71-86
Romanjek, Marija.
5. Control adaptivo utilizando programación dinámica heurística..... 87-102
Gólcher, Luis.
6. Análisis de la capacidad de drenado de celulosa de bagazo de caña..... 103-113
Aguilar, Noé.

Notas técnicas

1. Evaluación de los modelos utilizados en los estudios del control PID..... 117-129
Alfaro, Víctor.
2. Cálculo para Costa Rica de la aceleración de la gravedad y su incertidumbre aplicando el método de Monte Carlo a la Fórmula Internacional de la Gravedad..... 131-138
Paniagua, Carlos.
3. Traducción del resumen de la octava edición del SI brochure 139-143
Paniagua, Carlos.

Análisis y comentarios

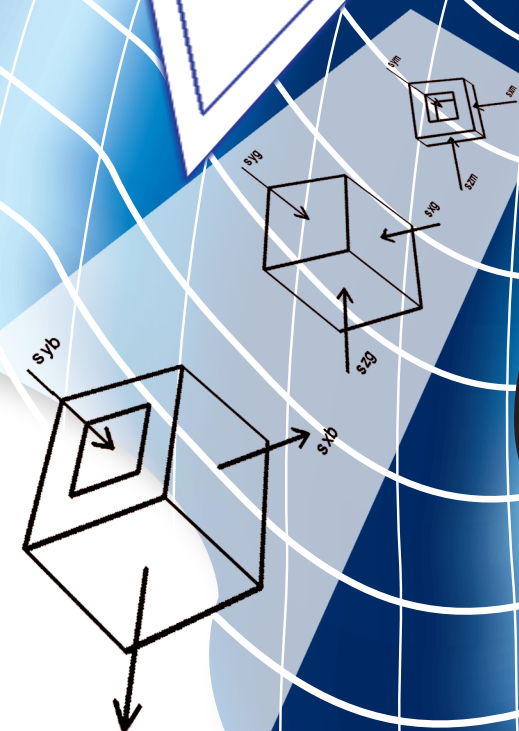
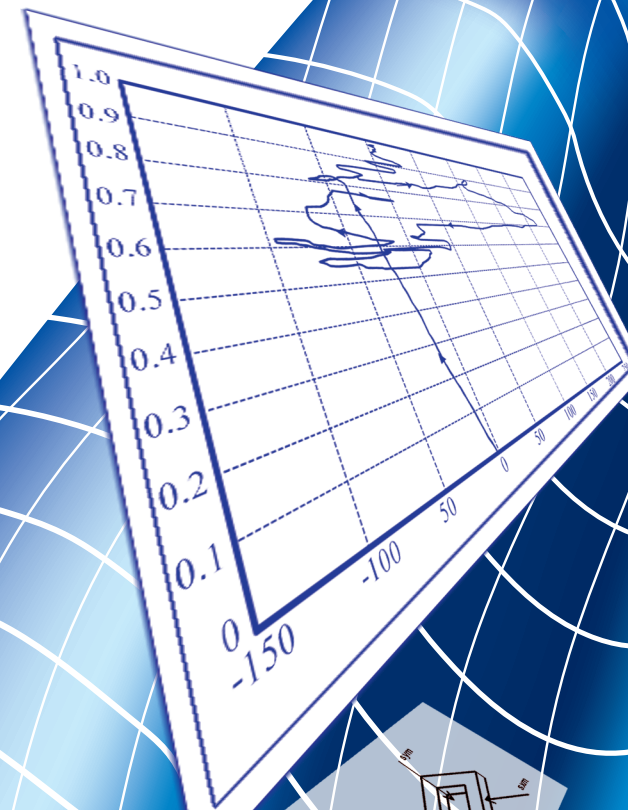
1. Reseña del libro La modernización entre cafetales. San José, Costa Rica, 1880:1930 147-149
Sanou, Ofelia.

Trabajos de Graduación 2007

- Lista de proyectos de graduación de grado y posgrado del año 2007 de la Facultad de Ingeniería 153-170

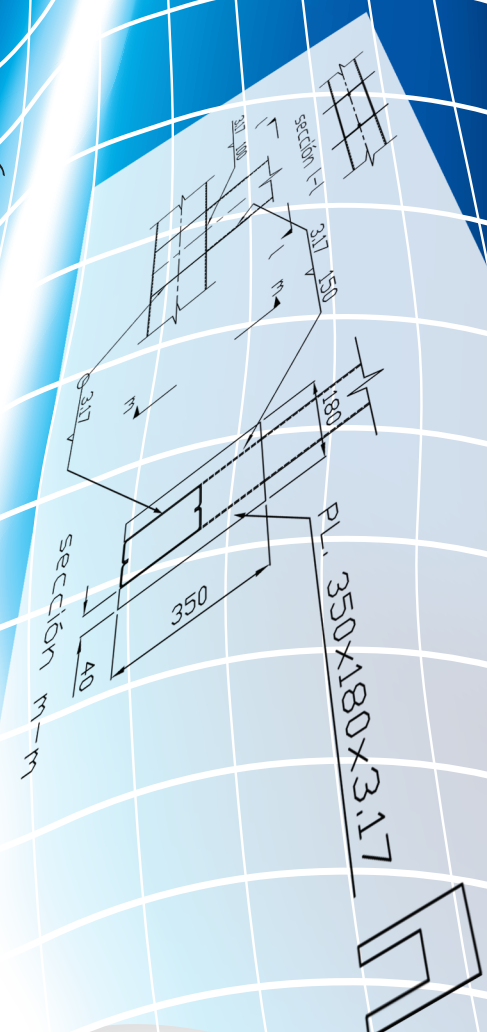
Normas

- Normas para la presentación de artículos a la Revista Ingeniería..... 173-180



INGENIERÍA

UCR



ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE DRENADO DE CELULOSA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR

Noé Aguilar Rivera

Resumen

El bagazo de caña de acuerdo a sus características anatómicas y morfológicas, y por ser un producto de desecho de una industria básica como lo es la del azúcar, lo convierten en la materia prima más importante en la industria de pulpa y papel en México. Sin embargo, las pulpas de bagazo de caña tienen como característica limitante en su uso, la baja capacidad de drenado. Por lo tanto, la medición de propiedades como el tiempo de drenado en pulpas, la porosidad y el cálculo de los coeficientes de resistencia específica a la filtración de pulpas blanqueadas y sin blanquear, son indicadores básicos para determinar la respuesta de estas pulpas en los sistemas de lavado y formación de la hoja en la máquina Fourdrinier. El objetivo de este estudio fue la determinación de estos coeficientes y proponer la incorporación de fibra larga de cartón kraft desperdicio para mejorar la capacidad de drenado de las pulpas de bagazo de caña. Las pulpas mezcladas fueron evaluadas por los métodos TAPPI. Los resultados mostraron que la incorporación de fibra larga kraft de desperdicio logró incrementar la capacidad de drenado de la pulpa de bagazo hasta en un 27 % como en el caso de la pulpa 80/20.

Palabras clave: pulpa de bagazo, propiedades de drenado, fibras secundarias.

Abstract

Sugar cane bagasse, due to its anatomic/morphological characteristics and it's a basic waste product from an important sector like sugar industry, has become the most important raw material within the pulp & paper sector in Mexico. Sugar cane pulps, however, have a limiting factor to their use: their low draining capability. Therefore, the measurement of properties like in pulp drainage time, porosity and the calculation of specific resistance coefficient for both bleached and unbleached pulps are key indicators for determining the response of such pulp in the washing system and formation at the Fourdrinier paper machine. The goal this work was the determination of the above coefficients and proposes the incorporation of long fiber from waste kraft liner to improve the drainage capability of sugar cane bagasse pulps. The mixed pulps were evaluated by TAPPI methods; the results showed that the incorporation of waste kraft long fibres to sugar cane bagasse pulps helped to increase the draining capability until 27 % especially in pulp 80/20.

Key words: sugar cane bagasse pulp, drainage properties, waste fibers.

Recibido: 26 de julio del 2007 • **Aprobado:** xxxxx

1. INTRODUCCIÓN

La estructura básica de la pasta o pulpa celulósica y el papel es un entramado de fibras de celulosa (un polisacárido con 600 a 1000 unidades de glucosa) unidas mediante enlaces glucosídicos (β 1-4). Una vez separadas del resto de componentes no celulósicos, mediante el proceso de elaboración de la pasta o pulpa de papel, estas fibras tienen altas resistencias a la tracción, al rasgado y a la explosión y absorben

los aditivos empleados para transformar la pasta o pulpa en papel y cartón; son flexibles; químicamente estables y blancas. La principal fuente de fibra para la fabricación de pasta y de papel es la madera de coníferas y de especies arbóreas de hoja caduca. Fuentes secundarias son la paja de trigo, el centeno y el arroz; el bagazo de caña de azúcar; los tallos leñosos del bambú, lino y cáñamo, y fibras de semillas, hojas y cortezas, como las del algodón, el abacá y el henequén o sisal (Saijonkari, 2001).

En los últimos años ha surgido un gran interés en la búsqueda de nuevas alternativas de mejora de los procesos existentes y generación de nuevos métodos de producción de pulpas celulósicas, que impliquen menor costo de producción, mayor rendimiento, igual o superior calidad de pulpa, menor contaminación, posibilidades de recuperación de subproductos (lignina y carbohidratos degradados) y menor capital inicial de inversión sobre todo en la utilización de residuos agroindustriales como el bagazo de caña (Area, 2002).

Las materias primas fibrosas deben de reunir determinados requisitos de índole técnica y económica. Entre los requisitos técnicos, los más importantes radican en la composición química del material, su reactividad frente a los agentes de pulpeo y sus propiedades anatómicas y morfológicas. El bagazo además de satisfacer dichos requerimientos, se encuentra disponible en grandes cantidades concentradas en los ingenios azucareros; su manipulación, su transportación y su almacenamiento disminuyen los riesgos de inversión y lo hacen un material atractivo, en comparación con otras fuentes de materia prima lignocelulósica.

FAO (2006) reportó una producción para el año 2005 de 837 000 t de celulosa de bagazo en veintiocho países de América, Asia, Oceanía y África, con una expectativa de crecimiento de hasta 985 000 t para el 2010, por lo que, este tiene un gran potencial en lo técnico y en lo económico; la pulpa blanqueada producida a partir de bagazo, puede suplir a la pulpa blanqueada de maderas duras tanto química como semiquímica y la pulpa quimicomecánica de bagazo puede sustituir a la pulpa mecánica de madera. Sin embargo, comparadas con las pulpas de madera, la pulpa de bagazo de caña posee baja capacidad de drenado o desgote y esto influye directamente en el desempeño directo de esta pulpa en los sistemas de lavado de pulpa morena y blanqueada, en la formación de la hoja en la máquina de papel, debido a un débil drenado en vacío y en la sección de prensas.

