



Aplicación de Simulación en el área de producción de empaques de la empresa EHUICO S.A. de C.V. para el incremento de su productividad

M.C. Constantino Gerardo Moras Sánchez
t_moras@yahoo.com.mx

Instituto Tecnológico de Orizaba
Departamento de Ingeniería Industrial
Orizaba, Veracruz, México

Ing. Carina Aurora Hernández Moreno
auro_b8@hotmail.com

Instituto Tecnológico de Orizaba
Departamento de Ingeniería Industrial
Orizaba, Veracruz, México

M.C. Raúl Torres Osorio
raultorresosorio@yahoo.com.mx

Instituto Tecnológico de Orizaba
Departamento de Ingeniería Industrial
Orizaba, Veracruz, México

Juan Pablo Sánchez Olivos
jpsanol@hotmail.com

Instituto Tecnológico de Orizaba
Departamento de Ingeniería Industrial
Orizaba, Veracruz, México

Resumen

La empresa EHUICO S.A. de C.V. fabrica empaques de tipo moldeado para la industria. En ella se realizó un estudio de simulación usando el software profesional Promodel, considerando a tres de sus modelos de empaques con el propósito de evaluar alternativas de mejora para incrementar su productividad. Se presenta un análisis detallado de los resultados de la simulación con nuestras recomendaciones.

Palabras claves: Simulación, Promodel, validación, productividad.

Introducción

Actualmente se observa un crecimiento industrial en las diferentes empresas que implica nuevos procesos de producción, ampliaciones de las líneas de producción o su reemplazo por sofisticados equipos industriales. Bajo estas condiciones los empaques son de gran importancia porque se utilizan para sellar equipos, dividir líquidos o sujetar sólidos. Los empaques presentan un proceso de producción muy completo siendo elaborados con hule natural, vitón, y neopreno por mencionar algunos elastómeros. Estos tipos de materiales brindan a los empaques propiedades de dureza, resistencia a altas temperaturas, resistencia a la corrosión, color, etc.

La empresa EHUICO S.A. de C.V. se localiza en el municipio de Cuautlapan, Veracruz, México. Es una empresa fabricante de empaques industriales para ingenios azucareros y empresas alimenticias, entre otras. Los empaques producidos son de tipo moldeado, lo cual significa que toman la forma del molde que los contiene a temperaturas arriba de los 100° C, ejerciéndoles fuerza proveniente de la prensa eléctrica.

Este proyecto incluyó un estudio de simulación que se llevó a cabo para después analizar el proceso de fabricación de empaques y encontrar las posibles restricciones del sistema y proponer alternativas de solución. Antes de empezar el modelo de simulación se consultó la demanda histórica de pedidos de la empresa durante el año 2008, en el que se registraron 364 variedades de empaques. Posteriormente, observando la demanda mensual de pedidos durante los meses posteriores se seleccionaron tres empaques que cuentan con una demanda mensual elevada y son cotizados por empresas



sólidas y pertenecientes a la misma región de EHUICO S.A. de C.V. como Industrial Patrona, Sílices de Veracruz S.A. de C.V. y Kimberly Clark; los tres empaques seleccionados fueron la tulipa, el oring 6x2 pulg. y la canastilla.

El paquete de simulación que se utilizó para construir el modelo del sistema de producción de los tres empaques principales fue Promodel, software que se ha utilizado para simular ambientes productivos en la región Sur de México; por ejemplo, mejorar el proceso de producción en la empresa El Piloncillo (Ferrer, 2003), y mejorar el proceso de entrega de caña en el ingenio central Motzorongo del sector sierra (Otero & Oviedo, 2003).

Aplicación de la Metodología de Simulación

Formulación del problema

Aplicando la metodología de simulación que consiste en 10 pasos (Law & Kelton, 2000), se desarrolló un modelo de simulación para el proceso de producción de empaques de la empresa EHUICO S.A de C.V. la cual tiene una demanda constante y elevada de tres principales modelos de empaques: la tulipa, el oring 6x2 pulg. y la canastilla.

Las medidas de desempeño que se analizaron fueron el número de empaques y el tiempo total de producción, de los tres tipos de empaques.

A continuación se mencionan algunas de las características relevantes para elaborar el modelo de simulación:

- La demanda del pedido es una solicitud única mensual para los tres empaques.
- El sistema comienza cuando llega una solicitud para elaborar los empaques, que es llevada al área de producción por un vendedor y finaliza con las piezas empaquetadas, se considera de “tipo jale” debido a que la producción empieza conforme llegan las solicitudes de pedido.
- El proceso tiene la característica de que un solo operador se encarga de la elaboración del pedido.
- Se cuenta con un solo molde para elaborar cada uno de los empaques.
- La empresa cuenta con un molino, una prensa grande, una prensa chica y un torno, que es la maquinaria que se emplea en el proceso de elaboración de empaques.

Recolección y análisis de los datos

La recolección de datos reales para los tres tipos de empaques seleccionados se efectuó a partir de Septiembre de 2009 al mes de Abril de 2010, durante los días de producción de los empaques. Para la recolección de los datos se emplearon herramientas de estudio del trabajo, las cuales consisten en el diseño sistemático de los métodos para realizar actividades con el fin de mejorar la utilización eficaz de los recursos y de establecer normas en los procedimientos (OIT, 1996).

Se tomó el tiempo de producción con cronómetro en el procedimiento para elaborar cada uno de los tres empaques. Es importante mencionar que cada empaque cuenta con un proceso y tiempos particulares de producción.

- En la tabla 1 se observa la secuencia del proceso del empaque tulipa y la figura 1 muestra el diagrama de su proceso.
- En la tabla 2 se observa la secuencia del proceso del empaque oring 6x2 pulg. y la figura 2 muestra el diagrama de su proceso.
- En la tabla 3 se observa la secuencia del proceso del empaque canastilla y la figura 3 muestra el diagrama de su proceso.



| Tulipa en material neopreno |
|--|
| Proceso de producción (actual). |
| 1. Pesado de fórmula |
| 2. Cambio de charola y limpieza del molino |
| 3. Tiempo que pasa en molino |
| 4. Se transporta al área de producción |
| 5. Se coloca en mesa de trabajo |
| 6. Se cortan cuadros pequeños y se prepara pieza |
| 7. Pasa a prensa chica |
| 8. Pasa a la mesa de trabajo y se descarga la pieza |
| 9. Se debira |
| 10. Se repiten los pasos 6-9 y se acumulan hasta tener el pedido de empaques |
| 11. Se transportan al área de diseño |
| 12. Pasan a teclee pieza por pieza |
| 13. Se acumulan hasta tener todos los empaques |
| 14. Se transportan al área de producción |
| 15. Se limpia con alcohol |
| 16. Se verifican y empaquetan |

Tabla 1. Proceso de producción del empaque tulipa



Figura 1. Diagrama del proceso de producción del empaque tulipa

| |
|---|
| Oring 6x2 pulg. en material vitón |
| Proceso de producción (actual). |
| 1. Pesado de fórmula |
| 2. Tiempo que pasa en molino |
| 3. Se transporta al área de producción |
| 4. Se coloca en mesa de trabajo |
| 5. Se cortan cuadros pequeños y se prepara pieza |
| 6. Pasa a prensa chica |
| 7. Pasa a la mesa de trabajo y se descarga la pieza |
| 8. Se debira |
| 9. Se repiten los pasos del 5-8 y se acumulan hasta tener el pedido de empaques |
| 10. Se limpia con silicón |
| 11. Se verifican y empaquetan |

Tabla 2. Proceso de producción del empaque oring 6x2 pulg.



