



Revista Ingeniería Agrícola

ISSN: 2306-1545

ISSN: 2227-8761

Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola

Acevedo-Artigas, Zoraida; Martínez-Mirabal, Naivys; Silva-Oliva, Leonides Román
Perfeccionamiento de la máquina de producción de papel Over Mecánica para aumentar su productividad
Revista Ingeniería Agrícola, vol. 13, núm. 3, e09, 2023
Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=586275623009>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org



Sistema de Información Científica Redalyc
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso
abierto



NOTA TÉCNICA

Perfeccionamiento de la máquina de producción de papel Over Mecánica para aumentar su productividad

Improvement of the Over Mechanics Paper Production Machine to Increase its Productivity

Ing. Zoraida Acevedo-Artigas¹, MSc. Naivys Martínez-Mirabal¹, Lic. Leonides Román Silva-Oliva¹¹

¹ Centro Universitario Municipal Quivicán, Mayabeque, Cuba.

¹¹ Universidad Agraria de La Habana, Facultad Ciencias Técnicas, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

RESUMEN. El trabajo de investigación realizado presenta como objetivo perfeccionar el diseño del filtro rotatorio al vacío a partir de la materia prima pulpa de bagazo de caña de azúcar, con vista a incrementar la productividad de la máquina Over Mecánica para la producción de papel en la Unidad Empresarial Básica (UEB) Cuba 9. Para cumplir dicho objetivo se contó con la metodología teórica específica en materia de pulpeo; se calcularon los porcentajes de consistencias en las corrientes de entrada, formación del colchón y salida, y se registraron las lecturas de los flujos de entrada antes y después del perfeccionamiento, utilizando métodos técnico operativos y el laboratorio de control con su equipamiento destinado a estos fines. Los resultados reflejan un aumento de productividad de una tonelada al día, lo que se traduce en valores como un ingreso derivado de un aumento de productividad de 8 000 pesos al mes. Este perfeccionamiento se efectuó en julio del 2022 y hasta la actualidad se ha logrado que el proceso productivo se mantenga en operación.

Palabras clave: filtro rotatorio, materia prima, pulpa, bagazo, caña de azúcar.

ABSTRACT. The research work carried out presents the objective of perfecting the design of the rotary vacuum filter from the raw material pulp of sugarcane bagasse, with a view to increasing the productivity of the Over Mechanics machine for the production of paper in the Business Unit. Basic (UEB) Cuba 9. To meet this objective, the specific theoretical methodology in pulping was used; The percentages of consistency in the inlet, mat formation and outlet streams were calculated, and the readings of the inlet streams were recorded before and after refinement, using operational technical methods and the control laboratory with its equipment intended for these purposes.. The results reflect an increase in productivity of one ton per day, which translates into values such as an income derived from an increase in productivity of 8,000 pesos per month. This improvement was carried out in July 2022 and to date it has been possible for the production process to remain in operation, as suggested in this work, so the improvement can be classified as correct and applied.

Keywords: Rotary Filter, Raw Material, Pulp, Bagasse, Sugar Cane.

INTRODUCCIÓN

A lo largo de todos los tiempos, el papel ha sido el material más empleado por los hombres para dibujar y escribir, dos rasgos diferenciales del grado de civilización del ser humano con respecto al resto de los componentes de la naturaleza (Molina, 2004; Pérez et al., 2000; Rodríguez-González, 2020). La aparición del papel se vio forzada por la necesidad de un nuevo soporte de transmisión de información de fácil obtención,

manejo y almacenamiento, ventajas indudables que el papel presenta sobre otros soportes como eran anteriormente lajas de piedra y superficies de edificios (Carpio-Leal et al., 2020; Cujano-Caluña, 2018; García-Hortal, 2007).

La fabricación de pasta, papel y derivados del papel alcanza cifras que sitúan esta industria entre las más grandes del mundo (Armas-Ríos & Zamora-Barragán, 2022). Hay fábricas en más de

¹ Autora para correspondencia: Zoraida Acevedo-Artigas, e-mail: zori89@nauta.cu ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-1896-6607>

Recibido: 11/ 09/ 2022.

Aprobado: 14/06/2023.

100 países repartidos por todo el mundo, con más de 3,5 millones de personas directamente empleadas. Los mayores productores de pasta y papel son Estados Unidos, Canadá, Japón, China, Finlandia, Suecia, Alemania, Brasil y Francia (H. Gutiérrez & Reyes, 2003; Molina, 2002; Montes-Mejía, 2019; Pérez et al., 2000).

