



## Evaluación y Planteamiento de Mejoras del Proceso de Manufactura de Jeans de una Empresa Local Dedicada a la Confección de Ropa Sport Mediante un Modelo de Simulación en WITNESS

Oscar Luis Arias Muñoz, Dr. Kléber Barcia  
Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción  
Escuela Superior Politécnica del Litoral  
Campus Gustavo Galindo, Km. 30.5 Vía Perimetral  
Apartado 09-01-5863, Guayaquil, Ecuador  
oarias@espol.edu.ec

### Resumen

*Este artículo contiene la síntesis del estudio realizado para la evaluación y el planteamiento de mejoras del proceso de manufactura de jeans de hombre y mujer con bolsillos falsos o con forro de una empresa local dedicada a la confección de ropa sport. Se analizó la línea de producción utilizando la simulación como herramienta principal. Se desarrolló un modelo de simulación para la situación actual, validándolo contra los datos de entrada recolectados. Así mismo se desarrollaron dos modelos de simulación conteniendo modificaciones basadas en las propuestas de mejora obtenidas de la experimentación inicial, cuyos objetivos fueron incrementar la producción de la línea, obteniendo más producto terminado en comparación a la situación inicial. Posterior a la validación de ambos modelos modificados, se realizó un análisis de la experimentación final en la que se evidenció que la aplicación de cualquiera de las dos propuestas de mejora resultaría en un incremento significativo en la producción diaria, y bajo un estudio de costo-beneficio se logró demostrar que ambas propuestas de mejora resultaron tener una rentabilidad significativa, lo cual sin lugar a duda resulta altamente beneficioso para la empresa.*

**Palabras Claves:** *Proceso de Mejora, Simulación.*

### Abstract

*This article contains the synthesis of the study performed for the evaluation and presentation of improvements of the process of the manufacture of men's and women's jeans with false or real pockets of a local company dedicated to the preparation of casual wear. The production line was analyzed using simulation as the main tool. A simulation model for the present situation was developed, validating it against the collected input data. Also modifications based on the proposals of improvement obtained from the initial experimentation were developed to two simulation models, whose objectives were to increase the production of the line, obtaining more finished product in comparison to the initial situation. Subsequent to the validation of both modified models, an analysis of the final experimentation was realized, in which it was demonstrated that the application of any of the two proposals of improvement would conclude in a significant increase in the daily production, and under a study of cost and benefit it was managed to demonstrate that both proposals of improvement turned out to have a significant yield, which with no doubt is highly beneficial for the company.*

**Key Words:** *Process Improvement, Simulation.*

## 1. Introducción

El presente artículo está basado en una empresa de confección de ropa sport que cuenta con una participación aproximada del 5% del mercado nacional de jeans. Esta línea de manufactura presenta muchas oportunidades de mejora, y recibirá un enfoque específico en el proceso productivo. A continuación se detallarán los procesos que intervienen en la línea, los problemas encontrados, así como las propuestas elaboradas evaluadas en un modelo de simulación, con el fin de aumentar la productividad del proceso de manufactura.

## 2. Situación Inicial

El levantamiento del proceso se lo realizó mediante observaciones en sitio y consultas al personal de planta. En la Figura 1 se puede observar la distribución con la que cuentan los centros de trabajo.



Figura 1. Foto del Área de Manufactura

Durante el reconocimiento del proceso se observó que se elaboran cuatro productos en la misma línea, los mismos que se incluyeron en la programación del modelo de simulación. Los productos que son confeccionados en la línea son:

1. Jeans de Hombre con Bolsillos con Forro
2. Jeans de Mujer con Bolsillos con Forro
3. Jeans de Hombre con Bolsillos Falsos
4. Jeans de Mujer con Bolsillos Falsos

Como resultado del levantamiento de proceso se elaboró un diagrama de proceso dividido en tres secciones del proceso de manufactura.

1. Confección de Jeans con Bolsillos Falsos o con Forro
2. Confección de Jeans de Hombre o Mujer
3. Acabados

Así mismo se realizó el modelo de simulación utilizando cada sección como etapa para su diseño.

