

# Diseño de una línea de costura mediante la simulación en Simio y balanceo de líneas.

A. A. Rodríguez Duran<sup>1\*</sup>, C. G. Moras Sánchez<sup>1</sup>, A. Alvarado Elías<sup>1</sup>, A. A. Aguilar Lasserre<sup>1</sup>, R. S. Alavés Duran<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba, Avenida Oriente 9. Núm.852 Col. Emiliano Zapata, C.P.94320, Orizaba, Veracruz., México.

<sup>2</sup>Supervisión Escolar 140, Calle Prados Avenida Álamo Núm.213 Col. El bosque, C.P. 94740 Cd. Mendoza, Ver.  
rduranairam@gmail.com

**Área de participación:** Ingeniería Industrial

## Resumen

La simulación consiste en evaluar un modelo numéricamente en cierto periodo de tiempo de interés, esta herramienta tiene ventajas las cuales van desde el análisis de un proceso hasta establecer la mejor decisión para realizar inversiones de manera inteligente y exitosa. (Bolaños , 2014) El presente estudio lleva a cabo la simulación del balanceo de líneas del área de esta costura de una manufacturera. El modelo de simulación permitirá el óptimo establecimiento de una nueva línea de producción. La metodología de simulación es de la propuesta por Law y Kelton. Se acordó con el director general de la empresa que la producción diaria planeada fuera de más de 2000 piezas en un turno laboral de nueve horas, por lo que el estudio está determinado por ese tiempo, analizando cuellos de botellas, el número de trabajadores, numero de maquinaria y el pedido de materia prima requeridos para esta nueva línea.

**Palabras clave:** Simulación, Simio, balanceo de líneas, producción diaria.

## Abstract

The simulation consists of evaluating a model numerically in a certain period of time of interest, this tool has advantages which range from the analysis of a process to the establishment of the best decision to make investments in an intelligent and successful way. The present study carries out the simulation of the balancing of lines of the seam area of a manufacturer. The simulation model will allow the optimal establishment of a new production line. The simulation methodology is the one proposed by Law and Kelton. It was agreed with the CEO of the company that the planned daily production was more than 2000 pieces in a nine-hour work shift, so the study is determined by that time, analyzing bottlenecks, the number of workers, number of machinery and the order of raw material required for this new line.

**Key Words:** Simulation, Simio, line balancing, daily production.

## Introducción

La simulación es una herramienta computacional que permite analizar el comportamiento de un sistema, mediante la construcción de un modelo, con el fin de evaluar diferentes condiciones de operación que podrían significar una mejora en una medida de efectividad del proceso bajo estudio. Esta herramienta nos permite encontrar la configuración óptima de los recursos involucrados en el proceso que maximicen o minimicen una variable de respuesta de este sistema. Permite comparar diferentes alternativas evaluadas y seleccionar la que presente mejores resultados. Es claro que este enfoque presenta la desventaja que la mejor solución posible no necesariamente fue encontrada. Como respuesta a esta problemática surge como alternativa el concepto de optimización en simulación. Este concepto integra un modelo de simulación tradicional con alguna herramienta de optimización que permita servir de motor de búsqueda para encontrar mejores soluciones. El presente proyecto modeló el diseño de nueva línea de producción de costura, aplicando la técnica de balanceo de líneas junto con la simulación en Simio. Dentro de este proyecto se utilizó la metodología de simulación propuesta por Law y Kelton, para encontrar la mejor configuración de recursos que permitan optimizar el nuevo proceso. La empresa manufacturera en la que se trabajó produce uniformes escolares y requirió de la metodología de simulación para diseñar su proceso de fabricación, por lo cual se realizó un modelo de simulación el cual ayudó a la toma de decisiones.

## Metodología

El presente trabajo de investigación se realizó para analizar el nuevo diseño de fabricación de un suéter en el área de costura de una empresa manufacturera. Para la presente investigación será empleada la metodología de simulación propuesta por (Law, 2015), la cual está basada en el método científico. En el presente trabajo se realiza la simulación de las estaciones de trabajo dentro del área de costura para dar a conocer el rendimiento del sistema, poder identificar las áreas de oportunidad dentro de este proceso y sobre todo evaluar los recursos necesarios para su creación.