Los nuevos campos de investigación se basan en la posibilidad de mejorar los procesos ya existentes, descubrir nuevos procesos para utilizar mayor diversidad de materias primas. La materia prima fundamental para fabricar papel es la celulosa, el papel es una lámina constituida por un entramado tridimensional de fibras de celulosa y otras sustancias (cargas minerales, colas, almidón, colorantes) los cuales permiten mejorar las propiedades del papel y hacerlo apto para el uso al que está destinado. Las fibras de celulosa son un constituyente esencial de los tejidos vegetales, cuya función es la de dar resistencia a los mismos. La celulosa para la fabricación de papel se obtiene principalmente de madera (55%), de otras fibras vegetales denominadas no madereras (9%) y de papel recuperado (16%) (Gómez-Merino, 2017; Montes-Mejía, 2019).

Las fibras madereras provienen de diferentes especies de árboles, las fibras cortas provienen de árboles de madera dura, como el eucalipto y algunas especies de frondosas (abedul, chopo, arce o haya) y las fibras largas provienen de árboles de madera blanda, fundamentalmente coníferas como el abeto y el pino.

Las fibras no madereras se emplean como sustitutos de la madera representando un gran potencial de desarrollo para sustituir a las fibras madereras, dentro de ellas se encuentran, los desperdicios agrícolas y agroindustriales, entre los que figuran las pajas de los cereales y el arroz y el bagazo de la caña de azúcar, el cual por sus características de fibra corta, es idóneo para la fabricación de papel para impresión y escritura, y base para estucar de calidades satisfactorias (Quiñones et al., 2002; Villamizar-Jaimes & López-Giraldo, 2017). En el sector de los papeles y cartones industriales, la pasta de bagazo es una materia prima excelente para la fabricación de medio para corrugar, producto altamente demandado en el sector de envases de papel y cartón. Con respecto a los procesos de alto rendimiento, hoy en día es posible obtener pulpas de alta blancura y buenas propiedades de resistencia a partir del bagazo (Aguilar-Rivera, 2016; Armas-Ríos, 2019; Corea, 1982; García-Hortal, 2007; Gutiérrez, 2020).

Partiendo de la importancia que representa el papel y específicamente el elaborado a partir del bagazo, la investigación presenta como objetivo perfeccionar el diseño del filtro rotatorio al vacío a partir de la materia prima pulpa de bagazo de caña de azúcar, con vista a incrementar la productividad de la máquina Over Mecánica para la producción de papel en la Unidad Empresarial Básica (UEB) Cuba 9, en el municipio Quivicán, Mayabeque, Cuba.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del filtro rotatorio al vacío de la planta de pulpa

El filtro rotatorio al vacío es una de las partes componentes de la planta de pulpa, y además es el espesador por excelencia del proceso pues recibe la pulpa a baja consistencia (0,9%) y

la entrega entre 12-13%. Dicho filtro se compone del tambor rotatorio que ocupa un área de 4 m² y está ubicado en el nivel de 10 m con respecto al piso de hormigón de la instalación civil en la planta de pulpa y construido de acero inoxidable, compuesto por una malla de acero inoxidable la cual está constituida por perforaciones muy pequeñas de 4 mm de diámetro y el tanque de sello. El principio de funcionamiento del filtro rotatorio al vacío consiste en que la pulpa proveniente de área de lavado se deposita en la tina de almacenamiento de pulpa, en ese momento la frecuencia de rotación del tambor es lenta, una vez que se va formando el colchón de pulpa va aumentando la velocidad del tambor de manera tal que el nivel de pulpa oscile entre un 80 y 90% del nivel de la tina; en la parte inicial de la rotación del tambor es donde se conecta el sistema de pierna barométrica de vacío por lo tanto en esta zona el colchón de pulpa comienza a perder agua por concepto de vacío y a aumentar la consistencia. La pulpa atendiendo a la rotación del tambor se traslada hacia la parte opuesta de alimentación donde con la utilización de un soplador industrial conectado al interior del tambor, despega el colchón final de pulpa y esta cae sobre el repulper, donde se desintegra la misma quedando lista para ser transportada mediante tornillos sin fin hacia las torres de alta densidad y posteriormente pasar a la máquina de fabricación de papel.

