

Estudio de Capacidad del Proceso de Despalillado de Hoja de Tabaco en Establecimiento Tabacalero en Misiones

Mattes, Valentín ^a, Batista, Hugo Oscar ^b, Mattes, Gerardo Francisco ^c

^a Universidad Nacional de Misiones. Facultad de Ingeniería, Oberá, Misiones, Argentina.

^b Departamento de Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería (UNaM), Oberá, Misiones, Argentina.

^c Cooperativa Agroindustrial de Misiones Limitada, RN 14, Leandro N. Alem, Misiones, Argentina.

e-mails: mattesvalentin@gmail.com ^a, hugooscarbatista@hotmail.com ^b, mattes@ctm.com.ar ^c

Resumen

Este trabajo se desarrolló en el marco de las Prácticas Profesionales Supervisadas de la carrera de Ingeniería Industrial, centrándose en el análisis de la capacidad del proceso de despalillado de la hoja de tabaco en una cooperativa de la provincia de Misiones. El estudio abarcó exclusivamente los procesos realizados sobre la lámina de tabaco, excluyendo los subprocesos vinculados a subproductos y desechos. Se identificaron y describieron detalladamente todas las etapas del proceso, desde la recepción y clasificación de la materia prima hasta el almacenamiento y despacho del producto final.

La metodología empleada incluyó relevamientos en planta, medición y registro de capacidades de los subprocesos, y la utilización de indicadores clave, como el Desempeño Global de Equipos, para evaluar las etapas del proceso. Se aplicó la Teoría de Restricciones para identificar los recursos con restricción de capacidad.

Entre los principales resultados, se identificaron las etapas críticas que limitan la capacidad total del sistema. Se detectaron las restricciones del proceso y se propusieron lineamientos para su abordaje en acciones futuras. Con base en los valores de capacidad obtenidos, se determinaron los límites de aumento de capacidad para la aplicación de mejoras en los recursos limitantes del sistema.

Palabras clave - Capacidad de equipos, Despalillado, Hoja de tabaco, Productividad., Teoría de restricciones.

1. Introducción

El procesamiento de la hoja de tabaco se desarrolla en diferentes etapas, desde el cultivo, la zafra, la mecanización y refinamiento de la hoja, su estabilización química reduciendo su contenido de humedad y el mecanizado final para la elaboración de los productos derivados del tabaco. La etapa de estabilización cumple la función de detener la natural descomposición de las hojas, tras la extracción mecánica de aquellas secciones de la hoja de mayor valor, en función de su composición y concentración química de nicotina, el principio activo de mayor relevancia para este producto. Los principales procesos realizados con el fin de aumentar el valor del producto son la separación mecánica de la lámina de tabaco y de la nervadura o “despalillado”, siendo esta última de menor valor económico; y el secado para detener los procesos naturales de descomposición del vegetal.

El presente estudio aborda el análisis de la capacidad del proceso de despalillado de hoja de tabaco en una cooperativa de la provincia de Misiones, en el contexto de las Prácticas Profesionales Supervisadas de la carrera de Ingeniería Industrial. La motivación principal radica en la necesidad de mejorar la capacidad productiva de la planta, permitiendo transformar la materia prima a un mayor ritmo y, en consecuencia, disminuir la permanencia de la materia prima en el acopio a la espera de ser procesada. Para esto, se deberá identificar las restricciones del proceso que limitan la productividad global. Una vez se localicen dichas limitantes, será posible definir tanto la capacidad

real máxima del proceso como también estimar un impacto realista de las mejoras de capacidad que se pretenda efectuar en cada equipo.

2. Metodología aplicada

Para el desarrollo de la actividad se estableció que se limitará el estudio a los procesos efectuados sobre la lámina de tabaco, quedando fuera del mismo los subprocesos realizados sobre subproductos y desechos, como lo son la nervadura y las partículas pequeñas.

Se tuvo en cuenta que el proceso experimenta variaciones considerables en sus parámetros en el transcurso de los meses de procesamiento, siendo el contenido de humedad de la materia prima y la temperatura ambiente dentro de la fábrica las dos más importantes. Por esto, se definieron las siguientes condiciones estándar a las que se refiere el estudio de la capacidad y los índices de calidad, rendimiento y disponibilidad de cada equipo, utilizados en el presente trabajo:

- Mes de producción: ABRIL (caracteriza el tiempo medio de acopio de los fardos).
- Temperatura interna media en la fábrica: 36 °C.