Los sistemas de lavado de pulpa de bagazo de caña están basados en los conceptos básicos de ingeniería en pulpas celulósicas de madera; sin

embargo, para pulpas de bagazo es necesario considerar características como alto contenido de finos y de parénquima y pentosanos y longitud de fibra corta, propios de este tipo de pulpas, que hacen necesaria la modificación de los equipos de lavado y de proceso tomando en cuenta esos factores.

En la teoría básica de la filtración, el lavado de pulpas es en esencia una operación unitaria de filtración, que generalmente, se efectúa a gravedad o vacío y por presión; y en la que el producto de mayor importancia es el sólido. Se define la filtración como la operación de separación de un sólido suspendido en un fluido, forzando a este a pasar a través de un medio filtrante. Los sistemas de lavado de pulpas celulósicas presentan dos factores limitantes en su operación: *la eficiencia de lavado* (desplazamiento del licor) y *la capacidad de lavado*. Algunos parámetros de operación en los lavadores rotatorios de vacío como la velocidad de rotación del tambor, gradiente de presión o vacío aplicados, sumergencia del tambor, temperatura de operación, entre otros, pueden tener una influencia positiva o negativa sobre los factores mencionados, de esta forma, la optimización de la operación de un sistema de lavado requiere sacrificar uno de los factores para mejorar el otro, pero siempre buscando un punto de equilibrio entre ambos.

La velocidad de filtración o velocidad de flujo de filtrado en los sistemas de lavado depende de: el área de filtración disponible, el gradiente de presión aplicado, la viscosidad de filtrado y la resistencia específica a la filtración de la torta (α) y el medio filtrante (R_m).

Para los lavadores rotatorios a vacío, ampliamente utilizados para el lavado de pulpas de bagazo de caña, se utiliza la ecuación general de la filtración, ecuación (1) Guerra (1979).

$$V_f = \frac{A\Phi \left[(2gc(-\Delta P)\Phi\Theta c) \right]^{1/2}}{\mu\alpha c} \quad (1)$$

Donde:

| | |
|------------|--|
| V_f | volumen filtrado, en m^3 |
| A | área del lavador de pulpa (m^2) |
| ϕ | sumergencia del tambor filtrante (%) |
| ΔP | gradiente de presión (N/m^2) |
| Θc | tiempo de rotación (s) |
| c | concentración inicial de la suspensión (kg/m^3) |
| μ | viscosidad del filtrado ($kg/m \cdot s$) |
| α | coeficiente específico de resistencia de la torta (m/kg) |

Δp = Caída de presión (N/m^2)

K_p = Pendiente de la relación ΔV & $\Delta t/\Delta V$ (s/m^6)

c = Concentración de pulpa en la suspensión (kg/m^3)

μ = Viscosidad del filtrado ($kg/m \cdot s$)

Esta ecuación se deduce directamente de ley de Poiseuille, suponiendo un flujo laminar a través de un medio filtrante:

$$-(\Delta P c / L) = 32 \mu v / D^2 \quad (3)$$

La expresión matemática relaciona y cuantifica la influencia de cada una de las variables de operación con la velocidad de filtración para cualquier tipo de lavador, una vez que se conoce el valor de α ; este coeficiente depende únicamente de las propiedades físicas de los sólidos que se manejan. Pires (1989) menciona que la importancia del valor de α radica en el hecho de que es independiente del equipo empleado para determinarlo, así como del fluido de la suspensión y del espesor de la torta, esto permite determinar este coeficiente para un sólido dado en un equipo de laboratorio. Además, puesto que el coeficiente α evalúa la resistencia de la torta, su valor es inversamente proporcional a la drenabilidad de la pulpa. Una de las ecuaciones que se utilizan a presión constante para determinar el coeficiente de resistencia específica a la filtración es la (2) (Geankoplis, 1992; Gertjensan, 1964).

Para flujo laminar en un filtro, se ha demostrado que puede aplicarse la relación de Carman-Kozeny (Gertjensan, 1964), ecuación (4).

$$-(\Delta P c / L) = [k_1 \mu v (1 - \epsilon)^2 S_0^2 / \epsilon^3] \quad (4)$$

Y de acuerdo a Geankoplis (1992):

k_1 constante de valor igual a 4,17 para partículas desordenadas, de tamaño y forma definidos

μ viscosidad del filtrado (Pa·s)

v velocidad lineal basada en el área de filtración (m/s)

ϵ fracción de espacios vacíos o porosidad de la torta

L espesor de la torta (m)

S_0 área superficial específica de las partículas (m^2) de área de partícula por m^3 de volumen de partículas sólidas

$\Delta P c$ es la caída de presión en la torta (N/m^2)

La velocidad lineal esta dada por la ecuación (5).

$$\alpha = A^2 \Delta p K_p / c \mu \quad (2)$$

Donde:

α = Coeficiente de resistencia específica a la filtración (m/kg)

A = área del medio filtrante (m^2)

$$v = \left(\frac{dV}{dt/A} \right) \quad (5)$$

Donde:

A área del filtro (m²)