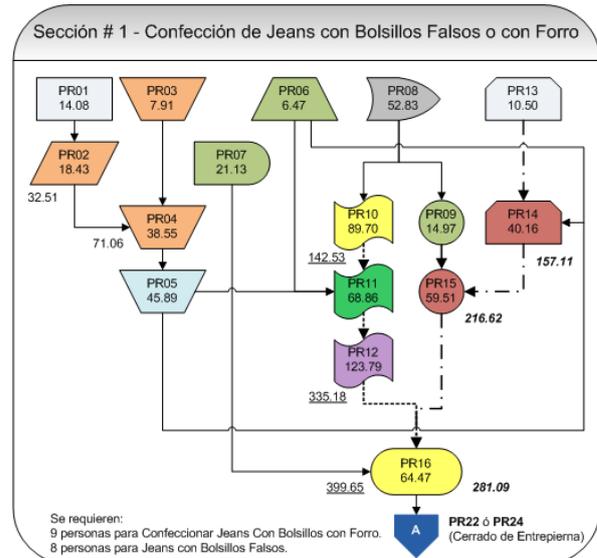


Figura 2. Sección # 1 - Confección de Jeans con Bolsillos falsos o con forro

En la Figura 2 se observa el diagrama de proceso el cual siguen los jeans independientes del modelo hasta diversificarse por jeans con bolsillos falsos y jeans con bolsillos con forro.

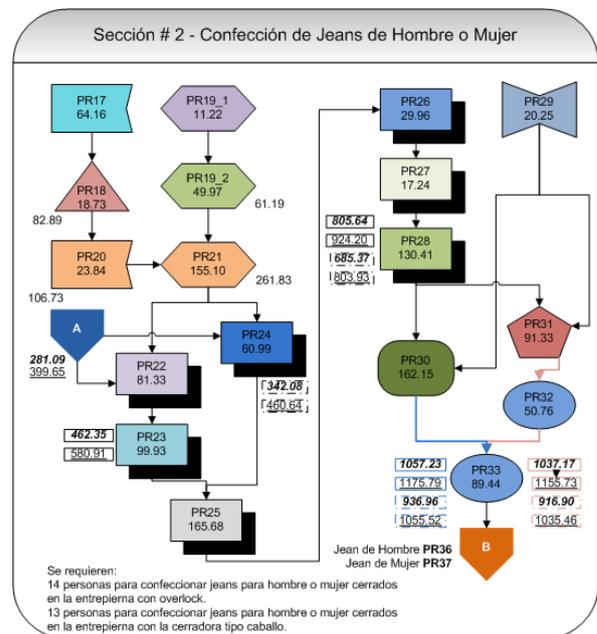
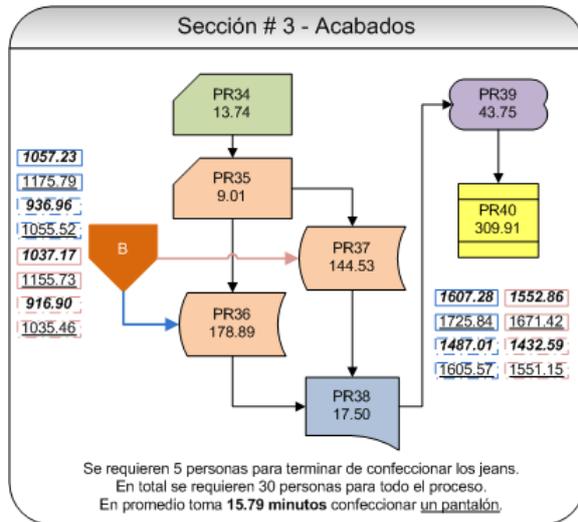


Figura 3. Sección # 2 - Confección de Jeans de Hombre o Mujer

En la Figura 3 se observa como continúa el proceso en su segunda etapa, diversificándose en Jeans de Hombre o Mujer con bolsillos falsos o con forro. Se prestó especial atención a ésta y a la siguiente sección, Sección de Acabados, Figura 4, por tener los procesos con mayor tiempo de ciclo.



**Figura 4.** Sección # 3 - Acabados

## 2.1. Levantamiento de Datos

Con el proceso estructurado se realizó el muestreo inicial, para posteriormente definir el número de muestra final utilizando el Estadístico T de “Student” como estadístico principal del estudio. Se aplicó la siguiente fórmula en el cálculo del número de muestra final [1]:

$$n = \left( \frac{s \times t_{\alpha/2, n-1}}{k \times \bar{x}} \right)^2$$

Donde:

- $\bar{x}$ : Es la media de la muestra.
- $s$ : Es la desviación estándar de los datos.
- $n$ : Es la cantidad de datos del muestreo final.
- $k$ : Porcentaje aceptable de la media, 5%.
- $t_{\alpha/2, n-1}$ : Valor de la tabla de valores críticos de la distribución T de Student, con un nivel de confianza del 95%.