Figura 2. Diagrama del proceso de producción del empaque oring 6x2 pulg.

| Canastilla en material hule |
|--|
| Proceso de producción (actual) |
| 1. Pesado de fórmula |
| 2. Tiempo que pasa en molino |
| 3. Se transporta al área de producción |
| 4. Se coloca en mesa de trabajo |
| 5. Se cortan 3 partes y se prepara pieza |
| 6. Se le colocan placas dentro del molde |
| 7. Pasa a prensa grande |
| 8. Pasa a la mesa de trabajo y se descarga la pieza |
| 9. Se debira |
| 10. Se repitan los pasos del 5-9 y se acumulan hasta tener el pedido de empaques |
| 11. Limpieza de láminas frontales |
| 12. Se pintan las placas |
| 13. Se repiten los pasos 12,13 y se acumulan hasta tener todos los empaques |
| 14. Se limpian con silicón |
| 15. Se verifican y empaquetan |

Tabla 3. Proceso de producción del empaque canastilla



Figura 3. Diagrama del proceso de producción del empaque canastilla

Las actividades afines en el proceso de producción para los tres empaques se describen a continuación.

- **Almacenamiento de materia prima.**
Es la actividad de almacenar productos como placas de hule, sacos de caolín, negro de humo y de los diferentes aditivos.
- **Transporte de materia prima a la báscula.**
Es el movimiento de llevar los aditivos a la báscula de acuerdo a una proporción de la materia prima como hule y neopreno, que va a ser preparada para el proceso de producción.
- **Pesado de materia prima.**
Es la actividad de pesar componentes de la fórmula por medio de una báscula digital de acuerdo a una tabla de proporciones.



- **Transporte de materia prima hacia el área de molido.**
Es el movimiento de llevar la fórmula por medio de bolsas o cubetas al molino.
- **Limpieza de molino.**
Es la actividad realizada antes de moler o laminar, para asegurarse de que el material esté limpio y con ello asegurar la calidad de los empaques.
- **Molienda.**
Operación llevada a cabo en el molino pulverizador para mezclar todos los ingredientes hasta obtener una mezcla homogénea.
- **Laminado.**
Esta actividad se realiza dentro del molino y es el último paso en la molienda, donde por medio de los rodillos se obtiene una lámina o lengüeta larga de un grosor determinado.
- **Transporte de láminas hacia el área de producción.**
Es el movimiento de transportar de forma manual las láminas del área del molino hacia la mesa de trabajo.
- **Corte de placas de hule y posteriormente preparación de carga.**
En esta actividad se obtiene el patrón de corte. Posteriormente se cortan las piezas de acuerdo al molde y se preparan las cargas (colocación de material en el molde).
- **Prensado.**
Es la acción de las prensas sobre los moldes y la transferencia de calor para producir un empaque moldeado.
- **Descarga de carga y desmolde de pieza.**
Es la actividad de sacar el molde de la prensa y desmoldar el empaque. Ese mismo molde posteriormente se utilizará para elaborar otro empaque.
- **Debirado y limpieza.**
El debirado es la acción de cortar sobrantes (merma) de los empaques, que posteriormente se limpian.
- **Pasar a teclée.**
Algunos empaques necesitan detalles que el molde no les formó. Pasar a teclée consiste en procesar el empaque en el torno para darle acabados finales que el molde no le pudo formar.
- **Empaque.**
Es la actividad de acomodar los empaques en bolsas de polietileno o en cajas de cartón plegadizo de acuerdo a las especificaciones del cliente.
- **Almacenar el producto terminado.**
Es la actividad de almacenar el producto terminado por un tiempo corto. Conforme son terminados los empaques, son entregados.

Análisis estadístico de los datos

Se procedió a determinar si los datos recolectados se ajustaban a alguna función de probabilidad teórica. Este análisis se realizó utilizando el programa Statfit, incluido entre las herramientas de Promodel. Statfit es un software de estadística que al introducir los datos y los tiempos registrados, permite que éstos se ajusten estadísticamente a la distribución teórica más apropiada. Dentro de sus características incluye a las pruebas de bondad de ajuste y a la función de exportación de la distribución ajustada que convierte la distribución a la forma correcta del programa de simulación (Statfit, 2001). Se aplicaron las pruebas de bondad de ajuste a cada uno de los tiempos del proceso de producción para los 3 empaques, la tulipa, el oring 6x2 pulg. y la canastilla. Los resultados obtenidos reflejan que los datos recolectados se ajustaron a algunas de las distribuciones de probabilidad teóricas que contiene el programa Statfit, como la Weibull, Uniforme, Exponencial y Gamma.

Construcción del programa de simulación

Para construir el modelo de simulación se ingresó la información en los menús del software Promodel. Los elementos de simulación empleados fueron: *locations, entities, path networks, resources, processing, arrivals, shift and break, attributes, variables (global), macros, user distributions* y *background graphics*. En las figuras 4 y 5 mostramos el modelo de simulación realizado en Promodel.





Figura 4. Vista general del layout del modelo de simulación en Promodel de la empresa EHUICO S.A. de C.V.