Se realizó un relevamiento general mediante múltiples recorridos de la planta, abarcando los sectores desde la instancia de recepción de la materia prima, pasando por sus etapas de transformación y finalizando en su almacenamiento y disposición para su envío.

Se utilizó como unidad uniforme de medición la cantidad de materia prima que INGRESA al proceso para el nivel de carga observado, es decir, los kg/h de hoja verde introducidos a través de los slicers. De esta forma, se eliminó la necesidad de censar la proporción de producto que atraviesa cada equipo y la fracción extraída de lámina y scrap (partículas finas) en las distintas etapas del despalillado.

La capacidad de cada equipo y sus indicadores de desempeño se corresponden para el período de tiempo dedicado al estudio de dicha etapa.

2.1. Consideraciones para el análisis

- a) La proporción de producto que se separa o que permanece en la línea en cada instancia de separación se mantiene constante para los diferentes niveles de carga en los equipos.
- b) Se consideran constantes los niveles de tolerancia de las diferentes pruebas (humedad, tamaño de partículas, proporción de nervadura, otros).
- c) Para el análisis de procesos discretos, se contabiliza el número de unidades procesadas (fardos o cajas) y se determina su peso equivalente en hoja verde.
- d) En las instancias de procesamiento continuo se analiza el nivel de carga del equipo actual y se consulta a los operarios experimentados para determinar el nivel de carga máximo admisible para el equipo de forma individual. En estos casos, se espera que la capacidad máxima estimada sea menos exacta que para los procesos discretos.

- e) En etapas con múltiples equipos en paralelo, se determina la capacidad de uno de los equipos y se extrapola a los demás para calcular la capacidad total en paralelo (Cap. máx. teórica en paralelo).
- f) Se dejan fuera del análisis los equipos de transporte y manejo de producto dentro de los almacenes de hoja verde y de producto terminado.

3. Estudio de capacidad de equipos

El análisis en planta inicia en el Corte y Separación (*Slicers*), donde los fardos de hoja verde ingresan al proceso. Se indica, a continuación, la secuencia de obtención de datos y determinación de la capacidad máxima teórica de cada subproceso:

- Tiempo operativo observado: 13,25 min
- Producto procesado observado: 27 fardos, equivalente a 972 kg.

Se divide el producto observado por el tiempo observado para calcular la carga en kg/h actual (3.1).

$$Carga_{actual} = \frac{\frac{972 \text{ kg}}{13.25 \text{ min}} * 1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = 4.402 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \quad (3.1)$$

Con los valores relevados de D, R y C se calcula el OEE (3.2) [5]:

- Disponibilidad “D”, afectado por un índice de paradas de 5,5%: 0,945
- Rendimiento “R”, relacionando el tiempo ocioso y el operativo: 0,804
- Calidad “C”, según testimonio del encargado de despalillado: 0,1000

$$OEE = D * R * C = 0,945 * 0,804 * 1,000 = 0,760 \quad (3.2)$$

Este valor de OEE se utiliza para corregir la capacidad observada de carga y obtener un valor estimativo de la carga máxima del equipo, sin la necesidad de variar la carga real hasta tal valor de forma empírica. Luego, multiplicando por el número de equipos realizando este subproceso en paralelo, se determina la capacidad máxima teórica en paralelo (3.3).

$$Cap_{m\acute{a}x. \text{ equipo}} = \frac{\text{Capacidad máxima según operario}}{OEE} = \frac{15.500 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{0,724} = 5.795 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \quad (3.3)$$

- Equipos en paralelo: 3

Se calcula la capacidad máxima teórica en paralelo (3.4):

$$Cap_{m\acute{a}x. paralelo} = Cap_{m\acute{a}x. equipo} * N_{equipos} = 5.795 \frac{kg}{h} * 3 = 17.384 \frac{kg}{h} \quad (3.4)$$

- Capacidad máxima teórica en paralelo

Se aplica un procedimiento similar para los demás subprocesos discretos (Prensado inicial; Ajuste de peso y prensado final; Bridado).

