



Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica

Página principal: www.riit.com.mx

Diseño de un modelo de simulación, utilizando un software de eventos discretos, en una línea de producción de tejido industrial

Design of a simulation model, using a software of discretional events, in a production line of industrial knitting

García-Jacobo, F.¹, Romero-Guerrero, J.A.²

- ¹ Adscripción a posgrado, Manufactura Avanzada CIATEQ, Toluca, Estado de México.
² Posgrado, Manufactura Virtual, LEAN, CAD CAE, CIATEQ, Ciudad Sahagún, Hidalgo.
CIATEQ, A.C. Centro de Tecnología Avanzada, cede Toluca.
Circuito de la Industria Poniente No.11 Lote 11 Mz 3, Parque Industrial Ex Hacienda.
Lerma de Villada, Toluca, Estado de México, México, C.P. 52004.
felipgj@hotmail.com; adan.romero@ciateq.mx

Área de aplicación industrial:

Producción y Almacenes (representación de flujos de trabajo, flujo de materiales, balance de líneas, distribución de instalaciones, disminución de costos en el manejo de materiales, flujos o distribuciones en áreas productivas).

Enviado: 12 febrero 2019.

Aceptado: 21 octubre 2019.

Abstract

Computer simulation is a technique that allows us to imitate (or simulate) in a computer the behavior of a physical or theoretical system according to particular conditions of operation [1]. Currently we have different software that allows us to simulate such as: Delmia Quest, Arena, Witness, FlexSim, among others. Each one of them consists of computer techniques that allow the creation of dynamic models, which will later serve to analyze the behavior of that model in different circumstances, analyzing the possible changes and their consequences, in such a way that allows to test the hypothesis before implementing them in reality [2]. The objective of this article is to show, in summary, a simulation of an industrial process, using discrete event simulation software "FlexSim". It will teach the various stages in a brief way of an industrial process and its results as well.

Key words: Discrete event simulation software. Probability distributions. Simulation models of discrete events.

Resumen

La simulación digital es una técnica que nos permite imitar (o simular) en un ordenador el comportamiento de un sistema físico o teórico según ciertas condiciones particulares de operación [1]. Actualmente se tienen distintos software que nos permite simular como: Delmia Quest, Arena, Witness, FlexSim, entre otros. Cada uno de ellos consta de técnicas informáticas que permiten crear modelos dinámicos, que posteriormente servirán para analizar el comportamiento de ese modelo en diferentes circunstancias, analizando los posibles cambios y sus consecuencias, de tal manera que permite comprobar las hipótesis antes de implementarlas en la realidad [2]. El objetivo del presente artículo es mostrar en forma resumida, una simulación de un proceso industrial, utilizando un software de simulación de eventos discretos “FlexSim” y con él, enseñar las diversas etapas en forma breve de un proceso industrial y sus resultados.

Palabras clave: Distribuciones de probabilidad, Modelos de Simulación de eventos discretos, Software de simulación de eventos discretos.

1.- Introducción

Simular es imitar la conducta de un proceso o sistema del mundo real a través del tiempo. Comprende la generación de una historia artificial del sistema y a partir de su análisis se logra obtener conclusiones relativas a las características de operación del sistema real.

Mediante la simulación se recogen datos de funcionamiento del sistema, lo que posibilita estimar las medidas de desempeño del mismo. La conducta de un sistema que evoluciona a través del tiempo se estudia mediante el desarrollo de un modelo de simulación.

Analizando los resultados obtenidos, se refiere que los modelos de simulación reproducen los sistemas reales de producción y, por consiguiente, se muestran como una herramienta de gran utilidad para efectuar un estudio detallado tanto de la capacidad como estimación de los tiempos de producción.

Es notable que los sistemas productivos evolucionen a lo largo del tiempo, por lo que debe tenerse en cuenta su naturaleza dinámica. A pesar de que determinados sistemas pueden considerarse como

continuos, la mayoría de los sistemas productivos tienen características de ser sistemas discretos, ya que los cambios de estado se producen en instantes de tiempo determinado y separados entre sí. Por tal motivo esta documentación se centra en la simulación de sistemas discretos dinámicos [3].

2.- Marco Teórico

2.1 Definición de “Sistema”

En el contexto de la ingeniería esta palabra se describe de formas distintas dependiendo el área. Para el ingeniero mecánico “sistema” es la relación entre el conjunto de mecanismos dispuestos a producir o aprovechar energía motriz. Para el ingeniero en sistemas computacionales “sistema” es la base de datos, los programas para manejar esa base de datos, la infraestructura computacional para almacenarla y ejecutar los programas, así como los procesos operativos que hacen posible el uso efectivo de la información de esta. Mientras tanto, para un ingeniero industrial un sistema, es el conjunto de maquinaria, trabajadores y procesos que

interactúan para producir un producto o dar un servicio.

En el contexto de la simulación definiremos “sistema” como un conjunto de entidades encapsuladas en un área definida, física o virtual, y que siguen reglas de operación para poder responder a estímulos de entidades externas que cruzan los límites hacia el interior de esa área con el objetivo de obtener un servicio o resultado. La palabra “entidad” se refiere a un objeto o persona mientras que las “reglas de operación” son proceso o ecuaciones. El punto primordial de la definición de sistema es que existen objetos que colaboran, de acuerdo a ciertas reglas, para lograr un objetivo [4].

2.2 Concepto teórico de simulación de eventos discretos

Los procesos industriales están constituidos por modelos dinámicos, aleatorios y discretos por lo que para su representación se requiere la denominada simulación de eventos discretos, con lo cual se representan y analizan este tipo de modelos [5].

Las causas de cambio de estado de los eventos, se pueden producir en instantes de tiempo no definidos (ver figura 1).

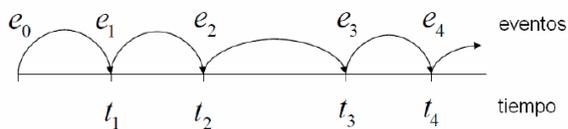


Figura 1. Concepto teórico de simulación de eventos discretos [5].

