



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Análisis de la capacidad de una
línea de producción en una
MIPYME utilizando simulación de
eventos discretos**

TESINA

Que para obtener el título de

Ingeniera Industrial

P R E S E N T A

Yazmin Galván Ortiz

DIRECTORA DE TESINA

Dra. Susana Casy Téllez Ballesteros



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2024

AGRADECIMIENTOS

Mamá, papá gracias infinitas por su amor incondicional y su apoyo moral. Su fe en mí, incluso en los momentos más difíciles, han sido el pilar de este logro que es de ustedes, apoyaron cada uno de mis sueños, lucharon por darme lo mejor siempre, desvelarse conmigo y abrazarme siempre que lo necesite. Me apoyaron en mi sueño de ir a un continente lejos de ustedes, donde pude crecer académicamente y viví la experiencia más emotiva de mi vida, me enfrente a retos que no creí poder lograr pero que ustedes hicieron que no me derrotará. Los amo por siempre.

A mis hermanos, quienes supieron brindarme su tiempo para escucharme y apoyarme. Me hicieron reír y también enojar, pero siempre me empujaron a superarme y ser competitiva conmigo misma. Gracias por ser mis haters porque hoy me hicieron poder estar aquí.

Para mis abuelos, quienes me han aportado muchas experiencias, me han apoyado cada instante y me dan el amor más puro e incondicional. Uno se adelantó en el camino, pero sé que él es el ángel que siempre me ilumina.

Agradezco profundamente a la Dra. Susana Casy Téllez, quien apoyo el realizar este proyecto y dar seguimiento a mi trayectoria desde el día uno. Su paciencia, seguimiento y entrega me ponen hoy en el culmino de mis estudios y en la mejor experiencia académica.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, quien me permitió gozar de cada uno de los espacios académicos y culturales, y a la Facultad de Ingeniería que me brindo la oportunidad de tener una carrera profesional especialmente a mi departamento por su constante apoyo, con respeto y emoción puedo portar el lema “Por mi raza hablara el espíritu”.

INDICE

AGRADECIMIENTOS.....	2
INTRODUCCION.....	5
a) Antecedentes	5
b) Planteamiento del Problema.....	5
c) Objetivo General	6
d) Objetivos específicos.....	6
e) Descripción del contenido.....	6
Capítulo 1. Simulación de eventos discretos.....	8
1.1 Definición de simulación	8
1.2 Etapas de la simulación.....	8
1.2.1 Definir el objetivo, el alcance y los requisitos.....	9
1.2.2 Analizar los datos del sistema.....	10
1.2.3 Construir el modelo.	12
1.2.4 Validar el modelo.	13
1.2.5 Realización de experimentos.	14
1.3 Ventajas de la simulación	14
Capítulo 2. Metodología aplicada en Caso de Estudio.....	15
2.1 Definir sistema de estudio	15
2.2 Toma de datos	16
2.2.1 Datos Estructurales.....	17
2.2.2 Datos Operativos	19
2.2.3 Datos Numéricos	19
2.3 Análisis de datos.....	20
1.3.1 Prueba de independencia	21
2.3.2 Prueba de bondad de ajuste	30
Capítulo 3. Modelo de Simulación y Experimentos.....	36
3.1 Construcción del modelo.....	36
3.2 Validación del modelo.....	36
3.3 Experimentos y Escenarios	37
3.3.1 Escenario 1	38

3.3.2 Escenario 2	38
3.3.3 Escenario 3	38
Capítulo 4. Análisis de Resultados y conclusiones	40
4.1 Análisis de resultados	40
4.2 Conclusiones y recomendaciones.....	42
Capítulo 5. Bibliografía.....	44

INTRODUCCION

a) Antecedentes

Este trabajo se desarrolla en una empresa dedicada a la fabricación de jugos de frutas los cuales distribuyen su producto a diferentes estados de la Republica México como, Puebla y Guerrero. Su proceso de producción incluye desde su contenido hasta el envase en que se vacían los jugos. Por lo cual cuenta con las herramientas y la maquinaria para no depender de alguna empresa de envases de plásticos o etiquetado para seguir sus procesos de producción y embalaje.

b) Planteamiento del Problema

La empresa se dedica a fabricar y producir jugos en envases de plástico, encargándose ellos mismos de la producción de sus envases de plástico, así, garantizar que el producto cumpla con altos estándares de calidad y se mantenga fresco su contenido aún sin refrigerar.

Parte de la situación de la empresa en la pandemia Covid 19 es invertir en otra empresa. Para lo cual se necesita quitar una línea de producción y saber qué capacidad máxima puede tener su área de producción, y saber cómo minimizar tiempos de producción (con sólo 2 máquinas).

Por lo cual se decidió plantear algunas propuestas y con ello el dueño de la empresa conozca cuál es la mejor opción. No obstante, una de nuestras tareas sería demostrarle que sucedería y cómo afectaría en la producción de botellas de plástico. En este contexto, se decidió aplicar simulación sobre sus líneas de producción y así ofrecer alternativas de producción utilizando diferentes escenarios de operación por turnos.

De acuerdo con esto, se proponen 3 escenarios para cubrir las necesidades expresadas por la empresa:

- 2 líneas de producción, 1 turno de trabajo (12 horas)

- 2 líneas de producción, 2 turnos de trabajo (12 horas por turno)
- 2 líneas de producción, 1 turno de trabajo (12 horas) y 3 zonas de embalaje

El proyecto y la experimentación consisten en demostrar lo que ocurriría y cómo afectaría a la producción del producto.

c) Objetivo General

Sustentar la toma de decisiones de la empresa haciendo énfasis en la eficiencia y optimización de sus líneas de producción de plásticos y con base en información y propuestas sugeridas con ayuda de la simulación y en un plazo no mayor a un mes para poder invertir o no en el nuevo proyecto.

d) Objetivos específicos

- Evitar cuellos de botella y mejorar los procesos para invertir el escenario de tres a dos líneas de producción eliminando residuos dentro de la planta.
- Hacer más eficiente los procesos en la empresa dando la propuesta de qué es lo que le conviene en determinado caso.
- Presentar posibles casos para cumplir los ideales de dirección en la empresa.
- Simular un nuevo plan de producción quitando una línea de producción.
- Reconocer los indicadores correctos para obtener información que induzca a una correcta toma de decisiones.

e) Descripción del contenido

En el capítulo uno se describe la simulación como una herramienta para análisis de eventos discretos. En el capítulo 2 la aplicación de la metodología con el caso de estudio real respectivo a los pasos 2 y 3. Para el capítulo 3 se encuentra el modelo inicial y su experimentación con los diversos

experimentos. El capítulo 4 nos da los resultados experimentales y la solución óptima del sistema cumpliendo los pasos 5 y 6 de la metodología estudiada.

El apoyo bibliográfico se enumera en el capítulo 5 del documento.

Capítulo 1. Simulación de eventos discretos

1.1 Definición de simulación

La Simulación se traduce a una imitación de un sistema dinámico apoyado por un conjunto de modelos computacionales para evaluar y mejorar el desempeño de un sistema. Etimológicamente hablando, la simulación viene del latín y refiere a representar algo ya sea imitando o fingiendo algo que no es aun aplicado, es un juego de probabilidades y estadísticos en un modelo existente que se busca mejorar.

Los beneficios de la simulación son los siguientes:

- Ofrece opciones o pronósticos en una toma de decisiones, la cual esta basada sobre un modelo real, haciendo supuestos de las posibles soluciones a considerar.
- Es una asesoría implementada para evitar tomas de decisión al azar que ponga en riesgo la condición de una empresa.
- Provee soluciones a costo – beneficio.
- Es una imitación de la realidad.

1.2 Etapas de la simulación

Un buen modelo de simulación se elabora a partir del conocimiento general del proceso al cual se le va a aplicar un análisis. Existen diversos modelos de simulación que pueden implementarse de acuerdo con el tipo de evento analizado.

Para lograr el objetivo de esta empresa en particular, se utilizó el procedimiento de simulación de Harrell-Ghosh-Bowden (2004), que consta de 6 pasos para analizar, compilar y proponer la solución de un evento de forma práctica y sencilla.

- Paso 1: Definir el objetivo, el alcance y los requisitos. Definir el objetivo del proyecto de simulación y cuál será su alcance. Los requisitos deben definirse en términos de recursos, tiempo y presupuesto para llevar a cabo el proyecto.

- Paso 2: Recopilar y analizar los datos del sistema. Identificar, recopilar y analizar los datos que definen el sistema que se va a modelar. Este paso da como resultado un modelo conceptual y un documento de datos sobre los que todos pueden estar de acuerdo.
- Paso 3: Construir el modelo. Desarrollar un modelo de simulación del sistema.
- Paso 4: Validar el modelo. Depurar el modelo y asegurarse de que es una representación creíble del sistema real.
- Paso 5: Realización de experimentos. Ejecute la simulación para cada uno de los escenarios a evaluar y analice los resultados.
- Paso 6: Presentar los resultados. Presentar los resultados y hacer recomendaciones para poder tomar una decisión con conocimiento de causa.

Un proyecto de simulación implica la descripción de los elementos del sistema, lo que puede dar lugar a suposiciones erróneas que luego hay que abandonar, a la reformulación de los objetivos del problema y a la evaluación y rediseño repetidos del modelo. Sin embargo, si este proceso iterativo se realiza correctamente, da como resultado un modelo de simulación que evalúa adecuadamente las alternativas y mejora el proceso de toma de decisiones. (Harrell-Ghosh-Bowden, 2004).

1.2.1 Definir el objetivo, el alcance y los requisitos.

El objetivo de una simulación define el propósito para llevar a cabo un estudio de simulación. Deberá ser realizable, dado las restricciones de tiempo y recursos del estudio. Los objetivos de la simulación se pueden agrupar en las siguientes características:

- Análisis de desempeño: El cual es el desempeño del sistema en general, en término de la utilización de los recursos, tiempo de proceso, tasa de producción.
- Análisis de capacidad: este análisis consiste en determinar la capacidad de procesamiento de producción del sistema, así como los recursos que limitan la operación.

- Comparación de distribución de planta o configuración: en este enfoque se evalúa el sistema considerando su configuración y la manera en que esta permite alcanzar los objetivos de desempeño.
- Optimización: en este enfoque se miden los cambios se deben realizar a las variables de decisión para alcanzar los objetivos de desempeño deseados.

El alcance del modelo se refiere a que elementos deberá ser representados en el modelo. Para definirlo se debe caracterizar el impacto que tiene una actividad en particular para lograr alcanzar los objetivos de la simulación. El alcance consiste en limitar las fronteras del modelo, seleccionar sólo los elementos del sistema que se excluyen debido a su irrelevancia. Factores como un turno fuera por actividades de mantenimiento o arranques de maquinaria que son breves y ocurren esporádicamente y pueden ser ignorados sin afectar el análisis de los indicadores clave relacionados con los objetivos del estudio.

Al establecer el alcance del trabajo, es necesario establecer los requerimientos de recursos, presupuesto, y tiempo para el desarrollo del proyecto de simulación. Muchos de los recursos (personal, equipo, software) deben estar disponibles para plantear el proyecto de simulación, En esta etapa se debe desarrollar un presupuesto y un programa de trabajo.

1.2.2 Analizar los datos del sistema.

La recolección de datos consiste en determinar los datos requeridos por construir al modelo. El nivel de detalle está definido por el alcance del modelo y el nivel de detalle requeridos por lograr los objetivos de la simulación. Los datos del sistema pueden ser categorizados como (1) datos estructurales, (2) datos operacionales, o (3) datos numéricos.

(1) Datos Estructurales

Los datos estructurales involucran todos los objetos en el sistema a modelarse. Esto incluye tales elementos como entidades (productos, clientes, etc.), recursos (operadores, máquinas, etc.) y localizaciones (áreas de espera, lugar de trabajo, etc.). La información estructural describe

básicamente el esquema o configuración del sistema, así como identifica los elementos que se procesan. Es importante que se incluyan los componentes relevantes que afectan el comportamiento del sistema.

(2) Datos Operacionales

Los datos operacionales describen cómo funciona el sistema, es decir, cuándo, dónde, y cómo los eventos y actividades tienen lugar. Los datos operacionales consisten en la lógica o información del comportamiento acerca del sistema como asignaciones de ruta, horarios, comportamiento en el tiempo fuera de servicio, y asignación del recurso.

(3) Datos Numéricos

Los datos numéricos proporcionan información cuantitativa sobre el sistema. Ejemplos de datos numéricos incluyen capacidades, tasas de llegada, tiempos de las actividades, y tiempo entre fallas. Algunos valores numéricos se determinan fácilmente, como capacidades del recurso y horas de trabajo. Otros valores son más difíciles de evaluar, como el tiempo entre fallas o probabilidades de asignación de rutas.