Para los subprocesos continuos (desde los cilindros de acondicionamiento de puntas y hojas hasta el secado), el relevamiento difiere de los anteriores debido a la dificultad técnica de cuantificar la proximidad del nivel de carga actual al nivel de carga máximo. Por ello, se recurre a la experiencia y criterio de los operarios más experimentados de cada puesto para la estimación de la capacidad.

Para el caso del cilindro de acondicionamiento de puntas, se recaban los siguientes datos:

- Carga observada actual por equipo: 12.500 kg/h
- Capacidad máxima según encargado de despallado: 15.500 kg/h
- Disponibilidad “D”, afectado por un índice de paradas de 5,5%: 0,945
- Rendimiento “R”, a partir de la estimación de carga máxima admisible, según encargado de despallado: 0,806
- Calidad “C”, según testimonio del encargado de despallado: 0,950

El OEE se calcula en función de los índices anteriores (3.5) [5].

$$OEE = D * R * C = 0,945 * 0,806 * 0,950 = 0,724 \quad (3.5)$$

Mediante el indicador OEE se corrige la carga máxima observada actual y se calcula la capacidad máxima teórica de un equipo y, luego, de los equipos en paralelo:

- La capacidad máxima teórica por equipo se calcula a partir de la capacidad máxima según el operario y del OEE del equipo, como se muestra en la ecuación (3.6):

$$Cap_{m\acute{a}x. equipo} = \frac{Capacidad\ máxima\ según\ operario}{OEE} = \frac{15.500 \frac{kg}{h}}{0,724} = 17.265 \frac{kg}{h} \quad (3.6)$$

- Equipos en paralelo: 1

Se calcula la capacidad máxima teórica en paralelo (3.7):

$$Cap_{m\acute{a}x. paralelo} = Cap_{m\acute{a}x. equipo} * N_{equipos} = 17.265 \frac{kg}{h} * 1 = 17.265 \frac{kg}{h} \quad (3.7)$$

Con un procedimiento similar se obtiene la capacidad máxima teórica de cada subproceso de tipo continuo.

4. Análisis de la capacidad global

De lo anterior se infiere que la máxima mejora alcanzable (Ec. 3.1), con acciones sobre la cuarta y quinta posición de despallado ($\Delta Cap_m\acute{a}x_1$) para “elevar” dicha restricción está limitada por el siguiente equipo de menor capacidad: el separador neumático de puntas.

$$\Delta Cap_{p_{m\acute{a}x_1}} = 15.837 \frac{kg}{h} - 14.859 \frac{kg}{h} = 978 \frac{kg}{h} \quad (4.1)$$

En las condiciones actuales y para un régimen de trabajo de las instalaciones de 140 horas a la semana, se determina la capacidad semanal actual del proceso (4.2):

$$Cap_{actual} = 14.859 \frac{kg}{h} * 140 \frac{h}{semana} = 2.080.260 \frac{kg}{semana} \quad (4.2)$$

El aumento de la capacidad semanal de producción (4.3), de elevarse la restricción en la cuarta y la quinta posición de despallado y con un régimen de trabajo de las instalaciones de 140 horas a la semana, se calcula como:

$$\Delta Producci\acute{o}n = 978 \frac{kg}{h} * 140 \frac{h}{semana} = 136.920 \frac{kg}{semana} \quad (4.3)$$

La nueva capacidad máxima del proceso para el mismo escenario será (4.4):

$$Cap_{mejoras_1} = 15.837 \frac{kg}{h} * 140 \frac{h}{semana} = 2.217.180 \frac{kg}{semana} \quad (4.4)$$

4. Resultados obtenidos

Las etapas de procesamiento de la hoja de tabaco identificadas son:

- Recepción y etiquetado de fardos
- Estibado
- Picking
- Acondicionamiento de puntas

- Primer acondicionamiento de hojas
- Separación neumática lámina
- Control de agentes externos
- Segundo acondicionamiento de hojas
- Despalillado en 5 etapas
- Corrección de proporción de producto fino
- Secado de lámina
- Corrección de humedad
- Prensado y empaquetado
- Almacenamiento y despacho.

Los datos de índices de desempeño y capacidades para cada subproceso obtenidos del relevamiento efectuado se visualizan en la Tabla 1 y se utilizan para la determinación de diferentes valores referidos a la capacidad del producto para un régimen de trabajo especificado.