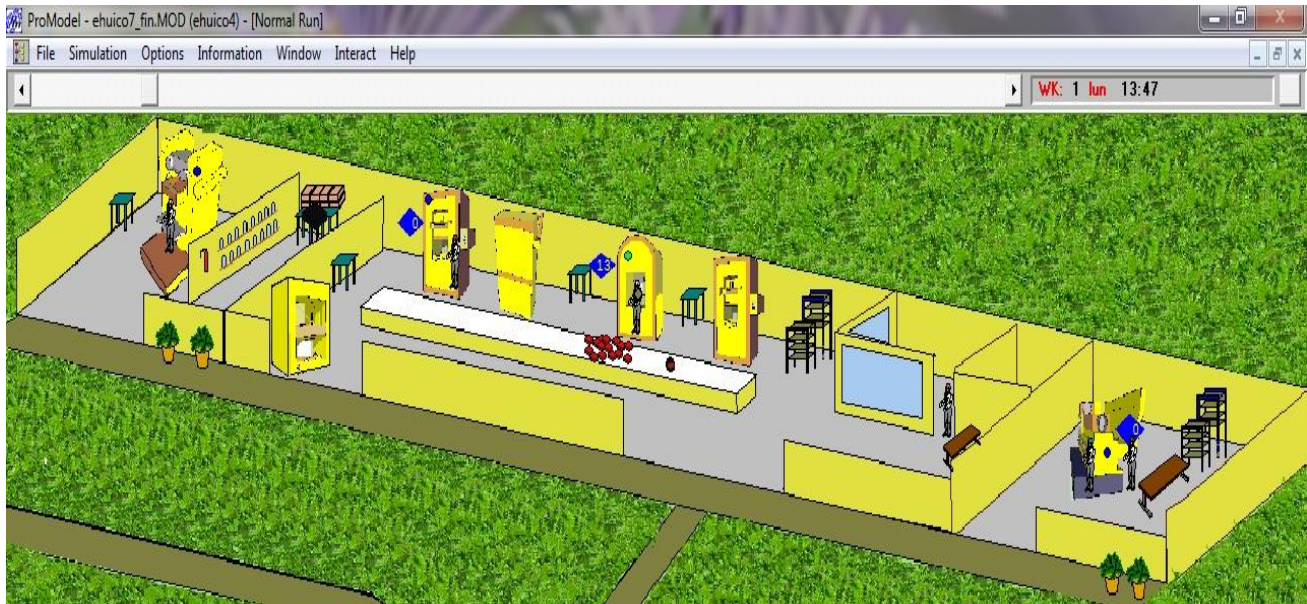


Figura 5. Vista del área de producción del modelo de simulación en Promodel de la empresa EHUICO S.A. de C.V.

Corridas piloto

Se realizaron corridas piloto para determinar si el modelo funcionaba adecuadamente y si representaba al sistema actual. Se corrió el programa de simulación 10 veces, las cuales fueron consideradas como un número piloto de corridas para después utilizarlas en la validación del modelo de simulación.

El tiempo de la simulación abarca el periodo de un mes. Durante la primera semana se realiza un pedido del empaque tulipa, durante la segunda semana un pedido de empaques oring 6x2 pulg. y en la tercera semana un pedido del empaque canastilla, conforme a la programación *weekly time* de *simulation options* de Promodel. La programación se realizó considerando la demanda mensual que se tiene de los tres tipos de empaques que es representativa de los datos históricos proporcionados por la empresa.



Validación del modelo de simulación

Para realizar la validación del programa de simulación se utilizó la prueba estadística t-apareada (Law & Kelton, 2000), que consiste en comparar los resultados obtenidos de la simulación contra los datos observados reales. En la prueba t-apareada se construye un intervalo de confianza, el cual debe incluir al cero para poder afirmar que no existe una diferencia significativa entre la media de los datos simulados y la media de los datos reales para una o más medidas de desempeño. Se usó como medida de desempeño en la validación del modelo el tiempo de procesamiento en tres de las locaciones las cuales fueron la prensa grande, área de formulación y prensa chica, utilizando en todos los casos un nivel de significancia de $\alpha=0.1$.

Para aplicar la prueba t-apareada suponga que se recolectan m conjuntos de datos independientes del sistema y n conjuntos de datos del modelo. Sea X_i el promedio de las observaciones en el i-ésimo conjunto del sistema y Y_i el promedio de las observaciones en el i-ésimo conjunto de datos del modelo.

Las X_i 's son variables aleatorias IID (independiente e idénticamente distribuidas) con media $\mu_x = E(X_i)$, y las Y_i 's son variables aleatorias IID (asumiendo que los n conjuntos de datos se obtuvieron de replicaciones diferentes) con media $\mu_y = E(Y_i)$, por lo que se tratará de comparar el modelo con el sistema construyendo un intervalo de confianza para:

$$Z = \mu_x - \mu_y \quad (1)$$

usando la prueba t-apareada. Se requiere que $m = n$.

$$Z_i = X_i - Y_i \quad (2)$$

$$\bar{Z}_{(n)} = \frac{\sum_{i=1}^n Z_i}{n} \quad (3)$$

$$\hat{Var}[\bar{Z}_{(n)}] = \frac{\sum_{i=1}^n [Z_i - \bar{Z}_{(n)}]^2}{n(n-1)} \quad (4)$$

El intervalo de confianza es $(100(1-\alpha))$:

$$\bar{Z}_{(n)} \pm t_{n-1, 1-\alpha/2} \sqrt{\hat{Var}(\bar{Z}_{(n)})} \quad (5)$$

Sea $l_{(\alpha)}$ y $u_{(\alpha)}$ el límite de confianza inferior y superior respectivamente. Si $0 \notin [l_{(\alpha)}, u_{(\alpha)}]$ entonces la diferencia observada entre μ_x y μ_y :

$$\bar{X}_{(n)} - \bar{Y}_{(n)} \quad (6)$$

se dice que es estadísticamente significativo al nivel α . Esto es equivalente a rechazar la hipótesis nula:

$$H_0: \mu_x = \mu_y \quad (7)$$

a favor de la alternativa:

$$H_1: \mu_x \neq \mu_y \quad (8)$$

Si $0 \in [l_{(\alpha)}, u_{(\alpha)}]$, cualquier diferencia observada entre μ_x y μ_y no es estadísticamente significativa al nivel α y puede ser explicada por fluctuaciones aleatorias, aceptando así que el modelo es válido.

Se aplicó la prueba t-apareada a los tiempos de procesamiento de la prensa grande, los tiempos de procesamiento en el área de formulación y los tiempos de procesamiento en la prensa chica.

El primer paso fue plantear la hipótesis nula (H_0) y la hipótesis alternativa (H_1).

$H_0: \mu_x = \mu_y$ (La media de los datos reales observados es igual a la media de los datos del modelo de simulación)



$H_1: \mu_x \neq \mu_y$ (La media de los datos reales observados es diferente a la media de los datos del modelo de simulación)

En la tabla 4 se muestra el procedimiento para calcular el promedio de las diferencias entre el tiempo de proceso del sistema real (X_i) y el tiempo de proceso simulado (Y_i), con respecto a la prensa grande que procesa el empaque canastilla. El tiempo de procesamiento es el tiempo transcurrido mientras el molde permanece en la prensa grande. El programa de simulación se corrió 10 veces.

| Tiempo de procesamiento promedio del empaque canastilla en minutos dentro de la prensa grande | | | | |
|--|-------------|-------------|----------------------|---|
| Corridas | X_i (min) | Y_i (min) | $Z_i=X_i-Y_i$ | $[Z_i - \bar{Z}_{(n)}]^2$ |
| 1 | 9.0 | 9.56 | -0.56 | 0.53 |
| 2 | 9.4 | 9.41 | -0.01 | 0.03 |
| 3 | 9.9 | 9.26 | 0.64 | 0.22 |
| 4 | 8.9 | 9.42 | -0.52 | 0.48 |
| 5 | 9.5 | 9.68 | -0.18 | 0.12 |
| 6 | 9.7 | 9.59 | 0.11 | 0.00 |
| 7 | 10.0 | 9.37 | 0.63 | 0.21 |
| 8 | 10.4 | 9.74 | 0.66 | 0.24 |
| 9 | 10.1 | 9.66 | 0.44 | 0.07 |
| 10 | 10.0 | 9.54 | 0.46 | 0.08 |
| | | | $\bar{Z}_{(n)}=0.17$ | $\sum_{i=1}^n [Z_i - \bar{Z}_{(n)}]^2=1.98$ |