Para usarse en un modelo de simulación, deben analizarse e interpretarse los datos sin refinar de modo que la operación del sistema se represente correctamente en el modelo. Necesitan identificarse los eventos activadores y otras relaciones de causa y efecto. Los datos no relevantes o insignificantes se deben desechar. Los tiempos reales de las actividades necesitan ser aislados de los retrasos causados en el sistema. Los numerosos casos de una actividad particular necesitan ser generalizados en unas cuantas definiciones del modelo. Las variables de entrada o de definición del sistema necesitan separarse de las variables de resultados o de respuesta. Finalmente, los datos históricos resumidos deben proyectarse hacia delante al periodo de tiempo estudiado por la simulación. La información ayuda a ajustar los datos para que el futuro pueda obtenerse de los pronósticos de las ventas, tendencias del mercado o planes de negocio.

Prueba de independencia

1. Gráfica de dispersión

Los datos son independientes si el valor de una observación no está influenciado por el valor de otra observación. La dependencia es común en el muestreo de una población finita cuando el muestreo se realiza sin reemplazo.

2. Gráfico de autocorrelación

Un gráfico de autocorrelación sirve para hacer análisis de datos aleatorios con respecto al tiempo para conocer si existe dependencia entre ellos, es decir, reflejan asociación entre valores para poder predecir valores futuros.

3. Prueba de rachas

Las pruebas de rachas buscan en los datos si presenta correlación de los datos. Una corrida en una serie de observaciones es la ocurrencia de una sucesión ininterrumpida de números mostrando la misma tendencia.

4. Prueba de bondad de ajuste

Una vez que se han probado los datos numéricos para la independencia y correlación, ellos pueden convertirse a una forma conveniente para el uso en el modelo de la simulación. Los datos numéricos de la muestra que se han recogido sobre el tiempo de la actividad, intervalos entre las llegadas, cantidades del lote, y así sucesivamente pueden representarse en un modelo de simulación en una de tres maneras. Primero, los datos pueden usarse exactamente de la manera como fueron registrados. Segundo, puede usarse una distribución empírica que caracterice los datos. Tercero y método preferido es seleccionar una distribución teórica que mejor se ajuste a los datos.

1.2.3 Construir el modelo.

El modelo conceptual es el resultado del esfuerzo de la recolección de datos y es una formulación en la mente de uno (complementada con notas y diagramas) de cómo funciona un sistema particular. En la construcción de un modelo de simulación se requiere que este modelo conceptual sea convertido a un modelo de simulación.

Para la mayor parte, los objetos del modelo representan los elementos estructurales en un sistema como máquinas, personas, artículos de trabajo, y áreas de trabajo

- Entidades — los artículos procesados en el sistema.
- Localizaciones — lugares donde se procesan o se guardan las entidades.
- Recursos — agentes usados en el proceso de entidades.
- Rutas — trayectoria del recorrido para las entidades y los recursos en el sistema.

Los elementos operacionales definen el comportamiento de los diferentes elementos físicos en el sistema y cómo ellos interactúan. Éstos incluyen asignaciones de ruta, operaciones, llegadas, movimiento de entidades y de recursos, reglas de selección de la tarea, programa de recursos, y tiempos fuera de servicio y reparaciones.

1.2.4 Validar el modelo.

La verificación del modelo es el proceso de determinar si el modelo de la simulación refleja correctamente el modelo conceptual. La validación del modelo es el proceso de determinar si el modelo conceptual refleja correctamente el sistema real. La verificación y validación del modelo son críticos para el éxito de un proyecto de simulación.

No existe una sola prueba para determinar la validez del modelo. La validación es un proceso inductivo en el cual el modelador bosqueja conclusiones acerca de la exactitud del modelo basado en la evidencia disponible. Muchas de las técnicas son las mismas que las usadas para verificar un modelo, sólo que el cliente y otros quienes son conocedores acerca de las necesidades del sistema deben estar involucrados. Como con la verificación del modelo, es común usar una combinación de técnicas cuando se hace la validación del modelo. Algunas de las técnicas más usadas son:

- Observar la animación
- Comparar con el sistema actual
- Comparar con otros modelos
- Conducir pruebas con condiciones extremas
- Checar por confrontación

- Probar con datos históricos
- Desempeñar análisis de sensibilidad
- Trazar funcionamiento

Un método común de validación de un modelo de un sistema existente es comparar el desempeño del modelo con ese sistema actual. Esta aproximación requiere que la simulación construida corresponda a ese sistema actual. Esto ayuda a “calibrar” el modelo para que entonces este pueda ser usado para varias simulaciones del mismo modelo.

1.2.5 Realización de experimentos.

En esta etapa se modifica las condiciones del modelo de simulación validado a manera de establecer escenarios ideales de operación. Estos cambios en la simulación permiten evaluar la posibilidad de rediseñar y proponer mejoras en la operación del sistema.

1.3 Ventajas de la simulación

Las etapas de la simulación rara vez se realizan en una secuencia estructurada que comience con la definición del problema y termine con la documentación. Un proyecto de simulación puede implicar falsos comienzos, suposiciones erróneas que más tarde deben abandonarse, reformulación de los objetivos del problema y evaluación y rediseño repetidos del modelo. Sin embargo, si se realiza correctamente, este proceso iterativo debería dar como resultado un modelo de simulación que evalúe adecuadamente las alternativas y mejore el proceso de toma de decisiones.¹

Si se sigue el procedimiento adecuado y se dedican al proyecto el tiempo y los recursos necesarios, la simulación siempre aportará algún beneficio al proceso de toma de decisiones.

¹ Harrell, C., Ghosh, B., Bowden, R. T.: Simulation Using ProModel. The McGraw-Hill. (2011).

Capítulo 2. Metodología aplicada en Caso de Estudio

2.1 Definir sistema de estudio

El proceso para el jugo comienza mezclando la sustancia (PAD) con su homóloga, pero ya usada y reciclada. El operario empieza el proceso llevándose un costal de materia prima y para transportarlo usará un diablito para colocar un 70% de componente primo y 30% de reciclado, hay 3 botes de plástico con una capacidad de 80 kg cada uno y que previamente se encuentran marcados en su interior, con las medidas establecidas, un bote es para la materia virgen, otro para la reciclada y otro para la mezclada.

La duración es de 10 minutos. Después de triturar, se cambia a un barril, que ha sido adaptado para agitar, revolver y rebuscar lo ya triturado. En este mismo “rebuscado” se puede distinguir el material virgen, ya que este tiene forma de lenteja y el material recuperado está granulado.

En este punto se transfiere lo “rebuscado” a un bote que está previamente marcado, se vacía el material. La máquina tarda 15 s, para tener el plástico derretido, lo eleva a una temperatura de 230 C, un hilo ardiente lo corta, al mismo tiempo que cae en los moldes que tienen la forma del envase, en este momento una sopladora baja, y exhala. El mecanismo deja los envases en una banda transportadora. Salen en pares, aunque ambos salen con las imperfecciones en la parte del cuello, la línea sigue llevados a una rectificadora, que rebana todo defecto en un tiempo de 4.11 segundos por par introducido, de aquí sale la mayoría del material reciclado. Posteriormente, estas caen a una cesta, donde son separadas, recogidas y empaquetadas.

Objetivo: Apoyar la toma de decisiones de la empresa mirando siempre la eficiencia y optimización de sus líneas de producción de plástico y en base a la información y propuestas que

proporcionamos con la ayuda de la simulación y en un plazo no superior a un mes poder invertir o no en el nuevo proyecto.

Para alcanzar los objetivos de la empresa, es necesario dedicar tiempo, realizar visitas a las instalaciones y obtener información facilitada por el propietario y los operarios para comprender sus principales dolores dentro de las líneas de producción y qué requisitos deben cubrirse para mejorar su eficacia.

Los aspectos para responder dentro de este marco son el interés principal en mejorar el proceso objetivo, la motivación para cambiar sus líneas de producción, el tipo y las características de los escenarios ideales y la demanda de producción real.

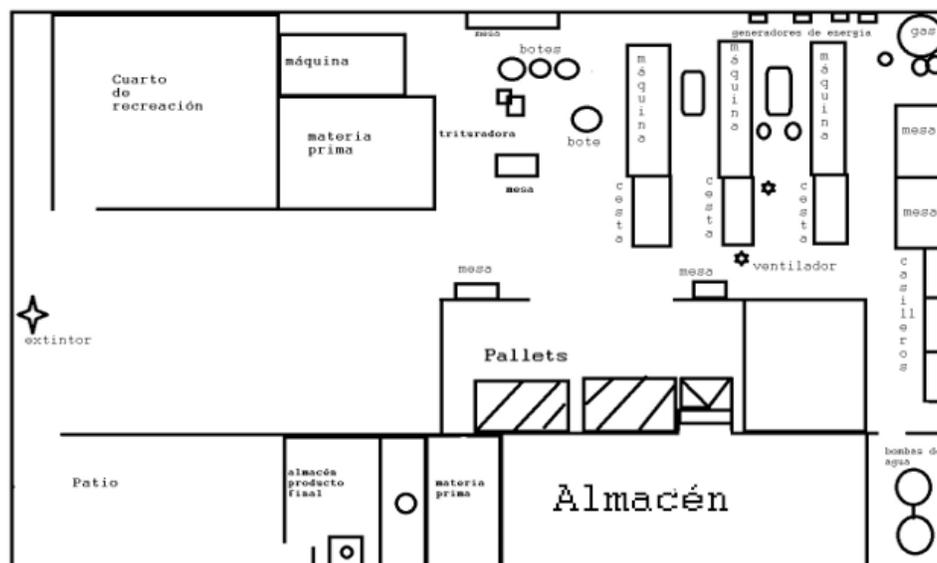


Fig. 1. Lay out de planta. Elaboración propia

2.2 Toma de datos

Para analizar el sistema, se requiere de separar el proceso en partes. Cada etapa del proceso se desmenuza en partes cuantitativas, las cuales se puedan someter a ejercicios estadísticos para obtener resultados de correlación que indiquen la interacción entre ellos.

Se consideran variables que separan el proceso en los estados y generando un diagrama de influencias que refiere a las interacciones de los agentes que envuelven al proceso.

Variables de decisión

- Dejar la tercera máquina
- Aumentar la producción con las dos máquinas con la ayuda de dos turnos

Variables de estado

- Los trabajadores tienen muy desordenada el área, entorpeciendo las actividades
- Hay muchos tiempos de ocio
- Falta una organización en el manejo de las máquinas

Variables de respuesta

- Se determinará la solución por parte de los dueños
- Cuánto tiempo se debe tomar para la decisión
- Con la propuesta dada, cuál es el beneficio de la decisión.



Fig. 2. Diagrama de influencias proceso de producción de botellas de plástico. Fuente: elaboración propia.

2.2.1 Datos Estructurales

Los objetos del sistema de producción que hay que simular son los datos estructurales. Estos objetos son las entidades de entrada, los procesos y el proceso de flujo. Comenzamos registrando cada actividad y su descripción. Sin embargo, por razones de orden, clasificación y para fines de simulación en FlexSim®, agrupamos las actividades en cuatro grupos principales (Combinado, proceso de trituración, proceso de inyección y envasado de botellas de plástico). En la tabla 1 se

describen las actividades y máquinas necesarias para su realización, así como el grupo de procesos utilizado en el modelo de simulación.

ACTIVIDAD	NOMBRE DEL GRUPO DE PROCESOS	MAQUINA (NUMERO DE MÁQUINAS)
Recoger y transportar un saco a la zona de trituración. Colocar un 70% de materia prima y un 30% de material reciclado	Combinado	Mezclador (1 máquina)
Colocar la mezcla en la trituradora Triturar la mezcla Vaciar y depositar la mezcla en un barril	Proceso de molienda	Trituradora (1 máquina)
Mueva el cañon desde la zona de trituración hasta la máquina 1 Transfiera la mezcla de la zona del bidón al cono de la máquina 2 Vaciar la mezcla en el cono Puesta en marcha y funcionamiento de la máquina de inyección	Proceso de inyección	Máquina de inyección (3 máquinas)
Un segundo operario coloca la bolsa en la centrifugadora Introduzca 110 botellas por bolsa Cerrar la bolsa con cinta adhesiva Coloque la etiqueta en la bolsa Lleva la bolsa al almacén Transporte a otra máquina para envasar botellas de plástico	Envases de botellas de plástico	Almacén (1 máquina)

Tabla 1. Grupos de FlexSim. Fuente: elaboración propia

La figura 3 representa el sistema modelo base que se va a simular. Las entidades de entrada, como la materia prima y el material reciclado, entran en el sistema como recurso fuente. El material mezclado se combina y tritura en una instalación de procesamiento. A continuación, la mezcla se procesa en la instalación de inyección y envasado. Y, por último, la bolsa de botellas va al almacén final.