V volumen total de filtrado al tiempo t en s a una concentración de sólidos Cs (kg/m³)

Mediante un balance de materia se obtiene la ecuación (6).

$$LA(1 - \varepsilon)\rho_p = Cs(V + \varepsilon \cdot LA) \quad (6)$$

Combinando estas tres ecuaciones (4), (5) y (6) se obtiene la ecuación de filtración (7).

$$dV/Adt = [-\Delta p c / \alpha(\mu \cdot CsV/A)] \quad (7)$$

α es la resistencia específica a la filtración del medio filtrante en m/kg que se define de acuerdo a la ecuación (8).

$$\alpha = kl(1 - \varepsilon)S_0^2 / \rho_p \cdot \varepsilon^3 \quad (8)$$

La ecuación (8) indica que la resistencia de la torta es una función de la fracción de espacios vacíos y de S_0 , también es una función de la presión, pues esta puede afectar a ε . La variación de α con respecto a Δp puede determinarse por medio de experimentos a presión constante, con diferentes caídas de presión.

Puesto que la resistencia de la torta y del medio filtrante (R_m) están en serie, se obtiene la ecuación (9).

$$dV/Adt = [-\Delta p c / \mu(\alpha \cdot CsV/A + R_m)] \quad (9)$$

$$dt/dV = (\mu \alpha Cs / A^2 \Delta p)V + \mu / A(-\Delta p)R_m = KpV + B \quad (10)$$

Para las filtraciones a presión constante la ecuación anterior puede escribirse como la (10).

Donde Kp esta en s/m⁶ y B en s/m³.

Sustituyendo los valores de $Kp = (\mu \alpha Cs / A^2 \Delta p)$ y $B = \mu R_m / A(-\Delta p)$ en (10) la ecuación puede resolverse asignando valores de V recolectados a diferentes tiempos t . De esta manera, obteniendo valores de V_1 y V_2 a dos tiempos sucesivos t_1 y t_2 , $\Delta V = V_2 - V_1$ y $\Delta t = t_2 - t_1$ se calcula $\Delta t / \Delta V$ y se grafica en función de V promedio durante el intervalo $V = (V_1 + V_2) / 2$, esto supone que $\Delta t / \Delta V$ es una línea recta con pendiente Kp y ordenada al origen B . Con estos datos es posible evaluar α mediante la ecuación (11) (Geankoplis, 1992).

$$\alpha = A^2 \Delta p Kp / c \mu \quad (11)$$

2. METODOLOGÍA

Para la realización de este estudio se utilizó celulosa de bagazo de caña morena y blanqueada por medio de la secuencia ODP (deslignificación con oxígeno, dióxido de cloro y peróxido) y sin blanquear, obtenidas mediante el proceso a la sosa a partir de bagazo de caña desmedulado a una relación fibra/medula de 87/13 y como fuente de fibra larga se empleó una mezcla de cartón y sacos kraft desperdicio blanqueados y sin blanquear, los cuales se repulpearon para obtener una suspensión fibrosa. Posteriormente, se realizaron las mezclas de bagazo de caña/fibra larga (90/10, 80/20 y 70/30), para la determinación de los coeficientes de cada mezcla o pulpa individual. Anterior a esto, se determinó la composición porcentual por tamaño de fibra en un equipo clasificador Bauer-McNett (Cuadro 1) de acuerdo a la técnica TAPPI T 233-cm 82 "Longitud de fibras de pulpa por clasificación" y las propiedades de drenado de acuerdo a la técnica SCAN-m3:65 "Medición del grado de refinación en pulpas", TAPPI T 205-sp-95 "Tiempo de drenado en pulpas" y TAPPI T 460-om-96 "Porosidad en pulpas" (Cuadro 2)

para caracterizar sus propiedades individuales de capacidad de drenado y porosidad y como mezcla en función del contenido de la fracción de fibra larga (retenido en las mallas 30 y 50).

Según Pires (1989) y Sayegh (1995), uno de los criterios de diseño, más importantes, para los equipos de lavado es la permeabilidad del colchón de material fibroso o el concepto de resistencia específica a la filtración desarrollado para medios compresibles, que es función de las siguientes propiedades físicas de la pulpa: contenido de finos, longitud de fibra, grado de fibrilación y flexibilidad.

Sampson (1995) reportó que varios métodos son utilizados para medir el drenado de una pasta, menciona que los más comunes son el *Canadian Standard Freeness* (mL C.S.F.) y el *Shopper Riegler* (°S.R.), sin embargo, sus resultados correlacionan pobremente el comportamiento de una pulpa en la máquina de papel o en los sistemas de lavado. Según los trabajos de Gertjeansen (1964) y Pires (1989), la determinación de la resistencia a la filtración proporciona un valor de una propiedad fundamental que es independiente de la geometría de un instrumento en particular, combinado con la respuesta de la pasta o pulpa al vacío, en función del tiempo, Trepanier (1992) concluye que este parámetro puede dar una descripción más completa del comportamiento de una pulpa, tanto en la sección de lavado como en la formación de la hoja en la máquina de papel. En la literatura se presentan diversos aparatos que permiten determinar la resistencia específica a la filtración (α) y todos son una versión del equipo DVRT (*Drainage vacuum and retention tester*) desarrollado para tal fin. En estos equipos se pueden determinar además los factores que afectan la eficiencia del lavado por desplazamiento de la pulpa como son velocidad de desplazamiento, espesor y consistencia de colchón fibroso y temperatura (Trinh, 1989).