La metodología propuesta consiste de 10 etapas, cada una de ellas contiene tareas específicas y objetivos a alcanzar para validar de manera correcta la simulación. La siguiente tabla muestra el estudio que se llevó a cabo presentando cada uno de los pasos propuestos por Law y Kelton

**Tabla 1 Aplicación de la metodología Law-Kelton**

Paso	Metodología de simulación Law - Kelton	Actividades realizadas
1	Formular el problema y planear el estudio	Realizar el análisis actual del proceso para conocer las necesidades de la empresa.
2	Recolectar datos y definir el modelo	Recolección de datos del proceso de manufactura para la definición del modelo de simulación.
3	Validar el modelo conceptual	Verificación del modelo conceptual con los datos recopilados
4	Construir el modelo	Construcción del modelo de simulación utilizando el software SIMIO
5	Realizar corridas piloto	Realizar corridas para validar el modelo de simulación.
6	Validar el modelo programado	Validar el modelo mediante la opinión de los expertos
7	Diseño de experimentos	Definición del número de experimentos para la validación del modelo
8	Realizar corridas del programa	Realizar el número de corridas óptimas para analizar el modelo de simulación
9	Analizar datos de salida	Análisis de la producción real en relación a la producción simulada para la optimización del proceso.
10	Documentar e interpretar los resultados	Documentación del trabajo de investigación e interpretación de la salida para la propuesta de mejora.

### Paso 1. Formular el problema y planear el estudio

La primera etapa consiste en la planeación del sistema del área de costura para definir los alcances y limitaciones, elaborando un modelo de simulación en el software SIMIO, evaluando el proceso de manufactura para la optimización del mismo. El proceso para la fabricación del suéter consiste en 12 operaciones que se mencionan más adelante en la Tabla 3. Las medidas de desempeño a evaluar son: piezas de escudos, piezas de cuerpo, piezas de espalda, piezas de puño, piezas de manga, piezas de pretina, piezas de tira, piezas de botón, suéteres terminados por hora. Para llevar a cabo el proceso de fabricación del suéter en el área de costura se a planeado que se cuente con máquinas, operadores y la materia prima que será la tela jaquard. La cantidad de maquinas y operadores se determinará en el paso 2. (Gomez , Hernadez , & Correa , 2016)

### Paso 2. Recolectar datos y definir el modelo

En el segundo paso se utilizó el estudio de tiempos y movimientos en el cual se fueron recolectado 10 observaciones de los tiempos de las actividades desempeñadas de cada operador en el área de costura debido a las instrucciones del director general de la empresa. El estudio debe cumplir ciertos requerimientos fundamentales antes de tomar la muestra los cuales son: el operario tiene que verificar que aplica el método correcto y debe estar familiarizado con todos los detalles de esa operación. También investigar la cantidad disponible de material para que no ocurran faltantes durante el estudio. Si el evaluador dispone de varios operadores, debe determinar quién tendrá los resultados más satisfactorios, cabe de mencionar que los seleccionados para este paso cumplen con cierta experiencia tanto en el manejo de la maquina como en la actividad (Niebel & Freivalds, 2004)

## Estudio de tiempos y movimientos

A continuación se muestran los resultados del análisis de tiempos y movimientos del área de costura. En la Tabla 2 se muestra un ejemplo del análisis de una de las actividades llevadas a cabo para la elaboración de una de las partes que conforman al suéter. La operación que se toma de ejemplo es en la que se pega el escudo con el delantero del suéter, para esta operación se necesita operar en una máquina recta exedra ya que corta automáticamente el hilo, se realizó el estudio de tiempos con un operador que tuviera experiencia en este tipo de máquina.

Como resultado del análisis se obtuvo un tiempo estándar de 0.604 minutos, haciendo 99 piezas por hora y 893 por turno.