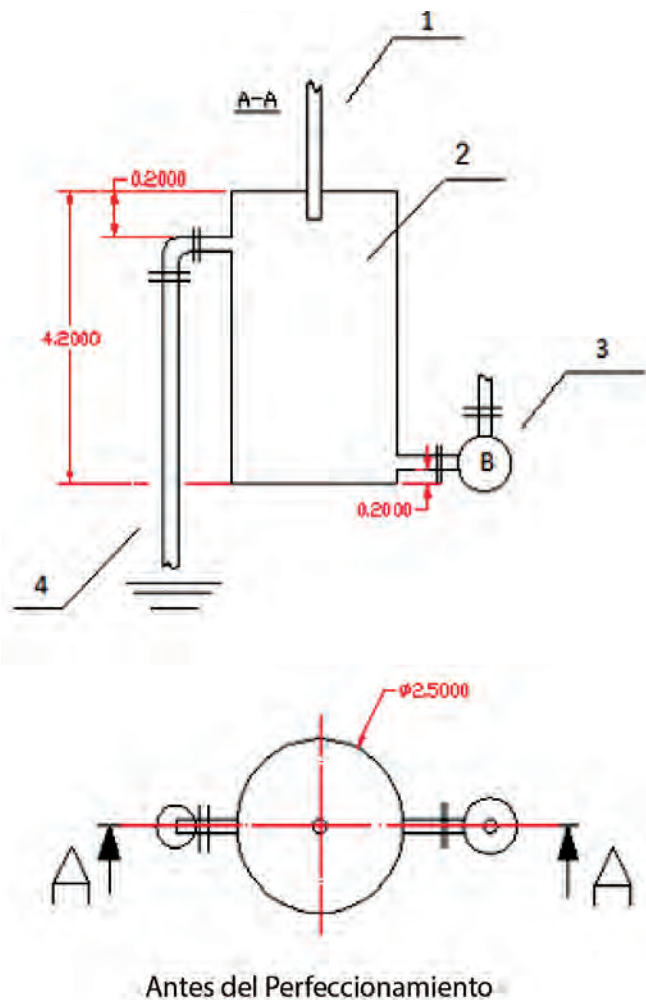
La pierna barométrica (1) en la Figura 1 está acoplada a una cara lateral del cilindro que soporta el tambor (esta instalación se encuentra en el nivel 10 m), de inmediato esta operación de extracción de vacío depende del funcionamiento de una bomba de vacío, accionada por un motor eléctrico y acoplada a una transmisión por correa como elemento de enlace entre la bomba y el tambor, dicho motor consume 3 kW/h. La bomba de agua (3) es la encargada de conducir el fluido extraído hacia el tanque de sello (2) por medio de la pierna barométrica (1); dicho tanque tiene la función de recolectar el agua que se genera en el proceso para después ser utilizada en otro punto del flujo tecnológico, según se aprecia en la Figura 1. El tanque de sello (2), objeto del perfeccionamiento) trabaja a volumen total con un rebozo (4) ubicado en la parte superior, además en la parte inferior del tanque aparece acoplada una bomba (3) que es capaz de conducir parte del agua extraída para reutilizarla en otros puntos del proceso, por el rebozo (4) siempre drena una pequeña cantidad de manera tal que el tanque permanezca lleno, dicho tanque (2) se encuentra ubicado desde el punto de vista civil en el nivel cero.

Las principales problemáticas existentes en el filtro rotatorio al vacío para mejorar su eficiencia estaban dadas por la falta de optimización del sistema de la pierna barométrica desaprovechando una altura de 3 metros, además algunos problemas de índole mecánico de menor complejidad tales como la sustitución de un sello de teflón inexistente en el centro, la reparación de algunos sectores de la malla metálica que soporta el tambor del filtro y la sustitución de una tubería de pequeño diámetro por un aditamento liso. Todo lo anterior contribuye al aumento de la productividad de la máquina para la producción de papel.

Para el diseño y modificación del filtro rotatorio al vacío fueron empleados diferentes métodos de carácter técnico considerando que se trata de un equipo fabricado por la firma

“CANRON” según catálogo, 1976. La consultoría a documentación técnica se basó fundamentalmente en lo relacionado con la creación de vacío en diferentes sistemas tecnológicos donde se utiliza como principio la extracción de líquidos de una torta determinada en el proceso, en específico temas sobre el funcionamiento de los filtros rotatorios al vacío como el funcionamiento tecnológico de bombas de vacío Nasch, el principio de funcionamiento de máquinas para la producción de papel y plantas de pulpa, la extracción de agua de procesos

en cajas planas de la zona húmeda de una máquina para la producción de papel, el funcionamiento de un tanque separador en un sistema de vacío papelerero, la influencia de la altura como elemento indispensable en la energía potencial gravitatoria de un sistema de vacío a diferentes niveles y los principios de funcionamiento de un cierre de circuito de aguas blancas en el que están involucrados cabezales, tanques separadores y sistemas de vacío, atendiendo a la literatura consultada (Alfonso-Soto, 2005a, 2005b; González, 2009; Méndez, 2011).