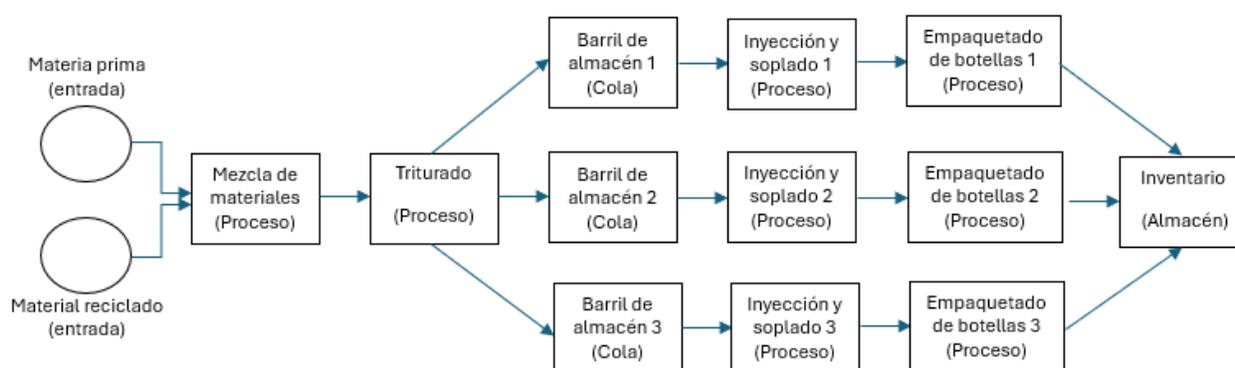


Fig. 3. Diagrama de flujo del sistema, Fuente: elaboración propia.

2.2.2 Datos Operativos

En el caso de los datos operativos se utiliza el lay out de la empresa para observar la ubicación de la maquinaria y la materia prima con el fin de optimizar los tiempos de traslado y evitar cruces innecesarios en el transporte de materiales, véase la Figura 4.

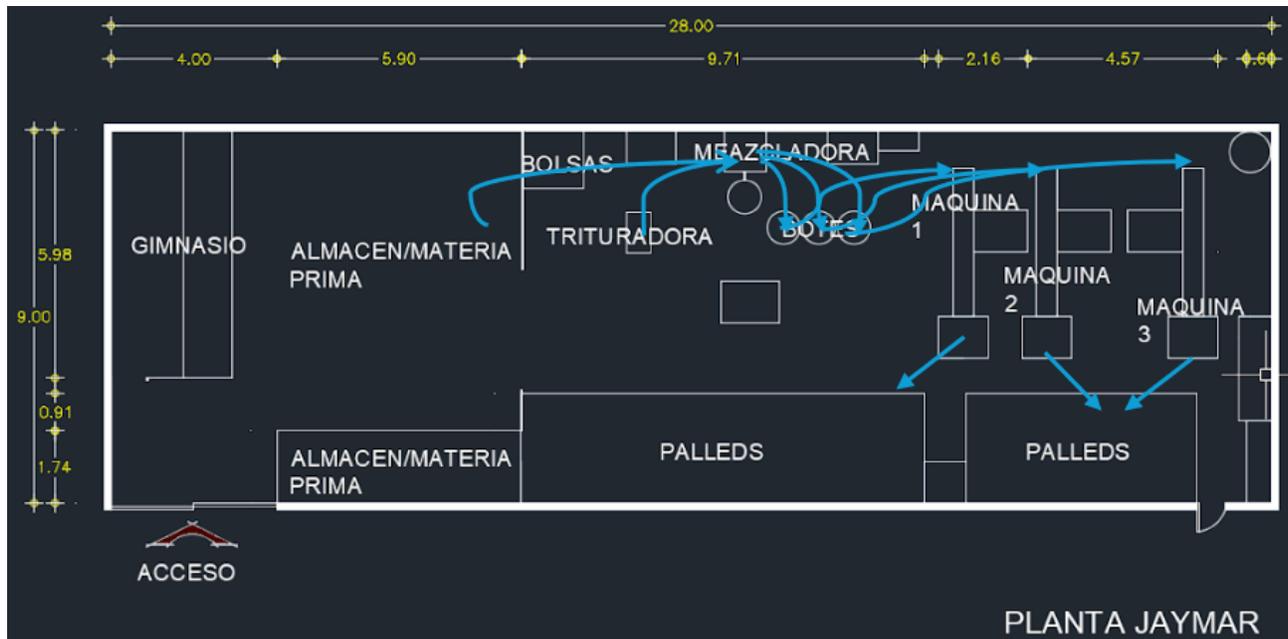


Fig. 4. Esquema del sistema de producción, Fuente: elaboración propia.

2.2.3 Datos Numéricos

Los datos cuantitativos nos ayudan a describir la visión del sistema. Los datos numéricos son información cuantitativa sobre los elementos del sistema. Como la hora de llegada son datos de entidades; la capacidad de producción son datos numéricos sobre las instalaciones.

Los datos numéricos se obtienen mediante registros y estudios temporales. Estos datos se utilizan para convertir los datos brutos en información valiosa y procesable. Sirven para comprender el funcionamiento del sistema y su contexto, permitiendo una toma de decisiones más eficaz. Estos datos se presentan en la tabla 2, agrupados por tipo de material, cantidad y tiempos de proceso.

MATERIAL	CANTIDAD	TIEMPO
Materia prima	3 toneladas	Cada mes (22 días laborales)
Plan de producción de botellas	Cadencia media de producción: 22.500 botellas al día, entre las 3 máquinas Tasa de rechazo (+2% por defectuosos) La botella pesa 22 g	25 kg de material al día por máquina
6 latas de material (cada lata de 25 kg)	105 kg de material virgen (70%) 45 kg de material reciclado (30%)	Diariamente para 3 máquinas
Máquinas de moldeo por inyección	3 máquinas	Permanente
Trituradora	1 máquina	Permanente
Fundición de botes de material	3 máquinas	Permanente

Tabla 2. Datos numéricos. Fuente: elaboración propia

2.3 Análisis de datos

Principalmente para el análisis de este caso se ocuparon datos cuantitativos que ayudarán a obtener información del sistema. Dichos tiempos se tomaron en un lapso de 19 días y el formato para registro de datos es el siguiente:

RENOMBRE DE ACTIVIDAD		PRODUCTO INICIAL DEL PROCESO (ENTRADA)	NOMBRE DEL PROCESO AGRUPADO	MAQUINA
Tomar y transportar un costal al área de triturado	Toma y transporte de material (70% NP y 30% MR)	Mezcla heterogenea	Combinado	Revolvedora (1)
Colocar 70% de materia prima y 30% de material reciclado	Vaciado y trabajo de revolvedora			
Colocar la mezcla en la trituradora	Colocar la mezcla en la trituradora	Mezcla heterogenea revuelta	Proceso de triturado	Trituradora (1)
Triturar	Triturar			
Se vacía y deposita la mezcla en un barril	Se vacía y deposita la mezcla en un barril	Mezcla homogenea triturada	Proceso de inyección	Máquinas de inyección (3)
Se traslada del área de triturado a la maquina 1	Se traslada del area de triturado a la maquina 1			
Traslado del área de botes al cono de la maquina 2	Traslado del area de botes al cono de la maquina 2			
Vaciar la mezcla en el cono	Vaciar la mezcla en el cono			
La máquina se encuentra operando	La máquina se encuentra operando	Botella de plástico	Empaquetado de botellas de plastico	Almacén (1)
Un segundo operario coloca la bolsa en el escantillon	Un segundo operario coloca la bolsa a la salida de la banda			
Introducir las botellas en le bolsa (110 botellas)	Introduce las botellas en la bolsa (110 botellas)			
Sello con diurex	Sello con diurex			
Colocar etiqueta	Colocar la etiqueta			
Transporte al almacen	Transporte al almacen			
Traslado de máquina a otra	Traslado a almacén			

Fig. 5. Formato de registro de tiempos en proceso de producción de botellas.

Fuente: Elaboración propia

Al comienzo al registrar los datos se tuvo que nombrar cada actividad, así como su descripción, sin embargo, por cuestiones de orden, clasificación y con fines de simulación en

FlexSim, se tuvieron que agrupar en 4 principales grupos (Combinado, proceso de triturado, proceso de inyección y empaquetado de botellas de plástico).

1.3.1 Prueba de independencia

Sirve para comprobar la relación entre las variables, comprueba si los datos reales son próximos a los conteos realizados.

2.3.1.1 Gráficas de dispersión

Al registrar los tiempos de cada actividad (previo al agrupamiento) corroboramos que los datos fueran independientes haciendo una prueba de independencia visual con la gráfica de dispersión. Siendo que, si la gráfica sigue una patrón o línea de tendencia los datos son dependientes; y si se presentan puntos aleatorios, los datos son independientes.

2.3.1.2 Grafico de Autocorrelación

Al registrar los tiempos de cada actividad (antes de la agrupación) se corroboró que los datos eran independientes realizando una prueba visual de independencia con el gráfico de dispersión. Ya que, si el gráfico sigue un patrón o línea de tendencia, los datos son dependientes; y si hay puntos aleatorios, los datos son independientes. En las figuras 6 a 13 se muestran los gráficos de dispersión de los tiempos de los datos de cada grupo de procesos. Mostramos que el grupo de proceso tiene un proceso independiente porque los gráficos de dispersión son puntos aleatorios.

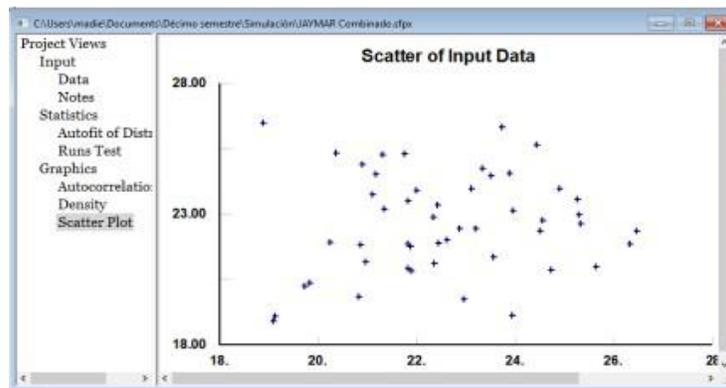


Fig. 6. Gráfico de dispersión en el proceso combinado, Fuente: elaboración propia utilizando ProModel versión estudiantil

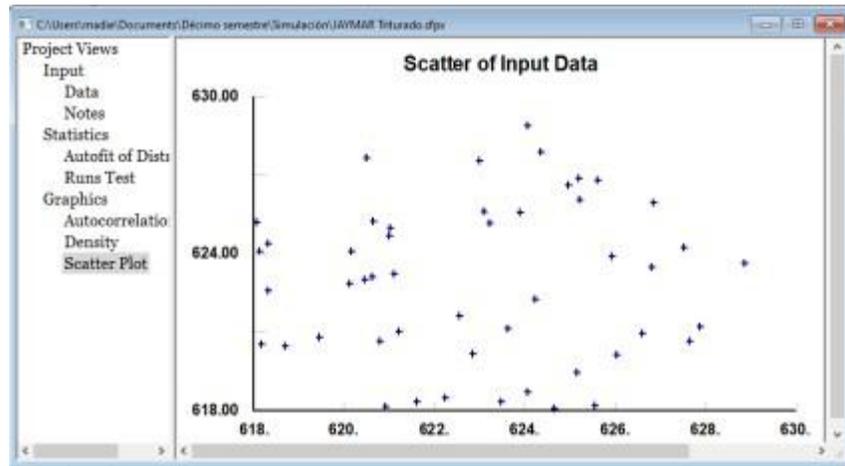


Fig. 7. Diagrama de dispersión en el proceso de molienda, Fuente: elaboración propia Fuente: elaboración propia utilizando ProModel versión estudiantil

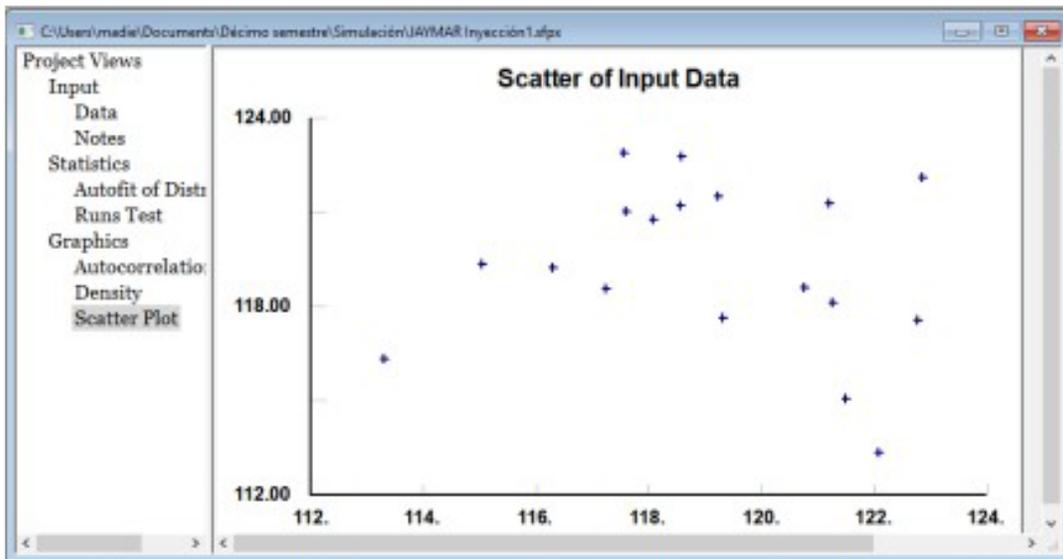


Fig. 8. Diagrama de dispersión en el proceso de moldeo por inyección de la máquina 1, Fuente: elaboración propia utilizando ProModel versión estudiantil

