

Mejoramiento del Proceso de Producción de Protectores de Polietileno Espumado mediante Simulación Dinámica

Mario Ibarra*¹, Dr. Kléber Barcia**²
Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción
Escuela Superior Politécnica del litoral
Campus “Gustavo Galindo” La Prosperina Km. 30.5 vía Perimetral
*mibarra@espol.edu.ec
**kbarcia@espol.edu.ec

Resumen

En el presente trabajo se da una propuesta de mejora del proceso de producción de protectores de polietileno espumado, también llamados por la empresa productora PIPES o simplemente protectores rentables, utilizando la técnica de simulación dinámica, realizada en el software Witness. Se partió analizando el proceso actual, donde mediante un estudio de campo, se obtuvieron los datos suficientes para realizar la simulación de dicho proceso. Luego, mediante un análisis de los indicadores arrojados en el simulador, se dieron 2 propuestas de mejora, donde, luego de un análisis exhaustivo para encontrar los factores que repercutirían en el proceso si se implementasen los respectivos cambios, se logró simular dichas propuestas y utilizando el método Bonferroni, se pudo escoger la mejor. Finalmente se hizo un análisis costo beneficio que resultaría de la implementación de la propuesta, comparando los estados de resultados proyectados a 5 años del proceso actual vs el mejorado, dando como resultado que la implementación de la mejora propuesta es factible.

Palabras claves: Simulación dinámica, método Bonferroni, mejora continua.

Abstract

In the present work one gives an offer of improvement of the process of protectors' production of skimmed off polyethylene, also called by the producing company PIPES or simply profitable protectors, using the skill of dynamic simulation, realized in the software Witness. It started analyzing the current process, where by means of a field study, the sufficient information was obtained to realize the simulation of the above mentioned process. Then, by means of an analysis of the indicators thrown in the simulator, they gave to themselves 2 offers of improvement, where, after an exhaustive analysis to find the factors that would reverberate in the process if the respective changes were implemented, it was achieved to simulate the above mentioned offers and using the method Bonferroni, it was possible to choose the best. Finally an analysis did cost to itself benefit that would ensue from the implementation of the offer, comparing the states of results projected to 5 years of the current process vs the improved one, giving as result that the implementation of the proposed improvement is feasible.

1. INTRODUCCIÓN

Los productores bananeros, al ver daños importantes en los racimos, vieron la necesidad de colocar materiales como cartones o simplemente bultos de fundas entre las manos de los racimos para evitar daños. Gracias al conocimiento de los ingenieros mecánicos y en plásticos, se pudo crear un material económico hecho a base de PEBD (Polietileno de baja densidad), donde por medio de un proceso no convencional de extrusión se logra obtenerlo. Dentro de aquellos que vieron la oportunidad para usar este material como protectores de bananos se encuentra la ya ahora empresa familiar PORCONECU, quienes también le dieron una forma particular para hacerlo aún más amigable a los clientes. Con esto, los protectores de polietileno espumado PIPES, tienen un fin que es el de aumentar las productividad en las bananeras. Son estos PIPES o también denominados protectores rentables, los que son colocados entre las manos del racimo para evitar los ya mencionados daños. La Figura 1 muestra la forma del PIPE.



Figura 1. PIPE - Protector rentable

Debido a que éste producto es relativamente nuevo, la demanda de los mismos sigue incrementando a medida que los vendedores incursionan en nuevas bananeras, y, al ver tiempos de espera de los operarios excesivo para producir los productos se ve la necesidad de mejorar el proceso actual de la producción de los mismos utilizando una técnica poco común en la actualidad como lo es la simulación dinámica, donde, aparte de mejorar dicho proceso lo que se quiere es incentivar a los ingenieros para la mejora de procesos mediante ésta técnica.