LEYENDA

1. Pierna Barométrica.
2. Tanque de Sello.
3. Bomba de Agua.
4. Tubería de Rebozo.

Dato:

Diámetro de la Tubería: 6 pulgadas.

FIGURA 1 Tanque de sello del filtro rotatorio al vacío antes del perfeccionamiento.

Metodología para la determinación del porcentaje de consistencia a la entrada y salida del filtro rotatorio al vacío antes y después del perfeccionamiento tecnológico

Se utilizó la metodología planteada por Molina (2004) donde se establece el procedimiento para la determinación del porcentaje de consistencia a la entrada del filtro rotatorio al vacío, aplicando la siguiente expresión:

$$Pc = 1 - \frac{Pi - Pf}{pi} \cdot 100, \% \quad (1)$$

donde:

Pc- porcentaje de consistencia de la pulpa, %;

Pi- peso inicial de la muestra de pulpa con contenido de agua, g;
Pf- peso final de la muestra de pulpa después de la extracción del agua, g.

La frecuencia recomendada para realizar estos análisis tanto para antes o después del perfeccionamiento, es durante siete días con una hora antes para la estabilización de la producción, se ejecuta en el caso de la medición del porcentaje de consistencia con tres muestreos con el mismo flujo de trabajo, cada 60 minutos, Los puntos para realizar la toma de las muestras son:

- Entrada del filtro rotatorio al vacío
- Zona de formación del colchón
- Salida del filtro rotatorio al vacío
- Manómetro ubicado en línea de vacío a la salida del filtro rotatorio

Metodología para la determinación de fibra seca

Se utilizó la metodología planteada por Molina (2004) donde se establece el procedimiento para la determinación de fibra seca como describe a continuación:

Los resultados en fibra seca sirven de base para los cálculos de productividad antes y después del filtro rotatorio al vacío y por su puesto de la planta de pulpa y de la máquina para la producción de papel “Over Mecánica”.

Para la toma de la muestra se utiliza un beaker plástico de 1 L de volumen, se introduce el beaker en la tina y la primera muestra tomada se derrama para evitar la contaminación con alguna sustancia química, se procede a tomar la muestra y el beaker se introduce en un nylon cerrado y se traslada al laboratorio de control donde se coloca en la plancha para extraerle el agua y posteriormente ser pesada en la balanza analítica de precisión 0,1g. Se determina mediante la aplicación de la fórmula en que se relaciona el flujo con la consistencia:

$$F_s = F \cdot P_c, \text{ g/min} \quad (2)$$

donde:

F_s- Fibra seca, g/min;

F- Flujo, L/min;

C- consistencia de la pulpa, g/L.

Los puntos para realizar la toma de las muestras son:

- Entrada al filtro rotatorio al vacío;
- Zona de formación del colchón;
- Salida del filtro rotatorio al vacío.

Metodología para la determinación de la productividad del filtro rotatorio al vacío

La productividad en este caso es equivalente a la cantidad de fibra seca (F_s) obtenida según la expresión (2) planteada por Molina (2004).

Metodología para la determinación de la productividad de la máquina para la producción de papel

Se utilizó la metodología planteada por Molina (2004) donde establece:

Productividad teórica de la máquina para la producción de papel.

$$P_{tm} = P_b \cdot A_h \cdot V_m \cdot 0,00144, \text{ t/día} \quad (3)$$

donde:

P_{tm}- productividad teórica de la máquina para la producción de papel, t/día;

P_b- peso básico, g/m²;

A_h- ancho de la hoja, m;

V_m- velocidad de la máquina, m/min;

0,00144- factor conversión de unidades.

La productividad teórica de la máquina para la fabricación de papel en las condiciones actuales teniendo en cuenta un peso básico de 65 g/m², utilizando un ancho de la hoja en la máquina para la producción de papel de 0,9 m y corriendo la máquina a una velocidad de 250 m/s se obtiene una productividad teórica diaria de 21,06 t/día.