**Tabla 2 Formato de estudios de tiempo y movimientos (Pegar escudo)**

HOJA DE OBSERVACIONES PARA ESTUDIO DE TIEMPOS DEL SUETER ESCOLAR														
OPERACIÓN				FECHA				LECTURA						
Pegar escudo				24/11/2015				De vuelta a cero.						
HORA INICIAL		HORA FINAL		APROBADO POR:				OBSERVO:						
08:20		10:00												
ELEMENTOS	NUMERO DE CICLOS OBSERVADOS EN SEGUNDOS										ΣT	T	RF	TN
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
Tomar y posicionar la prenda	6.7	6.2	6.4	7.1	6.9	7.2	6.8	6.8	6.1	6.7	66.9	6.69	1.07	7.158
Tomar y posicionar el escudo	2.9	2.5	2.2	3.1	2.9	3.1	3.4	3.2	4.1	3.4	30.8	3.08	1.07	3.296
Coser escudo	11.6	11.5	10.9	14.3	12.1	13.1	14.7	12.3	13.1	15.5	129.1	12.91	1.07	13.81
Remate de la prenda y el escudo.	1.8	2.1	1.9	2.6	2.3	2.1	2.4	1.9	2.4	1.8	21.3	2.13	1.07	2.279
Tomar y posicionar la otra parte delantero para hacer pares	2.6	2.4	2.1	3.3	3.1	2.6	2.8	2.8	2.7	3.1	27.5	2.75	1.07	2.943
Dejar las dos prendas	1.6	1.6	1.3	3.4	3.2	2.1	1.5	1.7	1.4	1.5	19.3	1.93	1.07	2.065
ΣT	27.2	26.3	24.8	33.8	30.5	30.2	31.6	28.7	29.8	32			ΣTN	31.55

TIEMPO ESTANDAR= TN(1+TOLERACIAS)

TS= 31.55 (1+ 0.15 ) SEG  
 TS= 36.287445 SEG  
 TS= 0.60479075 Min.

Producción por hora= 60/ TS  
 Producción por hora= 60/ 0.605 MIN  
 Producción por hora= 99 PZS \*HR

Producción por turno= Pza. \* Hr  
 99 Pza. \* 9 Hr.  
 893 Pza. por turno

FACTOR DE ACTUACIÓN	
Habilidad	0.04
Esfuerzo	0.06
Condiciones	-0.04
Consistencia	0.01
Calificación total (1+suma)	1.07

TOLERANCIAS	
Fatiga	0.04
Necesidades personales	0.05
Permanecer parado	0
Posición molesta	0.02
Condiciones ambientales	0.03
Monotonía	0.01
Total de tolerancias	0.15

## Balanceo de líneas

De acuerdo con los datos obtenidos en el estudio inicial se realizó el balanceo de líneas. En la Tabla 3 se muestran las operaciones ya analizadas junto con los tiempos obtenidos para cada sección del proceso, así como la precedencia de cada operación.

**Tabla 3 Operación, tiempo y precedencia.**

Operación	Precedencia	Tiempo
A) Pegar escudo	-	0.605 min
B) Unir hombro	A	0.287 min
C) Pegar manga	B	0.644 min
D) Cerrar costado	C	0.734 min
E) pegar pretina	D	0.612 min
F) Cerrar puño	-	0.336 min
G) Pegar puño	E,F	0.999 min
H) Encajonar tira	-	0.297 min
I) Cerrar tira	H	0.775 min
J) Pegar tira	G,I	0.921 min
K) Taqueo de tira	J	0.266 min
L) Ojal	K	0.487 min
M) Botón	L	0.244 min

**Tabla 4 Balanceo de línea**

Operación	Precedencia	Tiempo	Numero de operadores.	Numero de operadores	Tiempo estándar asignado
A) Pegar escudo	-	0.605 min	2.358	3	0.202
B) Unir hombro	A	0.287 min	1.119	2	0.144
C) Pegar manga	B	0.644 min	2.512	3	0.215
D) Cerrar costado	C	0.734 min	2.861	3	0.245
E) pegar pretina	D	0.612 min	2.384	3	0.204
F) Cerrar puño	-	0.336 min	1.311	2	0.168
G) Pegar puño	E,F	0.999 min	3.894	4	0.250
H) Encajonar tira	-	0.297 min	1.159	2	0.149
I) Cerrar tira	H	0.775 min	3.021	3	0.258
J) Pegar tira	G,I	0.921 min	3.589	4	0.230
K) Taqueo de tira	J	0.266 min	1.037	1	0.266
L) Ojal	K	0.487 min	1.900	2	0.244
M) Botón	L	0.244 min	0.953	1	0.244

Índice de producción 3.70 Pzas./min  
 Eficiencia planeada 95%  
 Operación mas lenta 0.27 min  
 Producción diaria 2031 Pza./turno  
 Criterio de redondeo 0.17 seg  
 Eficiencia de la línea balanceada 82.14 %

El índice de producción obtenido se muestra en la Fórmula 1

**Fórmula 1**  $IP = \frac{PR}{TF} = \frac{2000}{540} = 3.70 \frac{Pzas.}{min}$

Donde:  
 IP= Índice de producción.  
 PR=Producción requerida.  
 TF=Tiempo de fabricación.

