



FACULTAD DE INGENIERÍA

CAMPUS AGUASCALIENTES

SIMULACIÓN DEL ÁREA DE MANEJO DE MATERIALES

TESINA QUE PRESENTA

JOSÉ SAÚL GARCÍA MICHEL

PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRÍA EN INGENIERÍA

CON RECONOCIMIENTO DE VALIDEZ OFICIAL DE ESTUDIOS DE LA SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA, DE ACUERDO CON EL N° 2007575 CON FECHA 29 DE JUNIO 2007

DIRECTOR

MERCEDES URZÚA GONZÁLEZ

Aguascalientes, Ags. JULIO 2022

Dedicatoria y agradecimientos

Quiero dedicar este trabajo a mis padres, los cuales siempre me han brindado su apoyo incondicional para lograr mis objetivos profesionales y en especial a mi madre que desde que terminé lo estudios siempre me estuvo alentando a terminar mi titulación y hoy en día me da una gran satisfacción poder lograrlo.

Agradezco primeramente a mi esposa Lilia que me recordó la importancia de conseguir este logro, me encaminó para retomar el desarrollo del trabajo, plantearme el objetivo de culminarlo exitosamente y en todo momento me brindó su apoyo para lograrlo.

Agradezco a mis hermanas Karina y Liliana que de igual forma siempre me han impulsado a cumplir mis metas y fueron un ejemplo y guía para tomar el camino del estudio profesional.

Agradezco a mi tía Laura que fue parte fundamental en mis estudios de Ingeniería que me permitieron sembrar las bases para mi posterior estudio de posgrado.

Agradezco a mis tíos Lili y Jorge que me aconsejaron sabiamente para tomar la decisión de estudiar la Maestría en Ingeniería.

Agradezco al coach Alejandro Barrera por darme la oportunidad de estudiar la Maestría y formar parte de la selección de baloncesto, durante este periodo reforcé demasiado los valores de trabajo en equipo, liderazgo, disciplina, entre otros.

Agradezco también a la Maestra Mercedes que me apoyó con la revisión y corrección de mi trabajo a pesar del tiempo transcurrido desde la realización del proyecto.

TABLA DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I - PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
1.1 Antecedentes.....	7
1.2 Problematización	9
1.3 Objetivos.....	10
1.4 Justificación	11
CAPÍTULO II - MARCO TEÓRICO.....	13
2.1 Fundamentos de la simulación.....	13
2.1.1 Definición.....	13
2.1.2 Cuándo simular.....	14
2.1.3 Ventajas y desventajas	15
2.1.4 El proceso de simulación	16
2.1.5 Tipos de simulación	18
2.2 Teoría de Colas	19
2.2.1 Antecedentes.....	19
2.2.2 Conceptos.....	19
2.2.2.1 La población fuente y la forma como los clientes llegan al sistema.	20
2.2.2.2 El sistema de servicio.....	21
2.2.2.3 La condición en que los clientes que salen del sistema vuelven o no a la fuente de población.....	23
2.2.3 Aplicaciones.....	24
2.3 Estadística	24
2.3.1 Recolección de datos.....	24

2.3.2 Medidas de tendencia central.....	26
2.3.3 Histograma	27
2.3.4 Distribuciones estadísticas de probabilidad.....	28
2.3.5 Pruebas de confianza.....	31
2.4 FlexSim.....	33
2.4.1 Historia	34
2.4.2 Elementos del sistema.....	35
2.4.3 Interfaz.....	36
2.4.4 ExperFit.....	40
CAPÍTULO III - METODOLOGÍA.....	42
3.1 Diseño de la investigación	42
3.2 Población y muestra	43
3.3 Instrumentos y técnicas de análisis.....	44
CAPÍTULO IV - EL PROYECTO DE INTERVENCIÓN	46
4.1 Datos de identificación.....	46
4.2 Análisis situacional.....	46
4.3 Descripción del proyecto.....	48
4.3.1 Situación inicial.....	48
4.3.2 Definición, objetivo e indicadores.....	51
4.3.3 Primera etapa: Reubicación del área y reducción de espacio	52
4.3.4 Segunda etapa: Primeras propuestas de mejora (básculas inteligentes, mejora de registros).....	54
4.3.5 Tercera etapa: Segundas propuestas de mejora (sin inversión requerida)	58

CAPÍTULO V - RESULTADOS	65
5.1 Resultado primera etapa	65
5.2 Resultados segunda etapa.....	65
5.3 Resultados tercera etapa.....	66
5.4 Conclusiones y recomendaciones	67
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	69
Anexo 1 – Tiempos de creación de kits en su estado inicial	71
Anexo 2 – Ajuste de tiempos a distribuciones estadísticas.....	72
Anexo 3 – Modelo en FlexSim (Estado inicial).....	77
Anexo 4 – Modelo en FlexSim (Segundo modelo implementado).....	82
Anexo 5 – Modelo en FlexSim (Modelo final implementado)	86

ÍNDICE DE FIGURAS

FIG. 1 - Diagrama de flujo del producto	11
FIG. 2 - Llegadas de clientes en las colas	21
FIG. 3 - Componentes principales del sistema de colas	21
FIG. 4 - Disciplina de la cola	22
FIG. 5 - Estructura de la fila	23
FIG. 6 - Salida del cliente	23
FIG. 7 - Ejemplo de histograma	27
FIG. 8 - Distribución normal.....	29
FIG. 9 - Distribución gamma con $\alpha = 1.3$ y $\beta = 1.0$	30

FIG. 10 - Función de densidad beta para diferentes valores de α, β	31
FIG. 11 - Comparación de $F_0(x)$ para cada valor de x generado.....	32
FIG. 12 - Ajuste de distribuciones mediante Anderson-Darling	32
FIG. 13 - Distribución Chi-Cuadrada con diferentes grados de libertad.....	33
FIG. 14 - Elementos de un sistema	35
FIG. 15 - Ícono del programa FlexSim.....	36
FIG. 16 - Vista inicial del programa FlexSim	36
FIG. 17 - Selección de unidades para el modelo	37
FIG. 18 - Librería de objetos en FlexSim	37
FIG. 19 - Set up estadístico de los objetos del modelo	38
FIG. 20 - Dashboard, ayudas visuales para interpretación de resultados en FlexSim	39
FIG. 21 - Gráfica de resultados mostrada por la función Experimenter	39
FIG. 22 - Vista inicial del programa ExperFit.....	40
FIG. 23 - Ventana para un elemento nuevo	41
FIG. 24 - Situación inicial del área de creación de kits	49
FIG. 25 - Representación en FlexSim de la situación inicial del área de creación de kits	49
FIG. 26 - Diagrama de flujo de un kit.....	50
FIG. 27 - Diagrama de flujo del proceso de creación de kits.....	54
FIG. 28 - Diagrama de flujo subprocesos de creación de kits.....	54
FIG. 29 - Gráfica de variaciones de cantidad de Jobs por mes (2015)	57
FIG. 30 - Diagrama de flujo del proceso de creación de kits (concepto "flujo de un kit") ...	58
FIG. 31 - Comparación de flujo antes y después	60

FIG. 32 - Estaciones de creación de kits (estado inicial) sin lugar definido para kits terminados.....	61
FIG. 33 - Estaciones de creación de kits (estado inicial) sin lugar definido para contenedores vacíos	62
FIG. 34 - Estaciones de creación de kits (nuevo modelo).....	62
FIG. 35 - Estantes de materiales con sus respectivas identificaciones	63
FIG. 36 - Carrito para colocar los kits terminados	63
FIG. 37 - Diseño nuevo del área en FlexSim	63
FIG. 38 - Diseño nuevo del área físicamente implementado	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 - Elementos de un sistema en lenguaje FlexSim.....	36
Tabla 2 - Distribuciones de probabilidad disponibles en ExperFit	40
Tabla 3 - Indicadores de desempeño (KPI's)	52
Tabla 4 - Comparación del modelo 1 (Estado inicial) y modelo 2 (Modificación de espacios y reducción de distancias por reubicación de área)	53
Tabla 5 - Comparación de las simulaciones de las diferentes combinaciones (básculas inteligentes, registros impresos, cantidad de operadores).....	55
Tabla 6 - Comparación de las simulaciones de las diferentes combinaciones (modelos actuales vs modelos con sistema flujo de un kit).....	59
Tabla 7 - Distribución de operadores en los turnos de producción	60
Tabla 8 - Resultados para los indicadores de desempeño	66

CAPÍTULO I - PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Antecedentes

La simulación se podría considerar como una rama de estudio relativamente nueva, pero en realidad su historia data de mucho tiempo atrás.

“Uno de los primeros sucesos fue el experimento de las agujas de Buffon en 1777, el cual más tarde fue ampliado por Laplace en 1812. El experimento consistía en arrojar agujas en un plano con espacios iguales trazados por líneas paralelas y estimar el valor de π ”, (Goldsman, 2009). Este acontecimiento es considerado generalmente el origen del método de Monte Carlo.

De acuerdo con Nance (1993), la historia de la simulación se divide en 5 periodos: el periodo de búsqueda (1955-1960), el periodo de la llegada (1961-1965), el periodo de la formación (1966-1970), el periodo de la expansión (1971-1978) y el periodo de la consolidación y regeneración (1979-1986).

Muchos autores engloban los periodos de búsqueda y llegada junto con el periodo de formación, donde hay varios sucesos que marcaron el inicio de la simulación. Los dos primeros acontecimientos que aceleraron el crecimiento del campo de la simulación fueron la construcción de la primera computadora de propósito general llamada ENIAC (Burks and Burks, 1981) citado en (Goldsman, 2009) y el trabajo en conjunto de John von Neumann, Stanislaw Ulam entre otros científicos usando el método de Montecarlo en ordenadores modernos y solucionar problemas de difusión de neutrones en el diseño y desarrollo de la bomba de hidrógeno (Cooper, 1988) citado en (Goldsman, 2009).

De acuerdo con Thierauf (1991), “el método de Montecarlo es una simulación con técnicas de muestreo, o sea que, en vez de obtener muestras de una población real, se obtienen de un duplicado teórico de la población real. El método comprende la determinación de la distribución de probabilidad de la variable de que se trata, y para obtener luego una muestra de esa distribución mediante números aleatorios para generar datos”. Este método se emplea para resolver en principio dos problemas diferentes. “El primero es el que comprende cierta clase de proceso estocástico, y el segundo es el tipo de problema matemático determinístico que no puede resolverse fácilmente. Para el primero se han desarrollado métodos de Montecarlo para simular datos basándose en distribuciones de probabilidad. Para el segundo pueden obtenerse soluciones aproximadas, simulando un proceso estocástico cuya función de distribución acumulativa satisface las

relaciones funcionales y los requerimientos de la solución del problema determinístico". Citado en Thierauf (1991).

Keith Douglas Tocher es generalmente acreditado como quien describió el primer simulador en su publicación de 1960 junto a D. G. Owen (Tocher, 1960) citado en (Nance, 1993). Desarrolló un programa de simulación general (GSP) cuyo objetivo era simular el funcionamiento de una planta de producción donde las máquinas ciclaban en cuatro estados: "ocupado", "esperando", "no disponible" y "fallo"; los cambios de estado de las máquinas marcaban el estado definitivo de la producción de la planta (Tocher & Owen, 1960) citado en (Goldsmán, 2009). De esta investigación surgió el primer libro sobre simulación titulado "The Art of Simulation" (1963).

"Geoffrey Gordon se une a la división de desarrollo de sistemas avanzados en IBM y crea el Sistema Simulador de Propósito General (GPSS), el cual fue creado para realizar simulaciones de teleprocesos involucrando, por ejemplo, control de tráfico urbano, gestión de llamadas telefónicas, reservas de boletos de avión y operaciones en plantas de acero. El sencillo uso del programa y las políticas de mercado de IBM convirtieron a GPSS como el lenguaje de simulación más popular en USA". (Goldsmán, 2009).

Enseguida surge la versión inicial de SIMSCRIPT basada en el sistema FORTRAN en 1963, orientada a usuarios que no necesariamente tenían que ser expertos en programación. Este lenguaje se complementa y surge SIMSCRIPT II, un lenguaje diseñado para tener siete niveles (Markowitz 1979) citado en (Goldsmán, 2009).

Para el año 1961, las compañías RAND, IMB, la Universidad Cornell and U.S. Steel soportan al Royal Norwegian Computing Center y así Kristen Nygaard y Ole-Johan Dahl empiezan a desarrollar SIMULA, y con el soporte de Univac crean SIMULA I el cual se convierte en uno de los lenguajes de programación con más influencia en la historia de la computación.

En 1967 se realiza la conferencia para la aplicación de la simulación utilizando GPSS, la cual fue precursora de la Winter Simulation Conference (WSC). Esta conferencia es actualmente el principal foro para presentar los últimos avances en el campo de la simulación.

Periodo de expansión: En esta etapa es donde el campo de la simulación comienza a crecer en distintas áreas y aplicaciones. Se desarrollan herramientas para el modelado y para el análisis.

Entre las principales aportaciones de esta fase en lo que respecta a los lenguajes de modelado de simulación de eventos discretos están las siguientes:

- Pritsker y Hurst desarrollan GASP IV.
- Kiviat, Villanueva y Markowitz desarrollan SIMSCRIPT II.5
- Pritsker y Pegden desarrollan SLAM.
- Pegden desarrolla SIMAN.
- Nance desarrolla el método cónico para los modelos de orientación de objetos.
- Schruben desarrolla las gráficas de eventos.

Entre otros avances se realizaron contribuciones para la verificación y validación formal de simulaciones, análisis de la salida de datos, desarrollos en las entradas de los modelos y los estudios de las técnicas modernas de optimización. (Goldsmán, 2009).

El periodo de la consolidación y regeneración está caracterizado por ser en donde los lenguajes de programación predominantes extienden su implementación a muchas de las computadoras y microprocesadores manteniendo las capacidades del lenguaje relativamente estáticas (Nance, 1993). Aparecen dos de los mayores descendientes del GASP, los cuales son el SLAM II y el SIMAN.

A partir de esta etapa, la simulación toma gran fuerza en todos los ámbitos. Se comienzan a desarrollar métodos gráficos para interpretación de resultados ya que son más perceptibles y entendibles que los datos en tablas. Las imágenes en movimiento permiten que la simulación sea usada con más frecuencia.