Tabla 4. Diferencias entre el tiempo de proceso promedio del sistema real (X_i) y el tiempo de proceso promedio simulado (Y_i) para el empaque canastilla dentro de la prensa grande

Aplicando la ecuación (4) para calcular la varianza se obtiene:

$$\hat{V}ar[\bar{Z}_{(n)}] = \frac{1.98}{90} = 0.022$$

Con $\alpha=0.1$ y con 9 grados de libertad se encontró el valor del estadístico t.

$$t_{n-1, 1-\alpha/2}=1.833$$

Para encontrar los intervalos de confianza se sustituyó los datos anteriores en la ecuación (5). El intervalo obtenido fue (- 0.1019, 0.4419) que incluye al cero. La diferencia $Z=\mu_x-\mu_y$ no es estadísticamente significativa, por lo que el modelo es tomado como válido con un nivel de confianza del 90%.

En la tabla 5 se muestra el procedimiento para calcular el promedio de las diferencias entre el tiempo de proceso del sistema real (X_i) y el tiempo de proceso simulado (Y_i), con respecto al área de formulación, en la cual se procesa la mezcla para todos los empaques. El tiempo de procesamiento es el tiempo transcurrido mientras se prepara la fórmula.

El programa de simulación se corrió 10 veces.

| Tiempo de procesamiento promedio de los 3 tipos de empaques en minutos dentro del área de formulación | | | | |
|--|-------------|-------------|----------------------|---|
| Corridas | X_i (min) | Y_i (min) | $Z_i=X_i-Y_i$ | $[Z_i - \bar{Z}_{(n)}]^2$ |
| 1 | 17.27 | 16.65 | 0.62 | 0.30 |
| 2 | 16.23 | 16.77 | -0.54 | 0.37 |
| 3 | 16.60 | 16.84 | -0.24 | 0.10 |
| 4 | 16.57 | 16.93 | -0.36 | 0.18 |
| 5 | 17.20 | 16.66 | 0.54 | 0.22 |
| 6 | 17.27 | 17.02 | 0.25 | 0.03 |
| 7 | 17.70 | 16.60 | 1.10 | 1.06 |
| 8 | 17.10 | 17.03 | 0.07 | 0.00 |
| 9 | 16.90 | 17.86 | -0.96 | 1.06 |
| 10 | 16.63 | 16.39 | 0.24 | 0.03 |
| | | | $\bar{Z}_{(n)}=0.07$ | $\sum_{i=1}^n [Z_i - \bar{Z}_{(n)}]^2=3.35$ |

Tabla 5. Diferencias entre el tiempo de proceso promedio del sistema real (X_i) y el tiempo de proceso promedio simulado (Y_i) para los tres tipos de empaques dentro del área de formulación



Aplicando la ecuación (4) para calcular la varianza se obtiene:

$$\hat{V}ar[\bar{Z}_{(n)}] = \frac{3.35}{90} = 0.037$$

Con $\alpha=0.1$ y con 9 grados de libertad se encontró el valor del estadístico t.

$$t_{n-1,1-\alpha/2}=1.833$$

Para encontrar los intervalos de confianza se sustituyeron los datos anteriores en la ecuación (5). El intervalo obtenido fue (-0.28, 0.42), que incluye al cero. La diferencia $Z=\mu_x-\mu_y$ no es estadísticamente significativa, por lo que el modelo es considerado válido con un nivel de confianza del 90%.

En la tabla 6 resumimos el procedimiento para calcular el promedio de las diferencias entre el tiempo de proceso del sistema real (X_i) y el tiempo de proceso simulado (Y_i), con respecto a la prensa chica la cual procesa el empaque tulipa. El tiempo de procesamiento es el tiempo transcurrido mientras el molde del empaque tulipa permanece en la prensa chica.

El programa de simulación se corrió 10 veces, por eso $n=10$.

| Tiempo de procesamiento promedio del empaque tulipa en minutos dentro de la prensa chica | | | | |
|--|-------------|-------------|----------------------|---|
| Corridas | X_i (min) | Y_i (min) | $Z_i=X_i-Y_i$ | $[Z_i - \bar{Z}_{(n)}]^2$ |
| 1 | 8.5 | 7.93 | 0.57 | 0.14 |
| 2 | 7.3 | 7.43 | -0.13 | 0.10 |
| 3 | 7.5 | 8.25 | -0.75 | 0.88 |
| 4 | 8.5 | 7.67 | 0.83 | 0.41 |
| 5 | 7.2 | 7.73 | -0.53 | 0.52 |
| 6 | 8.3 | 7.50 | 0.80 | 0.37 |
| 7 | 7.8 | 7.73 | 0.07 | 0.01 |
| 8 | 7.5 | 7.19 | 0.31 | 0.01 |
| 9 | 8.9 | 7.43 | 1.47 | 1.64 |
| 10 | 7.6 | 8.32 | -0.72 | 0.83 |
| | | | $\bar{Z}_{(n)}=0.19$ | $\sum_{i=1}^n [Z_i - \bar{Z}_{(n)}]^2=4.91$ |

Tabla 6. Diferencias entre el tiempo de proceso promedio del sistema real (X_i) y el tiempo de proceso promedio simulado (Y_i) para el empaque tulipa dentro de la prensa chica

Aplicando la ecuación (4) para calcular la varianza se obtiene:

$$\hat{V}ar[\bar{Z}_{(n)}] = \frac{4.91}{90} = 0.055$$

Con $\alpha=0.1$ y 9 grados de libertad se encontró el valor del estadístico t.

$$t_{n-1,1-\alpha/2}=1.833$$

Posteriormente para encontrar los intervalos de confianza se sustituyó los datos anteriores en la ecuación (5). El intervalo obtenido fue (-0.24, 0.62), que incluye al cero, por lo que se acepta el modelo como válido. La diferencia $Z=\mu_x-\mu_y$ no es estadísticamente significativa, por lo que el modelo es válido con un nivel de confianza del 90%.

En resumen cuando se aplicó la prueba t-apareada a los tiempos de proceso de las tres locaciones, se comprobó que el modelo de simulación es válido.

Diseño de experimentos

A continuación se describe el procedimiento para calcular el número de replicaciones o corridas óptimas de la simulación, aplicando la siguiente fórmula (Law y Kelton, 2000):

$$n(\beta) = \min \left\{ i \geq n: t_{i-1, 1-\frac{\alpha}{2}} \sqrt{\frac{S^2(n)}{i}} \leq \beta \right\} \quad (9)$$

Se aplicó el procedimiento $n\beta$, comenzando con el cálculo de la media y la desviación estándar a partir de los datos obtenidos del modelo. Se propuso un valor de β de 0.10 minutos, donde β es el margen de error para estimar la media poblacional y es propuesta por el analista que realiza la simulación.