Entonces se tienen sistemas de eventos discretos, cuando la variable de estado de estos cambia de manera discreta y es afectada por un conjunto de eventos o actividades del sistema. Por ejemplo, en una estación de servicio, en donde la variable de estado se define por el número de clientes que se encuentra en la estación, esta variable se modifica por al menos dos eventos: el primero es el evento de llegada de clientes y el segundo es evento de salida de estos una vez se les ha brindado el servicio que requieren [4].

2.3 ¿Qué es la simulación de Procesos Industriales?

La simulación de procesos industriales, basada en la técnica de simulación de eventos discretos, es una técnica informática que permite crear modelos dinámicos de una fabricación o de un sistema logístico, que posteriormente servirán para analizar el comportamiento de ese modelo en diferentes circunstancias, analizando los posibles cambios y sus consecuencias, de tal manera que permite comprobar las hipótesis antes de implementarlas en la realidad [5].

En la figura 2, se puede observar de forma gráfica lo antes referido.

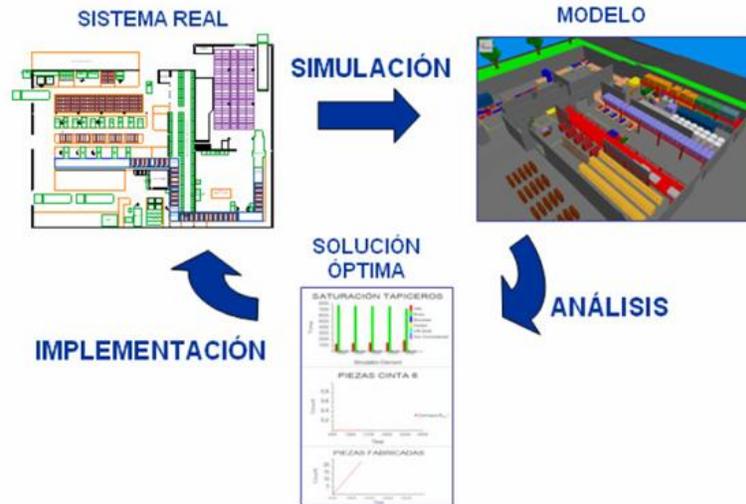


Figura 2. ¿Qué es la simulación de procesos industriales?

2.4 Planteamiento de un proyecto de simulación

Para llevar a cabo un proyecto de simulación es necesario la construcción de un modelo que represente el funcionamiento de los procesos existentes o propuestos de la empresa. Posteriormente se realizarán pruebas y se analizarán, con el modelo construido previamente, los resultados de las diferentes alternativas, sin interferir en la operativa y actividad diaria de la empresa [6].

2.5 Etapas de un proyecto de simulación

A continuación, se exponen las etapas de un proyecto de simulación [5]:

- Formulación del problema
- Planteamiento de Objetivos y tareas
- Diseño del modelo conceptual
- Colección de datos
- Construcción del modelo
- Verificación y validación
- Análisis de resultados
- Documentación
- Implementación.

La figura 3, muestra un diagrama de flujo de las etapas de un proyecto de simulación

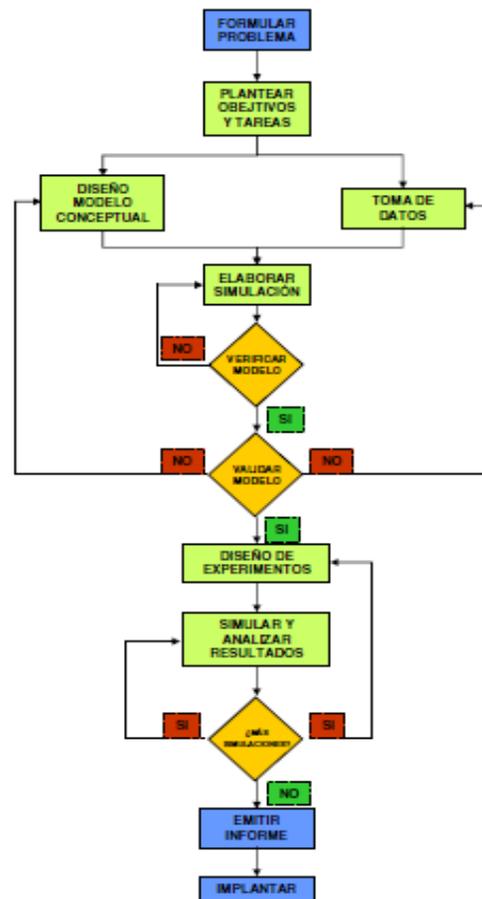


Figura 3. Etapas de un proyecto de simulación.

2.6 Software de simulación

FlexSim es un software de simulación de eventos discretos y continuos. Permite realizar el modelado y corrida del modelo en 3D, lo que facilita identificar posibles cuellos de botella u otros impactos a simple vista [7].

Los siguientes puntos enlistan algunas razones por las cuales FlexSim es una buena alternativa como herramienta de simulación:

- El software orienta a objetos, lo que admite una mayor visualización del flujo de producción.
- Todo el proyecto se desarrolla en un ambiente tridimensional (3D), además permite importar infinidad de objetos de distintos paquetes de diseño, incluyendo AutoCAD, ProE, Solid Works, Catia, 3D Studio, AC3D, Revit, Google Sketch-Up, etc.
- Otra razón importante es que no solo se puede simular sistemas discretos, sino que también admite la simulación de fluidos o modelos combinados continuo-discreto.
- La generación de distintos escenarios y condiciones variadas son fáciles de programar.
- Las distribuciones de probabilidad se pueden representar con gran precisión en lugar de valores promedio para mostrar fielmente la realidad.
- Las gráficas y los reportes y todo lo que se refiere a lo estadístico se puede revisar a detalle [8].

3.- Metodología

La Metodología utilizada es la expuesta en el punto 2.5. En el cual se pretende de una forma guiada, realizar el ejercicio de simulación en el proceso productivo del área de tejido de guantes industriales y permitir la construcción del sistema con diferentes comportamientos. Donde se aspira tener

líneas de producción con una eficiencia de al menos del 80 % con respecto a la capacidad instalada.