Hasta la década de los 80's la simulación era muy costosa y consumía demasiado tiempo tanto en horas de análisis como en recursos computacionales. Hoy en día los usuarios pueden construir y probar modelos de manera interactiva tomando ventaja de extensas características de visualización y animación. (Altiok & Melamed, 2007).

En la actualidad se pueden ver aplicaciones avanzadas como simuladores de vuelo, de manejo, realidad virtual, videojuegos, simulaciones en 3D, simulación de procesos, simulación de finanzas, etc.

1.2 Problematización

En el mundo de la industria, los proyectos de mejora continua son la base para optimizar los procesos, mejorar el flujo de materiales, mejorar el diseño de las líneas de producción,

disminuir los tiempos ciclo, etc. En las metas de cada empresa siempre se busca incrementar la productividad a un costo menor. Ahora, cuántas veces se ha propuesto un nuevo proyecto donde según los cálculos las ganancias serán significativas y una vez que está implementado en realidad la ganancia no es la esperada o incluso se generan pérdidas. La simulación es una herramienta poderosa la cual permite evitar todas estas situaciones donde se tiene la incertidumbre de cuál será el resultado de implementar nuevos equipos, mover operadores, mover máquinas, aumentar capacidad, cambiar equipos, cambiar el método, etc.

La simulación hoy en día se utiliza con más frecuencia en diferentes áreas con el fin de evitar inversiones riesgosas. Permite de una manera sencilla modelar un sistema actual y modelar las diferentes propuestas de mejora. De esta manera se puede comparar con resultados confiables qué es lo que realmente conviene, es decir, tomar decisiones acertadas para el beneficio de la compañía.

Para el proyecto, se utilizarán los conocimientos de simulación a través del programa FlexSim para evaluar el área de manejo de materiales de una compañía. Mediante el análisis de resultados se determinará si las mejoras propuestas deben ser aplicadas de acuerdo con el costo-beneficio, si deben ser rechazadas o si se deben buscar otras alternativas para generar los beneficios deseados.

El área de manejo de materiales de dicha empresa presenta una gran oportunidad de mejora ya que el espacio que ocupa actualmente es excesivo, además de que los materiales no son entregados en tiempo y la cantidad de personas que laboran en este proceso es elevada. La simulación permitirá primeramente evaluar el sistema actual y a partir de ahí generar los diferentes escenarios de mejora.

La simulación no tendrá ningún costo, solamente el tiempo invertido en tomar los tiempos de los procesos y el modelado utilizando el programa.

1.3 Objetivos

Dentro del área de la simulación de procesos hay muchos programas que permiten llegar a un mismo objetivo, y se pretende con este proyecto utilizar FlexSim en específico para desarrollar soluciones a problemas reales de la industria.

Se tienen tres objetivos fundamentales para este proyecto:

- 1) Aplicar los conocimientos adquiridos en la materia de simulación de procesos utilizando FlexSim en situaciones reales en la industria.

- 2) Diseñar la simulación del área de manejo de materiales con oportunidades de mejora y lograr el beneficio para la compañía.
- 3) Implementar las bases del uso de la simulación para generar nuevos proyectos donde se utilice de manera sistemática para tomar mejores decisiones.

Todos estos objetivos se planean cumplir aplicando los conocimientos adquiridos en el área de la simulación por computadora, y de igual manera hacer investigación en los temas relacionados para las soluciones del proyecto. El proyecto se llevará a cabo en un problema real y de esta manera se observará la utilidad de usar la herramienta.

1.4 Justificación

Actualmente, el área de manejo de materiales (kitting) es la encargada de surtir todos los subensambles que son necesarios para elaborar el producto final de una empresa. El siguiente diagrama muestra el flujo de todo el proceso:

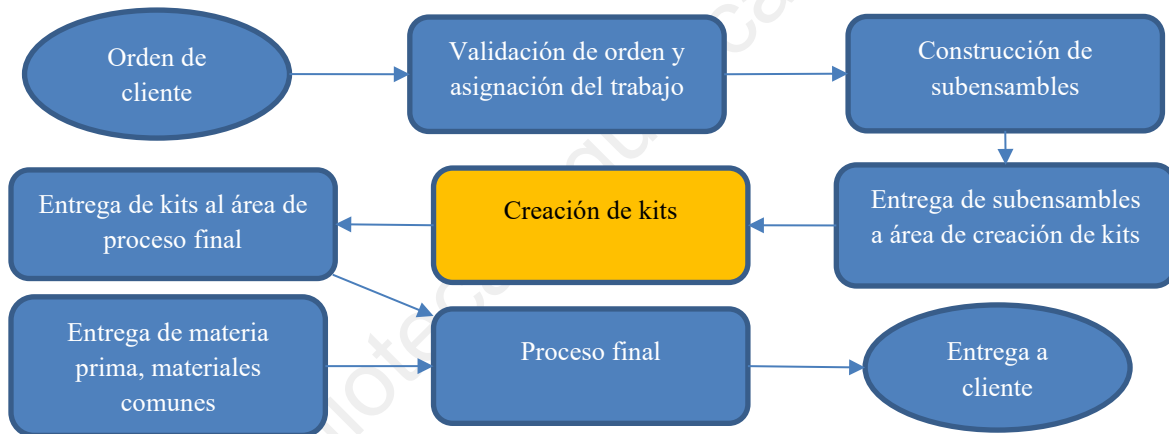


FIG. 1 - Diagrama de flujo del producto

Dicha área presenta las siguientes características:

- Existen tres turnos, en dos se forman kits y en el otro se consolidan.
- Área para realizar kits es de 181 m².
- El tiempo para que un kit llegue a producto terminado después de asignar el trabajo es de 5 días.
- La distancia recorrida para entrega de kit es de 1 km (Subensambles-Área para realizar kits-Producto terminado).
- 24 personas en el área distribuidas en los 3 turnos.

Las áreas de oportunidad detectadas son:

- Problemas de inventario (faltantes, sobrantes).
- Tiempos de espera largos por kit en área de producto terminado.
- Equivocación de números de parte.
- Alto inventario de kits en proceso, kits incompletos.
- Exceso de personal.
- Distancias excesivas de traslado de kits.
- Exceso de espacio utilizado para el área.

Con la simulación se pretende plantear el movimiento del área para reducir el espacio excesivo y además ubicarla en un área cercana al proceso de producto terminado, de esta manera se atacaría el punto de espacio y de distancias recorridas. De igual manera se busca replantear el diseño del área para buscar oportunidades de mejora en tiempos ciclo de proceso y así mejorar la entrega al área de producto terminado. Con esto se puede tratar de reducir el número de personas dependiendo de la cantidad de kits que sean generados.

La presentación del proyecto fue revisada con proveedores externos para cotizar que costo tendría realizar todas las mejoras citadas y la inversión necesaria sería realmente grande. Al elaborar las simulaciones se conocerá el costo-beneficio de realizar las mejoras y de esta manera tomar decisiones acertadas, disminuyendo el riesgo y conociendo de antemano los resultados que tendrán los cambios.

CAPÍTULO II - MARCO TEÓRICO

2.1 Fundamentos de la simulación

En esta sección se centran las bases de la simulación, aquí se tendrá una visión más clara de que es y en que consiste realmente simular un proceso.

Siguiendo a Carson (2004), "Elaborar una simulación válida es tanto un arte como una ciencia". La simulación es una herramienta poderosa para el análisis de nuevos sistemas, modernizar los ya existentes y cambiar las reglas de operación.

2.1.1 Definición

Enseguida se muestran los conceptos más comunes para definir la palabra simulación:

- "Es el proceso de diseñar un modelo de un sistema real y realizar experimentos con el propósito de entender el comportamiento del sistema y/o evaluar varias estrategias para la operación del sistema". Citado en Shannon (1998).
- De acuerdo con Thierauf (1991), "La simulación es una técnica cuantitativa que se emplea para evaluar cursos alternativos de acción, basada en hechos y suposiciones, con un modelo matemático de computadora, a fin de representar la toma real de decisiones en condiciones de incertidumbre".
- Una definición más sencilla es la citada por Chase (2004), "La palabra simulación en el terreno de los negocios normalmente se refiere a emplear una computadora para hacer experimentos con un modelo de un sistema real".
- "La simulación es la imitación de un sistema dinámico utilizando un modelo por computadora para evaluar y mejorar el desempeño del sistema". Citado en Harrell (2003).
- Siguiendo a Naylor, "Simulación es una técnica numérica para conducir experimentos en una computadora digital. Estos experimentos comprenden ciertos tipos de relaciones matemáticas y lógicas, las cuales son necesarias para describir el comportamiento y la estructura de sistemas complejos del mundo real a través de largos periodos de tiempo". Citado en Coss Bu (1996).

En mi opinión y juntando algunos de los conceptos citados, la simulación es la representación en un modelo de computadora de un sistema real con el fin de realizar experimentos para evaluar y mejorar el desempeño.

2.1.2 Cuándo simular

Si bien es verdad que la simulación es una herramienta muy útil para el análisis del sistema, no siempre es el mejor método para utilizar. Es importante conocer cuando realmente es necesario aplicar la simulación. Como lo menciona Banks and Gibson (1997), una pregunta realizada muy frecuentemente, "¿Es la simulación la herramienta correcta para analizar este problema?".

De acuerdo con Carson (2004), existen varias situaciones donde la simulación es muy utilizada:

- Cuando no existe un modelo, hojas de datos o un respaldo que permita realizar un cálculo exacto del análisis de la situación.
- El sistema real no está fuera de control, los componentes del sistema están definidos y caracterizados y sus interacciones definidas.
- El sistema real tiene un buen nivel de complejidad, su dificultad no permite predecir los efectos de los cambios propuestos.
- El sistema es nuevo y considera cambios físicos de diseño o reglas de operación existentes.
- El cambio propuesto es realmente grande y requiere una alta inversión, el riesgo es realmente considerable.
- Cuando se requiere una herramienta para modelar el sistema y que varias personas lo entiendan y puedan llegar a acuerdos sobre ello.
- Como herramienta de entrenamiento y educación, la simulación permite visualizar cosas de una manera mucho más simple. "La habilidad de mostrar la animación es importante", citado en Harrell & Tumay (1995).

De acuerdo con Banks and Gibson (1997), existen 10 reglas importantes para determinar cuándo NO es apropiado utilizar la simulación:

1. El problema puede resolverse utilizando el análisis de sentido común.
2. El problema puede resolverse analíticamente, con ecuaciones simples.
3. Es fácil hacer experimentos directamente en el sistema real.
4. El costo de simular sería más alto que los posibles ahorros.
5. No existen los recursos necesarios para realizar el proyecto. (Personas, equipos, dinero).
6. No hay suficiente tiempo para llevar a cabo la simulación.
7. No hay datos suficientes para estimar el modelo.
8. El modelo no puede ser validado. (Falta de experiencia en como demostrar la validación, falta de tiempo).

9. Las expectativas del proyecto no pueden ser cumplidas. (Falta de conocimiento en qué realmente se busca con el proyecto).
10. El sistema es demasiado complejo y no puede ser definido.

En conclusión, es importante antes de decidir simular un sistema preguntarse todo lo anterior para estar seguros de que la simulación es el mejor medio para lograr el objetivo.

2.1.3 Ventajas y desventajas

El uso de la simulación tiene muchas ventajas las cuales permiten decidir si esta herramienta es la que conviene aplicar en un proyecto determinado. Enseguida se enlistan algunas de las principales ventajas, ordenadas por mayor importancia de acuerdo con mi perspectiva:

- “Permite manipular una réplica del verdadero sistema para efectuar corridas de prueba antes de comprometer a la empresa a efectuar grandes desembolsos de efectivo”, citado en Thierauf & Grosse (1991).
- Evita tomar el riesgo de tomar una decisión precipitada sin realmente conocer cuál será el impacto en la compañía.
- La simulación no interrumpe actividades que se estén desarrollando en tiempo real en comparación con la experimentación directa del sistema.
- Podemos simular meses e incluso años en pocos minutos, con lo cual podemos tener un panorama acertado de si los resultados son los adecuados.
- De acuerdo con Shannon (1998), ayuda a identificar cuellos de botella en información, materiales, flujo de productos y pruebas funcionales para posterior a ello jugar con estos obstáculos y de esta manera disminuir los tiempos ciclo.
- Los modelos de simulación permiten entender mejor el sistema real y se pueden utilizar como un sistema de capacitación y entrenamiento.
- Siguiendo a Chase (2004), la simulación contesta preguntas de "qué pasaría si...".

Si bien las ventajas son bastantes, también hay ciertas desventajas que enlistar las cuáles deben ser tomadas en cuenta y son parte de los riesgos de utilizar la simulación:

- No hay una garantía 100% real de que el sistema simulado ofrezca una buena respuesta o solución al problema, en ocasiones se puede invertir demasiado tiempo y esfuerzo en realizar una simulación y al final los resultados pueden no ser los esperados.
- Puede que no existan suficientes datos para alimentar el sistema, esto puede llevar a simular sin cierto nivel de confianza en la solución. Para evitar esto se

necesitaría invertir mucho tiempo en obtener más información y esto en algunos casos puede ser costoso para las compañías.

- Para sistemas complejos, la programación para la creación del modelo puede tomar demasiado tiempo hombre e incluso al momento de correr las réplicas de los distintos escenarios las computadoras pueden tomar bastante tiempo en lograrlo además de que los equipos de cómputo deben tener ciertos requerimientos técnicos para lograrlo.
- Se requiere cierto nivel de habilidad para crear las simulaciones, si la persona encargada de llevar a cabo la simulación es principiante podría cometer errores que lleven a un resultado erróneo. Por el contrario, programadores expertos podrían centrarse en dar demasiado detalle a las animaciones y efectos de la simulación dejando de lado lo principal que es el manejo de los datos e interpretación de resultados.