Con ayuda de una hoja de cálculo se realizó la prueba en los tiempos de procesamiento en las locaciones prensa grande, área de formulación y prensa chica, obteniendo un número óptimo de réplicas para cada una de 10, 45 y 38 corridas respectivamente, pero se consideró el número mayor de corridas calculadas. Ese número mayor de replicaciones se alcanzó en los tiempos del área de formulación (45 corridas).

A continuación describimos la forma de obtención del número de corridas óptimo en los tiempos del área de formulación. En la tabla 7 hemos resumido el procedimiento para calcular la media de los tiempos obtenidos de la simulación con respecto al tiempo de proceso de los tres tipos de empaque dentro del área de formulación (X_i). El programa de simulación se corrió 10 veces.

| Tiempo de procesamiento promedio en el área de formulación obtenidos del modelo de simulación (X_i) | | |
|---|-------------------|---|
| Corridas | X_i | $(x_i - \bar{x})^2$ |
| 1 | 16.65 | 0.05 |
| 2 | 16.77 | 0.01 |
| 3 | 16.84 | 0.00 |
| 4 | 16.93 | 0.00 |
| 5 | 16.66 | 0.05 |
| 6 | 17.02 | 0.02 |
| 7 | 16.60 | 0.08 |
| 8 | 17.03 | 0.02 |
| 9 | 17.86 | 0.96 |
| 10 | 16.39 | 0.24 |
| | $\bar{x} = 16.88$ | $\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = 1.43$ |

Tabla 7. Cálculo de la media de los tiempos promedio obtenidos en la simulación en le área de formulación (X_i), para los tres tipos de empaques tulipa, oring 6x2 pulg. y canastilla

Aplicando la fórmula (10) para calcular la varianza de los datos.

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1} \quad (10)$$

Se obtuvo como resultado que $S^2=0.159$. Después de calculada la varianza con $\alpha=0.1$ y 9 grados de libertad se encontró

$$t_{n-1, 1-\alpha/2}=1.8331$$

Posteriormente la desviación estándar y el valor de tablas son sustituidos en la ecuación (9).

En la tabla 8 mostramos el procedimiento para encontrar el número de replicaciones óptimas. Se propuso un valor de β de 0.10 minutos y se calcularon los valores hasta encontrar un valor menor o igual a la β propuesta, como lo indica el procedimiento de la prueba $n*\beta$.

| Calculo del número óptimo de corridas en los tiempos promedio de procesamiento en el área de formulación | | | | | |
|--|-------------------------------|---|----|-------------------------------|---|
| i | $t_{i-1, 1-\frac{\alpha}{2}}$ | $t_{i-1, 1-\frac{\alpha}{2}} \sqrt{\frac{S^2(n)}{i}}$ | i | $t_{i-1, 1-\frac{\alpha}{2}}$ | $t_{i-1, 1-\frac{\alpha}{2}} \sqrt{\frac{S^2(n)}{i}}$ |
| 10 | 1.8331 | 0.2311 | 31 | 1.6973 | 0.1216 |
| 11 | 1.8125 | 0.2179 | 32 | 1.6955 | 0.1195 |
| 12 | 1.7959 | 0.2067 | 33 | 1.6939 | 0.1176 |

| | | | | | |
|----|--------|--------|----|--------|--------|
| 13 | 1.7823 | 0.1971 | 34 | 1.6924 | 0.1157 |
| 14 | 1.7709 | 0.1887 | 35 | 1.6909 | 0.1140 |
| 15 | 1.7613 | 0.1813 | 36 | 1.6896 | 0.1123 |
| 16 | 1.7531 | 0.1748 | 37 | 1.6883 | 0.1107 |
| 17 | 1.7459 | 0.1688 | 38 | 1.6871 | 0.1091 |
| 18 | 1.7396 | 0.1635 | 39 | 1.6860 | 0.1077 |
| 19 | 1.7341 | 0.1586 | 40 | 1.6849 | 0.1062 |
| 20 | 1.7291 | 0.1542 | 41 | 1.6839 | 0.1049 |
| 21 | 1.7247 | 0.1501 | 42 | 1.6829 | 0.1035 |
| 22 | 1.7207 | 0.1463 | 43 | 1.6820 | 0.1023 |
| 23 | 1.7171 | 0.1428 | 44 | 1.6811 | 0.1011 |
| 24 | 1.7139 | 0.1395 | 45 | 1.6802 | 0.0999 |
| 25 | 1.7109 | 0.1364 | | | |
| 26 | 1.7081 | 0.1336 | | | |
| 27 | 1.7056 | 0.1309 | | | |
| 28 | 1.7033 | 0.1284 | | | |
| 29 | 1.7011 | 0.1260 | | | |
| 30 | 1.6991 | 0.1237 | | | |

Tabla 8. Determinación del número óptimo de corridas en el área de formulación

Al finalizar el cálculo, la fórmula $n \cdot \beta$ se muestra como:

$$n(\beta) = \min\{45 \geq 10; 0.0999 \leq 0.10\}$$

El resultado obtenido fue correr el programa de simulación 45 veces, con un nivel de confianza del 90% y una β de 0.10 minutos.

Alternativas de solución

Al evaluar varias alternativas de mejora se consideraron tres escenarios. Debido a que el proceso de producción para cada empaque es diferente, se determinó buscar una forma eficiente para mejorar cada proceso de producción con respecto a los tres empaques. Las soluciones propuestas fueron consideradas factibles para su realización con el objetivo de aportar a la empresa herramientas que hagan más fácil el proceso de producción y al mismo tiempo incrementen su productividad.

Las alternativas planteadas fueron referentes al diseño y construcción de moldes mejorados para sus empaques, ya que la restricción más importante es en la etapa de moldeo debido a que solo se cuenta con un solo molde para cada empaque. Para el diseño de moldes se utilizó el software Mastercam. Mastercam es un sistema integrado de software CAD/CAM que opera en Microsoft Windows. Su poder y su versatilidad le ayudan a solucionar tanto la parte de diseño geométrico como la parte de fabricación de los productos. Sus distintos módulos le ofrecen soluciones en fresados de 2D, 2 1/2D y 3D mecanizando superficies y multisuperficies (Mastercam 9, 2002).

Alternativa 1: Mejorar el proceso de producción para el empaque tulipa

La alternativa 1 consiste en la disminución de tiempos en el proceso de producción del empaque tulipa, el cual pasa del área de producción al área de diseño, donde se encuentra un torno que es utilizado para darle acabados finales (teclée) que en el molde no se le pudo dar.

En la figura 6 (izquierda) se enseña el molde del empaque tulipa, el cual consta de tres partes que se ensamblan. El empaque tulipa (que se observa de color rojo), en la parte superior consta de 4 canales, colocados perpendicularmente. El molde actual no cuenta con estas características por lo que después de debridados, todos los empaques pasan al área de diseño, donde son terminados. La solución propuesta es utilizar la máquina de control numérico (CNC), para elaborar un molde que cuente con los canales perpendiculares. En la parte derecha de la figura 6 mostramos el molde elaborado en el software

Mastercam que ya cuenta con los canales en la parte superior del molde. Estas características permitirán que el empaque después de vulcanizado, esté terminado.