Productividad real de la máquina para la producción de papel

Se determina según la metodología planteada por Molina (2004) obteniéndose por la suma de los resultados de la planilla de control utilizada por el inspector de calidad, donde se reflejan todos los pesos de todas las bobinas medidos en una báscula de 1 kg de precisión, por día de trabajo, determinándose la cantidad de toneladas al día como concepto de productividad de la máquina para la producción de papel.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados del perfeccionamiento del diseño del filtro rotatorio al vacío de la planta de pulpa

Arreglo tecnológico propuesto

Durante el perfeccionamiento del filtro rotatorio se incorporó un tanque de sello pequeño en el interior del tanque de sello original con una altura de 1,2 m y un diámetro de 1,0 m; se aumentó la altura de la pierna barométrica en 3 m para un total de 13 m y se bajó la altura de la tubería de rebozo de 4,2 m a 1,2 m.

Se utiliza el mismo equipo después del perfeccionamiento (Figura 2), a continuación se detallan las modificaciones realizadas siguientes:

- Aumento de la altura de 3 m en la pierna barométrica para ejecutar el vacío con más eficiencia en el tanque de sello con el tanque de sello incorporado (5).
- En la instalación se cuenta inicialmente con un tanque de sello de 4,2 metros (2) de altura, el cual permanece lleno de agua hasta la zona del rebozo (100%) de llenado, dicho tanque tiene una bomba (3) por la cual se extrae el agua del tanque hacia otro punto del sistema donde es reutilizada de manera tal que el tanque siempre permanezca lleno completamente; en la propuesta se ajustó el nivel de operación del tanque con agua de manera tal que solo se utiliza un metro de la altura del tanque introduciendo un tanque de sello pequeño (5) en el interior (el cual siempre va a estar lleno) que tiene una altura de 1,2 m al igual que la tubería de rebozo (4) que se colocó a 1,2 m de altura. Con el perfeccionamiento garantizamos que aumente la altura (3 metros) por concepto de diferencia de niveles entre el filtro rotatorio al vacío y el tanque de sello incorporado (5) que tiene 1,2 m de altura.
- El tanque de sello del filtro rotatorio al vacío se encuentra ubicado desde el punto de vista civil en el nivel de piso 0.0 m, por lo tanto es imposible aumentar más la altura por concepto de pierna barométrica utilizando la instalación objeto de estudio.
- Cambio de la tubería de alimentación de agua a la bomba de vacío por un suplemento liso en su interior para evitar el depósito de incrustaciones producto de la acumulación de los iones calcio y magnesio que acompañan al agua industrial.
- Reparación de los agujeros metálicos en la malla del tambor de forma manual que sustituye el de una máquina especializada a adquirir en el exterior.
- Sustitución del sello de teflón que sirve como soporte para evitar fugas de vacío por otro, de teflón recomendado por el fabricante. Se mantiene con este nuevo material la durabilidad recomendada por el fabricante.

- El perfeccionamiento planteado posee un tiempo de vida útil no menor de 10 años pues las condiciones de trabajo y el medio ambiente no son agresivas, ni el equipo está sujeto a grandes vibraciones; además la tuberías de acero con sus respectivas válvulas son materiales duraderos así como el nuevo tanque proyectado en la modificación.