Gracias al resultado anterior se obtuvo el número de operadores con la Fórmula 2, la cual se aplicó a cada estación de trabajo, utilizando un porcentaje de eficiencia del 95%.

**Fórmula 2**  $NO = \left(\frac{IP}{EP}\right) (TE)$

Donde:  
 NO=Número de operadores.  
 EP=Eficiencia planeada.  
 IP= Índice de producción.  
 TE=Tiempo estándar.

A continuación se muestra un ejemplo de la Fórmula 3 aplicada a una de las etapas del proceso de manufactura. Pegar escudo:

**Fórmula 3**  $NO = \left(\frac{IP}{EP}\right) (TE) = \left(\frac{3.70 \text{ min}}{95\%}\right) (.605 \text{ min}) = 2.358 \text{ operadores} \approx 3 \text{ operadores}$

Para la obtención de la eficacia de la línea balanceada y la producción del día se debe obtener primero el tiempo estándar asignado (TEA) determinado mediante la Fórmula 4:

**Fórmula 4**  $TEA = \frac{TE}{NO}$

Para comprobar que los números de operadores obtenidos fueron óptimos se debe conocer la producción del día (PD) y la eficiencia de la línea balanceada, estos valores se obtienen de la operación del tiempo estándar asignado más lento que rige en la producción final.

**Fórmula 5**  $PD = \left(\frac{(NO)(TF)}{TE}\right) = \left(\frac{(1 \text{ operador})(540 \text{ min})}{.266 \text{ min}}\right) = 2031 \frac{Pzas.}{Turno}$

Mediante la aplicación de las fórmulas se determinó que la cantidad de máquinas y operadores necesarios para cumplir con la producción de más de 2000 suéteres en un turno de 9 horas fue de 34 máquinas y 34 operadores

### Paso 3. Validar el modelo conceptual

El modelo conceptual fue cosntruido a partir de la planeacion del proceso realizada con el balanceo de lineas en el paso anterior. El balanceo de lineas del proceso incluye las 12 operaciones listadas en la tabla 4. La cantidad de operarios para cada operación se muestran en la columna 5 de la misma tabla, sumando un total de 33 operadores. En este tipo de proceso de costura, cada operador es asignado a una máquina, por lo que se tendra un total de 34 máquinas. Y el modelo conceptual se muestra en la figura 1.

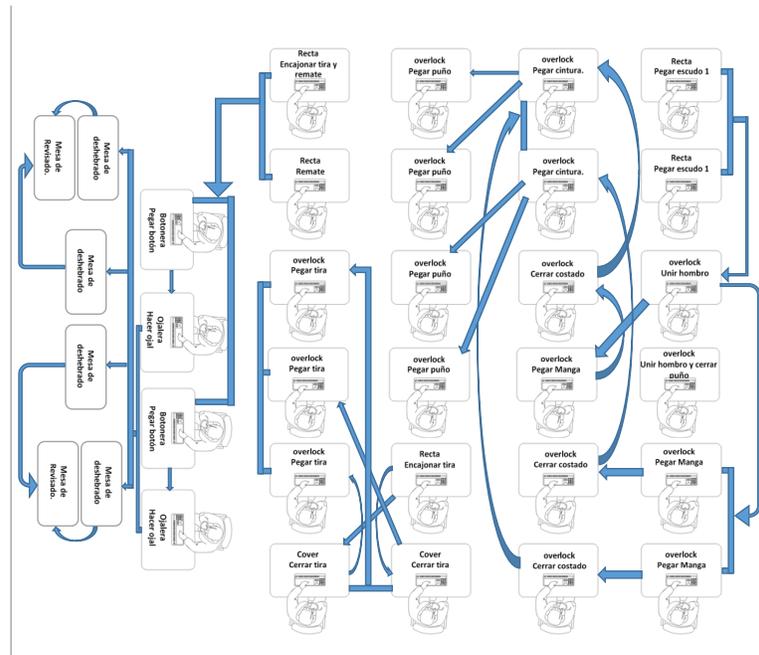


Figura 1. Modelo conceptual del área de costura.