Estos equipos poseen las siguientes características:

- El flujo en los sistemas de lavado se considera laminar.
 - El gradiente de presión debe ser constante.
 - El valor del coeficiente de resistencia específica a la filtración SFR (α) depende de la estructura del colchón fibroso, el cual es función del área superficial, rugosidad y longitud de fibras.
 - Una estructura cerrada, formada por una pulpa bien dispersa con alto contenido de finos, deberá presentar un alto coeficiente de resistencia específica a la filtración SFR (α).
 - El coeficiente de resistencia específica a la filtración SFR (α) se incrementa con el ΔP , debido a la alta compactación y reducción en la porosidad del colchón fibroso cuando la presión se incrementa, este efecto debe tomarse en consideración para ajustar el vacío en las lavadoras y en la máquina de papel.
 - La variación de la viscosidad del agua por la temperatura no afecta el coeficiente de resistencia específica a la filtración SFR (α).
 - El grado de refinación es el parámetro que más afecta la resistencia específica a la filtración SFR (α).
- La importancia del valor de α radica en el hecho de que es independiente del equipo empleado para determinarlo, así como del fluido de la suspensión y del espesor de la torta (Guerra, 1979), esto permite determinar este coeficiente para un sólido dado en un equipo de laboratorio. Las determinaciones en el equipo se realizaron de la siguiente manera:
1. En el medidor y controlador de vacío se indica el vacío que se desea aplicar al sistema para filtrar la suspensión.
 2. Para conseguir el vacío indicado en el controlador se obstruye una de las líneas que van al matraz de filtración.
 3. Cuando en la pantalla del controlador aparece el vacío deseado, se coloca en el embudo la suspensión a filtrar.

4. Una vez colocada la suspensión, se libera la línea obstruida y se comienza a medir el tiempo de filtración con un cronómetro, tomando el tiempo en alcanzar cada una de las graduaciones del matraz.

Las filtraciones se llevaron a cabo a diferentes caídas de presión, para obtener los valores de las pendientes K_p , y posteriormente calcular los coeficientes de resistencia a la filtración se realizaron en un equipo DVRT que cuenta con los siguientes elementos:

- Matraz de filtración al vacío de 4000 mL debidamente graduado.
- Trampa de vacío y manómetro.
- Controlador y medidor de vacío.
- Embudo Büchner mediano.

- Venturi.
- Mangueras para conexión

Estas filtraciones se llevaron a cabo tratando de simular las condiciones a nivel industrial, bajo las siguientes condiciones:

- Se prepararon suspensiones con las pulpas blanqueadas y sin blanquear obtenidas en esta investigación.
- Consistencia inicial del 1 %.
- Vacío aplicado de 190 mBar a 770 mBar.
- Malla 80 en el embudo Büchner.
- Temperatura 20 °C.
- Consistencia final del 11 % al 13 %

Cuadro 1. Clasificación de fibras de pulpas celulósicas (%)

| MALLA | PULPA DE | | | | | | | |
|-------|---------------------------|--------|-------|-------|-------|--------------------------------------|-------------------|-------|
| | Secundaria de fibra larga | Bagazo | 90/10 | 80/20 | 70/30 | Secundaria de fibra larga blanqueada | Bagazo blanqueada | 80/20 |
| 30 | 57 | 0,5 | 27,7 | 29,1 | 32 | 60,3 | 1,8 | 9,7 |
| 50 | 20.1 | 26,9 | 22,2 | 24,9 | 27,2 | 17,4 | 28,3 | 34,9 |
| 100 | 15.5 | 30,6 | 26,5 | 20,9 | 11,8 | 13,3 | 36,2 | 33,6 |
| 200 | 1,1 | 19,7 | 9,2 | 10,4 | 11,9 | 3,9 | 14,6 | 9,5 |
| < 200 | 6.3 | 22,4 | 14,4 | 14,8 | 17,1 | 5,1 | 19,1 | 12,3 |

Fuente: (El autor).

Cuadro 2. Propiedades de drenado de pulpas celulósicas

| PROPIEDAD | PULPA DE | | | | | | | |
|-----------------------|---------------------------|--------|-------|--------|--------|--------------------------------------|-------------------|-------|
| | Secundaria de fibra larga | Bagazo | 90/10 | 80/20 | 70/30 | Secundaria de fibra larga blanqueada | Bagazo blanqueada | 80/20 |
| Drenado (°SR) | 13 | 14 | 14 | 13 | 13 | 19 | 20 | 19 |
| Tiempo de drenado (s) | 4,29 | 5,14 | 4,55 | 4,25 | 4,29 | 4,54 | 5,18 | 5,05 |
| Porosidad (s/100 mL) | Poroso | 21 | 6 | Poroso | Poroso | Poroso | 11,26 | 7,43 |

Fuente: (El autor).

Para calcular los coeficientes de resistencia específica a la filtración (α) de las pulpas blanqueadas y sin blanquear se utilizaron las ecuaciones de filtración descritas anteriormente. En el Cuadro 3 se muestran las pendientes obtenidas por mínimos cuadrados de la relación ΔV & $\Delta t/\Delta V$.