Para el presente trabajo, se exhibirán imágenes y gráficos propios del software FlexSim.

3.1 Formulación del Problema

El nivel de producción por la empresa de acuerdo a su capacidad instalada está por debajo del 80 %, situación que genera una problemática financiera. El generar movimientos en las líneas de producción podrá agravar más la situación de la empresa. Lo señalado evidencia la necesidad de realizar la simulación del proceso productivo y obtener soluciones, sin tomar costos y riesgos de inversión, trabajando con la estructura real del proceso. Para ello, se realizará la simulación con el software de simulación de eventos discretos “FlexSim”.

3.1.1 Descripción del proceso

La empresa cuenta con 4 líneas de producción de tejido, cada una de ellas contiene 52 máquinas, cada línea de producción es controlada por un colaborador, realizando un recorrido lineal constante. El resultado en el primer cuatrimestre del año 2018, se tuvo una eficiencia del 65 % con respecto a la capacidad instalada.

La clave del éxito de la producción de tejido, es tener el menor tiempo de paro posible en las máquinas. Por lo que simular los paros en 52 máquinas de tejido en una de las líneas, con un colaborador, podrá ser el plan de experimentación.

3.2 Planteamiento de Objetivos y Tareas

Para el incremento de la producción (eficiencia), radica en la disminución de incidencias de paros de las máquinas de tejido.

Se deberá tomar en cuenta la posible causa de paro adjudicado al colaborador. Los escenarios a considerar en la simulación en la línea de producción son:

1. Línea de producción con 52 máquinas, atención de un colaborador.
Esta primera simulación servirá para la validación de los datos estadísticos obtenidos de producción.
2. Línea de producción con 52 máquinas, atención de dos colaboradores.
3. Línea de producción con 52 máquinas, atención de tres colaboradores.
4. El área actual de la línea de tejido, no permite realizar un cambio en la distribución, sin embargo, se simula un nuevo dividendo de maquinaria.

Se busca encontrar un resultado óptimo y la propuesta de una línea balanceada de acuerdo a los tiempos y eventos que se presenten y pueda ser controlada con un solo colaborador sin incurrir en paros excesivos.

3.3 Diseño del modelo conceptual

En figura 4, se podrá visualizar en forma general la construcción del modelo realizado con el software de FlexSim, el cual representa el camino del proceso o la parte lógica de este.

La construcción del modelo describe lo siguiente:

- El modelo solo representa solo una estación de la línea de producción.
- La línea de producción cuenta con 52 máquinas, es decir deberá contener 52 estaciones como las que se muestran en la figura 4.

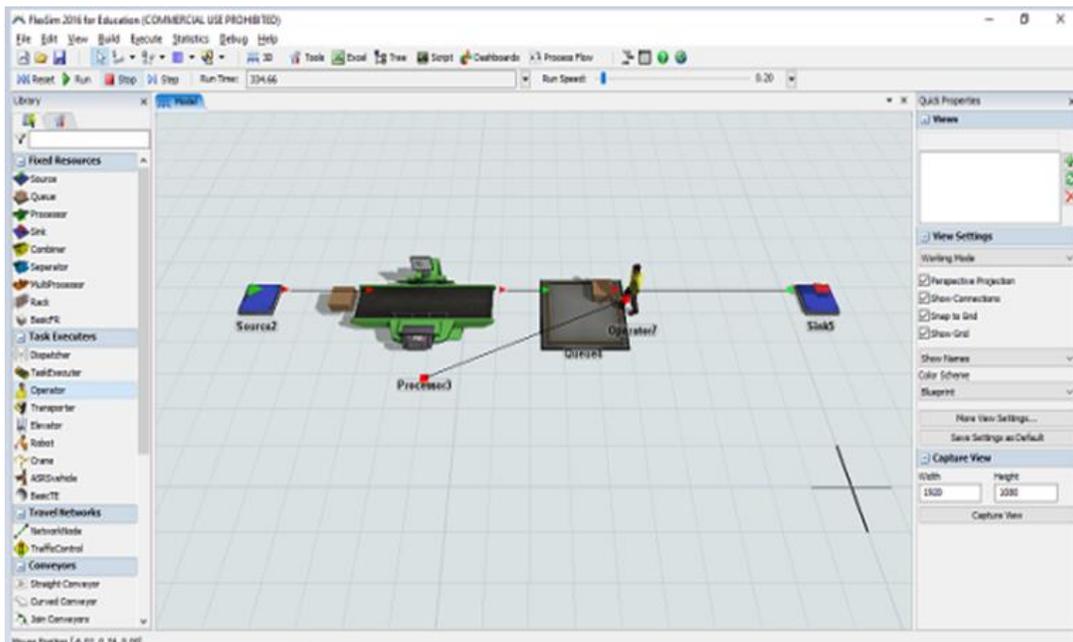


Figura 4. Construcción del modelo.

3.4 Colección de Datos

Se recordará que la clave del éxito de la producción del tejido es tener el menor tiempo de paro posible, por lo que se debe identificar cuáles son la causa de paro o fallas que generan los paros.

La primera recolección de datos se genera en un periodo de 12 días, en un primer turno, analizando un total de 159 eventos, en la figura 5, se muestra el diagrama de Pareto, resultado de las fallas observadas en la línea de tejido.

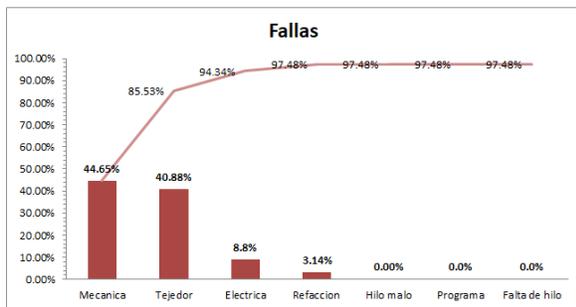


Figura 5. Diagrama de Pareto “Primera recolección de datos (Fallas)”.

Los datos sin duda muestran que la causa principal son las fallas mecánicas, sin embargo, en el planteamiento de objetivos y tareas se menciona los paros adjudicados al tejedor.