2.1.4 El proceso de simulación

Existen varias etapas a través de las cuales una simulación se va desarrollando. Es importante seguirlas paso a paso para lograr que la simulación sea efectiva y contenga todos los elementos básicos que ayudan a interpretar mejor los resultados. Las etapas son las siguientes:

1. **Definición del sistema (definición del problema, planeación del proyecto):** Consiste en un análisis preliminar del sistema donde se definen los objetivos del estudio, es decir, cuáles son las preguntas que resolveremos al terminar la simulación. De acuerdo con Carson (2004), durante esta fase el equipo debe desarrollar una lista de preguntas específicas que el modelo debe resolver, y desarrollar una lista de métricos de desempeño que serán usados para evaluar y comparar las alternativas modeladas. Es importante que en esta fase se involucre un equipo multidisciplinario para definir correctamente los fines de la simulación. En esta fase también se debe desarrollar el plan a seguir para ir cumpliendo con cada una de las etapas posteriores, definir los recursos que serán necesarios tanto de personal apropiado como de los equipos de cómputo requeridos. En cuanto al sistema, el equipo debe ser capaz de conocerlo y definirlo adecuadamente, conociendo cuales son todas sus etapas, sus restricciones y sus requerimientos.
2. **Formulación del modelo:** El objetivo es construir y definir el modelo de forma conceptual utilizando diagramas de bloques o pseudo código para definir las variables del sistema y sus relaciones lógicas, citado en Carson (2004).

- 3. Colección de datos:** Los datos son uno de los requerimientos más importantes e indispensables. Estos los podemos conseguir de bases de datos, sistemas de recolección automática, estudios de muestreo, estudios de tiempos, órdenes de trabajo o de compras o registros contables. Siguiendo a Coss Bu (1996), “la facilidad de obtención de algunos datos o la dificultad de conseguir otros, puede influenciar el desarrollo y formulación del modelo”. Por lo tanto, es muy importante definir con claridad y exactitud los datos requeridos en el modelo para producir los resultados deseados. “Después de coleccionar información, un esfuerzo por validar y limpiar los datos puede ser requerido. Incluso las bases de datos, sorpresivamente, pueden ser sospechosas. Muy seguido, simples pruebas o auditorias pueden mostrar que los datos disponibles son basura”, citado en Carson (2004). Cuando los datos muestran una variación aleatoria, normalmente utilizaremos un modelo definido por una distribución estadística. Una distribución empírica es utilizada cuando los datos no son variables.
- 4. Implementación del modelo en la computadora:** En esta fase, es cuando se lleva a cabo la utilización del software requerido para construir el modelo e ingresar todos los datos recolectados. Esta fase puede ser muy rápida si el programador tiene experiencia, los datos están previamente establecidos y el sistema no es demasiado complejo. En caso contrario, esta fase puede llevar demasiado tiempo en ser concluida.
- 5. Verificación y validación:** En la verificación lo que se busca es utilizar diferentes técnicas para comprobar que lo que el modelo está arrojando coincida con la definición del sistema previamente hecha. Todas las salidas del modelo deben tener sentido y ser razonables sobre los rangos de los parámetros de entrada. Algunas de estas técnicas son hacer un análisis exhaustivo con un rango de parámetros muy grande, salirse de los rangos de entrada propuestos y medir otros datos que no se tenían contemplados en un inicio. Utilizar las animaciones y movimientos de las entidades, tratar de que el sistema explote. Un experto en la materia puede revisar a detalle el modelo y dar valiosa retroalimentación sobre él.

La validación de igual manera requiere de técnicas similares para comprobar los resultados. En esta etapa ya se sabe que el modelo está funcionando correctamente y da certeza para ahora si enfocarse en los métricos establecidos y requeridos para resolver la problemática. En esta fase es necesario que los clientes finales estén presentes para contestar cualquier pregunta que surja y que todos los miembros del equipo den su aprobación de los resultados obtenidos.
- 6. Experimentación:** Es aquí donde comenzaremos a jugar con las variables del sistema actual para de esta manera evaluar resultados y contestar las cuestiones iniciales para las cuales fue diseñado el modelo. En esta etapa añadiremos los cambios

propuestos, definiremos el tiempo necesario que requerirá la simulación y las réplicas estadísticas necesarias. Como lo menciona Carson (2004), no hay una regla para la duración y número de réplicas. Cada modelo es independiente. El número de réplicas afecta estadísticamente la precisión del desempeño de las mediciones y afectará directamente el nivel de confiabilidad de los resultados.

7. **Análisis e interpretación:** Después de ejecutar los diferentes experimentos del modelo, es momento de comparar los resultados generados por las corridas de la simulación. El análisis está basado en las medidas de desempeño del sistema. Típicamente en aplicaciones de manufactura y logística, el rendimiento, la utilización de recursos, las colas generadas y los cuellos de botella son los métricos más utilizados. Como lo menciona Coss Bu (1996), “es obvio que los resultados que se obtienen de un estudio de simulación ayudan a soportar decisiones del tipo semiestructurado, es decir, la computadora en sí no toma la decisión, sino que la información que proporciona ayuda a tomar mejores decisiones y por consiguiente a sistemáticamente obtener los mejores resultados”.
8. **Documentación:** Por último, se requiere plasmar toda la información en un reporte normalmente dividido en dos partes. Primeramente, la información técnica del modelo y posteriormente el manual de usuario, facilitando así la interacción y el uso del modelo para futuras actualizaciones y experimentos.

2.1.5 Tipos de simulación

Siguiendo a Harrell (2003), la forma como funciona una simulación está basada en el tipo de simulación usado. Las categorías más comunes son:

- **Estática o dinámica:** Una simulación estática no está basada en el tiempo mientras que la dinámica tiene estados que ocurren a través del tiempo. La simulación dinámica es la comúnmente usada para analizar sistemas de manufactura y servicios.
- **Estocástica o determinística:** La simulación estocástica o probabilística es cuando una o más variables de entrada son aleatorias y de igual forma se producen salidas aleatorias. En las simulaciones determinísticas, todos los estados futuros son determinados una vez que los datos de entrada han sido definidos. En una simulación determinística, la salida siempre resultará igual no importa el número de réplicas, mientras que, en una simulación estocástica, varias réplicas aleatorias generarán un resultado preciso debido a que cada corrida varía estadísticamente.
- **Discreta o continua:** “Los modelos continuos de igual forma que los dinámicos cambian con el tiempo mientras que los modelos discretos tienen como objetivo

determinar medidas como el tiempo de espera promedio y el tamaño de la cola. Esas medidas sólo cambian cuando entra o sale un cliente al sistema. Los instantes en los que suceden los cambios, en puntos discretos en el tiempo, dan lugar al nombre de simulación de eventos discretos". (Taha, 2003).

2.2 Teoría de Colas

Una parte importante al momento de llevar a cabo la simulación es tener un conocimiento básico de la teoría de colas.

2.2.1 Antecedentes

De acuerdo con Thierauf (1991), "la teoría de colas o líneas de espera se originó en los trabajos de A. K. Erlang que principiaron en 1909. Experimentó con un problema relacionado con la congestión del tráfico telefónico calculando la demora que sufrían las personas que llamaban debido a que la operadora estaba ocupada". En 1917 sus estudios se extendieron a múltiples operadoras y publicó su obra muy conocida, "Solutions of Some Problems in the Theory of Probabilities of Significance in Automatic Telephone Exchanges".

"Los adelantos en el campo del tráfico telefónico continuaron generalmente en el sentido iniciado por Erlang, y las publicaciones principales fueron las de Molina en 1927 y de Thornton D. Fry en 1928, pero sólo fue hasta el fin de la Segunda Guerra Mundial cuando esos trabajos se extendieron a otros problemas relacionados con líneas de espera". (Thierauf, 1991).

2.2.2 Conceptos

Los actores principales en una línea de espera o cola son el cliente y el servidor. Los clientes se generan en una fuente. Al llegar a la instalación pueden recibir servicio de inmediato, o esperar en una cola o línea de espera, si la instalación está ocupada. (Taha, 2003).

Siguiendo a Chase (2004), un sistema de colas consiste en tres componentes principales:

2.2.2.1 La población fuente y la forma como los clientes llegan al sistema

La población puede dividirse en dos para su estudio:

- **“Finita:** Cuando el conjunto de clientes es reducido. Entre más usuarios mayor posibilidades de que alguno requiera un servicio y mientras menos usuarios menor posibilidad de que alguno lo requiera”. (Chase, 2004).
- **“Infinita:** Es bastante grande en relación con el sistema de servicio. Si un cliente sale o entra no afecta de manera significativa las probabilidades del sistema”. (Chase 2004).

“Cuando describimos un sistema de espera necesitamos definir la forma en que están distribuidos los clientes o las unidades de espera para el servicio. Se requiere una tasa de llegada, el número de unidades por periodo. Una distribución de llegadas constante es periódica y hay exactamente el mismo tiempo entre las llegadas sucesivas. En los sistemas productivos, las únicas llegadas que verdaderamente se aproximan a un periodo con un intervalo constante son aquellas sujetas al control de una máquina. Son mucho más comunes las distribuciones de llegadas variables (al azar). Al observar las llegadas en una instalación de servicio, podemos analizar el tiempo entre las llegadas sucesivas para ver si este sigue alguna distribución estadística”. (Chase, 2004).

Otras características de las llegadas son:

- **“Patrones de llegada:** Las llegadas a un sistema pueden ser controlables como el caso de una tienda departamental donde anuncian ventas especiales para aumentar la tasa de llegada en ciertas fechas. También pueden ser incontrolables, como el caso de las solicitudes de servicios médicos de urgencia en los hospitales de una ciudad”. (Chase, 2004).
- **“Tamaño de las unidades de llegada:** Se considera una sola llegada como una unidad. (Una sola llegada a una planta procesadora de x piezas). Una llegada en lotes es algún múltiplo de la unidad (X número de órdenes de x piezas)”. (Chase, 2004).
- **“Grado de paciencia:** Una llegada paciente consiste en alguien que espera todo el tiempo que sea necesario hasta que la instalación de servicio lo pueda atender. Las llegadas impacientes pueden ser de frustración (los miembros llegan, sondean tanto la instalación del servicio como la longitud de la fila y después deciden irse), o pueden ser de renuncia (los miembros llegan, estudian la situación, se unen a la fila de espera y luego, después de algún periodo de tiempo, se van)”. (Chase, 2004).

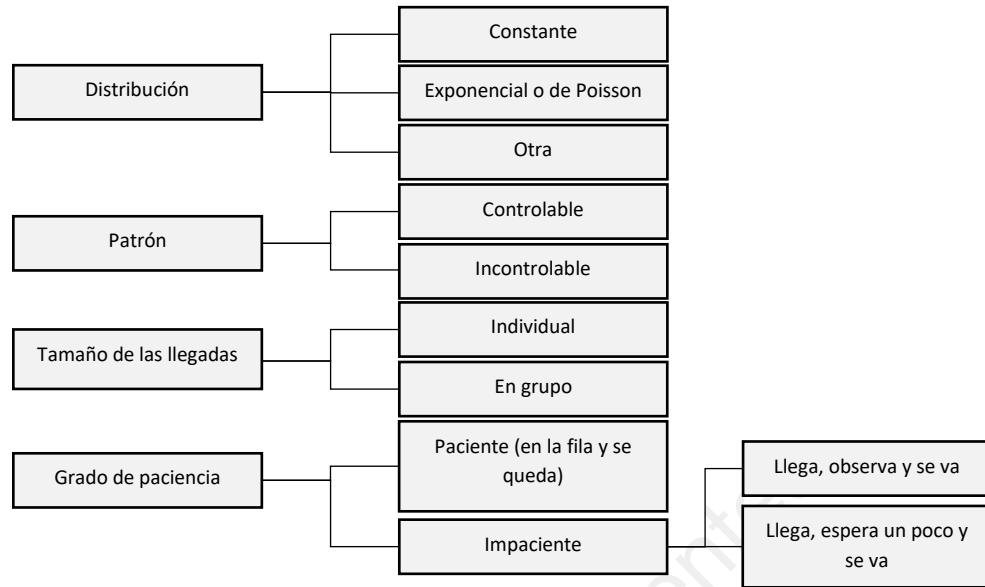


FIG. 2 - Llegadas de clientes en las colas (Chase 2004)

2.2.2.2 El sistema de servicio

El sistema de líneas de espera o de colas está compuesto de las filas de espera y del número disponible de servidores, los cuales cuentan con las siguientes características:

- **“Longitud:** Esta puede ser infinita potencial, por ejemplo, una fila de coches que se extiende por varios kilómetros para cruzar un puente. También puede ser de capacidad limitada, por ejemplo, un estacionamiento de un centro comercial”. (Chase, 2004).
- **“Número de filas:** Hace referencia a las filas de una sola línea y a las múltiples filas que se forman frente a dos o más servidores o convergen en algún punto de redistribución central”. (Chase, 2004).

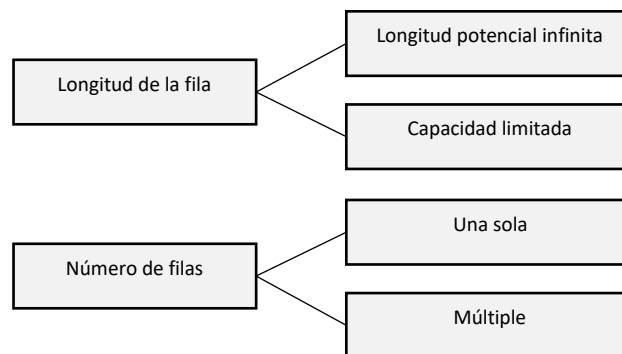


FIG. 3 - Componentes principales del sistema de colas (Chase 2004)

- **“Disciplina de la cola:** Son las reglas para priorizar el orden de atención a los clientes. La regla más común es atender primero a quien llegó primero”. (Chase 2004).