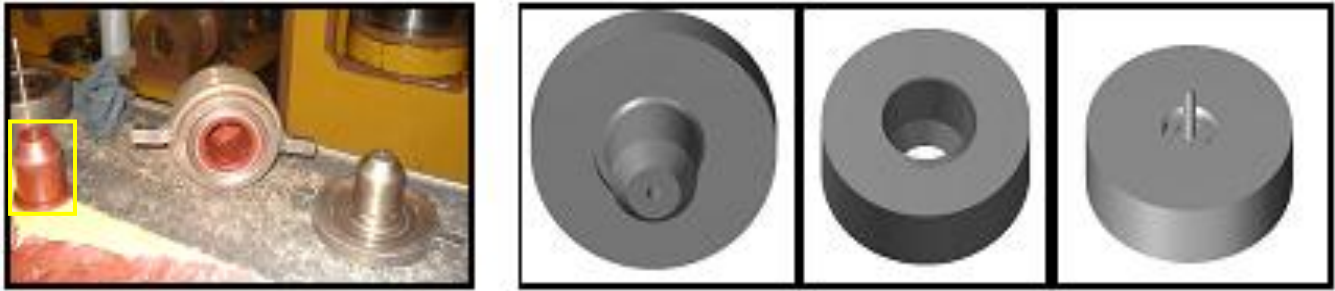


Figura 6. Molde actual (izquierda) y molde mejorado (derecha) del empaque tulipa

En la figura 7 (izquierda) se muestra el empaque tulipa del sistema actual, después de la etapa de debridado. En la parte derecha de figura 7 se muestra el empaque tulipa mejorado, después de la etapa de debridado que ya cuenta con los acabados finales.

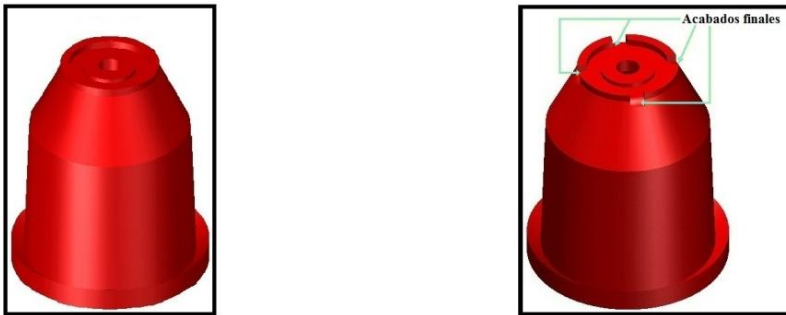


Figura 7. Empaque tulipa actual (izquierda) y empaque tulipa ocupando el molde mejorado (derecha). (Alternativa 1)

Dentro de las ventajas que se tienen al considerar esta alternativa se encuentran:

1. Elaboración de un molde mejorado que cuente con acabados de fresado en la máquina CNC.
2. La eliminación de pasos en el proceso de producción del empaque tulipa, que son la etapa de pasar al área de diseño y pasar a teclée.
3. Disminución del tiempo total de moldeado en la prensa.
4. Disminución del tiempo total de producción por lote de pedido.
5. Disminución del uso del operador.

Alternativa 2: Mejorar el proceso de producción para el empaque oring 6x2 pulg.

La alternativa 2 consiste en la disminución de tiempos en el proceso de producción del empaque oring 6x2 pulg. En los días en que se llevó a cabo el estudio se contaba con un único molde. La alternativa simula que se cambia el molde actual por un molde múltiple, en el cual se puede procesar 10 orings en la prensa simultáneamente. El multimolde para la alternativa 2 fue diseñado en el software Mastercam, como se muestra en la figura 8. En la figura 8 se puede visualizar el molde actual que solo contiene un oring 6x2 pulg. (izquierda) y posteriormente el multimolde con capacidad de 16 orings (derecha).

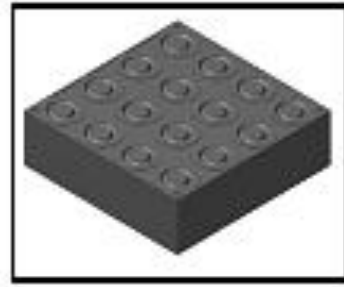


Figura 8. Molde actual (izquierda) y multimolde (derecha) del empaque oring 6x2 pulg., (alternativa 2)

La mejora en el número de empaques procesados se observa en la figura 9, en la que se incluye el empaque actual oring 6x2 pulg. (izquierda) contra los empaques procesados en el multimolde que son 16 orings (derecha). Los 16 empaques conservan las mismas características que el empaque unitario.

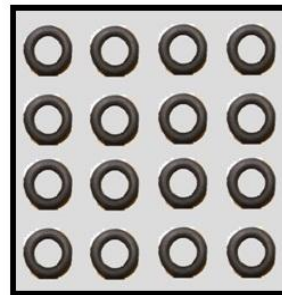
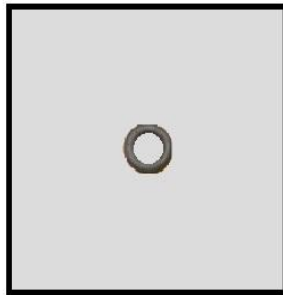


Figura 9. Comparación del número de empaques procesados con el molde actual (izquierda) contra empaques procesados en el multimolde (derecha)

Dentro de las ventajas que se tienen al considerar esta alternativa están:

1. Elaboración de un multimolde por medio de la máquina CNC.
2. Conseguir un aumento en la capacidad de producción de empaques.
3. Disminución del uso de la prensa así como del operador que realiza la actividad.
4. Disminución del tiempo total de moldeo en la prensa.
5. Disminución del tiempo de producción por lote de pedido.

Alternativa 3: Mejorar el proceso de producción en el empaque tulipa y al mismo tiempo el proceso de producción en el empaque oring 6x2 pulg.

La alternativa 3 radicó en que la empresa adquiera lo antes posible tanto el molde mejorado para la tulipa (alternativa 1) y el multimolde para el oring 6x2 pulg. (alternativa 2). Debido a que muchas veces se seleccionan medidas de solución que van en forma gradual, primero para mejorar el proceso de producción de un empaque y posteriormente para el siguiente empaque, la alternativa 3 es de suma importancia porque se observan los resultados en conjunto.

Correr el programa

El modelo del sistema actual se corrió 45 veces. Posteriormente se le hizo las modificaciones respectivas para simular la alternativa 1, donde se eliminó la etapa de pasar al área de diseño y pasar a teclee así como también la utilización del operador que realiza ese proceso. En la alternativa 2 se reemplazó el molde que procesa solo un empaque por el multimolde de capacidad de 16 empaques y para finalizar se unieron las 2 alternativas en la alternativa número 3.

Análisis e interpretación de resultados

Después de haber corrido el modelo del sistema actual, así como el modelo de las alternativas 1, 2 y 3, 45 veces cada uno de ellos, se obtuvieron los tiempos resumidos en la tabla 9.