La falla por tejedor en el diagrama de Pareto, es la segunda causa de fallo por paro, razón por la cual se genera una nueva recolección de datos, analizando la máquina con mayor número de paro (máquina #100).

El resultado de la segunda recolección de datos se muestra en la tabla 1. El análisis se realizó en una jornada de 8 horas (480 minutos).

Tabla 1. Segunda recolección de datos, máquina #100.

Frecuencia	Inicio	Hora de Paro	Tiempo trabajado en minutos	Termino de Para	Duración de Paro en minutos
1	06:00	06:22	22	06:38	16
2	06:38	07:05	27	07:18	13
3	07:18	07:38	20	07:47	9
4	07:47	08:11	24	08:25	14
5	08:25	08:45	20	08:53	8
6	08:53	09:22	29	09:32	10
7	09:32	09:54	22	10:08	14
8	10:08	10:24	16	10:34	10
9	10:34	10:25	11	10:52	7
10	10:52	11:27	35	11:41	14
11	11:41	11:59	18	12:10	11
12	12:10	12:24	24	12:41	7
13	12:41	13:21	40	13:33	12
14	13:33	13:53	20	13:59	6
15	13:59	14:00	1		
		Total	329		151

Nota: Frecuencia: Cantidad de eventos

Inicio: Hora de inicio de máquina después del paro.

Hora de paro: Hora en que se genera el paro.

Tiempo trabajado en minutos: Cantidad de minutos transcurrido del inicio al momento de paro.

Termino de paro: momento en que arranco la máquina (término del paro).

Duración de paro en minutos: La diferencia de tiempo de termino de paro menos la hora de paro.

Los 14 eventos (paros) se dan en instantes no periódicos de tiempo, teniendo 151 minutos de falla atribuibles al colaborador, por lo que, la máquina solo trabajo un 54 % del tiempo.

El tiempo es la unidad de medida en cada uno de los fallos, si se toma el resultado de la tabla 1 y se multiplica por el número de máquinas de una línea de producción de tejido (52 máquinas), nuestro mayor tiempo en paro efectivamente es por el tejedor.

Consecuentemente, la simulación se debe encaminar al paro atribuible por el colaborador (tejedor). Corroborando que el planteamiento y objetivos es correcto. El resultado de la segunda colecta de datos promueve realizar una nueva toma de datos.

En la tercera recolección de datos, se analizó el tiempo empleado en la reparación del paro (que le confiere al colaborador), en la tabla 2 se muestra los tiempos de reparación.

Tabla2. Tercera recolección de datos, Tiempo de reparación.

REPARACIÓN DE PARO		FRECUENCIA	TIEMPO TOTAL REPARACIÓN (sg)	MINUTOS
CA	CAMBIO DE AGUA	3	367	6.12
CJ	CAMBIO DE JACK	3	275	4.58
RH	REVENTO HILO	15	288	4.80
RL	REVENTO LICRA	5	102	1.70
CH	CAMBIO DE HILO	4	93	1.55
	total	30	1125	18.75
		promedio	37.5	0.63

Nota: Reparación de paro: Indica los distintos tipos de reparación que se realizaron a máquinas de tejido.

Frecuencia: Cantidad de eventos.

Tiempo total de reparación:

Duración en segundos del evento.

Motivo / Reparación: El tipo de reparación y tiempo empleado en ella.

Para tener una mayor evidencia de los paros y principalmente de lo que pasa en la línea de producción, se generó una cuarta recolecta de datos, la cual permitió en analizar en 26 máquinas del área de tejido con 247 eventos, invirtiendo un aproximado de 210 horas.

El resultado se muestra en el anexo 1 (Cuarta recolección de datos, Análisis de paro de 26 máquinas).

FlexSim cuenta con un analizador de datos como ExperFit. Que permite determinar de manera automática y precisa que distribución de probabilidad representa mejor un conjunto de datos. Los datos obtenidos en la tercera y

cuarta recolección, son esenciales para para obtener las distribuciones.

Para la simulación se deben determinar tres distribuciones de probabilidad importantes en la programación del software FlexSim como:
1.- First Failure Time: primer fracaso o falla (figura 6).

2.- Up Time: determina el tiempo que esos objetos se ejecutaran antes de entrar en un estado descompuesto (figura 7).

3.- Down Time: determina cuanto tiempo el recurso permanecerá en un estado descompuesto antes de reanudar sus operaciones normales (figura 8).