2. METODOLOGÍA

La Figura 2 muestra de manera gráfica la metodología utilizada. El proyecto parte con la descripción del proceso de producción de PIPES, donde se utiliza un diagrama de flujo [1] como apoyo. Luego se procede a

recolectar información necesaria del proceso actual, haciendo un estudio de campo, para poder relizar la simulación [2] de dicho proceso. Luego de validar el modelo, se escogen los indicadores arrojados por el simulador, para definir los problemas existentes, pudiendo así establecer los objetivos de la mejora que se va a proponer.

Se procede entonces a realizar el plan de mejora, proponiendo propuestas de cambios en el proceso actual. Después de haber obtenida la mencionada mejora, se procede a evaluar el proceso propuesto, realizando una comparación del proceso actual vs el propuesto mediante uso de pruebas de hipótesis [3] para así verificar el cumplimiento de los objetivos. Finalmente se hace un análisis costo beneficio mediante la comparación de los estados de resultados proyectado a 5 años de los beneficios esperados con el proceso actual vs el mejorado.

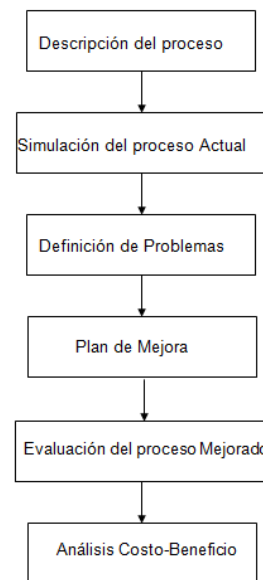


Figura 2. Metodología del proyecto

2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO ACTUAL DE PRODUCCIÓN DE PIPES

El proceso de producción de PIPES, parte con la extrusión de rollos de polietileno espumado en una máquina (extrusora) llamada PITAC, donde PEBD, talco industrial y otras resinas se mezclan para formar dicho material. Luego de esto, los rollos deben esperar 7 días para ser procesados, donde ésta espera constituye la

llamada maduración. Después que los rollos están completamente madurados, pasan a ser cortados en la máquina WEIST, quedando así el material espumado en forma de láminas, donde posteriormente son cogidos en conjuntos de 5 y ubicados en una máquina troqueladora llamada ROBOCOP que es la que les da a las láminas la forma de PIPES (4 PIPES/LÁMINA). Luego de pasar por la troqueladora, a las 5 láminas se les extrae el desperdicio y se las amarra quedando así conformado un paquete de 20 unidades (4pipes/lam*5lám). Por último, el embalaje consiste en colocar 10 paquetes de PIPES en una funda quedando así conformado el bulto de producto terminado.

2.2. SIMULACIÓN DEL PROCESO ACTUAL

La simulación requirió un estudio de campo previo para lograr la simulación. El estudio de campo comprendió básicamente la toma de tiempos de procesamientos, usando la siguiente metodología para su tratamiento:

1. Toma de “N” Observaciones. (N>=20)

2. Determinación del promedio (\bar{t}) y la desviación estándar (σ) de dichos datos, donde:

$$\bar{t} = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{N} \quad \sigma = \frac{\sum_{i=1}^N (t_i - \bar{t})^2}{N-1}$$

3. Determinación del tamaño de muestra adecuado usando la fórmula

$$n = \left(\frac{\sigma}{p} \cdot \frac{Z}{\bar{t}} \right)^2$$

donde:

n: tamaño de muestra requerido.

p: precisión de la estimación como proporción del valor verdadero. El tamaño de muestra para cualquier caso, se determinará con una precisión de 0,04, es decir, estimando que los tiempos estarán dentro del 4% de la media verdadera.

Z: número de desviaciones estándar para alcanzar un nivel de confianza del 95% (éste valor es 1,96).

4. Si N<n entonces hacer adicionalmente “n-N” observaciones. Realizar pasos 2 y 3 hasta que N>=n.

5. Comprobación de normalidad en los datos utilizando la prueba de *Ryan Joiner* en Minitab 15. Estas pruebas se harán tomando en consideración un $\alpha=0,01$.