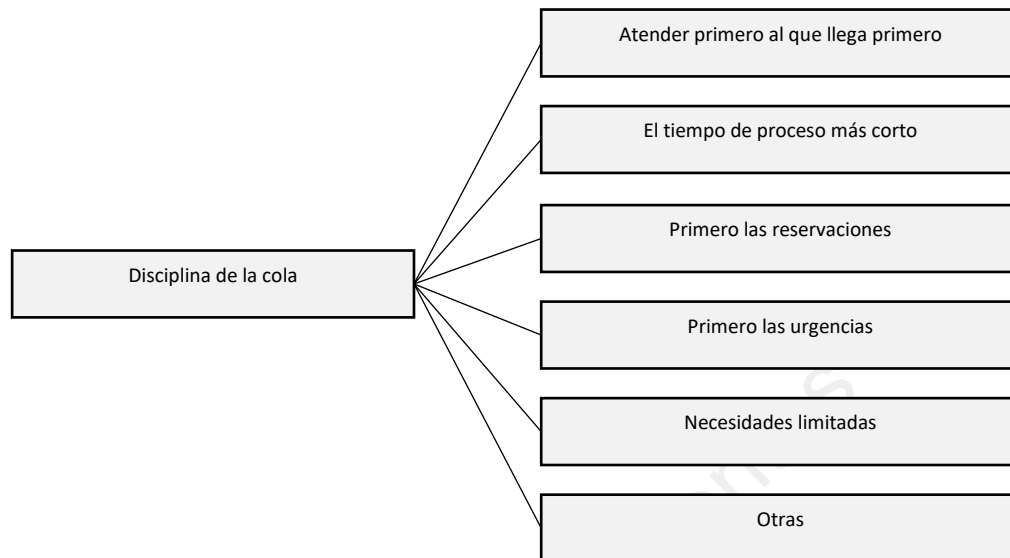


FIG. 4 - Disciplina de la cola (Chase 2004)

- **“Distribución del tiempo del servicio:** Es el tiempo que el cliente o la unidad permanece con el servidor una vez que ha empezado el servicio. Cuando los tiempos de servicio son al azar, se puede hacer una aproximación mediante la distribución”. (Chase 2004).
- **“Estructuras de la fila:** El flujo de sujetos que van a recibir un servicio puede pasar a lo largo de una sola fila, de filas múltiples o de mezclas de las dos. Existen 5 modelos básicos que se describen con un ejemplo sencillo:
 1. Un solo canal, una sola fase: Una peluquería atendida por una sola persona.
 2. Un solo canal, múltiples fases: Un lavado de automóviles, ya que tiene una serie de servicios (aspirar, mojar, lavar, enjuagar, secar, limpiar y estacionar).
 3. Múltiples canales, una sola fase: Las ventanillas de los cajeros en un banco, ya que la fase final es la misma para todos.
 4. Múltiples canales, múltiples fases: La admisión de pacientes en un hospital. Cada uno de ellos pasa por una serie de pasos (contacto inicial, llenar formas, obtener gafete, asignación de cuarto, llegada a la habitación, etc.) y se pueden atender varios pacientes a la vez.
 5. Mixta: Al cruzar un puente en donde dos carriles se convierten en uno solo”. (Chase 2004).

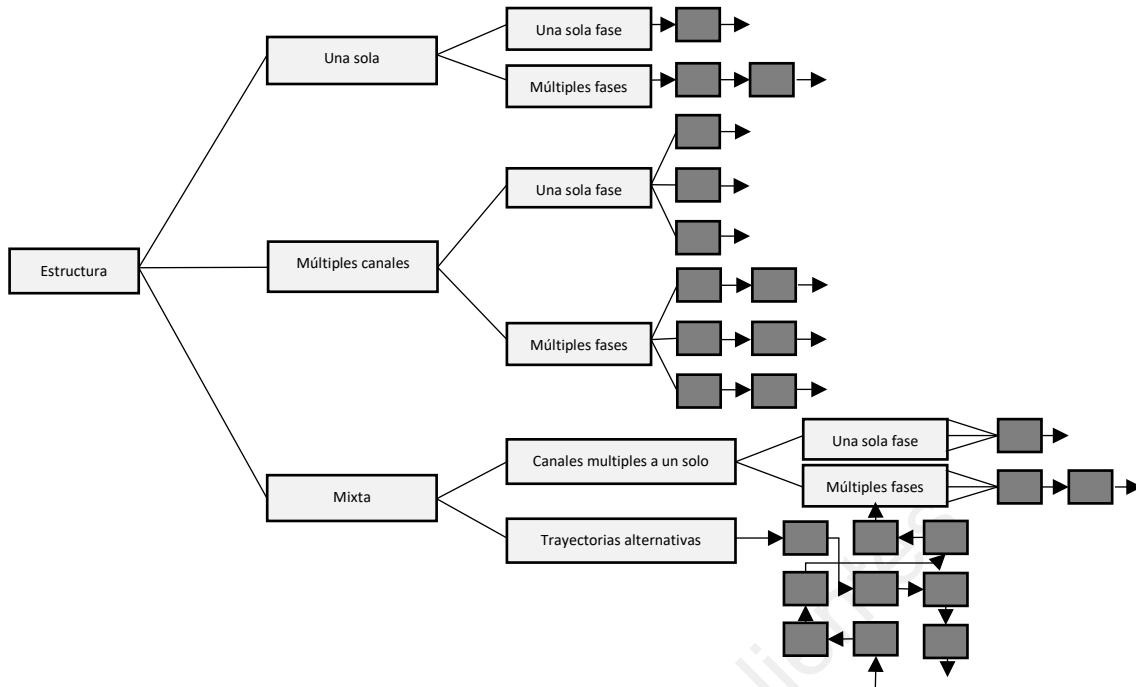


FIG. 5 - Estructura de la fila (Chase 2004)

2.2.2.3 La condición en que los clientes que salen del sistema vuelven o no a la fuente de población

“Una vez que se ha atendido a un cliente son posibles dos destinos de salida:

1. El cliente puede regresar a la población fuente y de inmediato convertirse en un candidato que compite de nuevo por el servicio. (Una máquina que fue reparada de manera rutinaria, pero puede volver a descomponerse).
2. Puede haber un bajo nivel de probabilidad de un nuevo servicio. (Una máquina que se ha sometido a una reparación general y tiene poca probabilidad de necesitar de nuevo un servicio en un futuro cercano”. (Chase, 2004).

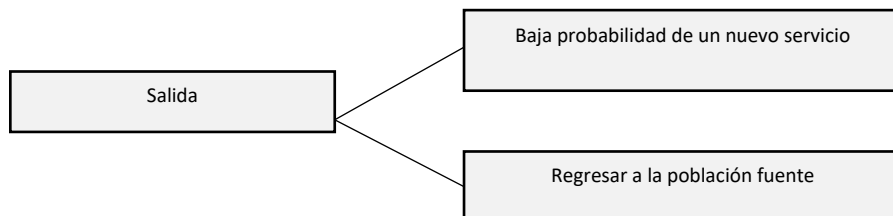


FIG. 6 - Salida del cliente (Chase 2004)

2.2.3 Aplicaciones

La teoría de líneas de espera tiene muchas aplicaciones en la vida cotidiana, tanto en situaciones de negocios como en empresas de manufactura. Algunos ejemplos se muestran en seguida:

- Una gran cadena de supermercados para determinar el número de estaciones de control.
- El sistema de casetas de peaje en puentes y túneles para conocer el requerimiento ideal durante las 24 horas del día.
- En restaurantes y cafeterías, expendios de gasolina, bancos, oficinas de líneas aéreas, almacenes departamentales y clínicas. En todos estos casos, los clientes esperan cierto nivel aceptable de servicio, mientras que la empresa espera poder mantener sus costos al mínimo. Citado en Thierauf (1991).
- En empresas de manufactura en el área de las casetas de herramientas, buffers o almacenes, donde determinar el personal adecuado para surtir y que los operadores no tengan que esperar.
- Otro análisis es para determinar el número de muelles que se construyen para las terminales de barcos o camiones.
- En el requerimiento necesario de técnicos para la reparación y mantenimiento de equipos.

Estos son solo algunos ejemplos comunes de la aplicación de las líneas de espera, pero su estudio se extiende a infinidad de situaciones.

2.3 Estadística

La estadística forma una parte indispensable en lo que conlleva el proceso de simulación. A partir de la recolección de datos y muestras de una población es posible conocer como son las distribuciones estadísticas de los procesos para de esta manera introducir los datos al simulador y analizar los resultados.

2.3.1 Recolección de datos

Siguiendo a Berenson & Levine (1996), “los datos pueden concebirse como información numérica necesaria para ayudarnos a tomar una decisión con más bases en una situación particular”.

Dentro de los principales métodos para la obtención de datos están:

- Bases de datos publicados por fuentes gubernamentales, industriales o particulares.
- Generados mediante un diseño de experimentos.
- A través de un estudio.
- Hacer observaciones en los individuos interesados, realizando encuestas o entrevistas.

Los datos pueden ser discretos cuando las respuestas numéricas surgen de un proceso de conteo. Una manera sencilla de diferenciarlos es porque en esta categoría entran todos los números enteros. Por ejemplo, el número de personas en una habitación, el número de piezas buenas en un proceso.

Por otro lado, los datos continuos son respuestas numéricas que surgen de un proceso de medición. Por ejemplo, el tiempo ciclo de un proceso o la longitud de cierta pieza.

El muestreo de los datos es una pieza importante ya que ayuda a predecir el comportamiento y distribución de una población. La teoría del muestreo estudia la relación entre una población y las muestras tomadas en ella. Es útil para determinar si las diferencias observadas entre dos muestras son debidas a variaciones fortuitas o si son realmente significativas. (Spiegel, 1991).

De acuerdo con Levin & Rubin (1996), “los estadísticos usan la palabra población para referirse no sólo a personas sino a todos los elementos que han sido escogidos para su estudio. La palabra muestra la emplean para describir una porción escogida de la población”.

Existen dos métodos para seleccionar muestras de poblaciones: por un lado está el muestreo no aleatorio donde se emplea el conocimiento y la opinión para identificar aquellos elementos de la población que deben incluirse en la muestra, y el muestreo aleatorio o de probabilidad donde conocemos las posibilidades de que un elemento de la población se incluya o no en la muestra.

El muestreo más utilizado es el aleatorio y existen 4 métodos que lo caracterizan:

1. **Aleatorio simple:** Se seleccionan muestras con la misma probabilidad de ser seleccionadas y que dado elemento de la población total tenga una oportunidad igual de ser incluido en la muestra.

2. **Sistemático:** Los elementos son seleccionados de manera uniforme de la población con respecto al tiempo, al orden o al espacio.
3. **Estratificado:** Divide a la población en grupos relativamente homogéneos y se seleccionan aleatoriamente elementos de cada grupo o estrato. Este muestreo es usado cuando cada grupo tiene una pequeña variación dentro de sí mismo, pero hay una amplia variación entre grupos.
4. **Racimo:** La población se divide en grupos donde hay una variación considerable dentro de cada grupo y de ahí se seleccionan muestras similares entre sí.

2.3.2 Medidas de tendencia central

“La tendencia central se refiere al punto medio de una distribución. Las medidas de tendencia central se conocen también como medidas de posición”. (Levin & Rubin, 1996).

- **“Media aritmética:** Es el promedio o medición de tendencia central de uso más común y se calcula sumando todas las observaciones de una serie de datos y luego dividiendo el total entre el número de elementos involucrados.

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n} \quad (1)$$

- **Mediana:** Es el valor medio de una secuencia ordenada de datos. La mediana no se ve afectada por ninguna observación extrema de una serie de datos, por lo tanto, siempre que tengamos una observación extrema es apropiado usar la mediana en vez de la media.

$$\frac{n + 1}{2} \quad (2)$$

- **Moda:** Es el valor de una serie de datos que aparece con más frecuencia.
- **Rango medio:** Es el promedio de las observaciones menores y mayores de una serie de datos:

$$Rango\ medio = \frac{X_{menores} + X_{mayores}}{2} \quad (3)$$

- **Eje medio:** Es el promedio del primer y tercer cuartiles de una serie de datos. Es una medición de resumen usada para zanjar problemas potenciales introducidos por los valores extremos de los datos.

$$Eje\ medio = \frac{Q_1 + Q_3}{2} \quad (4)$$

El primer cuartil es un valor tal que 25% de las observaciones son menores y 75% de las observaciones son mayores.

El segundo cuartil es la mediana. El tercer cuartil es un valor tal que 75% de las observaciones son menores y 25% de las observaciones son mayores”. (Berenson & Levine, 1996).

2.3.3 Histograma

Como lo mencionan Levin & Rubin (1996), las gráficas de distribuciones de frecuencias simples y de frecuencias relativas son de utilidad debido a que resaltan y aclaran los patrones que no se pueden distinguir fácilmente en tablas. Permitirán estimar algunos valores con sólo una mirada y proporcionarán una verificación visual sobre la precisión de las soluciones.

Siguiendo a Spiegel (1991), un histograma de frecuencias consiste en un conjunto de rectángulos con:

- A) Bases en el eje X horizontal, centros en las marcas de clase y longitudes iguales a los tamaños de intervalos de clase.
- B) Áreas proporcionales a las frecuencias de clase.

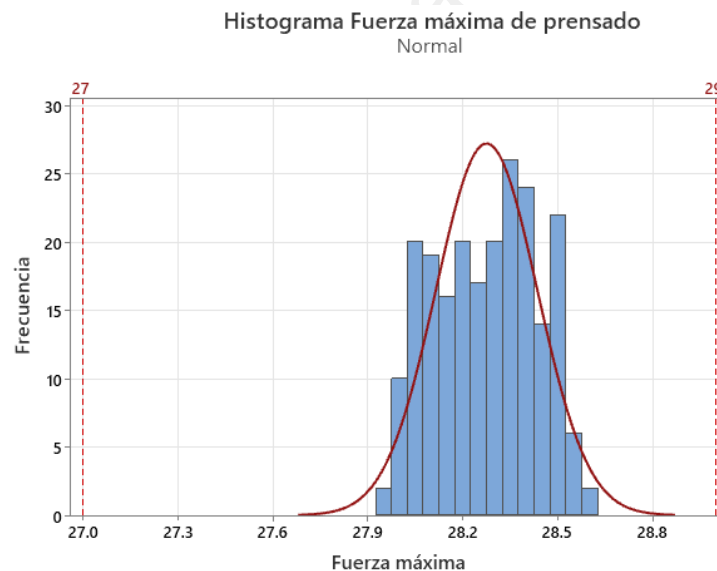


FIG. 7 - Ejemplo de histograma (elaboración propia)

“Un histograma que utiliza las frecuencias relativas de los puntos de dato de cada una de las clases, en lugar de usar el número real de puntos, se conoce como histograma de frecuencias relativas”. Citado en Levin & Rubin (1996).