Para agilidad de la toma de muestras iniciales, se tomaron 30 observaciones para las operaciones con un tiempo de ciclo aparente entre 0 y 20 minutos, 20 observaciones para las operaciones con un tiempo de ciclo aparente ente 20 y 40 minutos, y 10 observaciones para las operaciones con un tiempo de ciclo aparente mayor de 40 minutos. Con el análisis de estos datos se obtuvieron los números de muestra finales con los que se efectuará el análisis estadístico para corroborar la normalidad y la confiabilidad de los datos y posteriormente obtener los tiempos de ciclo de los procesos diagramados en las tres secciones de manufactura.

Los resultados del análisis estadístico del muestro inicial, Tabla 1, presentaron tamaños der muestra muy pequeños en muchos de los casos, que proviene de la varianza pequeña de los datos recolectados. Sin embargo en algunos casos se requirió obtener muestras adicionales.

**Tabla 1.** Tiempos obtenidos en la recolección inicial

Muestreo Inicial				
Proceso	Media	Varianza	n Inicial	Faltan
PR01	14.07	2.31	30	
PR02	18.43	2.93	30	
PR03	7.91	1.49	30	11
PR04	38.55	0.85	20	
PR05	45.89	0.79	10	
PR06	6.47	1.34	30	24
PR07	21.13	1.05	20	
PR08	52.83	1.17	10	
PR09	14.97	2.46	30	
PR10	89.7	0.69	10	
PR11	68.86	1.95	10	
PR12	123.79	2.68	10	
PR13	10.34	1.95	30	1
PR14	40.16	0.48	10	
PR15	59.51	1.05	10	
PR16	64.47	0.83	10	
PR17	64.16	4.33	10	
PR18	18.73	1.42	30	
PR19_1	11.22	1.58	30	
PR19_2	49.97	0.64	10	
PR20	23.84	0.94	20	
PR21	155.1	1	10	
PR22	81.33	1.12	10	
PR23	99.93	1.72	10	
PR24	60.99	3.49	10	
PR25	165.68	0.59	10	
PR26	29.96	0.81	20	
PR27	17.24	0.94	30	
PR28	130.41	1.15	10	
PR29	20.25	0.77	20	
PR30	162.15	3.31	10	
PR31	91.33	5.33	10	
PR32	50.76	3.05	10	
PR33	89.44	1.08	10	
PR34	13.74	2.67	30	
PR35	9.01	0.91	30	
PR36	178.89	1.63	10	
PR37	144.54	1.18	10	
PR38	17.5	1.28	30	
PR39	43.75	0.92	10	
PR40	309.91	0.59	10	

Después de la recolección de las muestras adicionales y su respectivo análisis se realizó el modelo de simulación inicial en WITNESS 2008, programando los 41 procesos de la manufactura de Jeans.

### 2.2. Modelo Inicial de Simulación

El objetivo de este modelo de simulación fue representar la situación actual de la línea de manufactura de Jeans tomando en cuenta la secuencia de los procesos que conforman la misma, con el fin de evaluar el impacto de las potenciales mejoras.

El modelo de simulación se programó incluyendo tiempos de Set-Up y tiempos de Demoras habiendo hecho un análisis de estas actividades cuando aparecieron durante el levantamiento de datos. Estos tiempos se incluyeron en cada centro de trabajo de manera de contribuir con la expectativa de obtener un modelo cercano a la realidad.

**Tabla 2.** Tiempos de Set-Up

Tiempo de Set Up	
Media	16.97
Desviación	2.2

Debido a la complejidad del modelo de simulación se utilizó un gran número de elementos para lograr la programación adecuada. Se utilizaron:

- 5 Atributos: Para determinar el tipo de producto en cada parte del proceso.

- 9 Partes: Para simular la materia prima que se requiere en la línea.
- 13 Variables: Para cumplir la función de contadores de control.
- 40 Máquinas: Para cumplir la función de las máquinas de coser en el proceso.
- 30 Trabajadores: Para cubrir los puestos de los operarios de las máquinas.