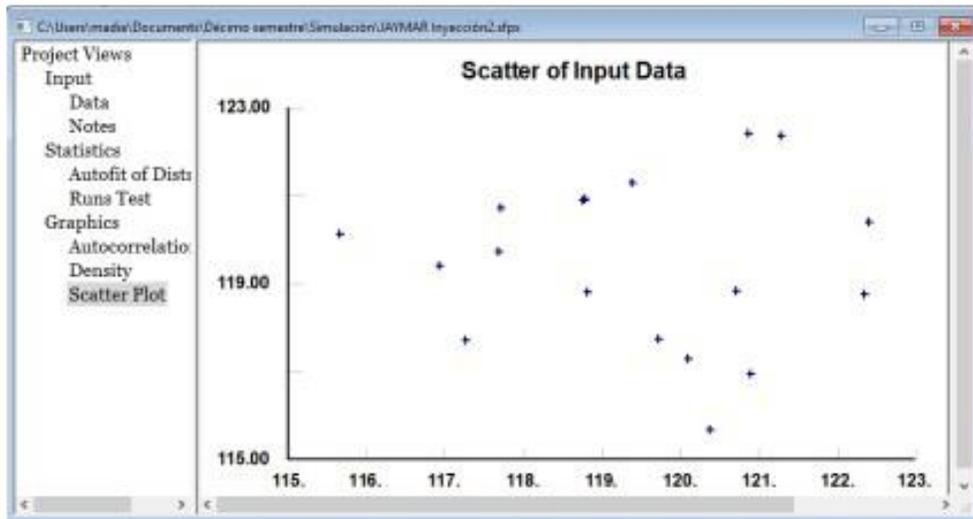


Fig. 9. Diagrama de dispersión en el proceso de moldeo por inyección de la máquina 2, Fuente: elaboración propia utilizando ProModel versión estudiantil

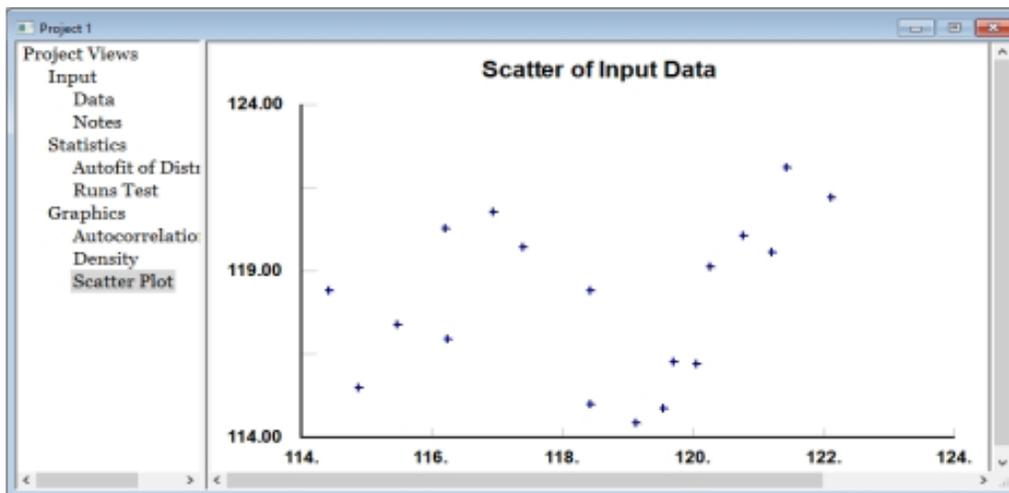


Fig. 10. Gráfico de dispersión en el proceso de moldeo por inyección de la máquina 3, Fuente: elaboración propia utilizando ProModel versión estudiantil

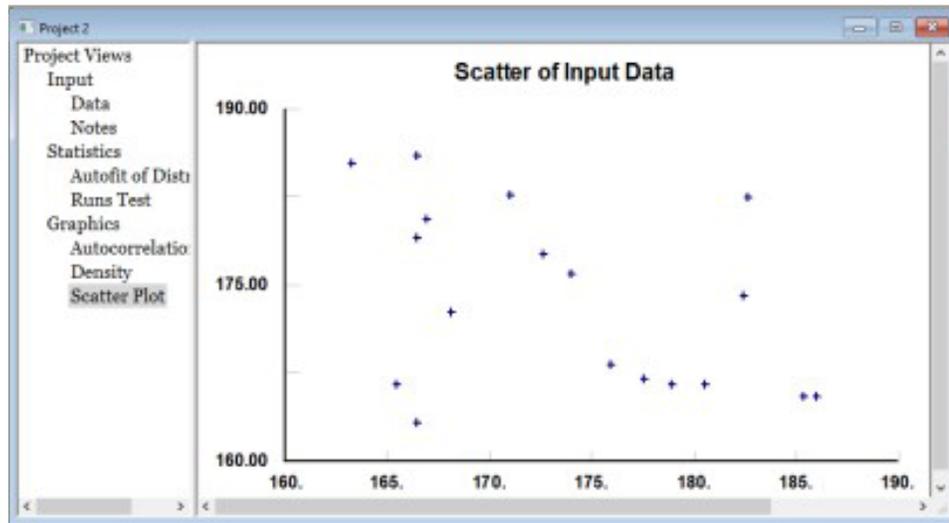


Fig. 11. Gráfico de dispersión en el proceso de envasado de la máquina 1, Fuente: elaboración propia utilizando ProModel versión estudiantil

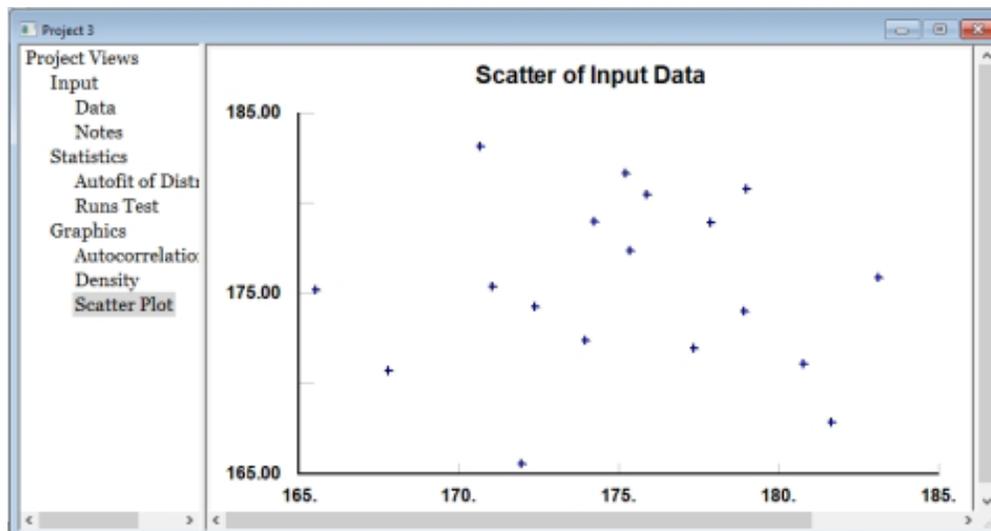


Fig. 12. Diagrama de dispersión en el proceso de envasado de la máquina 2, Fuente: elaboración propia utilizando ProModel versión estudiantil

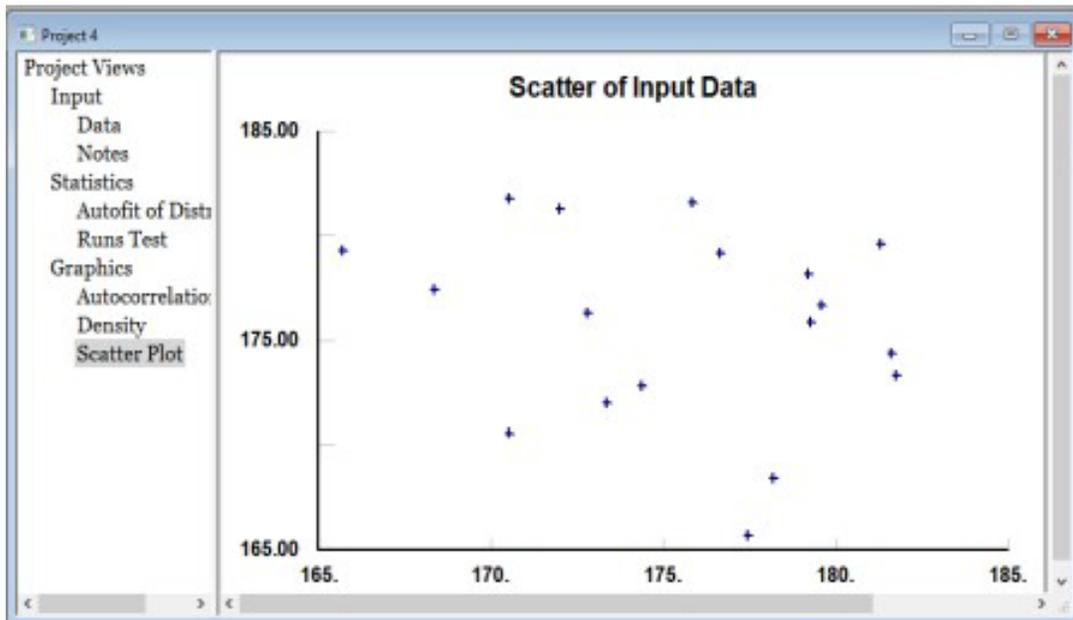


Fig. 13. Diagrama de dispersión en la máquina de proceso de envasado 3, Fuente: elaboración propia utilizando ProModel versión estudiantil

Cuando los datos muestran independencia, también deben ser no correlacionados. La autocorrelación significa que los datos de origen son un proceso estacionario. El valor de autocorrelación puede estar entre 1 y -1, si la autocorrelación se aproxima a cero, indica poca o ninguna correlación. La tabla 3 muestra la autocorrelación en sentido positivo y negativo del tiempo de procesamiento del grupo.

NOMBRE DEL GRUPO DE PROCESOS	CORRELACION DIRECCION POSITIVA	CORRELACION DIRECCION NEGATIVA
Proceso combinado	0.134	-0.268
Proceso de molienda	0.178	-0.306
Máquina de moldeo por inyección 1	-0.129	-0.166
Máquina de moldeo por inyección 2	0.203	-0.041
Máquina de moldeo por inyección 3	0.238	-0.209
Máquina de proceso de envasado de botellas de plástico 1	0.247	-0.438
Máquina de proceso de envasado de botellas de plástico 2	0.241	-0.505
Máquina de proceso de envasado de botellas de plástico 3	0.039	-0.223

Tabla 3. Autocorrelación instalaciones de grupos de procesos Fuente: elaboración propia utilizando ProModel versión estudiantil

Una vez comprobada la independencia numérica y el análisis de correlación, se procede a la conversión de los datos numéricos en información adecuada para la simulación.

2.3.1.3 Prueba de Rachas

Esta prueba también nos ayuda a saber si los datos son aleatorios o existe dependencia entre ellos. La hipótesis nula es que los datos son aleatorios.