### Paso 4. Construcción del modelo de SIMULACIÓN

Para la construcción del modelo de simulación se utilizó el software SIMIO. Este modelo se desarrolla gracias al modelo conceptual del proceso de manufactura. El modelo de simulación cuenta con doce etapas de construcción, una por cada proceso de fabricación del suéter, para realizar lo que es la simulación completa del proceso de manufactura. La representación gráfica del modelo de simulación en Simio en 2D se muestra en la figura 2 , mientras que en 3D se muestra en la figura 3.

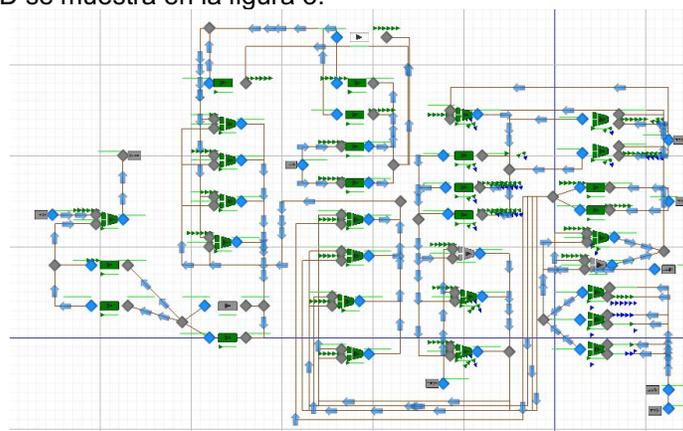


Figura 2. Modelo de Simulación en Simio en 2D del área de costura.



Figura 3. Modelo de simulación en Simio en 3D del área de costura.

### Paso 5. Realizar corridas piloto.

Se realizaron corridas piloto en el modelo de simulación para obtener los resultados que sirvan de referencia a una próxima validación del modelo. El total de corridas piloto fueron 20 utilizando diferentes números pseudoaleatorios para obtener diferentes resultados, el promedio fue de 2013.65 suéteres producidos en una jornada de 9 horas.

### Paso 6. Validar el modelo programado

Dentro de este paso se procede a validar el modelo de simulación con los resultados obtenidos en las corridas, realizando un analisis de ellos con el director general y la jefa de producción. El proceso de validación se llevó a cabo de esta manera debido a que no se cuenta aún con un punto de comparación con el sistema real, ya que éste será implementado después del analisis de los resultados del modelo de simulación.

### Paso 7. Diseño de experimentos

Para realizar los experimentos dentro del modelo de simulación es necesario encontrar el número óptimo de corridas.

Para calcular el número óptimo de corridas se utilizó la siguiente la Fórmula 6:

$$\text{Fórmula 6} \quad n * (\beta) = \min \left\{ i \geq n: t_{i-1, 1-\frac{\alpha}{2}} \sqrt{\frac{S^2(n)}{i}} \leq \beta \right\}$$

Se estableció un nivel de confianza del 90% con un error absoluto  $\beta$  de 200 suéteres. Los resultados del número óptimo de corridas se muestran a continuación.

Tabla 5 Número de corridas óptimas para la variable producción diaria de suéteres.

Estadístico	Producción diaria de suéteres en unidades
$\bar{X}$	2021.65
$S^2$	268.45
$\alpha$	0.1
$i=$	746
$t_{i-1, 1, \alpha/2} * \sqrt{\frac{S^2(n)}{i}}$	1.6469
Numero óptimo de corridas	746

### Paso 8. Realizar corridas del programa.

Para este paso se realizó un experimento en Simio corriendo el modelo 746 réplicas. El tiempo de cada corrida fue una jornada laboral de 9 horas.

### Paso 9 y 10. Analizar datos de salida y documentarlos

Se analizaron los datos de salida para identificar las áreas de oportunidad que permitan mejorar el sistema estudiado. Los resultados de las corridas del modelo dan a conocer el funcionamiento del sistema de producción planeado, midiendo el desempeño de sus procesos.

### Resultados y discusión

Entre los resultados obtenidos se encuentra una eficiencia del 82.14% gracias al balanceo de líneas, de acuerdo a la Fórmula 7.