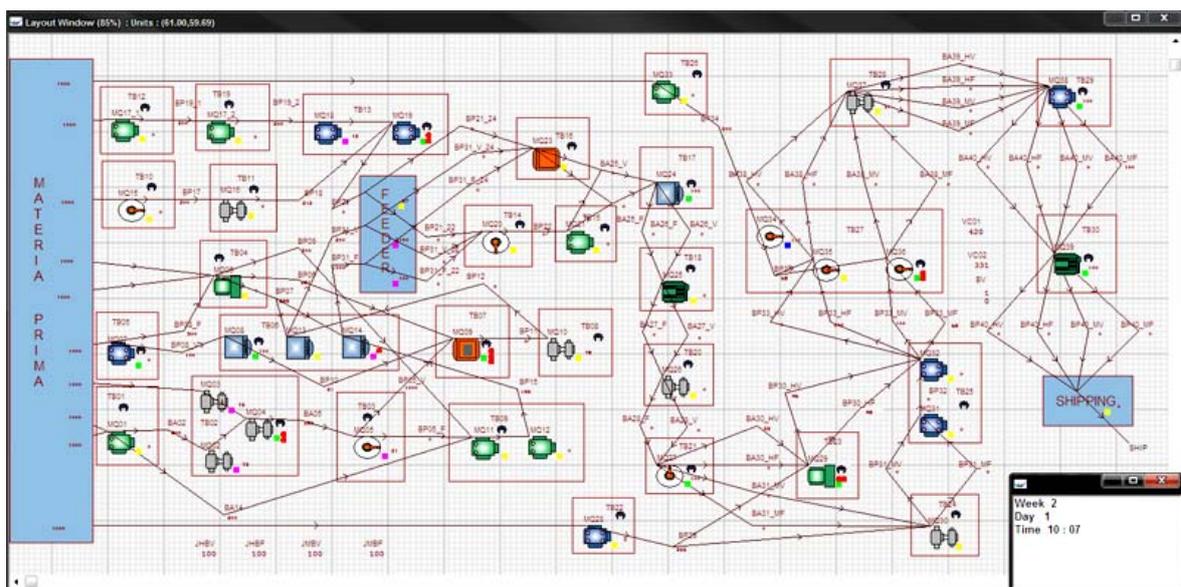
Además de los elementos utilizados también se programó el horario de trabajo para todas las máquinas y todos los trabajadores. Cabe recalcar que se determinó el domingo como un día libre.

**Tabla 3.** Tiempos de Demoras

Demoras	Media	Desviación	Probabilidad
Acomodar Materiales	5.26	2.97	7.88%
Cambio de Carrete	40.80	1.00	1.73%
Cambio de Talla	5.45	1.50	6.67%
Desprendimiento de Hilo	21.47	11.15	15.76%
Ir a dejar material	10.85	5.32	10.20%
Ir a ver material	13.61	9.27	51.99%
Preparar Material	13.10	4.54	5.78%
<b>Probabilidad Demoras</b>	<b>15.79</b>	<b>12.33</b>	<b>9.58%</b>

**Tabla 4.** Horario de Trabajo

Lunes a Viernes			Sábado		
Hora	Min	Tipo	Hora	Min	Tipo
0:00 a 8:00	480	Off	0:00 a 8:00	480	Off
8:01 a 12:00	240	On	8:01 a 12:00	240	On
12:01 a 12:30	30	Off	12:01 a 12:30	30	Off
12:31 a 18:31	360	On	12:31 a 14:31	120	On
18:31 a 23:59	330	Off	14:31 a 23:59	570	Off



**Figura 5.** Captura de pantalla de la simulación realizada

### 2.3. Warmup Time

Una vez que se tuvo el modelo de simulación elaborado, se prosiguió a determinar el tiempo de calentamiento del proceso, Warmup Time; que es el tiempo que necesita el modelo de simulación para alcanzar un nivel de producción estable.

Para la determinación del Warmup Time del modelo de simulación se realizó un estudio detallado de cuatro procesos, dos con tiempos medios de procesamiento y dos con tiempos altos, los procesos: PR11, PR24, PR25, y PR28. Uno de la sección inicial del proceso, dos de la sección intermedia, y uno nuevamente de la sección final, de manera que se logró monitorear lo que sucede en cada sección del proceso manufactura. Se dejó el modelo correr por 30 días ó 43,200.00 minutos. Ver Figura 6.

Se observó que el procesamiento de la línea comienza a estabilizarse a partir del tercer día. Sin

embargo, también se aplicó el método de las Medias Acumuladas [2] para determinar el tiempo de calentamiento según la variable de salida que lleva el control de las unidades producidas al final de la línea. Ver Figura 7.

Con este método se observó que el proceso comienza a estabilizarse a partir del quinto día de simulación. Es por esto que se estableció un tiempo de Warmup de 10,080.00 minutos, que es la primera semana completa.