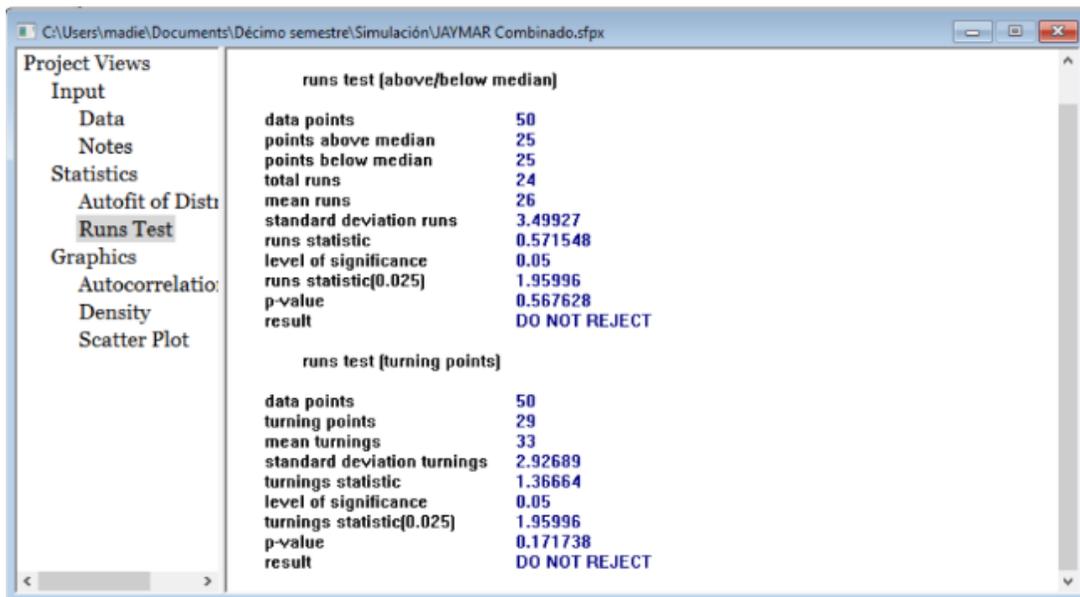


Fig. 14. Prueba de rachas en Proceso de combinado. Fuente: elaboración propia utilizando ProModel versión estudiantil

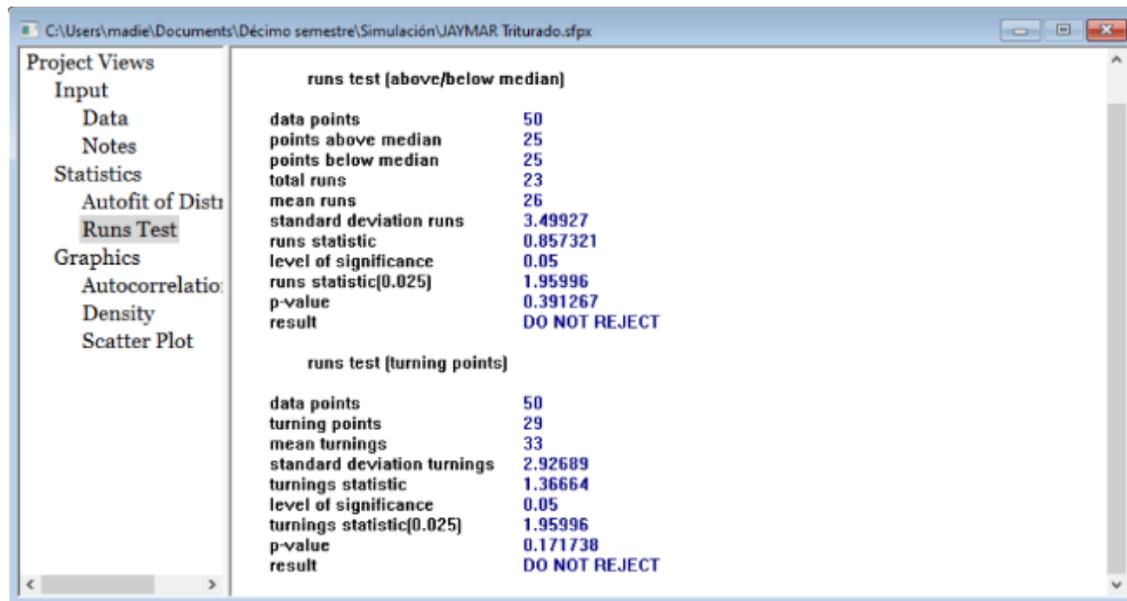


Fig. 15. Prueba de rachas en Proceso de triturado. Fuente: elaboración propia utilizando ProModel versión estudiantil

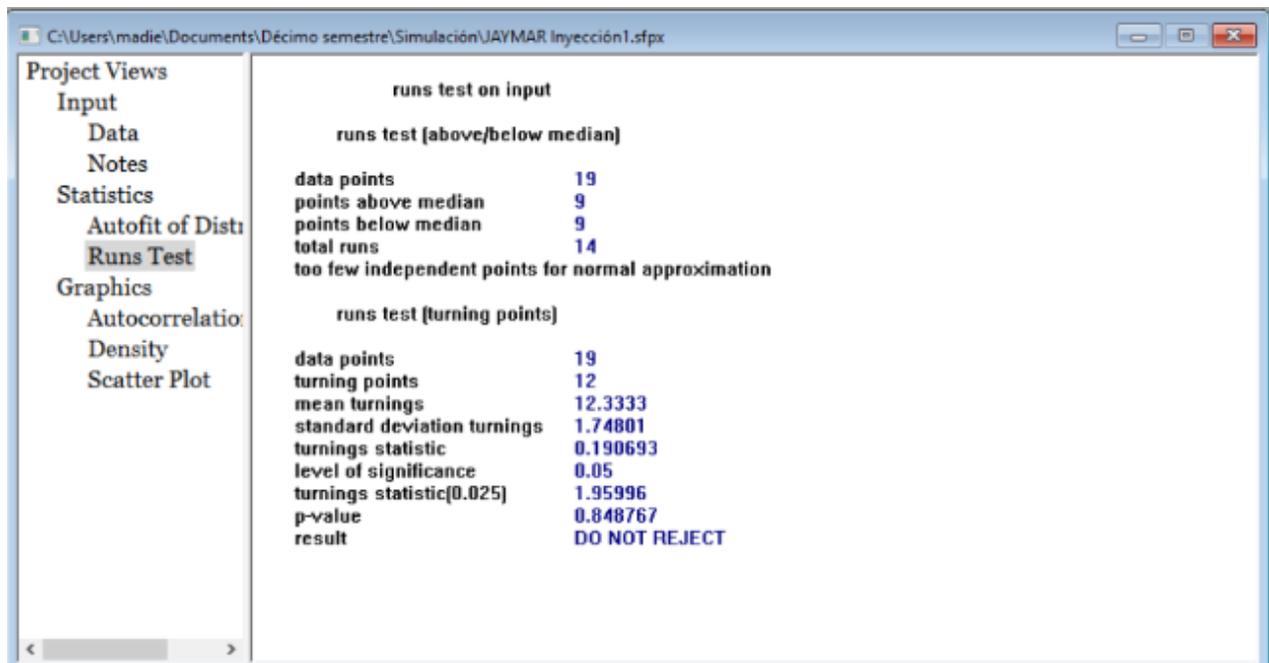


Fig. 16. Prueba de rachas en Proceso de inyección máquina 1. Fuente: elaboración propia utilizando ProModel versión estudiantil.

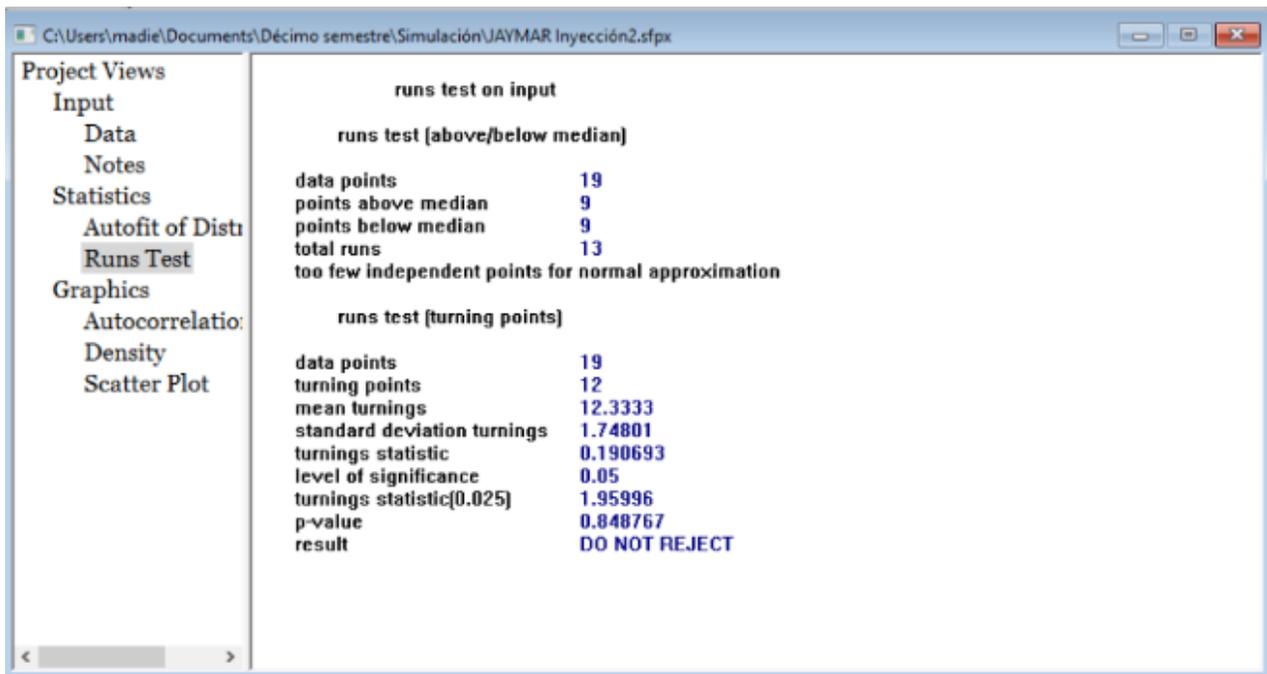


Fig. 17. Prueba de rachas en Proceso de inyección máquina 2. Fuente: elaboración propia utilizando ProModel versión estudiantil

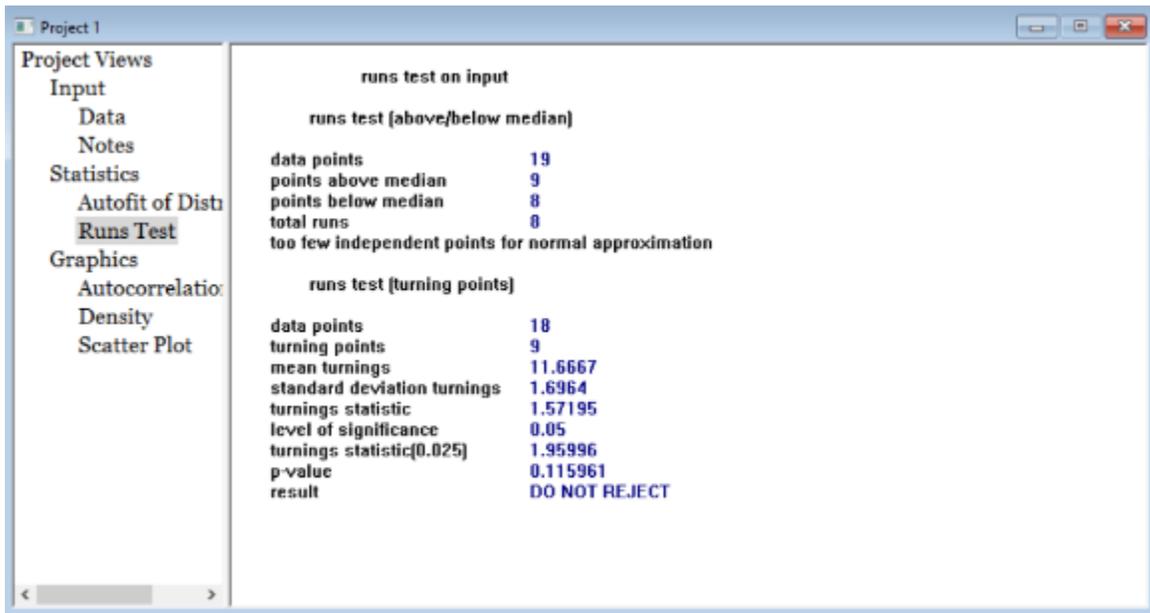


Fig. 18. Prueba de rachas en Proceso de inyección máquina 3. Fuente: elaboración propia utilizando ProModel versión estudiantil.