De acuerdo a la ecuación (11) se obtuvieron los coeficientes de resistencia específica a la filtración para cada pulpa y presión con los siguientes parámetros: $A = 0,01453 \text{ m}^2$, $c = 1 \text{ kg/m}^3$ y $\mu = 1,005 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m}\cdot\text{s}$ a $20 \text{ }^\circ\text{C}$. En el Cuadro

4 se muestran los coeficientes de resistencia específica a la filtración calculadas en base a la ecuación anterior.

3. RESULTADOS

Los sistemas de lavado de pulpas celulósicas son en esencia sistemas basados en la operación unitaria de filtración, que para llevar a cabo la tarea de limpieza de pulpas deben responder adecuadamente a las siguientes cuestiones (Kukreja, 1995):

Cuadro 3. Pendientes (Kp) de la relación Δv & $\Delta t/\Delta v$

| PULPA DE | Vacío aplicado (mBar) | | | |
|--|-----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|
| | 190 | 390 | 590 | 770 |
| Bagazo de caña | $1,11555 \cdot 10^7$ | $9,75027 \cdot 10^6$ | $1,187 \cdot 10^7$ | $1,8645 \cdot 10^7$ |
| Pulpa fibra larga reciclada | $1,05296 \cdot 10^7$ | $1,0159 \cdot 10^7$ | $9,7887 \cdot 10^6$ | $1,51337 \cdot 10^7$ |
| 90/10 | $1,36703 \cdot 10^7$ | $1,27097 \cdot 10^7$ | $1,1749 \cdot 10^7$ | $1,66413 \cdot 10^7$ |
| 80/20 | $8,08115 \cdot 10^7$ | $8,65682 \cdot 10^6$ | $7,74136 \cdot 10^6$ | $1,37547 \cdot 10^7$ |
| 70/30 | $1,36534 \cdot 10^7$ | $1,34878 \cdot 10^7$ | $1,78801 \cdot 10^7$ | $1,31853 \cdot 10^7$ |
| Bagazo de caña blanqueada | $1,54939 \cdot 10^7$ | $1,5326 \cdot 10^7$ | $1,311061 \cdot 10^7$ | $1,89971 \cdot 10^7$ |
| Pulpa fibra larga reciclada blanqueada | $1,31788 \cdot 10^7$ | $1,48582 \cdot 10^7$ | $1,25213 \cdot 10^7$ | $1,31788 \cdot 10^7$ |
| 80/20 blanqueada | $1,43805 \cdot 10^7$ | $1,19126 \cdot 10^7$ | $1,23688 \cdot 10^7$ | $1,74502 \cdot 10^7$ |

Fuente: (El autor).

Cuadro 4. Coeficientes de resistencia específica a la filtración SFR (α) en (m/kg).

| PULPA DE | Vacío aplicado (mBar) | | | |
|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | 190 | 390 | 590 | 770 |
| Bagazo de caña | $5,860 \cdot 10^{12}$ | $1,051 \cdot 10^{12}$ | $1,935 \cdot 10^{13}$ | $3,968 \cdot 10^{13}$ |
| Pulpa fibra larga reciclada | $5,529 \cdot 10^{12}$ | $1,095 \cdot 10^{12}$ | $1,596 \cdot 10^{12}$ | $3,221 \cdot 10^{12}$ |
| 90/10 | $7,179 \cdot 10^{12}$ | $1,370 \cdot 10^{13}$ | $1,916 \cdot 10^{13}$ | $3,541 \cdot 10^{13}$ |
| 80/20 | $4,244 \cdot 10^{12}$ | $9,332 \cdot 10^{12}$ | $1,265 \cdot 10^{13}$ | $2,927 \cdot 10^{13}$ |
| 70/30 | $7,170 \cdot 10^{12}$ | $1,454 \cdot 10^{13}$ | $2,916 \cdot 10^{13}$ | $2,806 \cdot 10^{13}$ |
| Bagazo de caña blanqueada | $8,137 \cdot 10^{12}$ | $1,652 \cdot 10^{13}$ | $2,138 \cdot 10^{13}$ | $4,043 \cdot 10^{13}$ |
| Pulpa fibra larga reciclada blanqueada | $6,922 \cdot 10^{12}$ | $1,602 \cdot 10^{13}$ | $2,042 \cdot 10^{13}$ | $2,805 \cdot 10^{13}$ |
| 80/20 blanqueada | $7,552 \cdot 10^{12}$ | $1,284 \cdot 10^{13}$ | $2,017 \cdot 10^{13}$ | $3,714 \cdot 10^{13}$ |

Fuente: (El autor).

- ¿Qué parámetros afectan el desempeño del lavador?
- ¿Qué combinación de parámetros rinde el mejor lavado?
- ¿Cuál es el mejor indicador del buen desempeño de un lavador?

Por lo que, en el caso de pulpas de bagazo, los equipos más utilizados tienen la limitante de baja drenabilidad o capacidad de drenado o desgote, debido a las características propias de la celulosa de bagazo de caña. Cuando se intenta resolver este problema formando un colchón de fibras más delgado para mejorar el paso del agua a través del colchón fibroso, este se rompe y el sistema de lavado limita significativamente su desempeño. Esto no se presenta cuando se emplean pulpas de maderas suaves o duras.