Complementando este análisis se realizaron pruebas de hipótesis con los procesos 11 y 24, para comparar que los tiempos de procesamiento obtenidos de la simulación con los tiempos recolectados en el muestreo final. Se obtuvo que los tiempos de procesamiento del modelo de simulación sí fueron iguales a los obtenidos del muestreo realizado con un 95% de confianza.

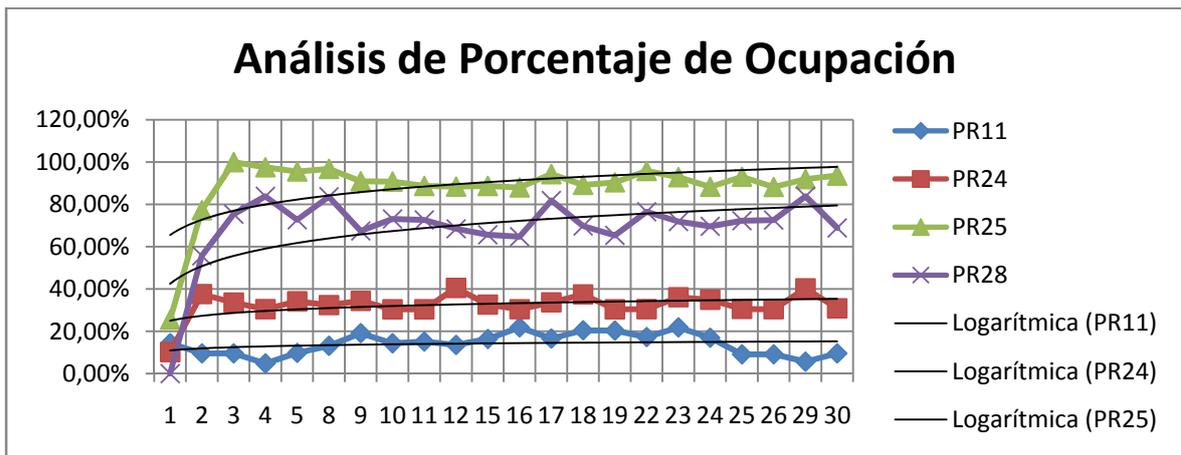


Figura 6. Análisis de Porcentaje de Ocupación

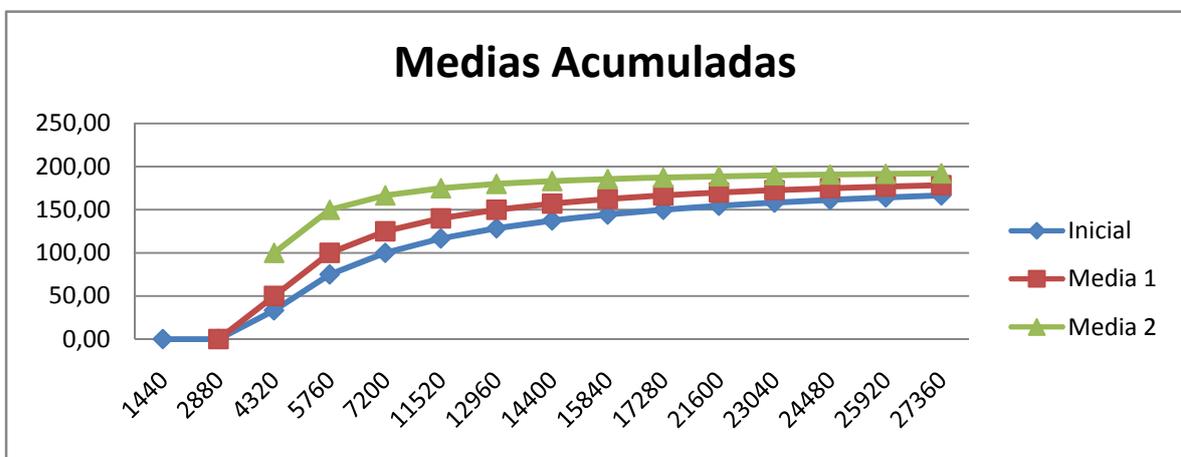


Figura 7. Resultado del Método de Medias Acumuladas

### 3. Cálculo de Número de Réplicas

Para obtener la cantidad de réplicas que se necesitan realizar al modelo de simulación se utilizó el análisis de un Intervalo de Confianza con Error Definido [2], aplicando la siguiente fórmula se determinó el número mínimo de réplicas que se deben realizar:

$$R_{min} = \left( \frac{Z_{\alpha/2} \times S_0}{\varepsilon} \right)^2$$

Donde el estadístico  $Z_{\alpha/2}$  proviene de la Distribución Normal Estándar, y  $\varepsilon$  representa al error definido. En este caso se utilizó un error de 0.1 y un nivel de confianza del 95%.