2.3.4 Distribuciones estadísticas de probabilidad

“Las distribuciones de probabilidad son como una distribución de frecuencias teórica, es decir, describe la forma en que se espera que varíen los resultados. Debido a que estas distribuciones tratan sobre expectativas de que algo suceda, resultan ser modelos útiles para hacer inferencias y tomar decisiones en condiciones de incertidumbre”. (Levin & Rubin, 1996).

Seguindo a Rovetto (2020), la distribución de probabilidad de una variable aleatoria sería una función que asigna a cada suceso definido sobre dicha variable la probabilidad de que dicho suceso ocurra. Siempre que sea posible se expresan por medio de ecuaciones o mediante un histograma que muestre como corresponde cada valor de la variable aleatoria con sus probabilidades asociadas.

“**Distribución binomial:** Es una distribución que describe datos discretos que son resultado de un experimento conocido como proceso de Bernoulli”. Levin & Rubin (1996).

De acuerdo con Wackerly (2002), “un experimento binomial tiene las siguientes propiedades:

1. Consta de un número determinado " n " de ensayos idénticos.
2. Cada ensayo tiene dos resultados posibles: éxito o fracaso.
3. La probabilidad de tener éxito es igual a algún valor p , y permanece constante de un ensayo a otro. La probabilidad de fracaso es $q = (1-p)$.
4. Todos los ensayos son independientes.
5. La variable aleatoria bajo estudio es Y , que es igual al número de éxitos observados en n ensayos”.

Algunas de las distribuciones de probabilidad más comunes tanto para datos discretos como para datos continuos las podemos enlistar enseguida:

- “**Distribución Poisson:** Para variables aleatorias discretas. Se utiliza para describir cierto tipo de procesos entre los que se encuentran la distribución de llamadas telefónicas que llegan a un conmutador, la demanda de los pacientes que requieren servicio en una institución de salud, las llegadas de camiones y automóviles a una caseta de cobro, etc.”, citado en Levin & Rubin (1996). “Se llama así en honor de Siméon-Denis Poisson que lo descubrió a principios del siglo XIX”. (Spiegel, 1991). La fórmula es la siguiente:

$$p(X) = \frac{\lambda^X e^{-\lambda}}{X!} \quad (5)$$

- **Distribución geométrica:** Para datos discretos, se relaciona con un experimento que comparte algunas de las características del experimento binomial. La diferencia viene en que más que el número de éxitos que se presentan en "n" ensayos, la variable aleatoria geométrica Y es el número del ensayo que concluye con el primer éxito. El experimento podría terminar con el primer ensayo si se observara éxito, o bien, el experimento podría prolongarse de forma indefinida, citado en Wackerly (2002).
- **"Distribución uniforme:** Utilizada en datos discretos o continuos cuando sabemos que un evento siempre ocurrirá en un rango determinado:

$$f(y) = \frac{1}{\theta_2 - \theta_1} \text{ donde } \theta_1 \leq y \leq \theta_2 \quad (6)$$

Las cantidades θ_2 y θ_1 son parámetros de la función de densidad e importantes medidas descriptivas". Citado en Wackerly (2002).

- **Distribución normal:** Como lo comenta Berenson & Levine (1996), "la distribución normal es de las más utilizadas en estadística por tres razones principales:
 1. La mayoría de los fenómenos, procesos o situaciones pueden adaptarse a ella o aproximarse mediante ésta.
 2. Se usa para aproximar diversas distribuciones de probabilidad discreta y evitar así cálculos complicados.
 3. Proporciona la base de la inferencia estadística clásica debido a su relación con el teorema del límite central".

"Sus principales propiedades son:

1. Posee una forma de campana y es simétrica en apariencia.
2. Sus mediciones de tendencia central son idénticas.
3. Su dispersión media es igual a 1.33 desviaciones estándar.
4. Su variable aleatoria asociada tiene un alcance infinito". Citado en Berenson & Levine (1996).

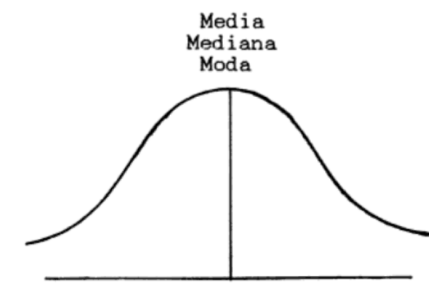


FIG. 8 - Distribución normal

- **“Distribución gamma:** Para datos continuos, algunas variables aleatorias son siempre no negativas y por diversas razones dan origen a distribuciones de datos sesgadas (asimétricas) a la derecha. La mayor parte del área bajo la función de densidad está cerca del origen, y la función de densidad disminuye gradualmente a medida que aumenta y ”. (Wackerly, 2002).

$$f(y) = \frac{y^{\alpha-1} e^{-y/\beta}}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \text{ si } 0 < y < \infty \quad (7)$$

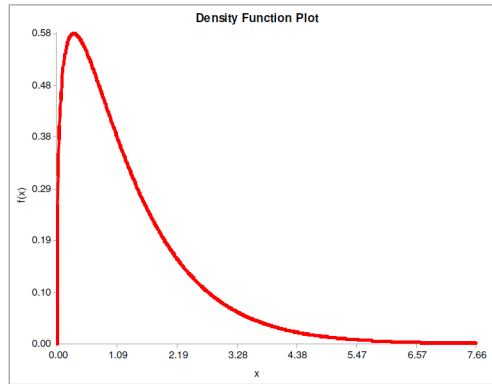


FIG. 9 - Distribución gamma con $\alpha = 1.3$ y $\beta = 1.0$

De acuerdo con Wackerly (2002), “los tiempos entre las fallas de funcionamiento de los motores de cierto avión poseen una distribución de frecuencias sesgada, y lo mismo ocurre con los tiempos que pasan los clientes formados para llegar a la caja en un supermercado, o con los tiempos que toma revisar el motor de un automóvil. Las poblaciones asociadas con estas variables, con frecuencia poseen distribuciones que se representan adecuadamente con una función de densidad gamma”.

- **“Distribución beta:** Se utiliza para datos continuos y a menudo se utiliza como modelo para representar proporciones, como el porcentaje de impurezas existentes en un producto químico o el tiempo que tarda un técnico de mantenimiento en reparar una máquina. La función está definida en un intervalo cerrado de 0 a 1”. (Wackerly 2002).

$$f(y) = \frac{y^{\alpha-1} (1-y)^{\beta-1}}{\beta(\alpha, \beta)} \text{ si } 0 < y < 1 \quad (8)$$

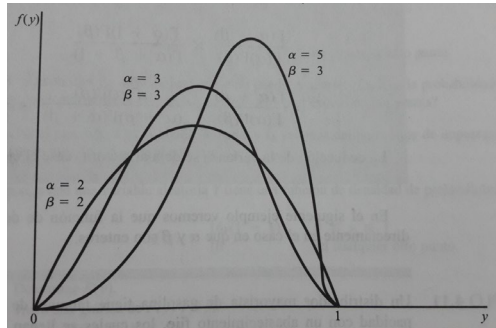


FIG. 10 - Función de densidad beta para diferentes valores de α, β . (Wackerly 2002)

“Las gráficas de funciones de densidad beta adoptan formas muy distintas para diversos valores de los dos parámetros α, β ”. (Wackerly, 2002).

2.3.5 Pruebas de confianza

Estas pruebas estadísticas ayudan a identificar y concluir que tan bien los datos se apegan a la función estadística de probabilidad seleccionada.

Prueba de Kolmogorov-Smirnov

Seguendo a Coss Bu (1996), “el procedimiento de Kolmogorov-Smirnov prueba la hipótesis de que la distribución acumulada de una variable aleatoria x es $F_0(x)$. Para probar esta hipótesis, una muestra de tamaño n es obtenida de una distribución continua $F(x)$. Enseguida, se determina la distribución acumulada de la muestra, la cual se denota por $F_n(x)$. Posteriormente, $F_n(x)$ es comparada con la distribución acumulada hipotética $F_0(x)$. Si $F_n(x)$ difiere demasiado de $F_0(x)$, entonces esto es una amplia evidencia de que $F_n(x)$ no es igual a $F_0(x)$ ”.

“La aplicación de esta prueba de confianza para números pseudoaleatorios uniformes se describe a continuación:

1. Generar " n " números pseudoaleatorios uniformes.
2. Ordenarlos en orden ascendente.
3. Calcular la distribución acumulada de los números generados utilizando la siguiente expresión:

$$F_n(x) = \frac{i}{n} \quad (9)$$

Donde i es la posición que ocupa el número X_i , en el vector obtenido en el paso 2.

4. Calcular el estadístico Kolmogorov-Smirnov del modo siguiente:

$$D_n = \max |F_n(X_i) - X_i| \text{ para toda } X_i \quad (10)$$

5. Si $D_n < d_{\alpha,n}$, entonces no se puede rechazar la hipótesis de que los números generados provienen de una distribución uniforme. La distribución de D_n ha sido tabulada como una función de n y α para cuando $F_n(x) = F_0(x)$ ". (Coss Bu, 1996).

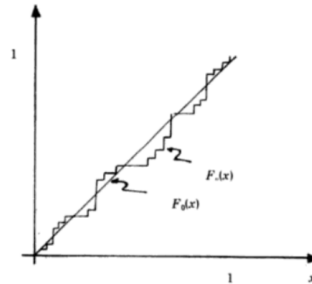


FIG. 11 - Comparación de $F_0(x)$ para cada valor de x generado. (Coss Bu 1996)

Prueba de Anderson-Darling

Seguindo a Minitab Inc. (2016), "mide qué tan bien siguen los datos una distribución específica. Para un conjunto de datos y distribuciones en particular, mientras mejor se ajuste la distribución a los datos, menor será el estadístico".

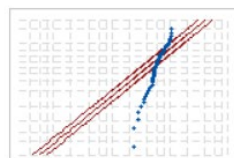
Las hipótesis para la prueba de Anderson-Darling son:

- **H_0** : Los datos siguen una distribución especificada.
- **H_1** : Los datos no siguen una distribución especificada.

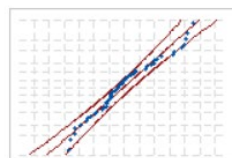
Normalmente podemos utilizar el valor de $p < 0.05$ para rechazar la hipótesis nula H_0 .

También puede utilizar el estadístico de Anderson-Darling para comparar el ajuste de varias distribuciones con el fin de determinar cuál es la mejor.

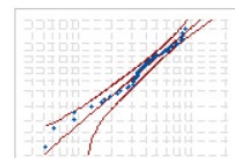
Distribución	Anderson-Darling	Valor p
Exponencial	9.599	$p < 0.003$
Normal	0.641	$p < 0.089$
Weibull de 3 parámetros	0.376	$p < 0.432$



Exponencial



Normal



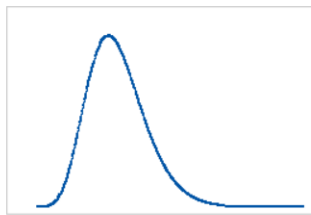
Weibull de 3 parámetros

FIG. 12 - Ajuste de distribuciones mediante Anderson-Darling (Matlab Inc. 2016)

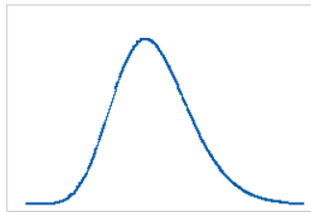
Prueba Chi-Cuadrada

De acuerdo con Minitab Inc. (2016), “la distribución chi-cuadrada es comúnmente utilizada en pruebas estadísticas para determinar que tan bien una muestra corresponde a una distribución teórica. También es utilizada para determinar la independencia entre variables categóricas. Por ejemplo, para determinar si la ocurrencia de 4 tipos de defectos está relacionada al turno de producción”.

La forma de la distribución chi-cuadrada depende del número de grados de libertad, entre más grados de libertad el comportamiento se aproxima a una distribución normal. Entre más grande es el tamaño de muestra los grados de libertad aumentan, no es recomendable usar esta prueba para conjuntos de datos con pocas muestras.



Distribución de chi-cuadrado con 20 grados de libertad



Distribución de chi-cuadrado con 40 grados de libertad

FIG. 13 - Distribución Chi-Cuadrada con diferentes grados de libertad (Matlab Inc. 2016)

2.4 FlexSim

FlexSim es un software o programa de simulación de eventos discretos desarrollado por la compañía FlexSim Software Products, Inc. Utiliza un ambiente OpenGL para realizar el renderizado 3D en tiempo real.

2.4.1 Historia

“FSP (FlexSim Software Products) fue fundada en 1993 por Bill Nordgren (Cofundador de Promodel Corporation, 1988), Roger Hullinger, y Cliff King, originalmente bajo el nombre de F & H Simulaciones, Inc. F & H Simulaciones venden, apoyan y llevan a cabo cursos de formación para Taylor II simulation software - propiedad y desarrollado por F & H Simulación B.V de Holanda (F & H Holland)”. (FlexSim Software Products, Inc., 1993).

“En 1998, F & H Holland desarrolló la primera generación de motores de simulación 3D orientado bajo el motor de simulación Taylor ED (Enterprise Dinámica). F & H simulaciones asistió con el desarrollo de objetos sólidos para su uso en Taylor ED. Además, F & H Simulaciones continuaron vendiendo consultoría y entrenamiento en el nuevo software”. (FlexSim Software Products, Inc., 1993).

“En 2000, F & H Holland fue comprado. F & H Simulations tomó esa oportunidad para independizarse. Dr. Eamonn Lavery y Anthony Johnson se unieron para supervisar la arquitectura del producto y comenzar el desarrollo de una nueva y próxima generación, un software de simulación 3D orientado a objetos llamado FlexSim. F & H Simulations, Inc. cambió su nombre a FlexSim Software Products, Inc.”. (FlexSim Software Products, Inc., 1993).

“FlexSim 1.0 fue lanzado en febrero de 2003. Se contaba con una nueva creación en cuanto a motores de simulación, un entorno de modelado 3D y una perfecta integración con C - todas las primicias en la simulación de eventos discretos. Desde su lanzamiento, el software de simulación FlexSim se ha convertido en el estándar por el cual los paquetes de simulación de eventos discretos son juzgados”. (FlexSim Software Products, Inc., 1993).