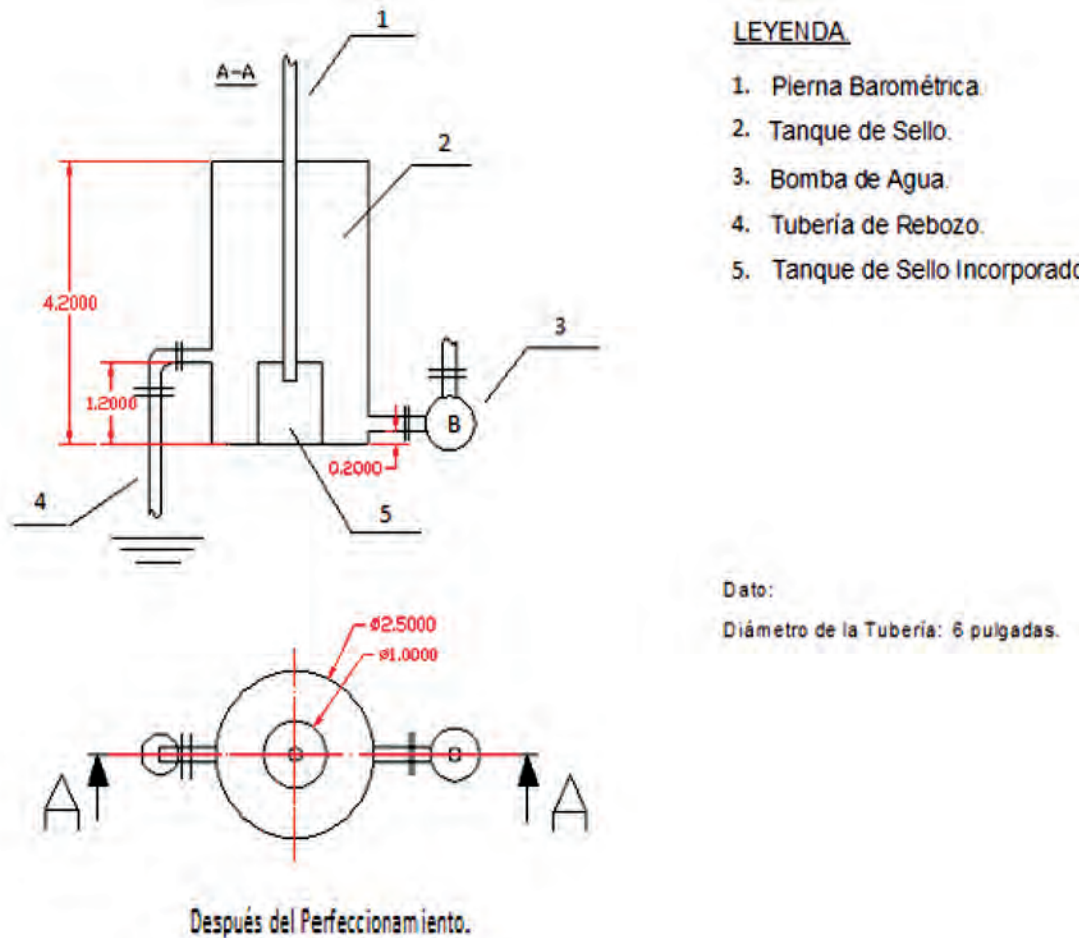


FIGURA 2. Tanque de sello del filtro rotatorio al vacío después del perfeccionamiento.

Resultados de la evaluación de la productividad de la máquina de papel antes y después de perfeccionarse el filtro rotatorio al vacío

En las Tablas 1 y 2 se presentan los resultados de los indicadores como porcentaje de consistencia, consistencia en g/L, flujo y la productividad obtenida, en cada una de las corrientes antes y después del perfeccionamiento del filtro rotatorio. En el caso del porcentaje de consistencia se puede apreciar que antes del perfeccionamiento la corriente de entrada trae un valor aproximado a 1, este valor se mantiene en la parte inicial de formación del colchón pues la pulpa proveniente de la tina comienza a adherirse a la malla del tambor provocado por el vacío; recorrido un ángulo de 180° tomando como referencia la rotación del tambor

cilíndrico observamos como en la zona de salida el porcentaje de consistencia es de 13 lo cual significa que la pulpa se espesó. Después del perfeccionamiento se observa que el porcentaje de consistencia de entrada y en la zona de formación del colchón se mantuvo igual (1), mientras que en la salida aumentó como promedio a 15, producto del aumento de la corriente de vacío ejercido por el tanque de sello a través de la pierna barométrica. El flujo de alimentación aumentó con el perfeccionamiento, pasó de 715 L/min a 784 L/min en la entrada y en la zona de formación del colchón, lo cual es consecuencia de haber aumentado el vacío en la zona de succión del tambor, mientras que en la salida del filtro disminuyó de 53,38 L/min a 50,86 L/min debido al espesamiento de la pulpa. La productividad del equipo pasó de 10 t/día antes del perfeccionamiento a 11 t/día después del perfeccionamiento.

TABLA 1. Resultados de los indicadores antes del perfeccionamiento del filtro

Corrientes	Consistencia, %	Consistencia, g/L	Flujo, L/min	Productividad kg / min	t / día
Entrada	1,0	10	715	7,15	10,30
Formación del colchón	1,0	10	715	7,15	10,30
Salida	13	130	53,38	6,94	10

TABLA 2. Resultados de los indicadores después del perfeccionamiento

Corrientes	Consistencia %	Consistencia, g/L	Flujo L/min	Productividad kg / min	t / d
Entrada	1	10	784	7,84	11,34
Formación del colchón	1	10	784	7,84	11,34
Salida	15	150	50,86	7,63	11

En la Tablas 3 se presentan los resultados de la productividad a la entrada y la salida del filtro rotatorio, se muestran los resultados de productividad de la máquina para la producción de papel, donde se aprecia que la productividad antes del perfeccionamiento era de 1 200 t en el semestre después del perfeccionamiento fue de 1 240 t en el semestre, aumentando en 40 t en el semestre (3,22%).