Para resolver la limitante de drenado de las fibras de bagazo y con similitud con los estudios llevados a cabo por Jeyasingam (1984), Kappel (1991) y

Cheng (1994), que reportaron que incorporando al menos un 10% de fibra larga de madera a la pulpa de bagazo de caña se mejora la drenabilidad y así esta pulpa puede ser utilizada sin problemas, en este trabajo, la incorporación de celulosa de fibra larga reciclada, en lugar de celulosa virgen maderable, a la composición fibrosa de la pulpa de bagazo de caña logró modificar favorablemente la drenabilidad de la pulpa blanqueada y sin blanquear. En la Figura 1 se muestra el comportamiento que presentaron las pulpas de bagazo y las mezclas de este con fibra larga.

La mezcla fibrosa 80/20 presentó la menor resistencia a la filtración, por lo tanto, posee mejor drenabilidad que la pulpa original de bagazo de caña, aceptable para resolver la problemática que presenta en lavadoras de pulpa generada cuando el panel de fibras se aprieta y dificulta el desplazamiento del licor negro residual o de blanqueo, al mismo tiempo, evita que el agua de las regaderas del sistema no pueda penetrar a todo lo largo y grueso del colchón fibroso, solamente a la entrada del lavador, lo que provoca dificultades en la formación.

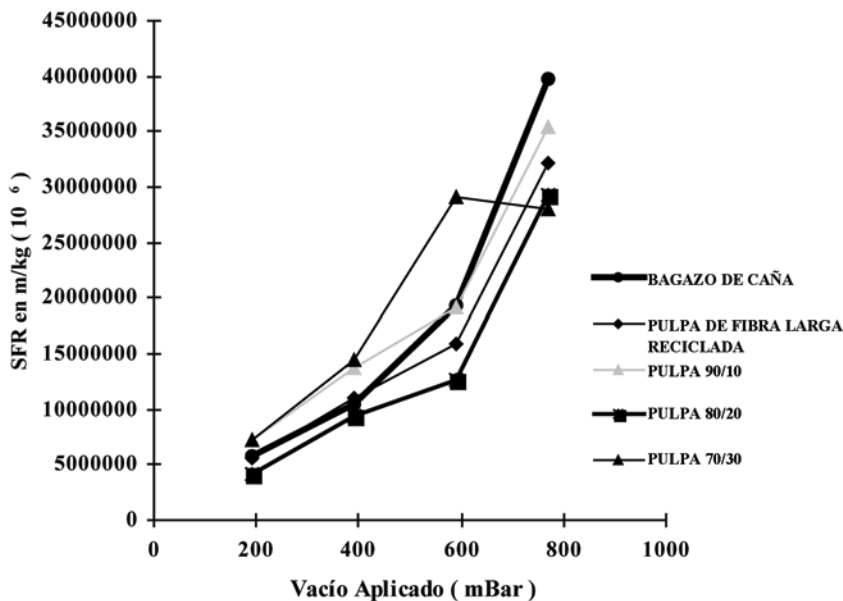


Figura 1. Coeficientes de resistencia específica a la filtración (SFR) de pulpas de bagazo de caña sin blanquear.

Fuente: (El autor).

En lo que respecta a las pulpas 90/10 y 70/30, estas presentan comportamientos similares a la pulpa de bagazo de caña. Este efecto se puede explicar en función de la mínima presencia de fibra larga en la pulpa 90/10 y en función del alto contenido de finos que presenta la pulpa 70/30, que aunque presenta la mayor cantidad de fibra larga, también se incrementó la fracción de finos desde la etapa de mezclado de estas. Los finos, tal y como se describe en la literatura especializada, forman una estructura cerrada y poco porosa lo que impide que la fracción de fibras largas trabaje de manera óptima. Sin embargo, la pulpa 80/20 se comporta de manera ideal, ya que con esta composición fibrosa, utilizando pulpa de fibra larga reciclada, es posible resolver la problemática de baja drenabilidad de las pulpas blanqueadas y sin blanquear. En la Figura 2 se muestran los coeficientes de resistencia a la filtración de las pulpas blanqueadas, tal y como

se aprecia, se presenta también un incremento en la drenabilidad en la pulpa 80/20 en relación a la pulpa de bagazo de caña blanqueada.

4. CONCLUSIONES

1. Con la incorporación de pulpa de fibra larga de papel de desperdicio en la composición fibrosa de la pulpa de bagazo de caña, se logró disminuir el tiempo de drenado en un 13 % en promedio, y un incremento en la porosidad del 150 %, tanto en pulpas blanqueadas y sin blanquear en relación a la pulpa de bagazo de caña.
2. Las pulpas 80/20 blanqueadas y sin blanquear presentaron el mejor comportamiento en cuanto a propiedades de drenabilidad en relación a la pulpa original de bagazo de caña, al incrementarse en un 27 % la capacidad de drenado en promedio.