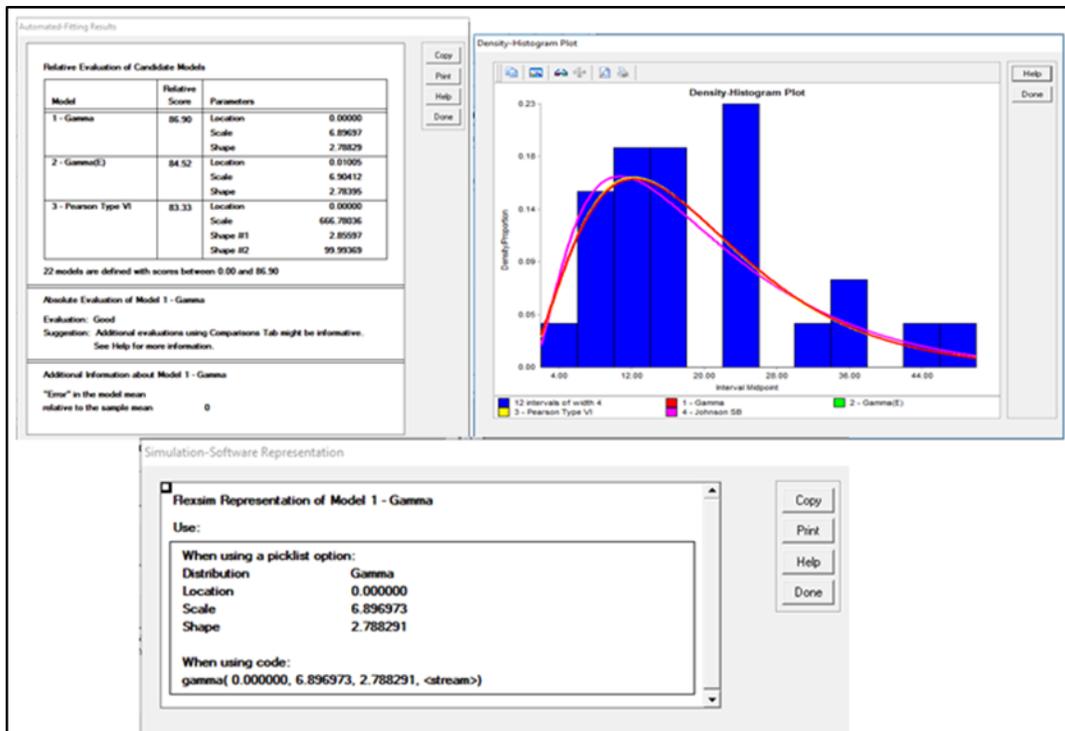


Figura 6. Recolección de datos, *First Failure Time*.

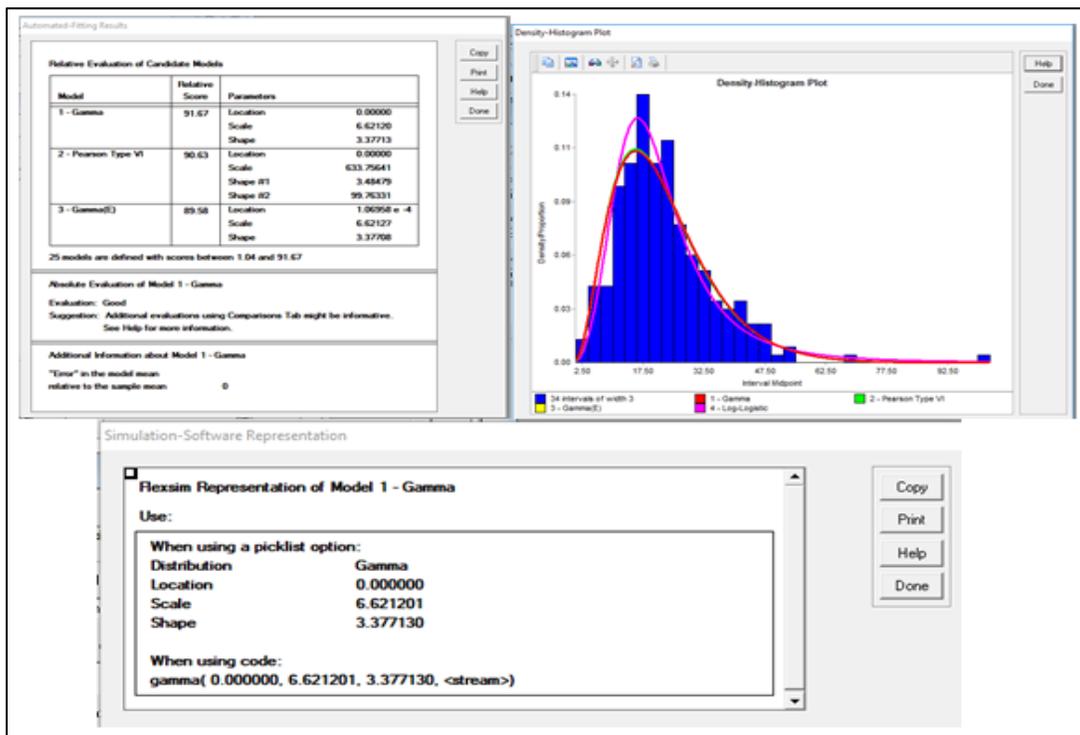


Figura 7. Recolección de datos, *Up Time*.

En figura 10, se puede visualizar el diseño completo del modelo (construcción del modelo). Las líneas muestran la conexión de los objetos que ayuda a definir el flujo dentro del área de trabajo.

Concluido el modelo, las conexiones, las distribuciones de probabilidad que representan los datos y las ediciones del modelo requerido en FlexSim, se podrá llevar a cabo la simulación.

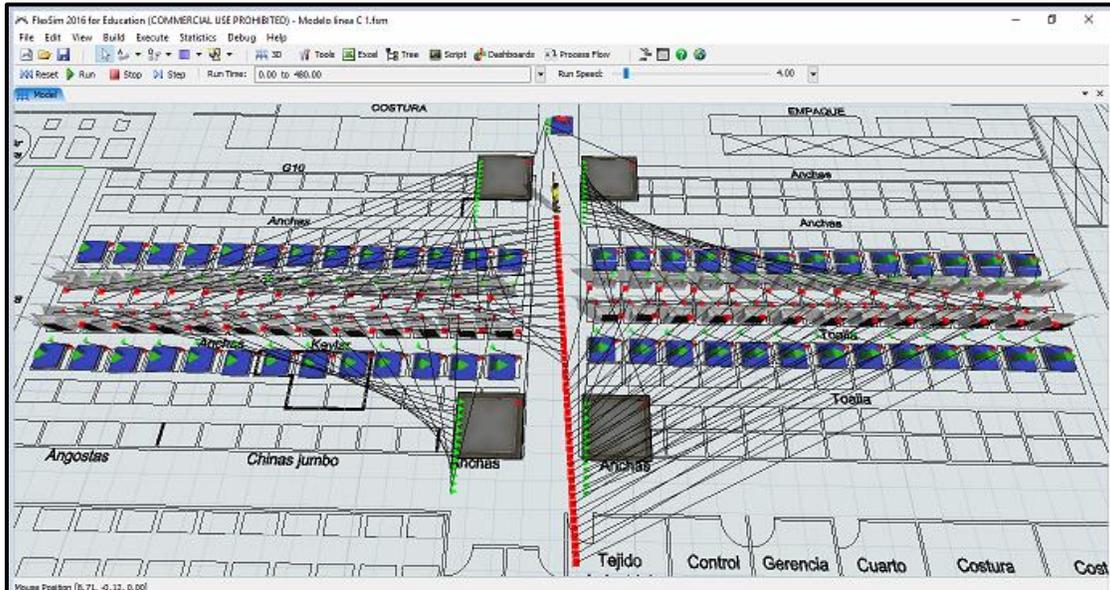


Figura 10. Diseño de modelo.