“FlexSim Software Products, Inc. (FSP) tiene su sede en Orem, Utah. FSP tiene oficinas en Canadá, México, India, Alemania y China. Tiene distribuidores regionales en todo el mundo que ofrecen servicios de apoyo, capacitación y consultoría”. (FlexSim Software Products, Inc., 1993).

“Sus clientes incluyen corporaciones reconocidas a nivel nacional y mundial, incluyendo muchas empresas que se encuentran en la lista Fortune 500. El Software de Simulación FlexSim es constantemente clasificado número uno en la industria para el desarrollo de software y soporte al cliente”. (FlexSim Software Products, Inc., 1993).

2.4.2 Elementos del sistema

Siguiendo a Harrell (2003), dentro de la simulación un sistema podría decirse que consiste en entidades, actividades, recursos y controles de acuerdo con el siguiente diagrama:

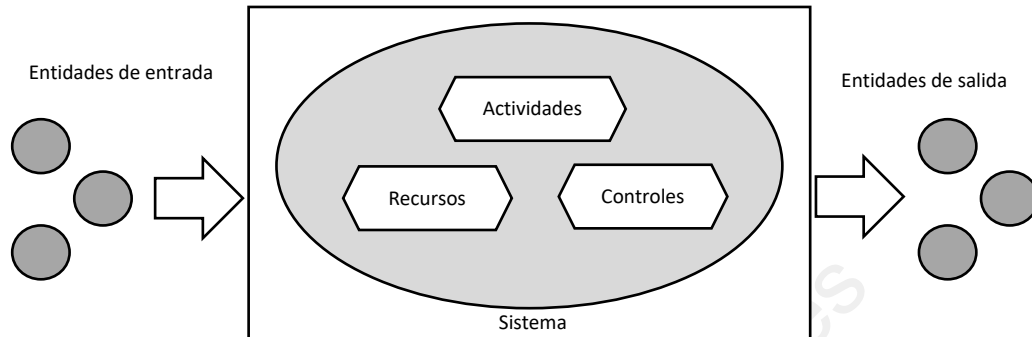


FIG. 14 - Elementos de un sistema (Harrell 2003)

- **Entidades:** Pueden ser un objeto o persona que se mueve a través de un sistema y que causa cambios en las variables de respuesta. Por ejemplo, un cliente en un banco, una orden de pedido en un sistema de inventarios o una lámina de acero en un proceso de manufactura. (Fábregas, 2003).
- **Actividades:** Son las tareas realizadas en el sistema donde directa o indirectamente está envuelto el procesamiento de entidades. Por ejemplo, servicios a un cliente, cortar una parte en una máquina o reparar una pieza en un equipo.
- **Recursos:** Son los medios por los cuales se desarrolla una actividad. Ellos proveen las facilidades, equipos y personal para llevar a cabo las actividades. Los recursos tienen características como capacidad, velocidad, tiempo ciclo, etc.
- **Controles:** Los controles dictan como, cuando y donde las actividades son desarrolladas. Imponen orden en el sistema. Por ejemplo, calendarios de actividades, planes, procedimientos lógicos de máquinas, secuencias o rutinas. (Harrell, 2003).

También existen elementos básicos que en el lenguaje FlexSim son muy utilizados:

- **Atributos:** Características de una entidad.
- **Estado del sistema:** Condición del sistema en un momento t . Es donde entran las actividades.
- **Localizaciones:** Son los lugares por donde deben esperar o fluir las entidades (recursos fijos).
- **Variables:** Condiciones cuyos valores se crean y modifican. (Masini, 2010).

Elementos de un sistema	Lenguaje en FlexSim
Entidades	Flowitems
Estados del sistema	States
Evento	Event
Recursos	FlexSim object
Localizaciones	Fixed resources
Variables	Variables, labels
Controles	Triggers, flow tab

Tabla 1 - Elementos de un sistema en lenguaje FlexSim (Masini, 2010)

2.4.3 Interfaz

La interfaz de FlexSim es muy amigable con el usuario:

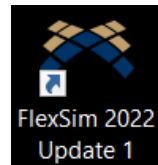


FIG. 15 - Ícono del programa FlexSim

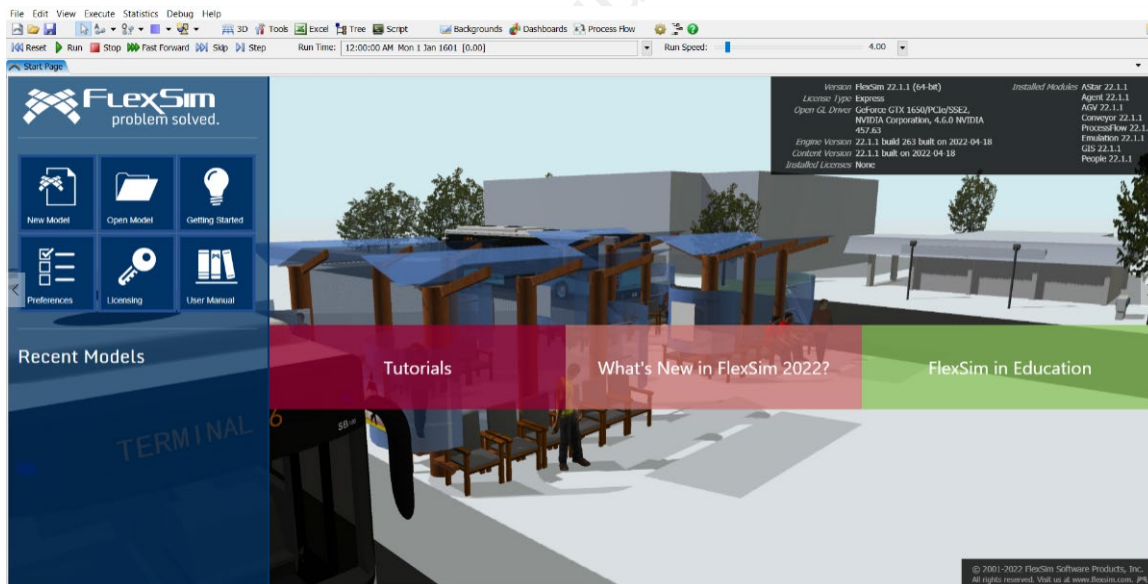


FIG. 16 - Vista inicial del programa FlexSim

Al iniciar un nuevo modelo, es importante asignar las unidades de medición que estaremos utilizando:

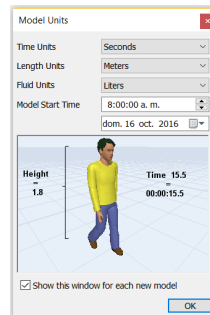


FIG. 17 - Selección de unidades para el modelo

Una vez en la interfaz de creación de modelo se puede ubicar la barra de herramientas y dentro de ella los principales elementos.

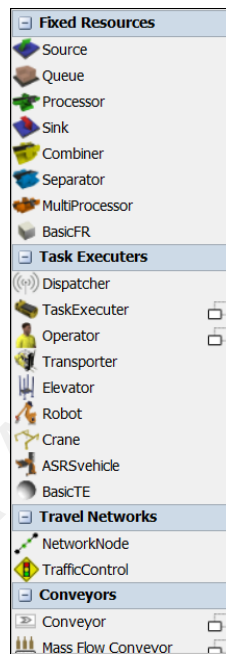


FIG. 18 - Librería de objetos en FlexSim

“Los fixed resources son objetos estacionarios en el modelo que pueden representar pasos o estaciones en su proceso o áreas de almacenamiento. Los flowitems avanzan a través del modelo ingresando en estos objetos para ser procesados y una vez finalizado pasan al siguiente fixed resource”. (Casadiego, R., 2015).

“Los task executers son usados como recursos móviles en el modelo. Pueden ser operadores que son requeridos para llevar un flowitem a la siguiente etapa del proceso”. (Casadiego, R., 2015).

El travel network se usa para establecer las rutas específicas que deben seguir los elementos del task executer cuando deben de realizar desplazamientos de un objeto a otro del sistema, citado en Vega A. (2021).

Los conveyors simulan el movimiento de los flowitem similar a una cinta transportadora por una ruta establecida a través del modelo. La ruta es definida por el usuario disponiendo de secciones rectas como curvas, citado en Vega A. (2021).

Una vez que se insertan objetos dentro del modelo y se conectan entre sí para que el proceso siga el flujo establecido, la siguiente fase es realizar el set up de los equipos añadiendo los datos estadísticos para cada sección.

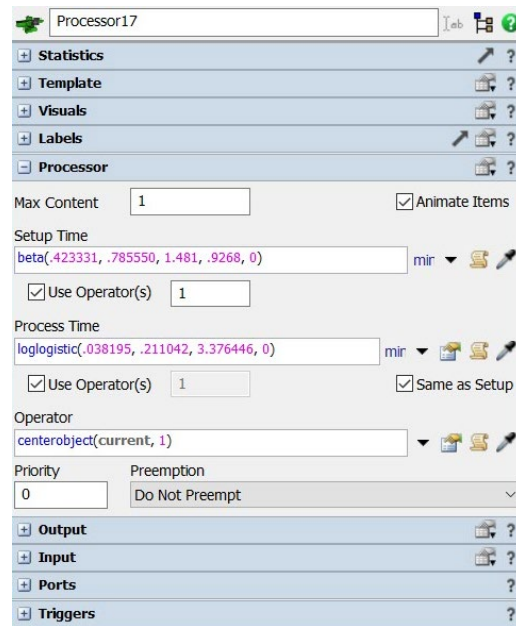


FIG. 19 - Set up estadístico de los objetos del modelo

Después del set-up es importante validar todas las conexiones y hacer algunas corridas de prueba para identificar posibles errores técnicos. En caso de haberlos, el programa ayuda a identificar donde está el problema para poder corregirlo fácilmente.

Ahora inicia la parte analítica, aquí se realizarán múltiples escenarios y una gran cantidad de corridas para obtener datos y de esta manera interpretar los resultados.

FlexSim maneja entre muchas de sus herramientas, ayudas visuales que permiten saber de manera clara algunos de los resultados en tiempo real.

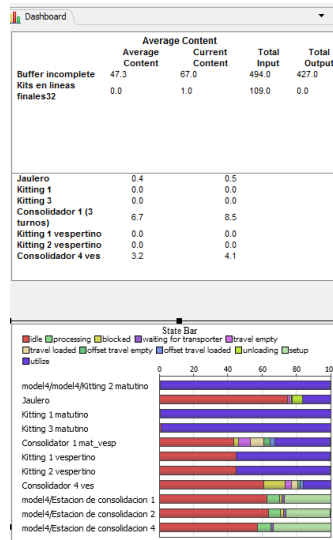


FIG. 20 - Dashboard, ayudas visuales para interpretación de resultados en FlexSim

Otra de las funciones que da mucha versatilidad al software es el Experimenter. Esta función permite crear los diferentes escenarios modificando variables en cada uno de ellos y de igual forma programar la cantidad de corridas que hará el programa. Esto brinda la factibilidad de realizar múltiples experimentos una gran cantidad de veces en muy poco tiempo. Al final, entrega resultados con gráficas de las variables que se decidió monitorear. Esto es realmente útil para la interpretación de resultados.

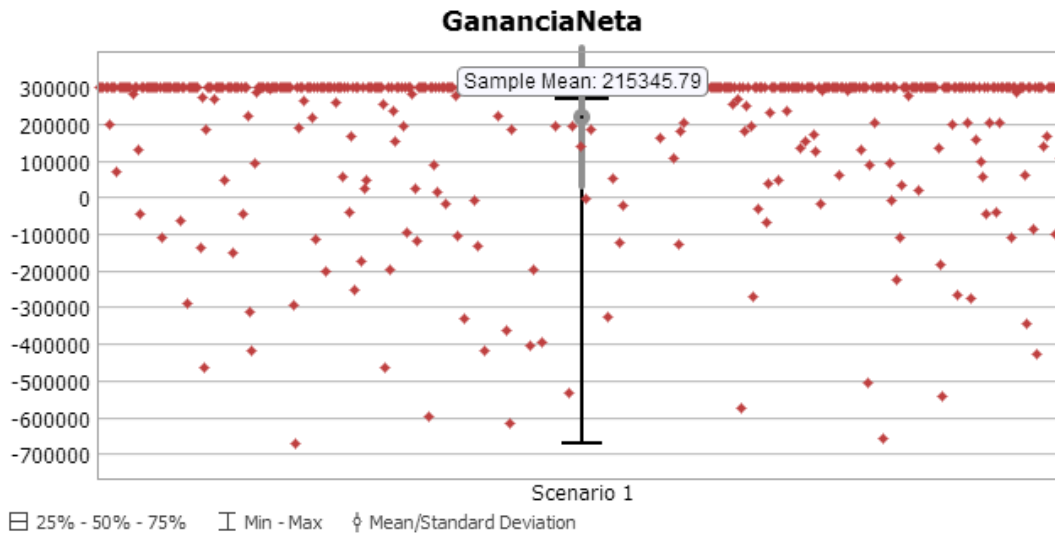


FIG. 21 - Gráfica de resultados mostrada por la función Experimenter

2.4.4 ExperFit

ExperFit es un complemento del software FlexSim el cual permite determinar automática y precisamente cual es la distribución de probabilidad que mejor representa un conjunto de datos. En muchos casos un análisis completo puede ser hecho en pocos minutos.

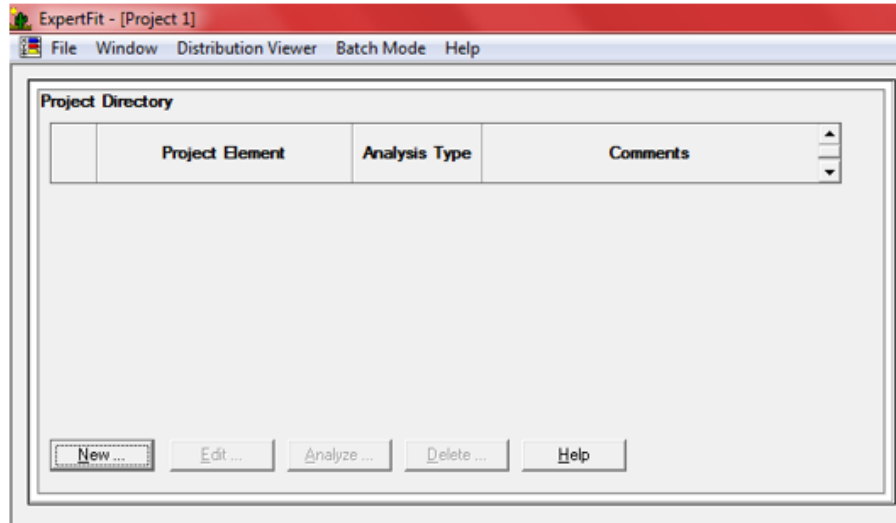


FIG. 22 - Vista inicial del programa ExperFit

ExperFit es bastante usado por analistas realizando estudios de simulación de eventos discretos para sistemas con aplicaciones del mundo real como defensa, manufactura, transporte, salud, sistemas de comunicación. Citado en Law (1995).