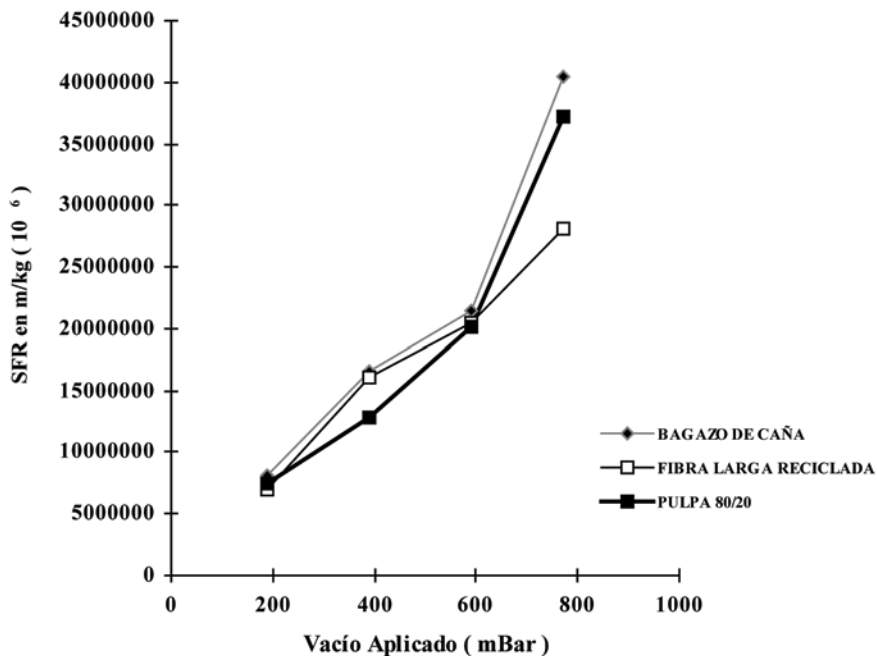


Figura 2. Coeficientes de resistencia específica a la filtración (SFR) de pulpas de bagazo de caña blanqueadas.

Fuente: (El autor).

3. La determinación de los coeficientes de resistencia específica a la filtración, de cada una de las pulpas, correlaciona y simula la respuesta de estas al vacío, los valores numéricos de las propiedades tiempo de drenado y porosidad en pulpas y permiten demostrar que la presencia de fibra larga reciclada en la composición fibrosa de la pulpa de bagazo de caña resulta benéfica en cuanto a mejorar las propiedades de drenabilidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Área, M. C. (2002, Octubre). *Pulpado hidroalcohólico de alto rendimiento de bagazo de caña de azúcar*. Ponencia presentada en el Congreso Iberoamericano de Investigación en Celulosa y Papel (CIADICYP) Campinas, Brasil, Extraído el 31 Julio, 2008, de: http://www.riadicyp.org.ar//index.php?option=com_remository&Itemid=44&func=select&id=3&orderby=2&page=7
- Cheng, Z. (1994). Papermaking properties of nonwood fiber pulps. *IPPTA*. 2(6), 45-48.
- FAO pulp, paper and paperboard capacity survey 2005-2010. (2006). (English, French, Spanish) In: *Pulp and Paper Capacities (FAO)*, / FAO, Rome (Italy). Forestry Dept., 2006, p 188.
- Geankoplis, C. J. (1992). *Procesos de transporte y operaciones unitarias (6ª Reimpresión)*.
- Mexico: Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V. pp. 653-659.
- Gertjeansen, R.O. (1964). Method for determining the average specific filtration resistance of pulps at constant pressure. *Tappi Journal*. 1(47), 19-21.
- Guerra, A., Catalán, G. (1979). Comportamiento de pulpas de bagazo durante el lavado. *Revista de la Asociación de Técnicos en Celulosa y Papel de México*, Enero/Feb 1979 pp. 37-43.
- Jeyasingam, J. T. (1984). *The need for improving the efficiency of brownstock washers used for agricultural residue pulp*. Nonwood fiber pulping. Tappi press. Atlanta, Georgia Estados Unidos 15, 71-76.
- Jeyasingam, J. (1991). *A summary of special problems and considerations related to nonwood fibre pulping world wide*. Nonwood plant fiber pulping progress report no. 19, Tappi press. Atlanta, Georgia Estados Unidos pp. 149-151.
- Kappel, J., Brauer, P. (1991). *Washing and dewatering of nonwood fiber pulps*. Nonwood plant fiber pulping no. 19, Tappi press. Atlanta, Georgia USA pp. 173-177.
- Kukreja, V.K., Ray, A.K. (1995). Different approaches to evaluate brownstock washer efficiency. *IPPTA*. 4(7), 61-66.
- Pires, C.E., Springer, M.A. (1989). A new technique for specific filtration resistance measurement. *Tappi Journal*. 7(72), 149-154.
- Saijonkari, K.P. (2001). *Nonwood plants as raw material for pulp and paper*. Helsinki, Finland: MTT Agrifood Research Finland University of Helsinki, pp 101.
- Sampson, W. W., Kropholler, H.W. (1995). Batch-drainage curves for pulp characterization. *Tappi Journal*. 12(78), 145-151.
- Sayegh, N.N. (1995). Compressibility of fibre mats during drianage. *JPPS*. 7(21), J255-J261.
- TAPPI (2000). *Technical Association of the Pulp and Paper Industries*. TAPPI Test Methods 2000-2001. Atlanta Georgia USA. Pp 1500.
- Trepanier J. R. (1992). The G/W drainage-retention tester. *Tappi Journal*. 5(75), pp. 139-142.
- Trinh, D.T., Poirier, N.A. (1989, January). Displacement washing of wood pulp an experimental study. *JPPS*. 1 (15), J28-J35.

SOBRE EL AUTOR

Noé Aguilar Rivera

Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias

Universidad Veracruzana

Córdoba, Veracruz, México

Teléfono: (01) 271 71 6 73 92

Correo electrónico: naguilar@uv.mx