3.6 Verificación y Validación

FlexSim cuenta con una librería de gráficos, la cual se utiliza la herramienta **Dashboards**. Para mostrar el resultado de las distintas simulaciones, se utilizará el grafico State Pie. Cada gráfico state pie, representa la eficiencia de una máquina de tejido.

La verificación de los datos obtenidos en las distribuciones estadísticas se validará en la primera simulación.

1er Escenario: Línea de producción con 52 máquinas, atención de un colaborador.

En la figura 11, Verificación y Validación, Primer escenario, se muestran los resultados,

(El gráfico representa el resultado de la simulación y la tabla representa el resultado de las 5 corridas o simulaciones) al realizar 5 corridas en la simulación del primer escenario, se concluye que se tiene una eficiencia del 57.58 % (promedio de las cinco corridas).

En consideración al resultado del primer cuatrimestre de un 65 %, esto representa un 89 % de acercamiento, considerando que solo se consideraron paros adjudicados al colaborador y no se tomaron fallos como: mecánicas, eléctricas, refacciones, etc. Por lo que se declara que la simulación del primer escenario es fiable y se podrán realizar las simulaciones de los siguientes escenarios.



Figura 11. Verificación y Validación, Primer escenario.

2do Escenario: Línea de producción con 52 máquinas, atención de dos colaboradores. En la figura 12, Verificación y Validación, Segundo escenario, se muestran los resultados, donde 2 operadores llevan 26 máquinas cada uno.

El gráfico muestra a simple vista datos favorables, mientras que en la tabla se puede observar los resultados de las 5 corridas, teniendo un promedio de 90.14 % de eficiencia.

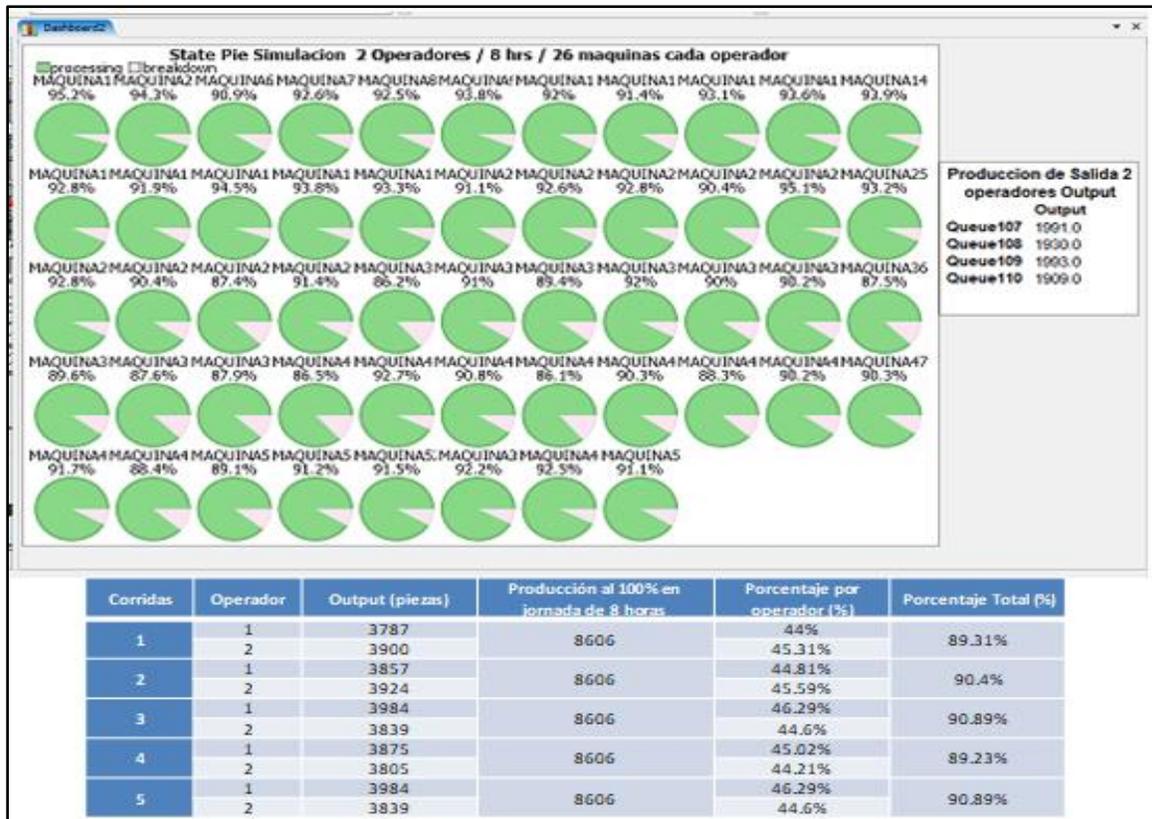


Figura 12. Verificación y Validación, Segundo escenario.

3er Escenario: Línea de producción con 52 máquinas, atención de tres colaboradores.

En la figura 13, Verificación y Validación, Tercer escenario, se muestran los resultados, donde 2 operadores llevan 18 máquinas y 1

operador solo 16 máquinas. El gráfico muestra que el valor de salida fue constante debido a la cantidad de colaboradores dentro de la línea de tejido. La tabla indica los resultados de 3 corridas, terminando con una eficiencia promedio del 96.95 %.