La flecha hacia arriba (↑) indica un incremento, la flecha hacia abajo (↓) indica un decremento y la flecha hacia la derecha (→) indica que se mantiene igual la medida de desempeño.

La alternativa 3 mostró un decremento en el tiempo promedio de producción para los 3 empaques, considerando a esta alternativa como la más favorable.

| Empaque | Medida de desempeño | Sistema actual | Alternativa | | | | | |
|-----------------|---|----------------|---------------|---|---------------|---|---------------|---|
| | | | 1 | | 2 | | 3 | |
| tulipa | Número de empaques producidos en promedio | 59.9 empaques | 57.7 empaques | ↓ | 62.1 empaques | ↑ | 57.7 empaques | ↓ |
| | Tiempo promedio de producción total por tipo de empaque | 83.0 hr. | 74.9 hr. | ↓ | 86.5 hr. | ↑ | 76.0 hr. | ↓ |
| oring 6x2 pulg. | Número de empaques producidos en promedio | 32.4 empaques | 40.2 empaques | ↑ | 36.1 empaques | ↑ | 41.9 empaques | ↑ |
| | Tiempo promedio de producción total por tipo de empaque | 22.7 hr. | 23.2 hr. | ↑ | 18.9 hr. | ↓ | 17.7 hr. | ↓ |
| canastilla | Número de empaques producidos en promedio | 2.6 empaques | 2.6 empaques | → | 2.5 empaques | → | 2.4 empaques | → |
| | Tiempo promedio de producción total por tipo de empaque | 6.7 hr. | 7.1 hr. | ↑ | 6.5 hr. | ↓ | 6.1 hr. | ↓ |

Tabla 9. Tabla de comparación de resultados promedio entre la simulación actual y las alternativas 1,2 y 3

La alternativa 3 incluye acciones que incrementan en mayor porcentaje la productividad de la empresa, analizando los datos de la alternativa 3 contra el sistema actual se realizó el cálculo de un índice de productividad parcial. Un índice es una cantidad que muestra, por medio de su variación, los cambios a través del tiempo o el espacio de una magnitud que no es de observación directa en la práctica (Kendall & Buckland, 1971).

La ecuación 11 muestra una medida parcial de la productividad con respecto al rendimiento por hora, esta ecuación es uno de los índices de productividad parcial más utilizados para medir el trabajo en las empresas (Sumanth, 1990).

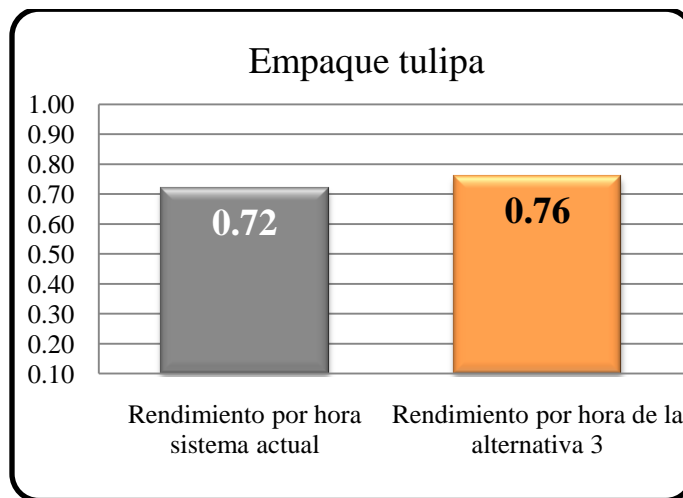
$$\text{Productividad} = \frac{\text{Producción}}{\text{Número de horas trabajadas}} \quad (11)$$

Al comparar los datos (tabla 10) se observa que en el empaque tulipa casi se mantiene en el mismo nivel de producción de 59.9 a 57.7 empaques, y a la vez se redujo de 83 hr. a 76 hr. el tiempo promedio de producción total, equivalente a 7 hr., por lo que la producción del empaque tulipa se mantiene el mismo nivel de producción y al mismo tiempo se reduce los insumos o consumos de recursos causando un incremento en la productividad.

Sustituyendo los valores en la ecuación (11), calculamos la productividad parcial para el sistema actual y la alternativa 3. Al comparar los resultados se observa que existe un aumento de la productividad parcial respecto al rendimiento por hora en el empaque tulipa como se muestra en la gráfica 1.

| Empaque | Medida de desempeño | Sistema actual | Alternativa |
|---------|---|-------------------|-------------------|
| | | | 3 |
| tulipa | Número de empaques producidos en promedio | 59.9 empaques | 57.7 empaques |
| | Tiempo promedio de producción total por tipo de empaque | 83.0 hr. | 76.0 hr. |
| | Rendimiento por hora | 0.72 empaques/hr. | 0.76 empaques/hr. |

Tabla 10. Comparación entre el sistema actual y la alternativa 3, para el empaque tulipa



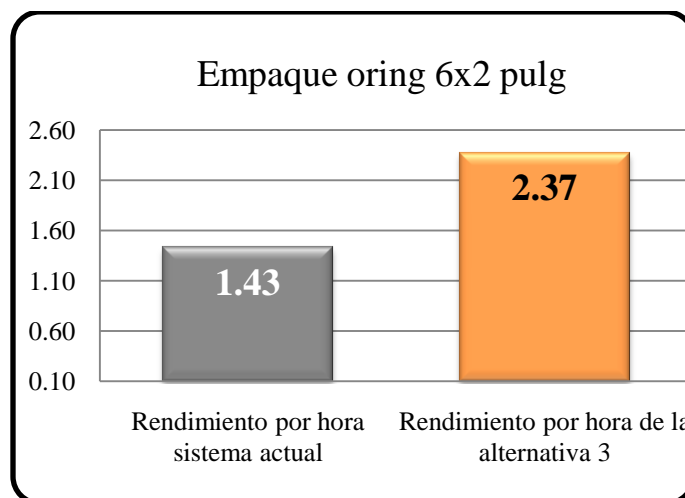
Gráfica 1. Índice de productividad con respecto al rendimiento por hora del sistema actual y la alternativa 3, para el empaque tulipa

En esta misma alternativa, y con respecto al empaque oring 6x2 pulg. (tabla 11), aumentó el nivel de la producción de 32.4 a 41.9 empaques, y a la vez se redujo de 22.7 hr. a 17.7 hr. el tiempo promedio de producción total, equivalente a 5 hr. Invariablemente para la producción del empaque oring 6x2 pulg. aumentó el nivel de la producción y al mismo tiempo se redujo los insumos o consumos de recursos provocando un incremento en la productividad.