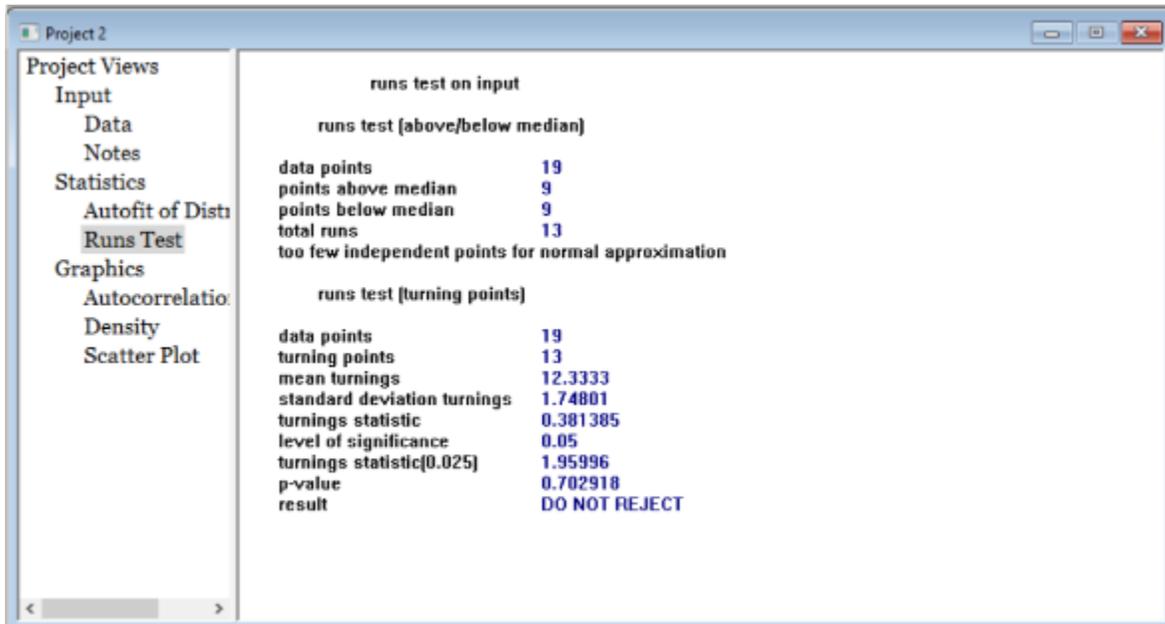


Fig. 19. Prueba de rachas en Proceso de empaquetado máquina 1. Fuente: elaboración propia utilizando ProModel versión estudiantil



Fig. 20. Prueba de rachas en Proceso de empaquetado máquina 2. Fuente: elaboración propia utilizando ProModel versión estudiantil

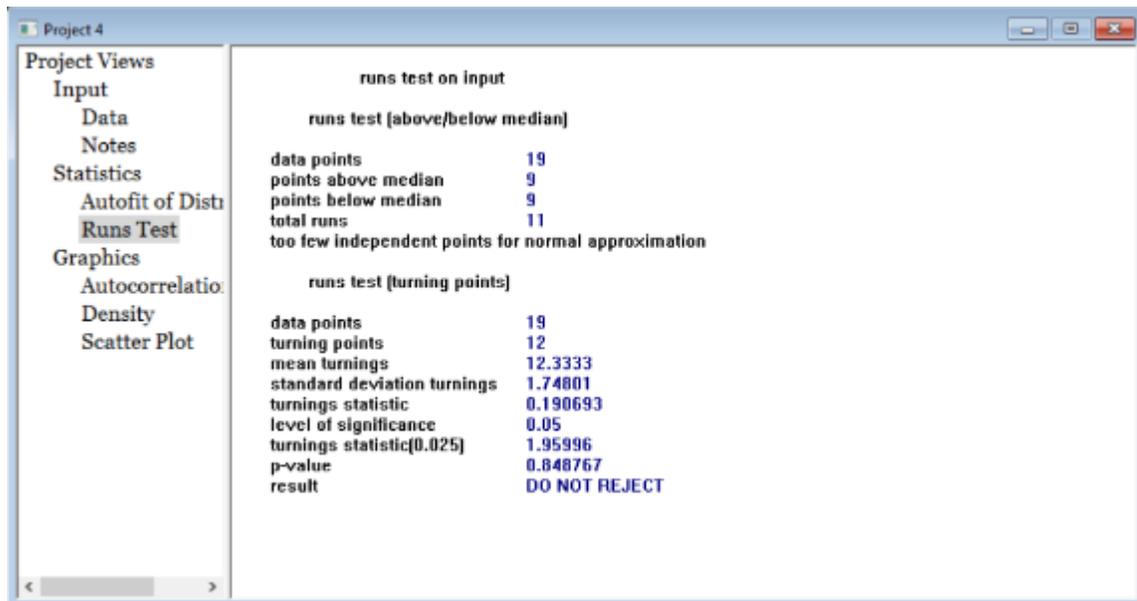


Fig. 21. Prueba de rachas en Proceso de empaquetado máquina 3. Fuente: elaboración propia utilizando ProModel versión estudiantil

2.3.2 Prueba de bondad de ajuste

Esta prueba nos ayuda, con base en los datos recabados en el lugar (toma de tiempos en proceso de producción de botellas de plástico), para saber que distribución siguen los datos y así poder obtener información para simular la producción.

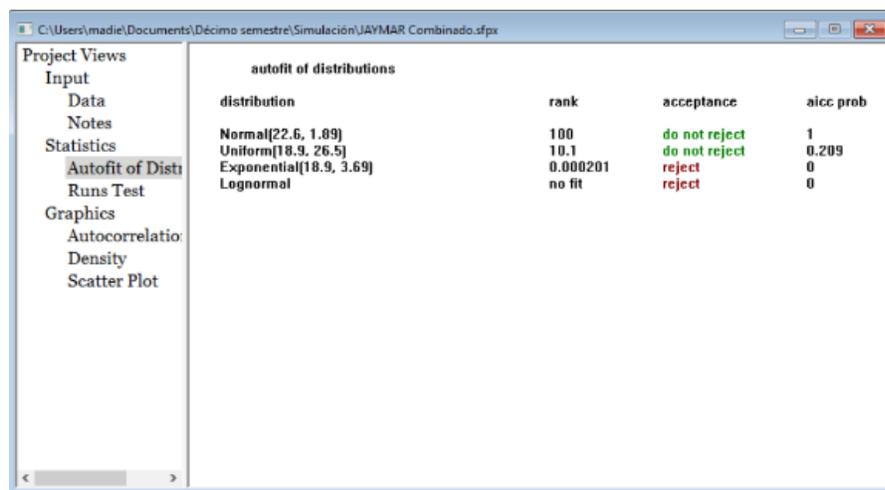


Fig. 22. Prueba de bondad en Proceso de combinado. Fuente: elaboración propia utilizando ProModel versión estudiantil

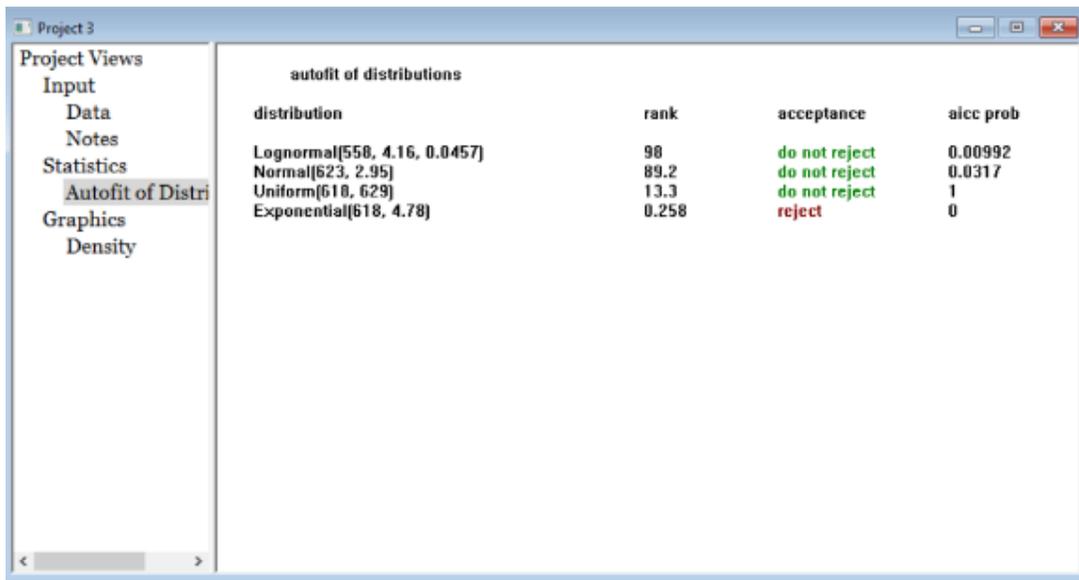


Fig. 23. Prueba de bondad en Proceso de triturado. Fuente: elaboración propia utilizando ProModel versión estudiantil

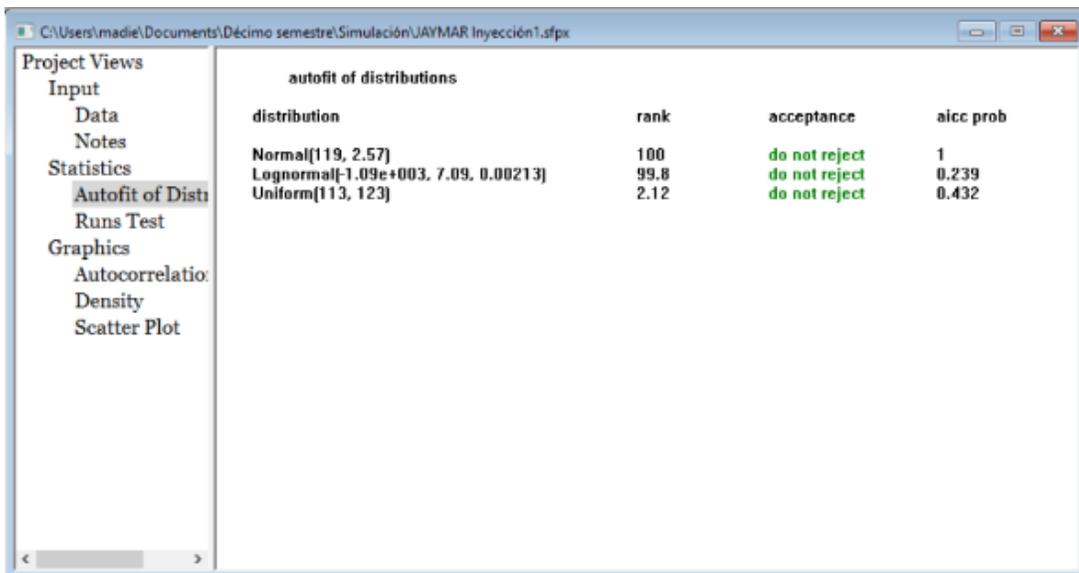


Fig. 24. Prueba de bondad en Proceso de inyección máquina. Fuente: elaboración propia utilizando ProModel versión estudiantil

distribution	rank	acceptance	aicc prob
Lognormal[-634, 6.62, 0.00237]	100	do not reject	0.24
Normal[119, 1.79]	99.9	do not reject	1
Uniform[116, 122]	14	do not reject	0.37

Fig. 25. Prueba de bondad en Proceso de inyección. Fuente: elaboración propia utilizando ProModel versión estudiantil

distribution	rank	acceptance	aicc prob
Uniform[114, 122]	100	do not reject	1
Normal[118, 2.37]	80	do not reject	0.082
Lognormal[-635, 6.62, 0.00315]	79.7	do not reject	0.0196

Fig. 27. Prueba de bondad en Proceso de inyección máquina 3. Fuente: elaboración propia utilizando ProModel versión estudiantil

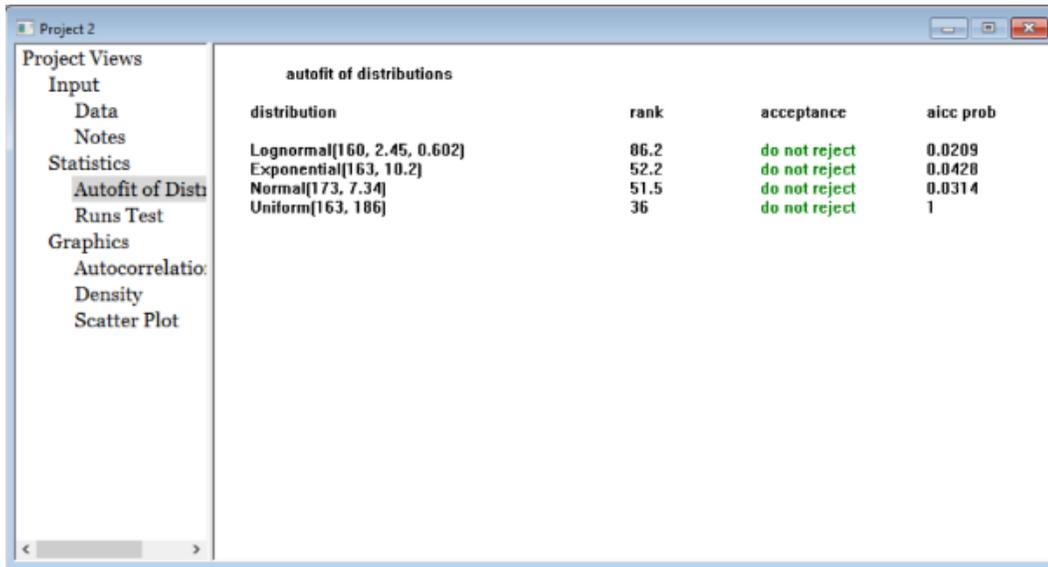


Fig. 28. Prueba de bondad en Proceso de empaquetado máquina 1. Fuente: elaboración propia utilizando ProModel versión estudiantil