Se obtuvo un valor de 8 réplicas. Este dato sirve para el cálculo del número de réplicas final. Con la siguiente fórmula se realizó el cálculo del R final [2]:

$$R \geq \left( \frac{t_{\alpha/2, R-1} \times S_0}{\varepsilon} \right)^2$$

El R final obtenido fue mayor al R mínimo encontrado inicialmente, por lo que se ensaya en continuar el análisis incluyendo los valores inmediatos superiores al R mínimo. En este caso se obtuvo que para cumplir con las características de la prueba se deben realizar no menos de 11 (once) réplicas; valor que se consiguió al comparar el R final con el R mínimo, Tabla 5, que en este caso resultó ya ser menor. De igual manera, al haber realizado desde un principio 20 réplicas de la simulación, no fue necesario realizar réplicas adicionales.

**Tabla 5.** Valores de R final

R min	8	9	10	11	12
R	10.96	10.42	10.03	<b>9.73</b>	9.49

### 4. Propuestas de Mejora

Con todos los análisis previos se logró validar el modelo de simulación para lo cual se continuó a evaluar las oportunidades de mejora, para posteriormente ajustar el modelo según los requerimientos de cada propuesta.

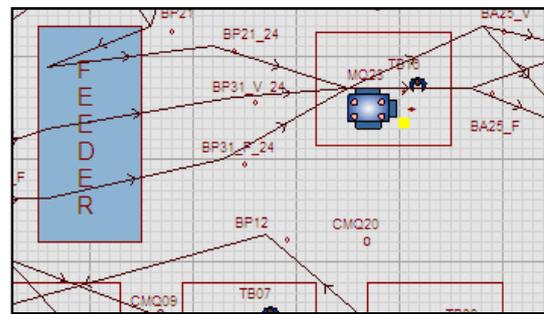
Con el análisis de la simulación se enfocaron las tareas de mejora a cambiar algunos centros de trabajo para manejar mejor la línea de producción. Se aplicaron dos opciones principales:

- A. Adquisición de una Máquina Adicional, Contratación de un Operador Adicional, y Movimiento de Operadores.
- B. Adquisición de una Máquina Adicional y Movimiento de Operadores.

#### 4.1 Propuesta de Mejora A

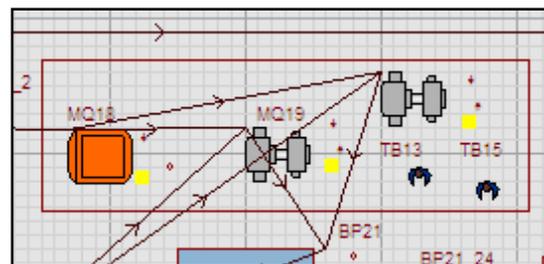
La Mejora A consistió en realizar las siguientes modificaciones en la línea de producción:

1. Eliminar el Cerrado de Entrepiera con Overlock. Ver Figura 8.



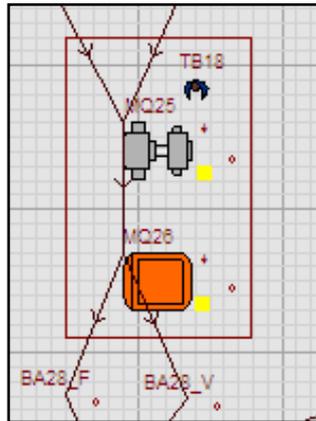
**Figura 8.** Captura Parte 1 de las Mejoras

2. Añadir una máquina y un operador al Proceso 21. Mover al Trabajador 15 y la Máquina 21 que terminaban la tarea de cerrar la entrepierna a trabajar en conjunto con el Operador 13 en el Proceso 21. Ver Figura 9.