Fórmula 7

$$E = \left[ \left( \frac{\sum TE}{TEA} \right) (\sum NO) \right] [100] = \left[ \left( \frac{7.207}{.266} \right) (33) \right] [100] = 82.14\%$$

Para cumplir con la producción total de suéteres requerida en el área de costura el modelo de simulación mostró como resultado un tiempo de fabricación de 224 suéteres por hora en promedio. Mediante la realización de un experimento con 746 réplicas dentro de una jornada laboral de 9 horas, se puede observar un promedio de producción total diaria de 2016 suéteres, esto cumple satisfactoriamente con la producción deseada por el director de la empresa. El promedio de producción diaria de suéteres en las horas establecidas por jornada laboral se muestra a continuación.



Figura 4. Gráfica de producción de suéteres por hora en una jornada laboral de 9 horas

Para la visualización del porcentaje de utilización de cada operador dentro del sistema de simulación se presentara en la Figura 5 la cual aunque muestra porcentajes altos, sin embargo, se recuerda que se realizó un estudio de tiempos para tomar en cuenta la tolerancias de cada trabajador.

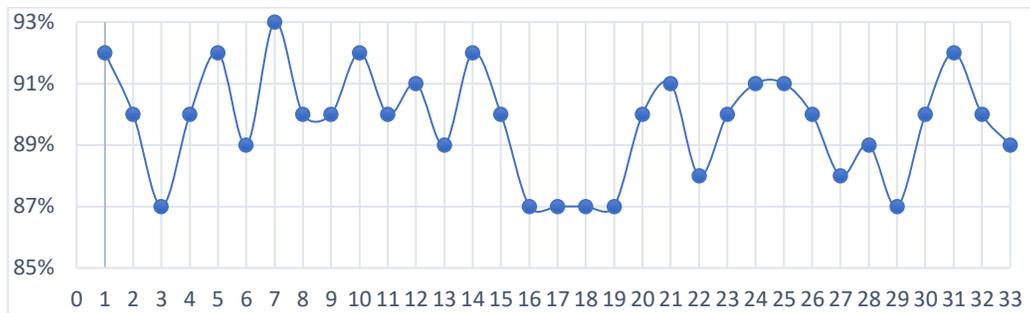


Figura 5. Porcentaje de utilización de cada operador

### Trabajo a futuro

Dentro de los trabajos a futuro se encuentra la optimización de las diferentes áreas y productos que maneja la empresa manufacturera ya que este procedimiento fue aplicado únicamente al proceso de fabricación de un suéter escolar en el área de costura, se ha demostrado en esta investigación que la elaboración de un modelo de simulación en conjunto con el estudio de balanceo de líneas permite la optimización de los procesos en la industria. Por lo tanto existe la posibilidad de llevar a cabo un modelo de simulación independiente de cada proceso generando la factibilidad de optimizar por completo los procesos de manufactura en las empresas de manufactura. (G, S, & A, 2015)

### Conclusiones

La optimización de un proceso de manufactura mediante la validación de un modelo de simulación correlacionado con el estudio de balanceo de líneas demuestra ser una herramienta eficaz en la reducción de costos, mayor aprovechamiento de la materia prima y reducción de tiempos. Además la metodología de simulación propuesta por Law y Kelton basada en el método científico permitió analizar a fondo el sistema real para después generar el modelo de simulación y encontrar áreas de oportunidad en la optimización de procesos.

Se obtuvo resultados satisfactorios ya que con la ayuda de las herramientas de estudio del trabajo y el software Simio se llegaron a los resultados esperados por parte de la empresa, ya que se logró una producción diaria de mas de 2000 prendas y una eficiencia de la línea de 82.14% para que no hayan cuellos de botella que puedan retrasar a la línea de producción.

### Referencias

1. Law, A. y. (2015). *Simulation Modeling and Analysis*. New York: McGraw-Hill.
2. Bolaños , O. P. (2014). Importancia de la simulación en la mejora de procesos . México, México.
3. G, V. A., S, L. P., & A, C. M. (2015). Simulación y Optimización de la Logística de Materiales y Productos Finales Asociados a una Línea de Envasado de Latas. *Simposio Argentino de Informática Industrial.*, 135.
4. Gomez , R. M., Hernadez , J. V., & Correa , A. C. (2016). Análisis de un sistema de producción de cárnicos utilizando simulación discreta. *Espacios* , 12.
5. Niebel, B., & Freivalds, A. (2004). *Ingeniería industrial: métodos, estdares y diseño del trabajo*. Alfaomega.
6. Shannon, R. (1988). *Simulación de sistemas: diseño, desarrollo e implementación* (Vol. 1). México, México: Trillas.