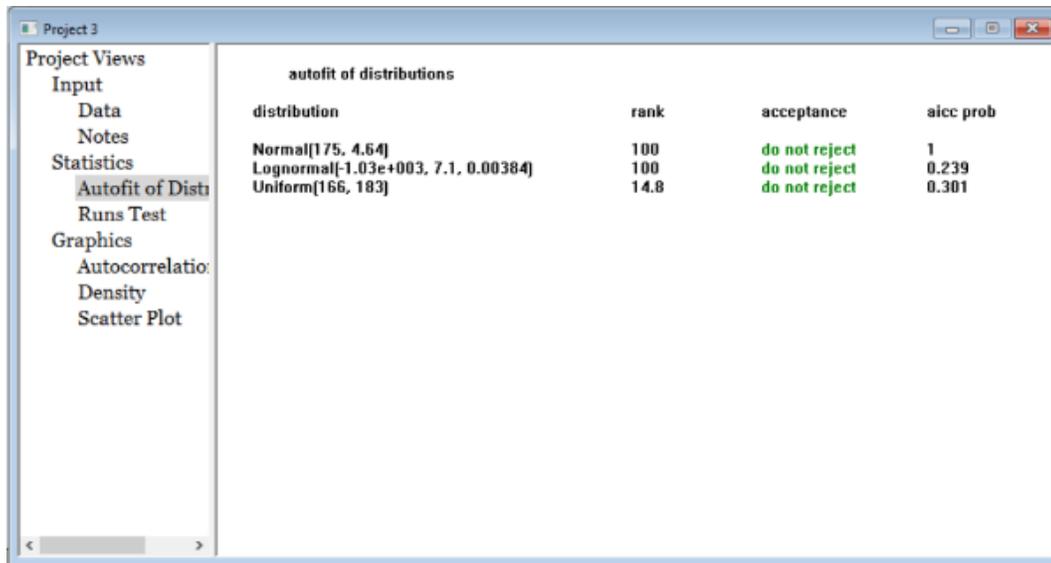


Fig. 29. Prueba de bondad en Proceso de empaquetado máquina 2. Fuente: elaboración propia utilizando ProModel versión estudiantil

autofit of distributions				
distribution	rank	acceptance	aicc prob	
Normal[176, 4.52]	100	do not reject	0.766	
Lognormal[-1.03e+003, 7.1, 0.00374]	99.6	do not reject	0.182	
Uniform[166, 182]	4.33	do not reject	1	

Fig. 30. Prueba de bondad en Proceso de empaquetado máquina 3. Fuente: elaboración propia utilizando ProModel versión estudiantil

NOMBRE DEL GRUPO DEL PROCESO	DISTRIBUCIONES PROBADAS	VALORACION DE LA DISTRIBUCION	DISTRIBUCION SELECCIONADA
Proceso combinado	Normal (22, 6, 1, 89) Uniforme (18, 9, 26, 5) Exponencial (18, 9, 3, 69) Lognormal	No lo rechaces No lo rechaces Rechazar Rechazar	Normal (22, 6, 1, 89)
Proceso de molienda	Lognormal (558, 4, 16, 0, 457) Normal(623, 2, 95) Uniforme (618, 629) Exponencial (618, 4, 78)	No lo rechaces No lo rechaces No lo rechaces Rechazar	Normal (22, 6, 1, 89)
Maquina de moldeo por inyección 1	Normal (119, 2, 57) Lognormal (-1.09e+0.003, 7.09, 0.002) Uniforme (113,123)	No lo rechaces No lo rechaces No lo rechaces	Normal (119, 2, 57)
Maquina de moldeo por inyección 2	Lognormal (-634, 6.62, 0.00237) Normal (119, 1, 79) Uniforme (116, 122)	No lo rechaces No lo rechaces No lo rechaces	Lognormal (-634, 6.52, 0.00237)
Maquina de moldeo por inyección 3	Uniforme (114, 122) Normal (118, 2, 37) Lognormal (-635, 6.62, 0.00315)	No lo rechaces No lo rechaces No lo rechaces	Uniforme (114, 122)
Maquina de proceso de envasado de botellas de plástico 1	Lognormal (160, 2, 45, 0, 602) Exponencial (163, 10.2) Normal (173, 7, 34) Uniforme (163, 186)	No lo rechaces No lo rechaces No lo rechaces No lo rechaces	Lognormal (160, 2, 45, 0, 602)
Maquina de proceso de envasado de botellas de plástico 2	Normal (175, 4.64) Lognormal (-1.03e+0.003, 7.1, 0.003) Uniforme (166, 183)	No lo rechaces No lo rechaces No lo rechaces	Normal (175, 4.64)
Maquina de proceso de envasado de botellas de plástico 3	Normal (176, 4.52) Lognormal (-1.03e+0.003, 7.1, 0.003) Uniforme (166, 182)	No lo rechaces No lo rechaces No lo rechaces	Normal (176, 4.52)

Tabla 4. Autocorrelación Instalaciones de grupos de procesos. Fuente: elaboración propia utilizando ProModel versión estudiantil

Capítulo 3. Modelo de Simulación y Experimentos

3.1 Construcción del modelo

Con base en los datos colectados de tiempos y plan de producción, simule el proceso de producción de botellas plásticas considerando lo siguiente: dos botellas son producidas por máquina inyectora, las unidades son en kilogramos, y el 2% de la producción es defectuosa (esto ya fue considerado en la simulación). La figura 12 muestra el modelo base simulado en FlexSim®.

Un total de 150 [kg] de materia prima entra en el sistema por día, que se divide en 3 líneas de distribución de una cantidad igual, de 50 [kg] a cada línea, recordando que sólo tenemos un mezclador y una trituradora, que aseguran que la materia prima es homogénea. En cada línea la mezcla es introducida en el proceso de inyección de botellas, una vez finalizado este proceso, las botellas serán envasadas en bolsas (con 110 botellas).

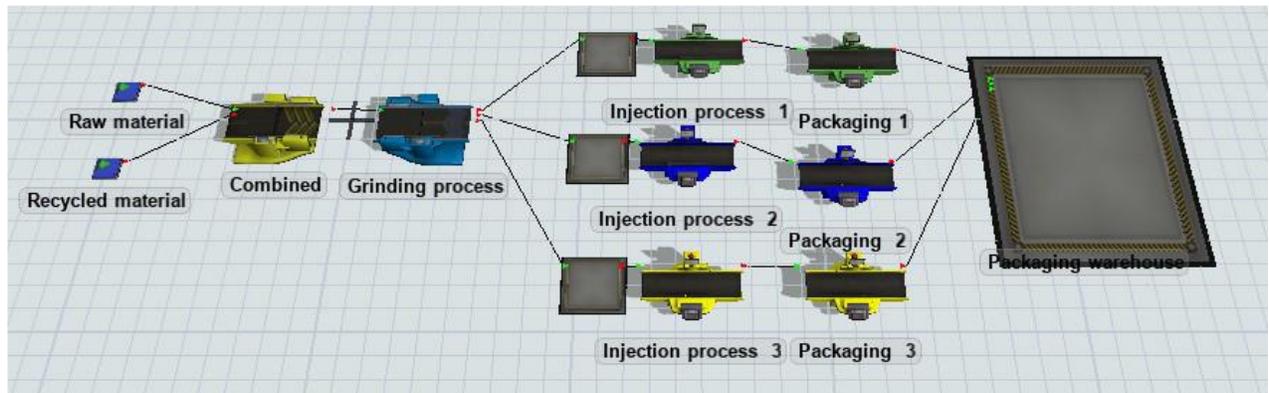


Fig. 31. Diseño de simulación FlexSim®, Fuente: elaboración propia con ayuda de FlexSim.

3.2 Validación del modelo

El modelo base fue revisado por la parte interesada del proceso. El propietario del proceso estuvo de acuerdo con los resultados del modelo base. A continuación, seguimos con la evaluación experimental en el paso 5 de la simulación del proceso (figura 32).

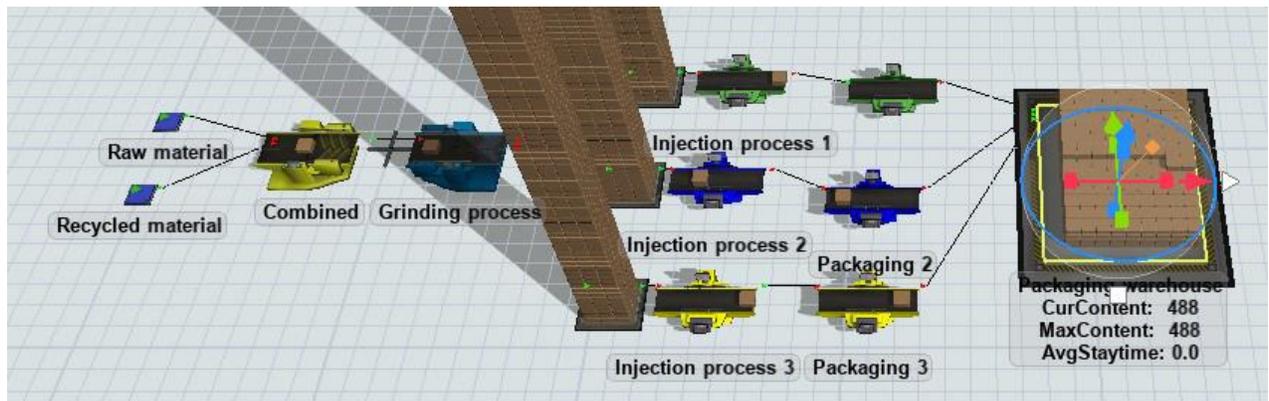


Fig. 32. Simulación del modelo base en FlexSim®, Fuente: elaboración propia con ayuda de FlexSim.

3.3 Experimentos y Escenarios

Con ayuda del programa de simulación FlexSim® se hizo la representación del sistema de producción. Las condiciones operativas son una jornada laboral de 12 horas (a partir de las 8.00 horas). Las normas de higiene son el uso de mascarillas y gorros. Las normas de seguridad son el uso de calzado de seguridad, chalecos y cinturones.

Objetivos de la simulación

- Cierre de la operación en la máquina de producción de la tercera línea.
- Aumentar la producción con sólo dos máquinas de proceso de moldeo por inyección.

Variables de decisión.

- Máquina de moldeo por inyección en funcionamiento
- Máquinas de proceso de envasado en funcionamiento.

Variables de estado.

- Tiempo de funcionamiento
- Número de turnos de trabajo.

Variables de respuesta

- Producción acabada.

Se plantean tres escenarios de simulación donde se analiza el estado actual de funcionamiento, con un funcionamiento de una máquina más y una menos, para conocer la viabilidad de la decisión que se puede tomar en la empresa.

3.3.1 Escenario 1

La primera propuesta es simular las 2 líneas que se quieren mantener durante 1 solo turno (definido como 12 horas). Estos escenarios permiten probar los resultados tendenciales de la decisión de cierre de la operación en la tercera máquina.

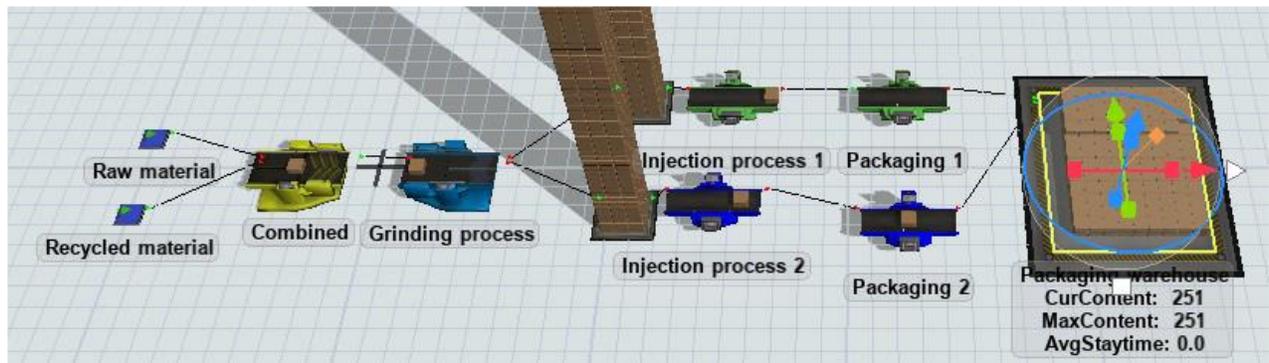


Fig. 33. Simulación del primer escenario en FlexSim®, Fuente: elaboración propia con ayuda de FlexSim.

3.3.2 Escenario 2

El segundo escenario de simulación, este escenario es una propuesta donde están trabajando 2 líneas de inyección de producción en dos turnos de trabajo (cada uno de 12 horas).

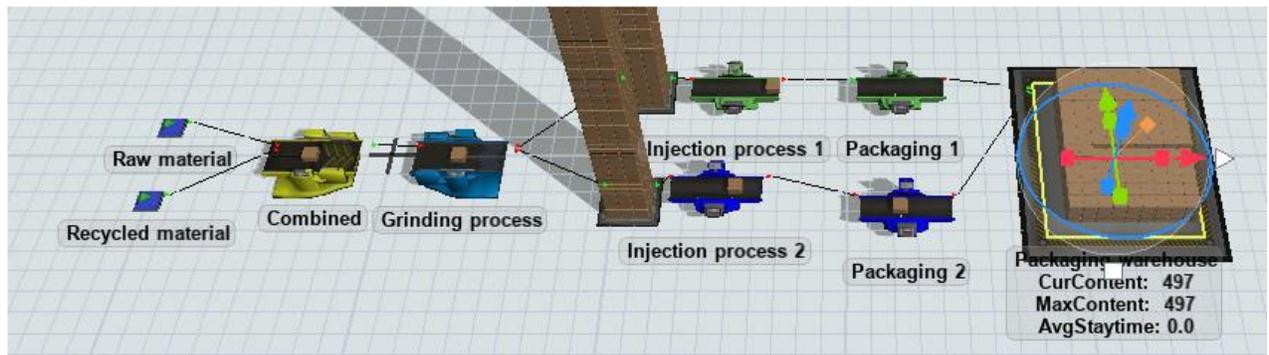


Fig. 34. Simulación del segundo escenario en FlexSim®, Fuente: elaboración propia con ayuda de FlexSim.