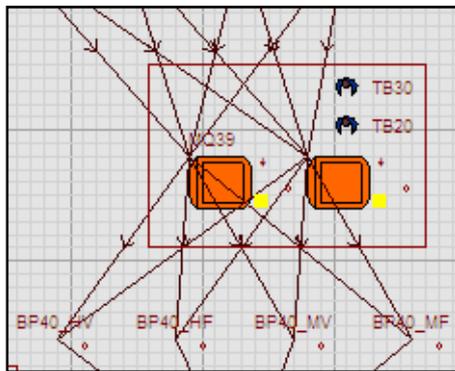


**Figura 9.** Captura Parte 2 de las Mejoras

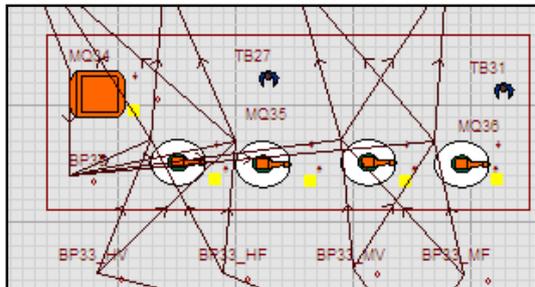
3. Unificar el Proceso 26 con el Proceso 27, que lo realice enteramente el Operador 18. Ver Figura 10.
4. Mover al Operador 20, del Proceso 27 al Proceso 40, para que asista al Trabajador 30 en las tareas de acabado. Ver Figura 11.
5. Adquirir una atracadora adicional y Contratar un Operador Adicional para Trabajar en Conjunto con el Operador 27 en las tareas de Atracado. Ver Figura 12.
6. Mover al Operador 14 con la Overlock, Máquina 20, para que asista en el Proceso 25. Ver Figura 13.



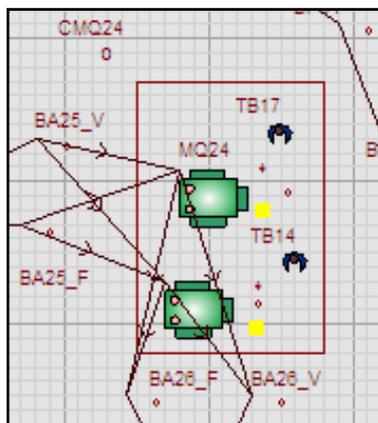
**Figura 10.** Captura Parte 3 de las Mejoras



**Figura 11.** Captura Parte 4 de las Mejoras



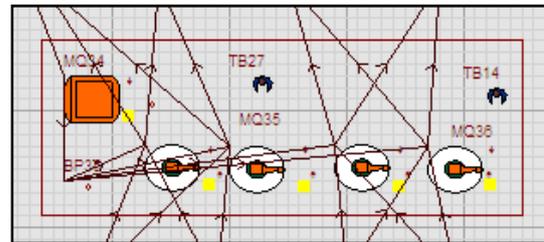
**Figura 12.** Captura Parte 5 de la Mejora A



**Figura 13.** Captura Parte 6 de la Mejora A

### 4.2 Propuesta de Mejora B

1. Eliminar el Cerrado de Entrepierna con Overlock. Ver Figura 8.
2. Añadir una máquina y un operador al Proceso 21. Mover al Trabajador 15 y la Máquina 21 que terminaban la tarea de cerrar la entrepierna a trabajar en conjunto con el Operador 13 en el Proceso 21. Ver Figura 9.
3. Unificar el Proceso 26 con el Proceso 27, que lo realice enteramente el Operador 18. Ver Figura 10.
4. Mover al Operador 20, del Proceso 27 al Proceso 40, para que asista al Trabajador 30 en las tareas de acabado. Ver Figura 11.
5. Adquirir una atracadora adicional y capacitar al Operador 14 para que trabaje en conjunto con el Operador 27 en las tareas de Atracado. Ver Figura 14.



**Figura 14.** Captura Parte 5 de la Mejora B

### 5. Resultados

Para la obtención de los resultados, nuevamente se realizó el cálculo de la cantidad de réplicas habiendo analizado los datos de 20 días de trabajo en ambos modelos de simulación.

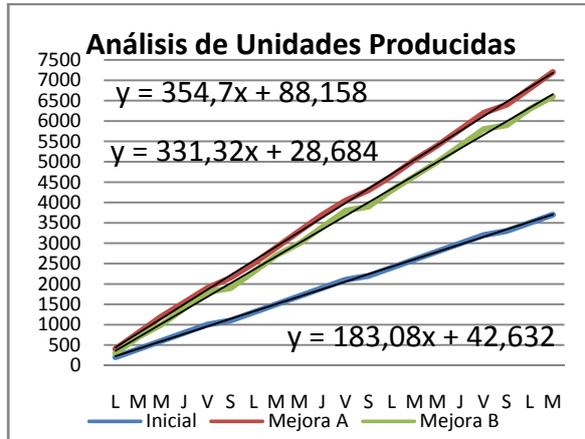
**Tabla 6.** Cálculo de R mínimo para las dos mejoras