A parte de haber recogido datos de tiempos concernientes al proceso en sí, hubo la necesidad de tomar tiempos a los setups del proceso, la Tabla 3. Por ejemplo, muestra los datos que toma en cambiar por otro rollo uno que ya ha sido terminado de cortar en la máquina WEIST.

En este caso el tamaño de muestra para poder generalizar dichos tiempos a una población normal (usando la fórmula de “n” antes expuesta) salió n=22, por ello no fue necesario realizar más tomas. La Figura 3, por su parte, muestra un ejemplo de la gráfica arrojada en el MINITAB de la prueba de normalidad de los datos de la Tabla 1.

Tabla 1. Datos de tiempos de cambios de rollos

OBS.	Operario A	Operario B
1	87,61	97,52
2	91,84	112,39
3	105,55	98,74
4	95,75	108,91
5	86,54	99,23
6	106,46	95,25
7	80,88	89,15
8	94,89	119,54
9	97,23	103,44
10	97,32	123,34
11	95,41	116,7
12	89,03	112,49
13	104,12	115,86
14	92,26	108,05
15	82,53	98,51
16	102,17	109,04
17	103,3	99,8
18	101,78	99,02
19	106	109,01
20	106,06	100,48

Haciendo este procedimiento se obtuvieron los datos necesarios para colocarlos en los elementos creados en el layout de la simulación del proceso actual. Dicho layout es el mostrado en el Apéndice A. Como se puede observar en la mencionada figura, existen elementos que fueron creados de forma ficticia, sirviendo los mismos para lograr la simulación más ajustada al proceso real. Finalmente, habiendo establecido el tiempo de simulación, se procedió a realizar la validación, que consistió en la comparación del modelo de simulación con registros de producción. Cabe indicar también, que para la determinación del número de réplicas, se hizo

una comparación de dos métodos quedando justificada la fórmula utilizada [4].

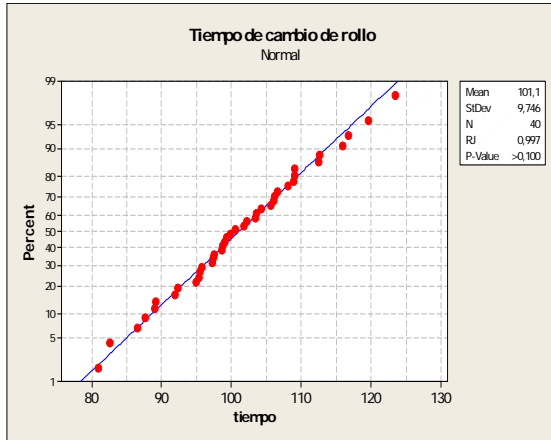


Figura 3. Prueba de normalidad para el tiempo de de cambio de rollo

2.3. DEFINICIÓN DE PROBLEMAS

Ya validada la simulación, se recolectaron los indicadores arrojados de las 11 réplicas hechas, sacando un promedio de las mismas, para poder establecer los objetivos de la mejora a proponer. Aquí se pudo notar que el cuello de botella del proceso era la extrusión de rollos. Partiendo de esto y del análisis de otros indicadores se propuso el cumplimiento de los siguientes objetivos: Aumentar la producción de PIPES al menos un 25%, incrementar la utilidad promedio de los operarios que intervienen en la conversión del producto (corte, troquelaje, extracción y amarre, embalaje) incremente al menos un 12% que era el porcentaje faltante para cumplir la mínima utilización en un proceso en condiciones normales. Asimismo sin llegar a cuantificación se propuso realizar una mejora significativa en la utilización de la máquina WEIST.