Continuous		Discrete
beta	lognormal	Bernoulli
chi-square	normal	binomial
Erlang	Pearson type 5	geometric
exponential	Pearson type 6	negative binomial
gamma	random walk	Poisson
inverse Gaussian	Rayleigh	uniform
inverted Weibull	triangular	
Johnson S_B	uniform	
Johnson S_U	Wald	
log-Laplace	Weibull	
log-logistic		

Tabla 2 - Distribuciones de probabilidad disponibles en ExperFit

Una vez que se crea un elemento en el proyecto, la interfaz de ExperFit maneja la información a través de 4 sencillos pasos:

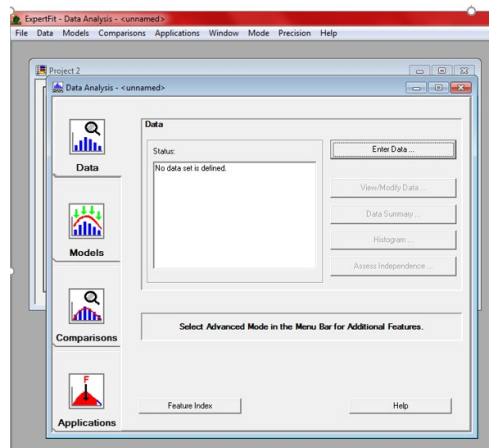


FIG. 23 - Ventana para un elemento nuevo

1. **Data:** Captura de todos los datos recolectados para un cierto proceso en específico. Algunas recomendaciones de acuerdo con Law (1995) son:
 - Si es posible, coleccionar al menos 100 observaciones de los fenómenos aleatorios de interés, con 200 observaciones se provee una mayor habilidad de discriminar entre 2 distribuciones. En general, el beneficio de incrementar el tamaño de muestra de 200 a 300 es menor que incrementar el tamaño de muestra de 100 a 200.
 - Agregar la mayor cantidad de decimales en caso de ser datos continuos.
 - Utilizar números reales en lugar de discretos para facilitar el proceso ya que ExperFit posee más distribuciones continuas que discretas.
 - Conocer tus datos a fondo y los procesos que se manejan para detectar posibles "outliers" o datos fuera de contexto que puedan afectar el proceso de selección de distribución.
2. **Models:** En este apartado es donde el software realizará el análisis para determinar cuáles distribuciones se apegan más al conjunto de datos ingresados.
3. **Comparisons:** En esta ventana podremos observar gráficas de los resultados adecuados a las distribuciones con un mayor porcentaje de confiabilidad. Además, podremos realizar las pruebas de confiabilidad y verificar si los datos son suficientes dependiendo del resultado de la prueba.
4. **Applications:** En esta opción básicamente obtendremos el código necesario para usar la información en el software FlexSim.

Es importante mencionar que si los resultados tienen un nivel de confianza bajo con las distribuciones encontradas por el software o los análisis de confiabilidad son rechazados, se debe verificar nuevamente la información e incluso es muy recomendable aumentar el número de muestras. Generalmente, niveles arriba del 95% de confiabilidad son aceptables.

CAPÍTULO III - METODOLOGÍA

En este capítulo se presenta el procedimiento que fue llevado a cabo para la elaboración de este proyecto. Se analizará de forma general como fueron desarrollados todos los apartados de la tesina, tanto en la etapa de investigación como en la parte de la intervención.

Además, se verán los puntos claves que surgieron durante la elaboración de la tesina, así como detalles que servirán para que el lector conozca más a fondo los métodos de investigación utilizados.

3.1 Diseño de la investigación

La tesina en curso es un proyecto de intervención, donde se realiza una simulación de un sistema real para analizar los resultados y tomar decisiones en base a ellos.

Este proyecto surgió a raíz de resolver una problemática real donde es requerida una alta inversión y se necesita asegurar que el sistema planeado a implementar tenga los beneficios esperados para de esta manera reducir el riesgo de inversión.

Para el planteamiento del problema inicialmente se trabaja en el área a simular en donde se analiza la situación actual y se realiza un diagrama de flujo para conocer cada etapa del proceso. En este paso es importante vivir el proceso y conocer todos los detalles, conocer a las personas involucradas y tomar su propia experiencia para sacar más ventaja de la situación.

También se analiza el sistema propuesto, el cual tendrá que simularse para comparar contra el sistema actual y con ello tomar una decisión acertada.

En base a este análisis se concluye que el proyecto es viable para llevar a cabo una simulación.

A partir de aquí se realiza la investigación sobre el tema elegido para comenzar a recabar la información necesaria para la redacción del capítulo I y II. Puesto que estos capítulos representan en su mayoría la parte teórica, se procede a la consulta de libros de la biblioteca universitaria, libros de consulta en línea así como artículos de internet propiamente referenciados. Un punto base del conocimiento adquirido sobre simulación es el curso de simulación de procesos por computadora impartido por el profesor Javier

Masini en el año 2013. En esta parte teórica, los temas fueron seleccionados en base a las necesidades que habrá durante el desarrollo del proyecto, es decir, temas relevantes que serán utilizados en un futuro y requieren un pequeño respaldo teórico en esta sección del documento.

Una vez preparado el marco teórico, se procede con los preparativos para iniciar la parte práctica. En esta etapa se consigue el software FlexSim así como la extensión ExperFit utilizando la licencia de estudiante proporcionada por la Universidad Panamericana Campus Aguascalientes. De igual forma, se asignan recursos para la toma de tiempos de cada una de las actividades. Este es un proceso un poco metódico ya que se requieren bastantes muestras considerando toda la población para de esta manera obtener resultados más precisos al momento de ingresar los datos en la simulación.

La siguiente etapa es la parte estadística, con todos los datos recolectados se procede a utilizar el software ExperFit para ajustar los datos a la distribución que mejor los represente.

Se pasa ahora al uso del software FlexSim. Esta fase consiste en crear el modelo actual, ingresar los datos obtenidos de las distribuciones estadísticas de cada proceso y realizar una serie de validaciones tanto del programa como del comportamiento de los resultados. Se debe asegurar que los resultados sean coherentes, es decir, que se apeguen al comportamiento real del sistema para de esta manera estar seguros que el modelo ha sido creado correctamente.

Por último se lleva a cabo la recolección de resultados. Se engloban distintos métricos para cada uno de los modelos simulados y se comparan en una tabla para un mejor entendimiento e interpretación. En base a ello, se toma la decisión adecuada e incluso si los resultados no son satisfactorios se toman como punto de partida para una nueva serie de simulaciones para buscar alternativas diferentes pero efectivas.

3.2 Población y muestra

El sistema real por simular es un proceso de manejo de materiales en una empresa de manufactura. Este proceso se efectúa en 3 turnos (matutino, vespertino y nocturno) con diferentes personas manejando cada una de las operaciones que involucran el manejo de materiales y los diferentes kits. También se tienen múltiples estaciones que se pueden utilizar para realizar distintas tareas. La variedad de modelos y líneas es demasiado extensa y dependiendo de cada modelo es el tipo y cantidad de materiales a seleccionar. Este

conjunto de elementos conforma la población total dentro del entorno que abarca el sistema.

El muestreo para obtener los datos estadísticos considera la toma de tiempos incluyendo personal de los 3 turnos y en diferentes estaciones. Se manejan varios modelos con diferentes cantidades para incluir muestras en todo el espectro de la población.

Se tomaron entre 20 y 100 muestras de cada proceso con el fin de garantizar que los datos se puedan ajustar correctamente a las distribuciones estadísticas con un alto nivel de confianza en las pruebas de confiabilidad (arriba de 90% y preferible un 95%) con ayuda del software ExperFit. Si este porcentaje no es logrado, es recomendado aumentar el número de muestras para que el modelo obtenga resultados más efectivos y apegados a la realidad.

La decisión del número de muestras también estuvo basada en el tiempo y recursos disponibles para obtenerlas, en este caso había una persona dedicada a este proyecto que pudo realizar las mediciones en un corto lapso de tiempo con ayuda de una segunda persona de soporte parcial. Hay situaciones donde los recursos son limitados, los tiempos de cada proceso muy elevados o simplemente muy difíciles de conseguir, en estos casos se puede optar por recoger un número de muestras reducido y utilizar algunas de las características del software ExperFit para encontrar la distribución más apegada a los datos obtenidos.

3.3 Instrumentos y técnicas de análisis

Esta fase permite conocer cuáles fueron los métodos e instrumentos para el análisis del funcionamiento del proyecto.

La toma de tiempos es directamente en piso de producción, dentro del área de creación de kits. Se utiliza cronómetro para llevar a cabo cada una de las mediciones y se realiza la actividad sin que la persona se dé cuenta de que alguien está llevando a cabo la toma de tiempos con el fin de evitar comportamientos distintos a su proceso habitual. Después de cada sesión de toma de tiempos se registran todas las muestras en una tabla de Excel para llevar un control de los datos.

El software Experfit permite ingresar todos los datos obtenidos en la toma de tiempos y ajustarlos a la distribución de probabilidad adecuada. Al final, el software entrega el código necesario para ingresar los datos al simulador FlexSim.

La siguiente herramienta es el software FlexSim, el cual permite crear el modelo e ingresar todos los datos estadísticos en él. Permite establecer las variables a ser tomadas en cuenta para la interpretación de resultados para de esta manera monitorearlas y registrarlas en una nueva tabla comparativa de resultados en excel.

Con la ayuda de ésta tabla el análisis de resultados se facilita ya que se tienen las variables principales y se puede observar el desempeño de las mismas a través de cada uno de los diferentes escenarios de las simulaciones.

Biblioteca Aguascalientes

CAPÍTULO IV - EL PROYECTO DE INTERVENCIÓN

4.1 Datos de identificación

Nombre del proyecto: SIMULACIÓN DEL ÁREA DE MANEJO DE MATERIALES

Responsables: Ing. José Saúl García Michel

M.C. Mercedes Urzúa González

Institución: Universidad Panamericana Campus Aguascalientes

Duración del proyecto: 6-18 meses

4.2 Análisis situacional

Fortalezas

Utilizar el análisis de procesos mediante el uso de la simulación para este proyecto en particular ayuda principalmente a reducir o evitar riesgos de inversión para una idea de la cual no hay seguridad si realmente tendrá el impacto esperado. La simulación está respaldada por un conjunto de datos que hacen que los resultados tengan arriba de 95% de confiabilidad.

Existen los recursos necesarios para llevar a cabo el estudio, no es necesaria una inversión adicional. Además, el trabajo para toma de tiempos y análisis en el software no implican quitar tiempo productivo a los procesos, por lo cual no resta valor.

Una fortaleza más es que se tendrá el sistema ya simulado, es decir, en cualquier momento se puede modificar para futuros proyectos o futuras ideas para mejorarlo.

Debilidades

Dentro de las debilidades del proyecto y la más importante de ellas es que independientemente del grado de dificultad de la simulación, el resultado puede ser desfavorable. Esto significa que para el proyecto en el cual se trata de visualizar si una idea de mejora será realmente una buena inversión, se puede dar el caso de que no lo sea y en realidad no vaya a existir ninguna mejora en el sistema. Hay que contemplar que, para llegar a este punto, se invirtieron recursos principalmente de tiempo hombre para alcanzar el resultado.

Otro punto es que, para este caso, solo existe una persona capacitada para realizar la simulación, en otras palabras, solo hay un experto para el manejo de los softwares de estadística y simulación (ExperFit y FlexSim). En un momento dado, la falta de la persona experta podría obstaculizar el avance del proyecto y esto lo hace totalmente indispensable para la conclusión del trabajo.

Oportunidades

Tomando en cuenta la debilidad de que la simulación no arroje el resultado esperado, se tiene como oportunidad que ya teniendo el sistema simulado en el software es muy fácil realizar experimentos y movimientos para ver nuevas opciones de mejora diferentes a las planteadas inicialmente.

Hay que tratar de involucrar a todo el personal relacionado al área de interés, es decir, que todas las personas conozcan el proyecto y tengan una idea de cuál es el objetivo de este. Esto da la oportunidad de que compañeros de trabajo conozcan la herramienta y la utilicen dentro de sus propias áreas.

El simple hecho de tener un sistema simulado permite tener una herramienta poderosa para en cualquier momento poder jugar con los procesos y encontrar nuevas soluciones.

Otra oportunidad importante es que la simulación es aplicable a todas las áreas de una empresa no solo de manufactura como es el caso de este proyecto. Iniciar con la simulación del área de manejo de materiales es abrir una puerta para en un futuro realizar simulaciones directamente en los procesos de ensamble, para mejorar la productividad e incluso para realizar una mejor planeación de la producción.

Amenazas

Recordemos la importancia de la obtención de datos para llevar a cabo el ajuste de estos a distribuciones de probabilidad estadística. Es una amenaza el no obtener las muestras necesarias, por ejemplo, si se continua con el proyecto teniendo pocos datos y al final se obtiene un buen resultado en la simulación, existe la posibilidad de que, al momento de implementarlo físicamente, el resultado no sea equivalente al que arrojó la simulación debido a que los datos no fueron lo suficientemente confiables. Este sería un grave error y una pérdida para la unidad de negocio.

Por otra parte, haciendo referencia al personal que día a día trabaja el proceso y ya está totalmente acostumbrado a sus actividades, cualquier cambio en caso de que las simulaciones arrojen que efectivamente hay áreas de oportunidad será un reto para ellos debido a la resistencia al cambio.