	Mejora A		Mejora B	
	PR11	PR24	PR11	PR24
<b>Media</b>	68.83	60.99	68.86	60.98
<b>Varianza</b>	0.04	0.01	0.02	0.04
<b>Desviación</b>	0.21	0.12	0.15	0.20
<b>Máximo</b>	69.27	61.27	69.17	61.55
<b>Mínimo</b>	68.48	60.82	68.54	60.57
<b>R mínimo</b>	17.24	5.55	8.48	16.09

**Tabla 7.** Valores de R Final

R min	18	19	20	21	22
<b>R</b>	19.98	19.81	<b>19.66</b>	19.53	19.41

Se continuó el análisis de las 20 réplicas para obtener los resultados de la variable de salida que nos dicta la producción final, cuantificando las mejoras.



**Figura 15.** Análisis de las Unidades Producidas

Se logró obtener una mejora substancial con cualquiera de los dos modelos. Previamente se comprobó la confiabilidad de los datos obtenidos, cumpliendo con un nivel de confianza del 95%.

**Tabla 8.** Porcentaje de Mejora vs. Modelo Inicial

Mejora vs. Modelo Inicial	
Modelo	Producto Terminado
Mejora A	94.59%
Mejora B	78.38%

Para ambos casos el retorno de la inversión ocurre en el primer mes, lo que hace que estas opciones de mejoras sean muy beneficiosas. Son sencillas de realizar y muy baratas. En todo caso la Mejora B se diferencia de la A al no tener que crear una relación de dependencia adicional con el operador que se requiere en la Mejora A, sin embargo se sacrifica costo.

**Tabla 9.** Valores de las Mejoras en el 1er mes de Implementación

	Mejora A	Mejora B
Producción Mensual	\$ 8,600.00	\$ 7,900.00
Producción Adicional	\$ 4,200.00	\$ 3,500.00
Ingreso Adicional	\$ 8,400.00	\$ 7,000.00
Costo Operador Adicional	\$ 350.00	\$ -
Costo de Máquina	\$ 2,300.00	\$ 2,300.00
Total Gastos Mensual	\$ 2,650.00	\$ 2,300.00
Utilidad Adicional	\$ 5,750.00	\$ 4,700.00

## 6. Conclusiones

- Se obtuvo satisfactoriamente un incremento significativo en la productividad de la línea con las mejoras propuestas, logrando alcanzar el objetivo de este trabajo.

- Se desarrolló un modelo de simulación en WITNESS del proceso completo de confección de Jeans para hombre y mujer con bolsillos falsos o con forro, mediante la recolección de datos dentro de la empresa. El mismo que fue validado al corresponder los datos arrojados por la simulación con los recogidos, otorgando un alto nivel de confianza.
- Con la implementación de las mejoras se logró obtener una reducción del tiempo de ciclo con ambas propuestas de mejora.
- La mejora del proceso contribuyó a tener una línea de producción con un flujo más estable de material, que se reflejó en el aumento de producción. Sin embargo este aumento en la producción aún no permite que la línea funcione con total eficiencia.
- Las mejoras permitirán a la empresa gozar de un ingreso adicional significativo.
- La implementación de las mejoras en el modelo de simulación fue un éxito completo, muy útil debido a la complejidad del proceso de manufactura, en el que los operadores realizaban más de una operación. Es esta peculiaridad de la línea, combinada con la cantidad de actividades que se realizan en la manufactura de los jeans, que dificulta el análisis e hizo que realizar la simulación sea un reto.
- En un proceso de manufactura donde los operadores realizan actividades combinadas es muy importante prestar atención a la ocupación de cada una de esas actividades así como del trabajador, para de esa manera encontrar las verdaderas deficiencias en la línea de producción.

## 8. Agradecimientos

A Dios por sus bendiciones a lo largo de mi vida, a mis padres y a mi hermana por su ejemplo y su constante e incondicional apoyo, a todos los profesores de la carrera por su paciencia y su intelecto, y así mismo a todos mis verdaderos amigos, en especial a Carito y Julio.

## 7. Referencias

- NIEBEL, B., "Ingeniería Industrial Estudio de Tiempos y Movimientos", México, Representaciones y Servicios de Ingeniería S.A.
- BANKS, J., CARSON, J., "Discrete-Event Simulation", Prentice Hall International, Series in Industrial and Systems Engineering.

---

Dr. Kléber Barcia  
Director de la Tesis