2.4. PLAN DE MEJORA

Dado a que el cuello de botella era el proceso de extrusión se tomó una decisión entre dos formas de incrementar la capacidad, la una consistía en hacer un arreglo a la máquina PITAC que funciona actualmente y la otra la compra de una nueva máquina, donde realizando el mismo número de réplicas que en el proceso actual, se procedió a determinar cuál de las mismas generaba una mayor producción. Simuladas las mencionadas formas, se procedió a comparar las mismas con la del proceso actual, usando el método Bonferroni

[5], que es el que sirve para la comparación de medias de 2 o más poblaciones; con este método se concluyó que el promedio de bultos de producto terminado de las propuestas estaban por encima del promedio de bultos que salen con el proceso actual. La tabla 2 muestra el análisis de los datos de salida; a pesar de que en base al método Bonferroni no se pudo concluir cuál de las 2 propuestas era la mejor, puesto que arrojaba el mismo promedio de bultos producidos en ambas propuestas, se pudo notar haciendo un análisis de los indicadores, que un incremento de capacidad no era suficiente para que el proceso de extrusión ya no sea el cuello de botella, por ello, la mejor opción propuesta para el incremento fue la adquisición de una nueva máquina PITAC.

Tabla 2. Análisis de los datos de salida para el # de bultos/día promedio producidos

REPLICA	YN1	YN2	YN3	DIFERENCIA CON EL SISTEMA 1	
				2 DN2	3 DN3
1	423	475	475	-52	-52
2	421	476	476	-55	-55
3	420	475	476	-55	-56
4	418	476	476	-58	-58
5	420	473	476	-53	-56
6	421	475	473	-54	-52
7	418	475	476	-57	-58
8	424	477	475	-53	-51
9	422	476	475	-54	-53
10	422	476	476	-54	-54
11	421	476	476	-55	-55
α	0,05				
α_i	0,025				
$t_{0,025;10}$	2,63				
promedio, Di				-54,54545455	-54,54545455
Desviación estándar (S)				1,75	2,38
Error Estándar (S/N)				0,528	0,718

Luego de esto se procedió a analizar el proceso de conversión (corte, troquelaje, extracción de desperdicio y amarre, embalaje) y se pensaron dos propuestas que podrían constituir una mejora en el proceso, la una era trabajar a partir del proceso de corte con conjuntos del máximo número de láminas operable en el proceso de amarre y extracción de desperdicio y la otra eliminar un cuello de botella producido en el proceso de troquelaje. Se hizo pues el estudio necesario para poder simular las propuestas ya mencionadas teniendo la siguiente información relevante: El número de láminas operable en el proceso de extracción de desperdicio y amarre eran 8 y dado a que no se pudo realizar una práctica real de los cambios que se producen en el proceso de conversión de manera consecutiva, se procedió a analizar proceso por proceso de cómo afectaría en los procesos siguientes, el cortar 8 láminas y trabajar con estas a partir del

proceso de corte. Asimismo, se procedió a realizar el estudio para obtener los datos necesarios para simular la segunda propuesta, que era de eliminar el cuello de botella en el proceso de troquelaje, teniendo que deberían cortarse 12 láminas (WEIST) para que el operario actual de troquelaje pueda realizar, con esta propuesta, las 2 actividades (corte y troquelaje); con esto el operario que antes realizaba el corte pasaría al post-troquelaje, con el objeto de dividir ese conjunto ahora de 12, en 2 de 6, ya que como se mencionó el máximo operable es 8. Finalmente se hizo una comparación del que se denominó proceso “sin mejora” (proceso actual de conversión pero ya con las 2 máquinas extrusoras) y a los ya mencionados procesos con las mejoras propuestas. Con el método Bonferroni se concluyó que lo mejor sería trabajar con el máximo número de láminas operable en el proceso de amarre y extracción de desperdicio, es decir con conjuntos de 8 láminas. El Apéndice B muestra el layout del proceso mejorado.

2.5. EVALUACIÓN DE LA MEJORA

Se procedió, mediante pruebas de hipótesis a verificar los objetivos planteados al momento de definir los problemas, quedando así cumplidos los mismos.