Sustituyendo los valores en la ecuación (11), calculamos la productividad parcial para el sistema actual y la alternativa 3. Al comparar los resultados se observa que existe un aumento de la productividad parcial respecto al rendimiento por hora en el empaque oring 6x2 pulg. como se muestra en la gráfica 2.

| Empaque | Medida de desempeño | Sistema actual | Alternativa 3 |
|-----------------|---|-------------------|-------------------|
| | | | |
| oring 6x2 pulg. | Número de empaques producidos en promedio | 32.4 empaques | 41.9 empaques |
| | Tiempo promedio de producción total por tipo de empaque | 22.7 hr. | 17.7 hr. |
| | Rendimiento por hora | 1.43 empaques/hr. | 2.37 empaques/hr. |

Tabla 11. Comparación entre el sistema actual y la alternativa 3, para el empaque oring 6x2 pulg.

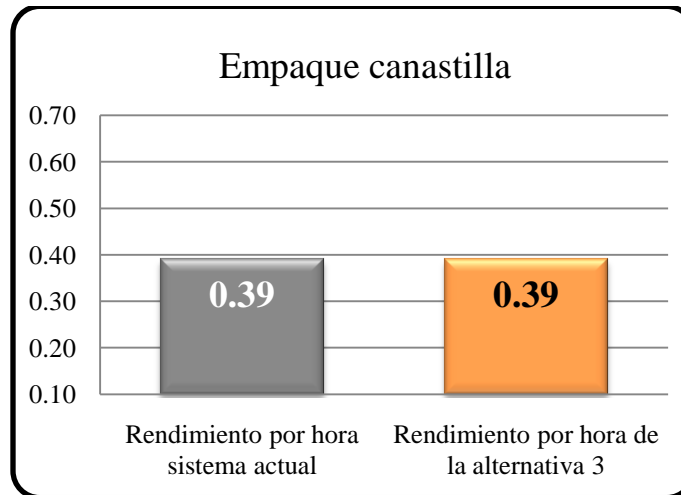


Gráfica 2. Índice de productividad con respecto al rendimiento por hora del sistema actual y la alternativa 3, para el empaque oring 6x2 pulg.

En el empaque canastilla no se muestran cambios en el mismo índice parcial de productividad. Ver gráfica 3.

| Empaque | Medida de desempeño | Sistema actual | Alternativa |
|------------|---|-------------------|-------------------|
| | | | 3 |
| canastilla | Número de empaques producidos en promedio | 2.6 empaques | 2.4 empaques |
| | Tiempo promedio de producción total por tipo de empaque | 6.7 hr. | 6.1 hr. |
| | Rendimiento por hora | 0.39 empaques/hr. | 0.39 empaques/hr. |

Tabla 12. Comparación entre el sistema actual y la alternativa 3, para el empaque canastilla



Gráfica 3. Índice de productividad con respecto al rendimiento por hora del sistema actual y la alternativa 3, para el empaque canastilla

Conclusiones

El estudio de simulación en el proceso de producción de empaques de la empresa EHUICO S.A. de C.V., permitió analizar a detalle el proceso de producción de empaques y conocer que la aplicación de Promodel es una herramienta poderosa para simular un sistema real. Se elaboró un modelo de simulación para el sistema actual respecto a los tres empaques principales: la tulipa, el oring 6x2 pulg. y la canastilla, corriéndose el modelo 45 veces. Posteriormente se encontró que una de las restricciones más importantes del proceso de producción es la etapa de moldeado para los tres empaques simulados, debido a que la empresa sólo cuenta con un molde para cada empaque y sólo después de desmoldado el empaque, se puede prensar un empaque nuevo.

La evaluación de varias alternativas de mejora se resumió en tres alternativas. La primera de las mismas consistió en mejorar el molde para el empaque tulipa. La alternativa 2 consistió en un multimolde de 16 unidades para el empaque oring 6x2 pulg. Por último, en la tercera alternativa se consideró el que la empresa contara con el molde mejorado para la tulipa y el multimolde para el oring 6x2 pulg., combinando las dos primeras alternativas. Los beneficios mostraron que la mejor alternativa es que la empresa cuente con los dos moldes mejorados (alternativa 3).

Las mejoras alcanzadas bajo la tercera alternativa en el proceso de producción del empaque tulipa fueron:

1. Elaboración de un molde mejorado que cuente con acabados de fresado en la máquina CNC.
2. Eliminación de los pasos: pasar al área de diseño, pasar a teclée y regresar a la mesa de trabajo en el área de producción.
3. Disminución del tiempo total de moldeado en la prensa.
4. Disminución del tiempo total de producción por lote de pedido.
5. Aumento de la productividad con respecto al rendimiento por hora de 0.72 empaques/hr. a 0.76 empaques/hr.

En lo que respecta al proceso de producción del empaque oring 6x2 pulg. bajo la tercera alternativa los beneficios fueron:

1. Elaboración de un multimolde por medio de la máquina CNC.
2. Eliminación de actividades en donde es necesario el uso del operador para moldear el empaque.
3. Disminución del tiempo total de moldeado en la prensa.

4. Disminución del tiempo total de producción por lote de pedido.
5. Aumento de la productividad con respecto al rendimiento por hora de 1.43 empaques/hr. a 2.37 empaques/hr.

Es importante mencionar que para el diseño de los moldes se consultó al experto del área de diseño y se consideraron los parámetros como especificaciones técnicas, material y dimensiones para el diseño de los moldes, y que para este diseño se empleó el software Mastercam.

Los resultados de la simulación fueron presentados a los directivos de la empresa, quienes al momento de publicar este artículo coincidieron en que la alternativa 3 es la más favorable para las necesidades de la empresa EHUICO S.A. de C.V., primordialmente porque implica mejoras en la manufactura del proceso de producción de sus empaques, resaltando que la elaboración de los moldes es viable de efectuar además de llevar consigo un aumento de la productividad.

Referencias

- Banks J. "Handbook of Simulation," Ed. John Wiley & Sons, U.S.A. 1998.
- Ferrer J. E. "Aplicación de la simulación para incrementar la productividad de la empresa El piloncillo," Orizaba, Veracruz, México 2003.
- Kendall, M. G. y Buckland, W. R. "A dictionary of statistical terms," 3rd. edition revised and enlarged, Longman Group Ltd., London, England 1971.
- Law, A. M. y Kelton D. "Simulation Modeling and Analysis," Ed. Mc Graw Hill, U.S.A., 2000.
- Mastercam, "Manual de referencia Mastercam fresa versión 9," U.S.A., 2002.
- Otero O. y Oviedo N. "Análisis y mejoramiento de la entrega de caña de azúcar del ingenio Central Motzorongo del sector sierra, empleando la técnica de simulación," Orizaba, Veracruz, México 2003.
- Oficina Internacional del Trabajo (OIT) 1996, "Introducción al estudio del trabajo," 4^a edición revisada, Ginebra, Suiza 1996.
- Promodel. "User's Guide," Promodel Corporation, U.S.A. 2002.
- Statfit "Manual Versión 2," Geer Mountain Software Corp., U.S.A. 2001.
- Sumanth D. "Ingeniería y administración de la productividad," Ed. Mc Graw Hill, México 1990.
- <http://www.ehuico.mxver.net/productos.html>. Fecha de consulta: miércoles 4 Junio del 2009.