Con 78 t de pulpa, al cabo de los 6 meses, se obtuvieron 40 t de papel, con un porcentaje de pérdidas del 48%, lo cual refleja que estuvo por encima de lo planificado dado fundamentalmente por problemas operativos.

TABLA 3. Análisis de productividad a la entrada y salida del filtro rotatorio

	Productividad de papel de marzo a agosto 2022, t
Antes del perfeccionamiento (marzo 2022)	1 200
Después del perfeccionamiento (julio de 2022)	1 240
Diferencia	40

La fábrica trabaja como promedio 13 días al mes, dado por el estado de deterioro que tiene la instalación industrial fundamentalmente. En la Tabla 4, con el perfeccionamiento realizado al filtro rotatorio al vacío se incrementa la productividad de 10 a 11 t/día, es decir 1 t/día que representa el 10%, 13 t/mes y 78 t/semestre. El porcentaje de pérdidas preestablecido por el fabricante para la pulpa quimimécánica de bagazo debe estar entre 3 y 4%, en el presente caso fue de 3%.

TABLA 4. Análisis de productividad semestral de la máquina para la producción de papel antes y después de su perfeccionamiento

	Productividad a la entrada, t/día	Productividad a la salida, t/día	Pérdidas en el filtro rotatorio al vacío, %
Antes del perfeccionamiento (marzo 2022)	10,3	10,0	3
Después del perfeccionamiento (julio 2022)	11,34	11,0	3

CONCLUSIONES

- Durante el perfeccionamiento del filtro rotatorio se incorporó un tanque de sello pequeño en el interior del tanque de sello original con una altura de 1,2 m y un diámetro de 1,0 m; se aumentó la altura de la pierna barométrica en 3 m para un total de 13 m y se bajó la altura de la tubería de rebozo de 4,2 m a 1,2 m.
- Durante la evaluación del filtro rotatorio perfeccionado se obtienen los siguientes indicadores:
- El porcentaje de consistencia entre la corriente de entrada y salida del tambor rotatorio fue incrementado de 13 a 15%, debido al aumento de la succión producida por el tanque de sello y la pierna barométrica;
- El flujo de entrada y en la zona de formación del colchón del tambor rotatorio aumentó de 715 a 784 L/min, para un incremento de 69 L/min debido a la mayor succión y a la salida disminuyó de 53,38 a 50,86 L/min, debido al mayor

espesamiento de la pulpa;

- La productividad de la planta de pulpa aumentó de 10 a 11 t/día, para un incremento de 1 t/día que representa el 10%; 13 t/mes y 78 t/semestre;
- La productividad de la máquina para la producción de papel en seis meses aumentó de 1 200 a 1 240 t, para un incremento de 40 t (3,22%).

RECOMENDACIONES

Continuar implementando las medidas propuestas en la planta para mantener los resultados alcanzados.

Analizar técnicamente la posibilidad de utilizar otra pierna barométrica en paralelo para buscar mayor productividad sin que el funcionamiento del equipo se deteriore.