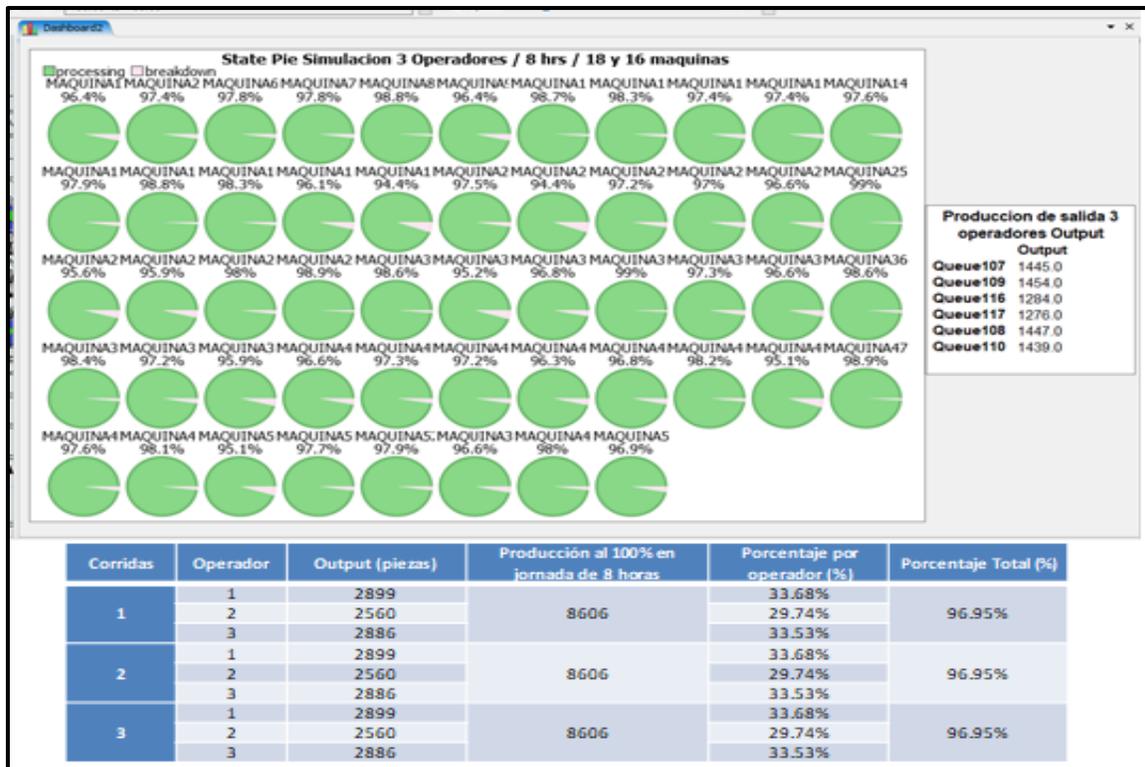


Figura 13. Verificación y Validación, Tercer escenario.

4to Escenario: Se busca encontrar un resultado óptimo y la propuesta de una línea balanceada de acuerdo a los tiempos y eventos que se presenten y pueda ser controlada con un solo colaborador sin incurrir a paros excesivos.

Para este escenario, el considerar un solo colaborador, con la distribución actual, la polivalencia de operador, la cercanía entre máquina y máquina, se genera el siguiente

cuestionamiento, ¿Qué cantidad de máquinas puede un operador controlar y mantener una eficiencia entre el 80 y 90 % ?

Por lo que se desarrollaron 2 eventos:

- a) Un colaborador con 36 máquinas.

En la figura 14, Verificación y Validación, 4a, 36 máquinas, se pueden observar los resultados.



Figura 14. Verificación y Validación, 4a, 36 máquinas.

La tabla muestra que un colaborador en la atención de 36 máquinas, tiene un resultado promedio de 79.79 % de eficiencia. Retomando el cuestionamiento ¿Qué cantidad de máquinas puede un operador controlar y mantener una eficiencia entre el 80 y 90 %? La respuesta no es favorable, por lo que controlar 36 máquinas no es factible.

a) Un colaborador con 30 máquinas.
En la figura 15, Validación y Verificación, 4b, 30 máquinas, se pueden observar los resultados.

Para el escenario 4b, El grafico y la tabla muestran un resultado favorable. La tabla manifiesta que el promedio de las 4 corridas adquiere un efecto del 87.02 % de eficiencia. Retomando el cuestionamiento ¿Qué cantidad de máquinas puede un operador controlar y mantener una eficiencia entre el 80 y 90 %? Con el resultado de la tabla, se puede afirmar que un colaborador con atención a 30 máquinas es propicio el resultado.

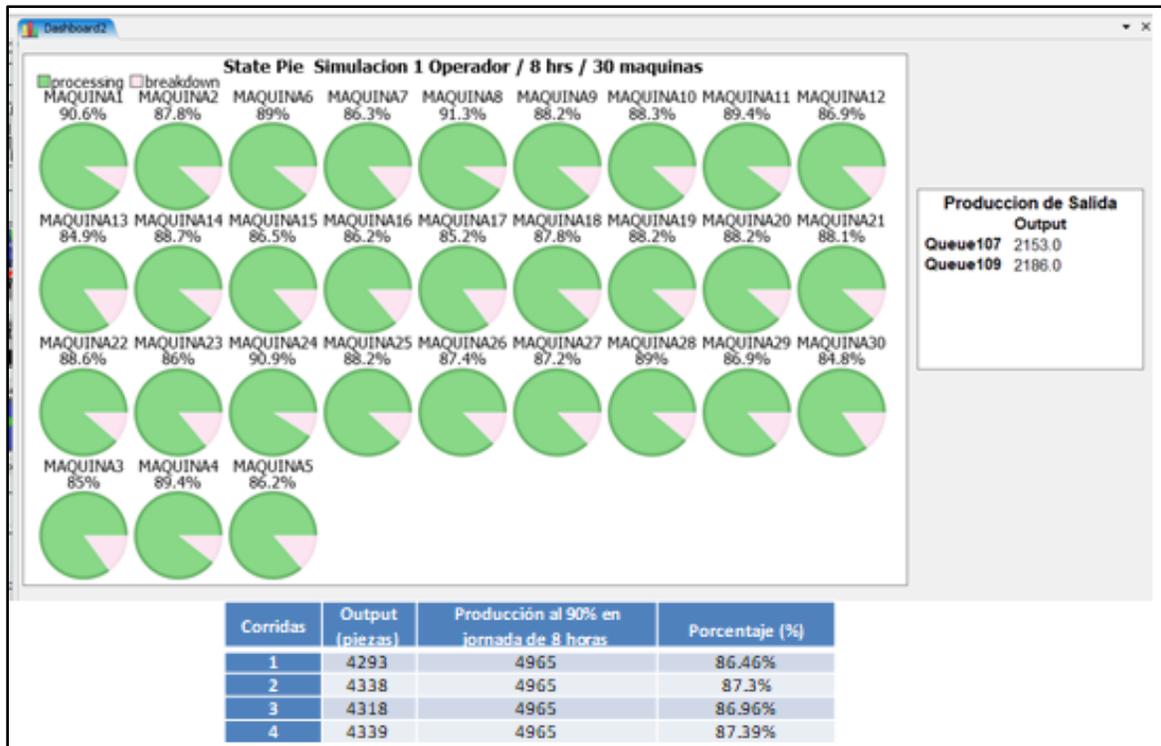


Figura 15. Verificación y Validación, 4b, 30 máquinas.