3.3.3 Escenario 3

El tercer escenario es mantener nuestra propuesta con 2 líneas de inyección y 1 turno (12 horas definidas), además dejamos 3 áreas de envasado. Esta sería la mejor propuesta si buscáramos producir más y vender la línea 3 (exceptuando, por supuesto, el área de envasado). Cuando se plantea la propuesta tres, la idea es hacer más eficiente el proceso en el área de envasado, y esto se refleja

en un atraso mínimo, ya que el tiempo en que se retiran las botellas permite reducir el cuello de botella que se genera al dejar la botella en la inyectora.

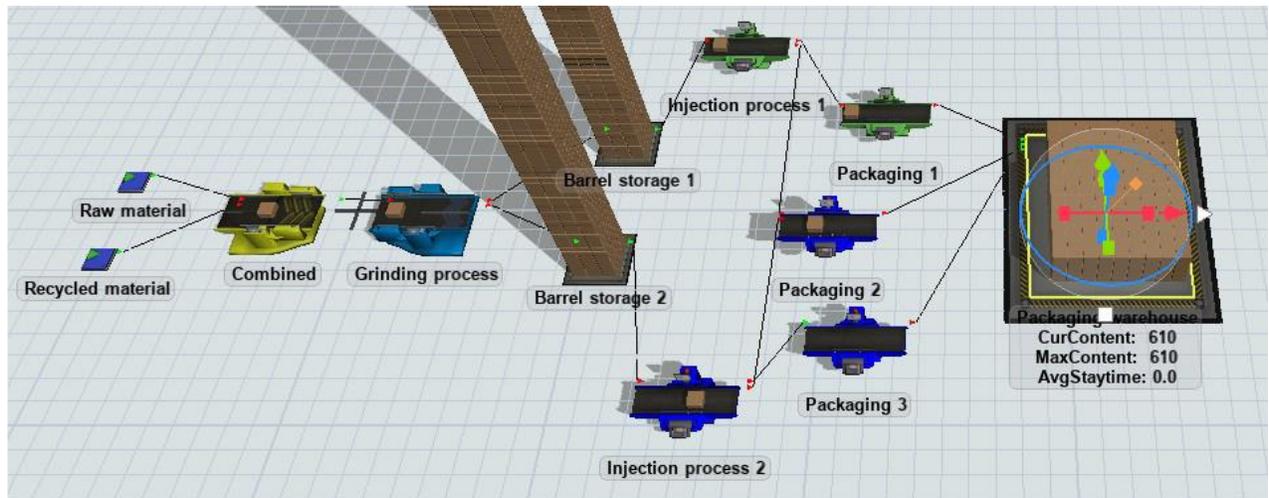


Fig. 35. Simulación del tercer escenario en FlexSim®, Fuente: elaboración propia con ayuda de FlexSim.

Capítulo 4. Análisis de Resultados y conclusiones

4.1 Análisis de resultados

La tabla 5 muestra la forma en que la decisión y la variable de estado cambian entre cada escenario de simulación utilizando FlexSim®. Al final de la tabla 5 podemos ver la respuesta de la variable con una sola replicación de los resultados de la simulación.

VARIABLES	DESCRIPCION VARIABLE	MODELO BASE	PRIMER ESCENARIO	SEGUNDO ESCENARIO	TERCER ESCENARIO
Variables de decisión	Máquina de moldeo por inyección en funcionamiento	Tres	Tres	Dos	Dos
	Máquinas de proceso de envasado en funcionamiento	Tres	Dos	Dos	Tres
Variables estatales	Tiempo de funcionamiento	12 horas	12 horas	12 horas,	12 horas
	Número de turnos de trabajo	Una vuelta	Una vuelta	Dos vueltas	Una vuelta
Variables de respuesta	Kilogramos producidos	488 kg	251 kg	497 kg	610 kg

Tabla 5. Resultados del experimento. Fuente: Elaboración propia

Realizamos las pruebas con la herramienta de experimentación de simulación FlexSim®. La herramienta de experimentación tiene por objeto realizar la replicación del sistema en la misma ejecución de la simulación. La figura 36 muestra la comparación entre el modelo base y los tres escenarios probados.

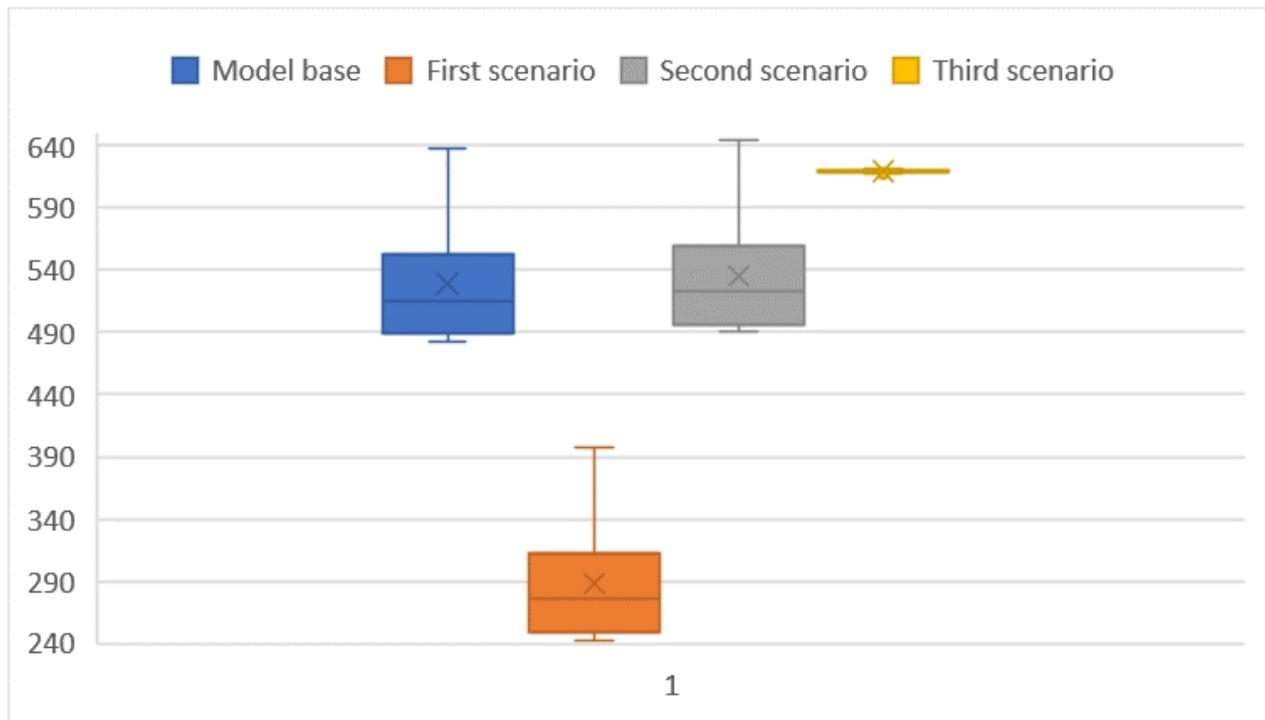


Fig. 36. Comparación entre los escenarios, Fuente: elaboración propia con la herramienta de experimentación FlexSim®.

La herramienta del experimentador permitió conocer el resultado de treinta modelos de simulación. Pudimos identificar la producción final máxima y mínima entre las treinta réplicas. Y tenemos un 95% de seguridad de que la producción final estará dentro de un intervalo de confianza de producción. La tabla 6 muestra el resultado estadístico del escenario utilizando la herramienta del experimentador.

ESCENARIO	MEDIA (INTERVALO DE CONFIANZA DEL 95%)	DESVIACION TIPICA DE LA MUESTRA	OBSERVACION MINIMA	OBSERVACION MAXIMA
Basado en modelos	529.1 ± 16.3	43.5	483	638
Primer escenario	288.4 ± 16.2	43.5	242	398
Segundo escenario	535.3 ± 16.1	43.2	490	645
Tercer escenario	619.267 ± 0.324	0.868	617	621

Tabla 6. Resultados de los escenarios estadísticos. Fuente: elaboración propia

Dicho lo anterior, si utilizamos los resultados de la simulación como tenemos en la tabla 7, podemos ver para el modelo base que obtenemos 529 [kg] de producto terminado, es decir, si dividimos este resultado por 22 [g] que pesa una botella, obtenemos un resultado de

aproximadamente 24045 botellas (como producto terminado sin faltantes). Esto significa que 218 bolsas con 110 botellas cada una están envasadas y 65 están en la tienda.

RESULTADOS DEL MODELO	MODELO BASE	PRIMER ESCENARIO	SEGUNDO ESCENARIO	TERCER ESCENARIO
Media de kilogramos producidos	529	288	535	619
Botellas producidas	24045	13091	24318	28136
Bolsa de 110 botellas	218	119	221	255
Botellas sin embalaje	65	0	8	86
Porcentaje de producción objetivo		-0.4556	0.0113	0.1701

Tabla 7. Escenarios de producción. Fuente: elaboración propia

En el primer escenario, en el que se elimina la línea de producción y no se establecen alternativas, hay un retraso del 45,56%, lo que hace que no sea rentable debido a la alta demanda requerida. En el segundo escenario se alcanza una producción un 1,13% superior al escenario inicial. Este escenario consiste en eliminar una línea de producción con un turno extra de trabajo. La tercera propuesta consiste en producir más y vender la línea 3 (excepto el área de envasado). Observamos que la producción aumenta un 17,01% más en un trabajo diario de 12 horas. Esta sería la mejor propuesta para reducir un turno de trabajo.

4.2 Conclusiones y recomendaciones

La simulación de la línea de producción se probó con tres escenarios. Si la parte interesada desea cerrar el funcionamiento de la tercera línea de producción (que incluye el proceso de moldeo por inyección 3 y el envasado 3), el proceso debe funcionar con el doble de tiempo para obtener un rendimiento final similar al original.

Si la parte interesada desea cerrar la operación de la tercera línea de producción (que incluye el proceso de moldeo por inyección 3 y el empaque 3), y mantener el mismo turno de trabajo, el proceso del sistema debe eliminar sólo el proceso de moldeo por inyección 3 y mantener el proceso de empaque 3 para tener la misma producción final.

Cuando la simulación se llevó a cabo con la herramienta de FlexSim, se pudo identificar la mejor opción para que el interesado defina cual se ajusta a su proyección de producción. El proceso de simulación de la línea de las MIPYMES puso a prueba el cambio de funcionamiento entre las necesidades. Sin embargo, podría ser necesario aplicar otras herramientas como la producción de cuellos de botella y Lean Six-Sigma basado en simulación, para tener un panorama mas detallado y a profundidad.

Capítulo 5. Bibliografía

1. Breque, M., De Nul, L., Petridis, A. T.: Industria 5.0: Hacia una industria europea sostenible, centrada en el ser humano y resistente. Oficina de Publicaciones de la Unión Europea, Luxemburgo (2021)
2. Cugno, M. et. Al. F.: Industria 4.0 y recuperación de la producción en la era cóvida. Technovation, Volumen 114, (2022)
3. Dixson-Declève, S., et. Al. T.: Industria 5.0: A Transformative Vision for Europe. ESIR Policy Brief No. 3. Oficina de Publicaciones de la Unión Europea, Luxemburgo (2022).
4. El-Haik, B., Al-Aomar, R. T.: Simulation-based lean six-sigma and design for six sigma. John Wiley & Sons, Inc., Nueva Jersey (2006).
5. FlexSim® Homepage, <https://www.flexsim.com/es/>, último acceso 2023/02/02.
6. García Martínez, R. F., et. Al. F.: A flexible and open environment for discrete event simulations. Diseño y fabricación interactivos. Revista Internacional de Diseño Interactivo y Fabricación (IJIDeM). 509-524 (2021).
7. Goyal, S., Sergi, B., Esposito, M. F.: Business Development Services for Micro, Small and Medium Enterprises - Literature Review of Past Trends and Future Directions. World Review of Entrepreneurship Management and Sustainable Development, 14(3), 312, (2018).
8. Harrell, C., Ghosh, B., Bowden, R. T.: Simulation Using ProModel. The McGraw-Hill. (2011).
9. Voigt, T., Flad, S., Struss, P. F.: Localización de fallos basada en modelos en plantas embotelladoras. Advanced Engineering Informatics (V. 29, Issue 1), 101-114 (2015).
10. Calvo Juliana, Motta Carlos. Simulación de un evento discreto aplicada a una empresa multinacional XYZ en el sector de alimentos. Universidad ICESI. Santiago de Cali. (2011).
11. Y. Galván – Ortiz, et al., Use of Simulation to Determine the Production Capacity of Plastics Line in MSMEs. Springer Nature Switzerland, 261-276 (2024).