Realizarle a la UEB Cuba 9 determinadas inversiones que le permitan mantener un estado técnico adecuado y se conserve la capacidad de trabajo instalada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar-Rivera, N. (2016). Pulpa de bagazo de caña con alto índice de fibra larga. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, 39(2), 047-055, ISSN: 0254-0770.
- Alfonso-Soto, C. (2005a). *Investigación de operaciones, Tomo I*. Editorial Gente Nueva, La Habana, Cuba.
- Alfonso-Soto, C. (2005b). *Investigación de operaciones. Tomo II*. Editorial Gente Nueva, La Habana, Cuba.
- Armas-Ríos, V. S. (2019). *Determinación de la viabilidad técnica, económica y ambiental de una planta papelera con fibra del bagazo de caña de azúcar*. Publisher: Universidad Nacional Federico Villarreal.
- Armas-Ríos, V. S., & Zamora-Barragán, C. (2022). *Diseño de un proceso de producción de papel mediante el aprovechamiento de los residuos de racimos de frutos vacíos (RFV) de la palma africana (Elaeis Guineensis)*. Publisher: Fundación Universidad de América.
- Carpio-Leal, J. J., Espinosa-Dávila, L. D., & Plazas-Ávila, N. (2020). *Análisis comercial de la industria del papel y sus manufacturas en Colombia*.
- Corea, J. (1982). *Sistemas y equipos de desmedulado en la industria del bagazo de la caña de azúcar*. Publisher: Científica Técnica, La Habana, Cuba.
- Cujano-Caluña, E. P. (2018). *Incremento de la productividad en el molino mp5 de fabricación de papel tissue, de la empresa Familia Sancela del Ecuador SA, mediante la teoría de las restricciones "TOC"*. Empresa Familia Sancela del Ecuador SA, Publisher: Quito, Ecuador.
- García-Hortal, J. A. (2007). *Fibras papeleras*. Publisher: Catalunya, Cataluña, España.
- Gómez-Merino, F. (2017). La diversificación de la agroindustria azucarera como estrategia para México. *Agro productividad*, 10(11), ISSN: 2594-0252.
- González, R. (2009). Artículo papelerero Máquina de Papel. *Revista Mundo Papelero*, 10, 44-49.
- Gutiérrez, H., & Reyes, A. (2003). El mercado mundial del azúcar. *Tema central*, 113, 57.
- Gutiérrez, J. M. (2020). *Introducción a la ingeniería química: Balances macroscópicos* (Vol. 422). Edicions Universitat Barcelona, ISBN: 84-9168-390-9.
- Méndez, R. (2011). Eventos tecnológicos de agua. *Revista Acotepac*, 9, 15-18.
- Molina, R. (2002). *Pulpa y papel de bagazo en los umbrales del nuevo siglo*. Memorias del VII Congreso Internacional sobre Azúcar y Derivados de la Caña Diversificación, La Habana, Cuba.
- Molina, R. (2004). *Bagazo de caña y madera ¿Cuál será la fibra del futuro en Cuba?* 17, 14-19.
- Montes-Mejía, B. I. (2019). *Estudio de propiedades de fibra de celulosa reforzadas con nanopartículas 2D y 3D*. Publisher: Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Pérez, M., Moreda, C., & Valdés, M. (2000). *Plantas anuales. Fuente alternativa de fibra en la fabricación de papel*. Congreso Iberoamericano de investigación en celulosa y papel, La Habana. Cuba, La Habana. Cuba.
- Quiñones, R. J. G., Hernández, A. J., Radillo, V. J. J., & Dueñas, S. R. (2002). Propiedades de resistencia de una pulpa kraft de pino mezclada con médula del bagazo de caña de azúcar. *Madera y Bosques*, 8(2), 17-26, ISSN: 2448-7597.
- Rodríguez-González, L. (2020). *Evaluación energética de la máquina de papel en la fábrica Pulpa Cuba*. Publisher: Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Facultad de Química
- Villamizar-Jaimes, A. R., & López-Giraldo, L. J. (2017). Cáscara de cacao fuente de polifenoles y fibra: Simulación de una planta piloto para su extracción. *Respuestas*, 22(1), 75-83, ISSN: 2422-5053.

Zoraida Acevedo-Artigas, Ing., Profesora, Centro Universitario Municipal Quivicán, Mayabeque, Cuba, e-mail: zori89@nauta.cu ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-1896-6607>

Naivys Martínez-Mirabal, MSc., Profesora, Centro Universitario Municipal Quivicán, Mayabeque, Cuba, e-mail: naivysmm1310@gmail.com ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-5434-2450>

Leonides Román Silva-Oliva, Lic., Profesor, Universidad Agraria de La Habana, Facultad Ciencias Técnicas, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, e-mail: ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-5101-2816>

CONTRIBUCIONES DE AUTOR:

Conceptualización: **Z. Acevedo, N. M. Martínez.** Curación de datos: **Z. Acevedo, N. M. Martínez.** Análisis formal: **Z. Acevedo, N. M. Martínez, L. Silva.** Investigación: **Z. Acevedo, N. M. Martínez, L. Silva.** Metodología: **Z. Acevedo.** Supervisión: **Z. Acevedo, N. M. Martínez.** Redacción–borrador original: **Z. Acevedo, N. M. Martínez, L. Silva.** Redacción–revisión y edición: **Z. Acevedo, N. M. Martínez, L. Silva.**

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

Este artículo se encuentra sujeto a la Licencia de Reconocimiento-NoComercial de Creative Commons 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0).

La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.



INSTITUTO DE INVESTIGACIONES
DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