3.7 Análisis de Resultados

Durante el desarrollo de este escrito, se presentaron las diferentes recolecciones de datos los cuales ha permitido obtener datos estadísticos que ayudaron a comprobar las distintas variables críticas dentro del proceso productivo del área de tejido, datos que permitieron determinar las distribuciones estadísticas a utilizar para el correcto trabajo de la simulación en FlexSim.

Con el uso adecuado de las distribuciones, se pudo construir la simulación del proceso productivo y validar dicha simulación.

La confiabilidad de la simulación nos permitió plantear 3 alternativas de mejora o escenarios, permitiendo efectuar comparaciones entre los distintos argumentos.

En la tabla 3, Resumen de Resultados, se muestra un compendio de los datos obtenidos en los diferentes escenarios.

Tabla 3. Resumen de Resultados.

Simulación	Escenarios (Características)	Resultados (Eficiencia)	Diferencia VS Simulación 1
1	Línea de 52 máquinas con 1 colaborador	57.85 %	-
2	Línea de 52 máquinas con 2 colaboradores (26 máquinas uno)	90.14 %	32.25 %
3	Línea de 52 máquinas con 3 colaboradores (18 y 16 máquinas)	96.95 %	39.10 %
4a	Línea de 36 máquinas con 1 colaborador	79.79 %	21.94 %
4b	Línea de 30 máquinas con 1 colaborador	87.02 %	29.17 %

3.8 Documentación

Los resultados de las distintas simulaciones deben de ser entregados en forma clara y concisa al cliente. Así el cliente podrá analizar el planteamiento del problema, los datos de partida, los distintos escenarios, planteados y finalmente los resultados obtenidos de cada uno de ellos, además podrá comparar las diferentes alternativas y finalmente las recomendaciones del analista [2].

3.9 Implementación

Con la documentación generada se tendrá la herramienta que nos ayudará a tomar una decisión u otra, o simplemente será la base para implementar físicamente el escenario planteado mediante simulación [2].

Los resultados ayudaran a la gerencia o dirección general quienes tomaran la decisión en base a los datos estadísticos arrojados por el software.

4.- Conclusiones

El desarrollo de un modelo de simulación de eventos discretos del proceso productivo de tejido de guante industrial, para evaluar variables y posibles mejoras que permitan ser eficiente dicha línea de tejido, con el soporte y uso de la herramienta Flexsim (software de simulación diseñado para eventos discretos y continuos), permitió realizar el modelamiento y la corrida del modelo en 3D, ayudando a identificar los impactos de acuerdo a los distintos escenarios planteados en busca de tener como resultado una mejora de eficiencia del proceso productivo de tejido de guante industrial.

Gracias a la simulación realizada con el software FlexSim, en los distintos escenarios (2, 3, 4a y 4b) ha permitido demostrar que en

la evaluación de las variables aprueba un aumento de la producción en más de un 20 % (ver tabla 3).

El proponer escenarios de solución para incrementar la productividad de la compañía sin tomar costos y riesgos de inversión, es otro de los resultados que se pueden destacar de la simulación.

Por lo que podemos concluir que, el uso de un modelo de simulación de eventos discretos, del proceso productivo de tejido de guante industrial, permite evaluar las distintas variables y proponer mejoras en el proceso antes de implementarlas en la realidad.

Bibliografía

- [1] “Modelado y Simulación”, aplicación a procesos lógicos de fabricación y servicios Antoni Guasch – Miguel Angel Piera – Josep Casanovas – Jaume Figueras. Edición UPC; Primera edición: Febrero 2002.
- [2] FEMETAL, FUNDACION PRONDITEC, Centro Tecnológico para el Diseño y la Producción Industrial de Austria. La simulación de procesos industriales: clave en La toma de decisiones para procesos de reingeniería de planta y diseño de nuevas instalaciones de fabricación. Septiembre 2010.
- [3] Simulación de sistemas productivos. (Septiembre 2010). *Revista virtual PRO Procesos Industriales*, pagina 24.
- [4] Universidad Distrital Francisco José Calderas, Facultad de Ciencias y Educación. Martha A. Centeno, Germán Méndez Giraldo, Felipe Baesler Abufarde, Lindsay Álvarez Pomar. Introducción la simulación discreta. Primera edición, abril 2015. Editorial UD. Colombia.

- [5] *ISSUU*. (s.f.). Recuperado el 9 de Enero de 2018, de La simulacion y los procesos industriales by femetales - issuu: https://issuu.com/femetales/docs/gu_a_simulacion.
- [6] Forte, J. F. (s.f.). guia práctica para la simulación de procesos industriales - Cetem. Recuperado el 9 de Enero de 2018, de www.cetem.es/rs/1235/...54ec.../guia-simulacion-procesosindustriales-cetem.pdf.
- [7] Alzate, R. C. (s.f.). inSlideShare. Recuperado el 08 de Enero de 2018, de Guia de usuario para el modelamiento y analisis con el software Flexsim: anexoa-150822225810-lva-app6891(1).pdf.
- [8] Isaías Simón Marmolejo. Un primer pasó a la simulación con Flexim. Primera edición. Escuela superior de Ciudad Sahagún, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México. Impreso en Barcelona, ESPAÑA (2016).