2.6. ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO

Para culminar la realización del proyecto se tomaron datos para proyectar el estado de resultados 5 años contando con el este año 2009. Se tomó en consideración factores como capacidad de producción según el número de días disponibles para la producción de PIPES (ya que en la misma planta también se produce otros productos que son láminas de PEBD), descuentos por volumen de compras, incentivos a trabajadores por el cumplimiento de metas, porcentaje del salario de la mano de obra indirecta adecuada para el análisis, inclusión de los insumos para el embalaje de un bulto de producto terminado en el costo unitario del producto, y bonificaciones a clientes. Teniendo listos los estados de resultados, se procedió a obtener el Valor Actual Neto (VAN) teniendo que:

$VAN_{\text{proceso actual}} = 6491150,43$

$VAN_{\text{proceso mejorado}} = 6758591,79$

Luego en base a la diferencia de utilidades esperadas se procedió a determinar la Tasa Interna de Retorno (TIR) teniendo que la misma es del 27% por lo que puede considerarse que la implementación de la mejora propuesta es rentable.

3. CONCLUSIONES Y RESULTADOS

- Su logró mejorar el proceso de producción de PIPES, incluyendo implícitamente la mejora de su productividad, utilizando WITNESS como apoyo para realizar las simulaciones dinámicas.
- Se describió de una manera clara el proceso de producción de protectores de polietileno espumado, usando principalmente un diagrama de flujo como apoyo.
- Se obtuvo la información necesaria para poder modelar el proceso actual de producción de PIPES en el simulador, quedando verificada dicha modelación, mediante la validación con datos del proceso real.
- Se definieron los problemas principales observados usando los indicadores arrojados por WITNESS luego de la simulación del proceso actual de varias réplicas, donde se establecieron objetivos.
- Se recurrió básicamente a estimaciones, para obtener los datos y simular 2 propuestas de mejora, donde ambas resultaron buenas pero se escogió la que generaba mayor producción que es trabajar a partir del proceso de corte con 8 láminas.
- Se evaluó el proceso mejorado comparándolo con el proceso actual mediante el uso principalmente de pruebas de hipótesis, probando estadísticamente el cumplimiento de los objetivos.
- Se realizó el análisis costo beneficio de la implementación de la mejora dándonos como resultado que la mejora propuesta genera una rentabilidad del 27%.

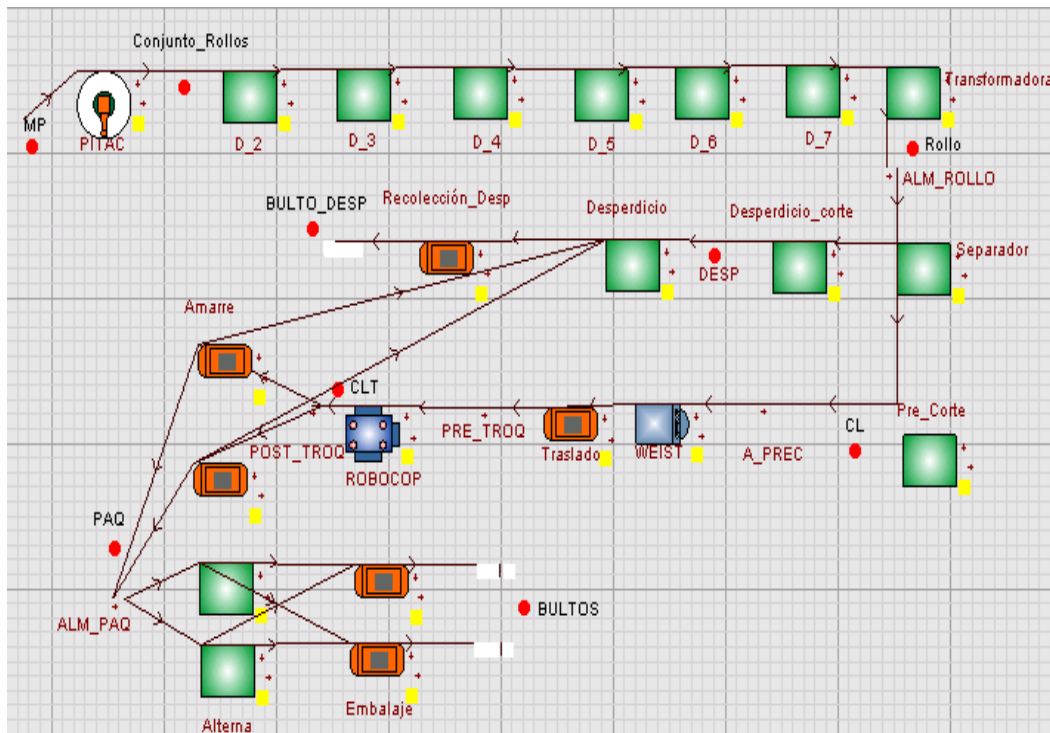
4. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Vazquez, A., “Diagramas de Flujo www.elprisma.com/apuntes/administracion_de_empresas/quesonlosdiagramasdeflujo/, Enero 2009”
- [2] Krajewski L., *Administración de Operaciones, Estrategia y Análisis*, Quinta edición, Pág. 347-348, 2000