Tabla 1 - Índices de desempeño y capacidad de los subprocesos. Fuente: elaboración propia

Nº	Equipos del subproceso	OEE	Carga actual por equipo (kg/h)	Capacidad máxima estimada por operario (kg/h)	Capacidad máxima teórica por equipo (kg/h)	Equipos en paralelo	Capacidad máxima teórica en paralelo (kg/h)
1	Corte y separación	0,760	4.402	-	5.795	3	17.384
2	Acond. de puntas	0,724	12.500	15.500	17.265	1	17.265
3	1º acond. de hojas	0,696	12.500	16.800	17.957	1	17.957
4	Sep. neumática de puntas	0,788	12.500	15.000	15.873	1	15.873
5	Control de objetos	0,473	12.500	25.000	26.455	1	26.455
6	2º acond. de hojas	0,731	12.500	16.000	17.102	1	17.102
7	Despalillado 1 – Trilladora	0,736	3.125	4.000	4.246	4	16.982
8	Despalillado 1 – Separadores	0,736	6.250	8.000	8.491	2	16.982
9	Despalillado 2 – Trilladora	0,760	6.250	7.750	8.226	2	16.451
10	Despalillado 2 – Separadores	0,760	6.250	7.750	8.226	2	16.451
11	Despalillado 3 – Trilladora	0,785	12.500	15.000	15.921	1	15.921
12	Despalillado 3 – Separadores	0,785	12.500	15.000	15.921	1	15.921
13	Despalillado 4 – Trilladora	0,841	12.500	14.000	14.859	1	14.859

14	Despalillado 4 – Sepa- radores	0,841	12.500	14.000	14.859	1	14.859
15	Despalillado 5 – Tri- lladora	0,841	12.500	14.000	14.859	1	14.859
16	Despalillado 5 – Sepa- radores	0,841	12.500	14.000	14.859	1	14.859
17	Secado y corrección de humedad	0,724	12.500	16.000	17.277	1	17.277
18	Prensado inicial	0,614	4.616	-	7.514	3	22.542
19	Ajuste de peso	0,729	16.683	-	22.894	1	22.894
20	Bridado	0,246	12.806	-	52.097	1	52.097

Con los valores obtenidos de las capacidades máximas teóricas de los equipos involucrados, se elabora el diagrama de bloques de la Fig. 1, indicando aquellos equipos que representan recursos con restricción de capacidad (anaranjado), según los datos de la Tabla 1. Además, se indica el próximo equipo con menor capacidad (verde).

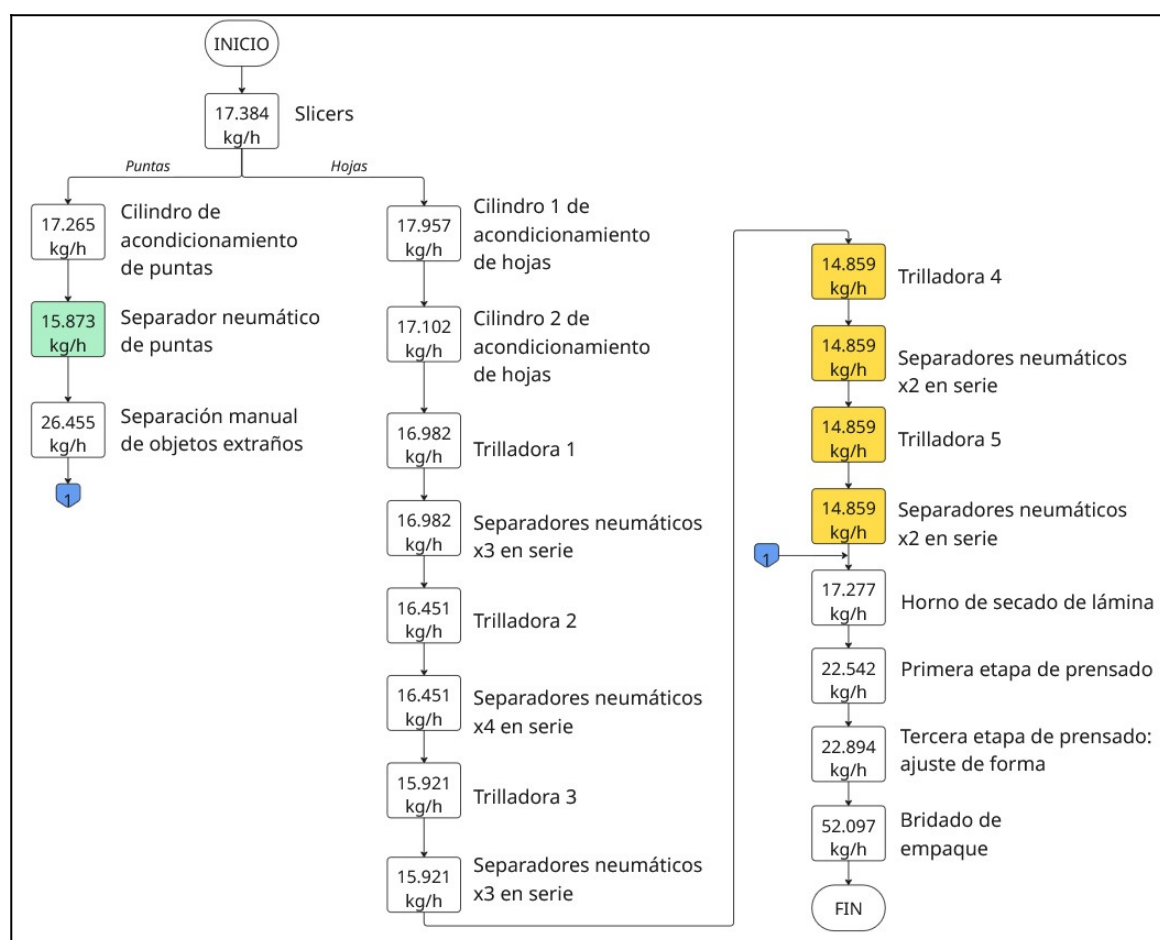


Fig. 1. Diagrama de bloques con capacidades de equipos de despalillado. Fuente: elaboración propia

5. Conclusiones

El siguiente es un resumen de conclusiones a partir de los resultados obtenidos en el presente trabajo:

- Se logró identificar las restricciones que limitan el desempeño global del proceso de despallado de hoja de tabaco en condiciones reales de operación, utilizando herramientas de la Teoría de Restricciones (TOC) y el indicador OEE, complementado con el análisis de los índices de disponibilidad, rendimiento y calidad de los subprocesos.
- Las etapas consideradas críticas en el sistema son la cuarta y quinta posición de despallado, específicamente en las trilladoras y separadores neumáticos, cuya capacidad actual limita la capacidad semanal a 2.080.260 kg/semana, en las condiciones climáticas y de estado de la materia prima durante el desarrollo del estudio.
- Se determinó que el potencial de mejora realista del sistema se encuentra acotado por el separador neumático de puntas, permitiendo un aumento máximo de 978 kg/h, equivalente a 136.920 kg/semana bajo el régimen de trabajo actual.
- El análisis de capacidad por subproceso permitió cuantificar con claridad los márgenes de mejora, permitiendo priorizar las acciones de mejora sobre los recursos críticos para aumentar la productividad total del sistema como conjunto.

6. Referencias Bibliográficas

- [1] R. B. Chase y F. R. Jacobs, “Administración de las restricciones,” en *Administración de Operaciones*, 11ª ed. Ciudad de México, México: McGraw-Hill, 2009, cap. 20.
- [2] E. M. Goldratt y J. Cox, *The Goal: A Process of Ongoing Improvement*, 3ra ed. Great Barrington, MA, USA: North River Press, 2004.
- [3] S. Nakajima, “Introducción al mantenimiento productivo total,” in *TPM: Introducción al Mantenimiento Productivo Total*, 1ª ed. Madrid, España: Editorial Díaz de Santos, 1989, cap. 2.
- [4] Cátedra de Planificación y Control de la Producción II, Universidad Nacional de Misiones, Argentina. *Teoría de las limitaciones*. (2024). Presentado en clase de la asignatura Planificación y Control de la Producción II. [Presentación de diapositivas].
- [5] Cátedra De Ingeniería Industrial II., Universidad Nacional de Misiones, Argentina. *Unidad VI: Mantenimiento industrial*. (2024). Presentado en clase de la asignatura Ingeniería Industrial II. [Presentación de diapositivas].