- [3] Rodríguez, P., “Pruebas de Hipótesis”,
www.edustatpr.com/Materiales/Stats_text/Hyp_Tests.pdf, Pág 1-9, Marzo 2009
- [4] Escobar, M., “Descripción del estado actual en la línea de producción”, Capítulo 3,
http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/mam/escobar_m_ms/capitulo3.pdf, Pág 6, Marzo 2009
- [5] Banks, J., Discrete-Event System Simulation,
Cuarta edición, Pág 451-452, Diciembre 2004

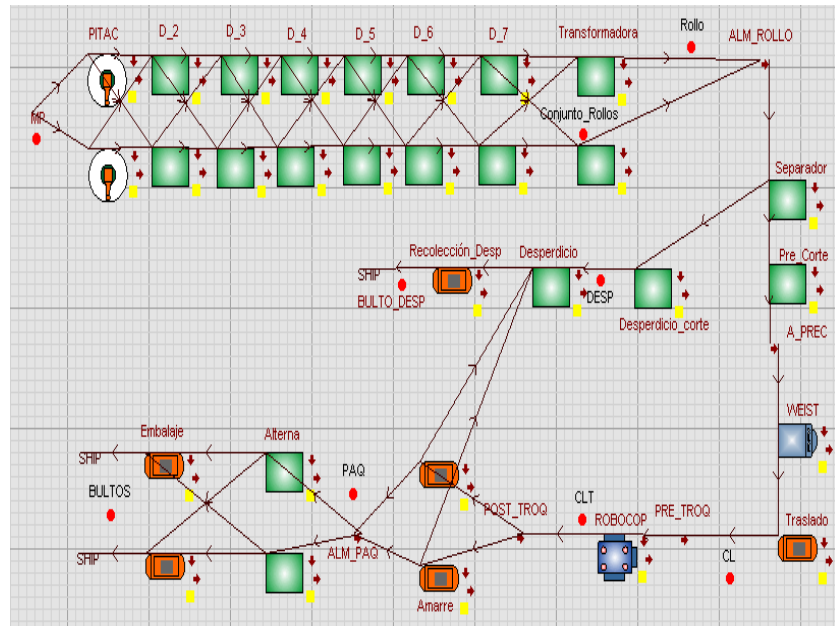
APÉNDICE A

Resumen Gráfico de los elementos que intervienen en la simulación del proceso actual



APÉNDICE B

Resumen Gráfico de los elementos que intervienen en la simulación del proceso mejorado



Dr. Kléber Barcia V.
Director de la Tesis