4.3 Descripción del proyecto

Uno de los objetivos principales de toda compañía es sin duda alguna generar ganancias, generar dinero. La necesidad de llevar a cabo el proyecto de simulación en el área de manejo de materiales (kitting) surge a partir de realizar un análisis a detalle del área, calculando algunos métricos importantes para medir la eficiencia y descubrir las pérdidas reales que representa dentro del sistema productivo de la empresa. Esto ayuda a crear una perspectiva de la oportunidad que comprende aplicar un proyecto en esta área y la simulación en este caso ayudará a tomar decisiones importantes para tener la mayor ganancia posible.

4.3.1 Situación inicial

Algunos de los puntos importantes que fueron detectados en este análisis de la situación inicial del área fueron los siguientes (septiembre 2015):

- El tiempo transcurrido para crear un kit y que éste sea entregado a la línea de producción es alto (5 días aproximadamente).
- En total hay 24 personas laborando exclusivamente en esta área, lo cual se considera excesivo y con oportunidad de ser reducido.
- El espacio total con el que cuenta el área es de 230m², hay espacio desperdiciado.
- El área se encuentra lejos de las líneas de producción, 1 km de distancia recorrida aproximadamente (Subensambles-Área de creación de kits-Producto terminado).

Estas son algunas imágenes del área en su estado inicial:



FIG. 24 - Situación inicial del área de creación de kits

Los espacios del área de creación de kits se ven representados en la siguiente imagen obtenida de FlexSim:

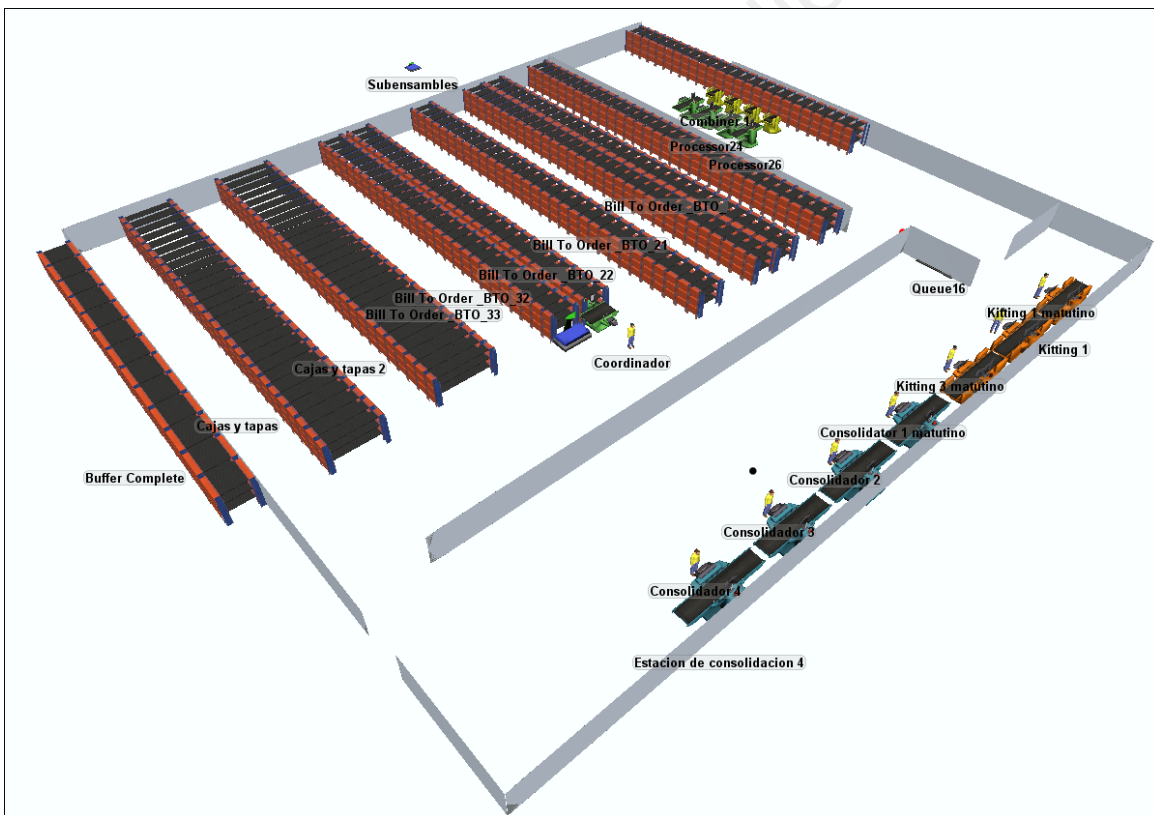


FIG. 25 - Representación en FlexSim de la situación inicial del área de creación de kits

El diagrama de flujo del proceso se representa de la siguiente manera:

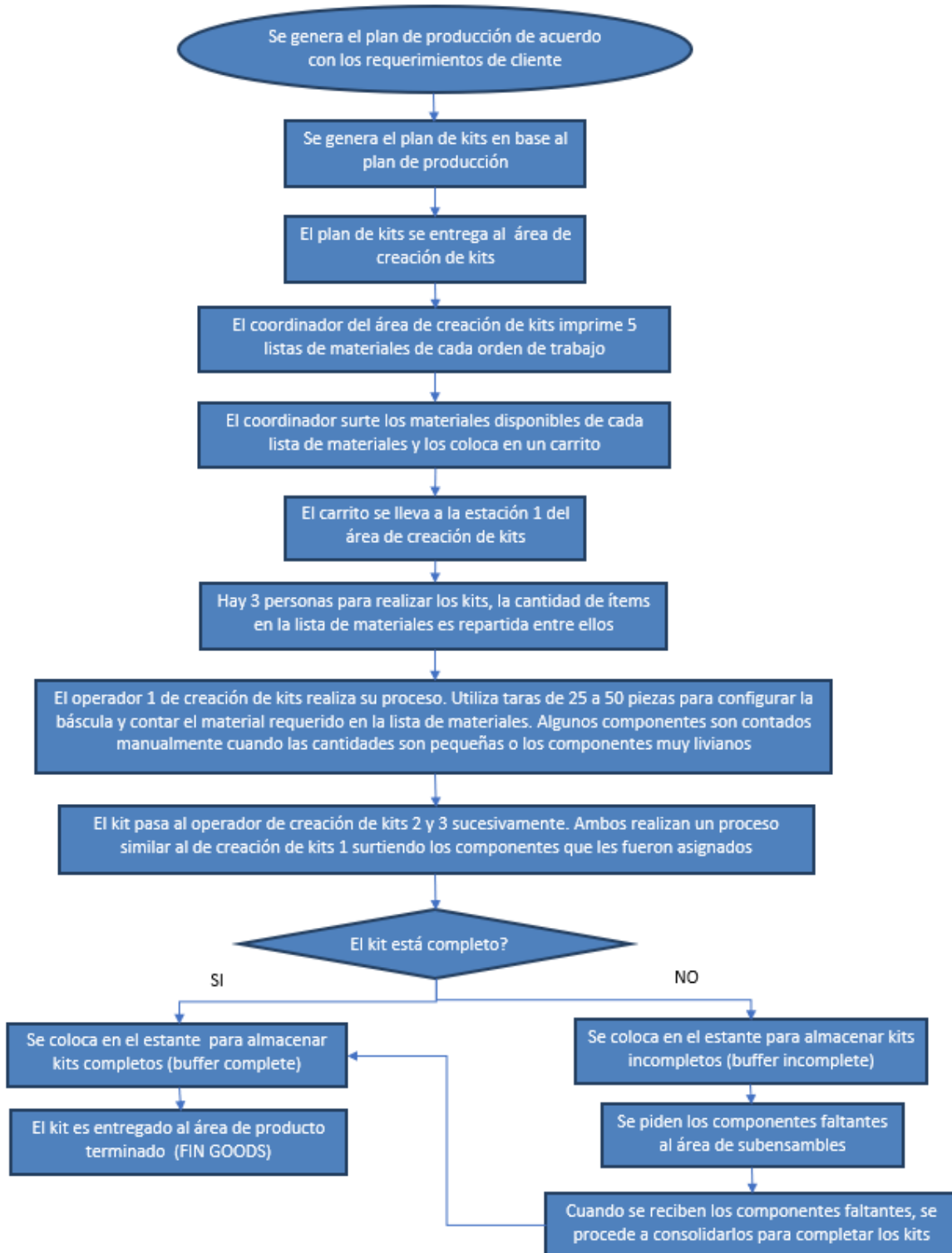


FIG. 26 - Diagrama de flujo de un kit

Dentro del diagrama de flujo existen 4 funciones principales de los operadores que se describen a continuación:

- **Coordinador:** Su función es imprimir los picklist (lista de componentes) de cada job (orden de trabajo) y en base a esa información buscar los materiales requeridos en los estantes del almacén del área. Una vez que encuentra los componentes, los surte al área de creación de kits (kitting) utilizando un carrito para transportarlos.
- **Operadores para armar kits:** Son los encargados de colocar las cantidades correctas de cada material indicadas en los picklist dentro de contenedores para formar lo que se llaman kits (contenedor con todos los componentes necesarios para realizar el ensamble de las piezas requeridas por un job). Si logran completar todos los materiales requeridos envían el contenedor al área de buffer complete (estante con kits listos para ser entregados a líneas de producción) y en caso contrario los envían al buffer incomplete (estante con kits en espera de materiales faltantes).
- **Operadores de consolidación:** Cuando un kit no puede ser completado debido a falta de algún material ya sea materia prima (directo de proveedor) o subensamble (unión de dos o más componentes realizado internamente en la planta) los kits se van a un área llamada buffer incomplete. Cuando los materiales ya están disponibles, los consolidadores son los encargados de completar esos jobs colocando las cantidades de los componentes faltantes. Una vez que surten todo lo necesario, envían el contenedor al buffer complete.
- **Repartidores:** Personal encargado de entregar los kits completos a línea de producción y de recoger los contenedores vacíos de las órdenes de trabajo ya terminadas para regresarlos nuevamente al área de creación de kits.

4.3.2 Definición, objetivo e indicadores

En base a lo anterior, la definición del proyecto y objetivo quedan definidos de la siguiente manera:

"En Septiembre del 2015, el área de creación de kits cuenta con un espacio de 230m² el cual es muy grande para la cantidad de material que maneja y su ubicación hace que el recorrido para la entrega de kits sea de aproximadamente 1km (Subensambles-Área de creación de kits-Producto terminado). El flujo de proceso hace que el tiempo transcurrido desde que se asigna una orden de trabajo hasta que es entregada a línea sea de 5 días, quedando fuera del objetivo de 2.5 días. Además, se considera que el personal actual es demasiado alto (24 personas) teniendo en cuenta que no se cumple con el métrico de tiempo de entrega".

"El objetivo es reubicar el área de creación de kits para que la distancia con respecto de las líneas productivas sea menor a 250m y de igual forma reducir el espacio utilizado a menos de 185m². Mediante el uso de la simulación, mejorar el rendimiento del área reduciendo el tiempo de entrega para alcanzar el objetivo de 2.5 días y bajar el personal del área (head count) a menos de 22".

De acuerdo con el objetivo mencionado, los métricos principales para monitorear la efectividad del proyecto se ven plasmados en la siguiente tabla:

Variable	Definición	Indicador actual	Objetivo
Espacio	Espacio requerido por el área de creación de kits.	230m ²	< 185m ²
Distancia	Distancia entre el área de creación de kits y las áreas de producción.	1km	< 250m
Tiempo de entrega	Tiempo desde la creación de una orden de trabajo (job) hasta la entrega a manufactura.	5 días	≤ 2.5 días
Personal (Head count)	Número de personas que laboran en el área de creación de kits.	24 personas	≤ 22 personas
Ahorros	Dinero ahorrado al mejorar los métricos del proyecto.	0	≥ \$24,000 dólares anuales

Tabla 3 - Indicadores de desempeño (KPI's)

Los ahorros van de la mano de la reducción del head count. Este métrico viene de la parte gerencial al asignar un objetivo en dinero que sea retador para el equipo que llevará a cabo el proyecto, en este caso se espera un mínimo de \$24,000 dólares anuales.

4.3.3 Primera etapa: Reubicación del área y reducción de espacio

Como primera etapa del proyecto, fue realizada una simulación del área en su estado inicial que incluye cada uno de los espacios y distancias que los operadores tienen que recorrer para cumplir con sus procesos. Ya teniendo esta simulación, fue creada la propuesta para tomar la primera decisión en base a la comparación de resultados. Estos fueron los pasos a seguir:

1. Toma de tiempos de proceso actual de creación de kits. (ver anexo 1).
2. Ajuste de datos a la distribución estadística con más coincidencia. (ver anexo 2).
3. Creación del modelo en FlexSim. (ver anexo 3).
4. Set up de modelo en FlexSim utilizando los datos estadísticos.
5. Corrida de la simulación para generar datos para análisis.
6. Validación de los datos generados.
7. Creación de un segundo modelo a partir del primero, donde se modifican los espacios y distancias de acuerdo con la propuesta deseada. (ver anexo 4).

8. Corrida de la simulación del segundo modelo.
9. Validación de los datos generados por el segundo modelo.
10. Comparación de resultados entre modelo 1 y 2 para toma de decisiones.

La comparación entre los modelos 1 y 2 se puede observar en la siguiente tabla:

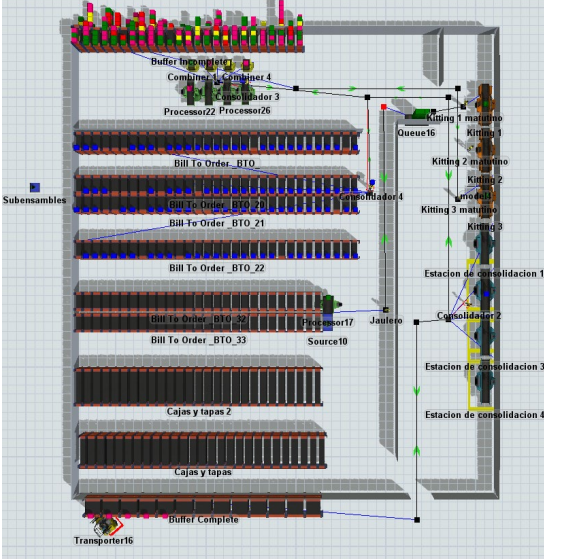
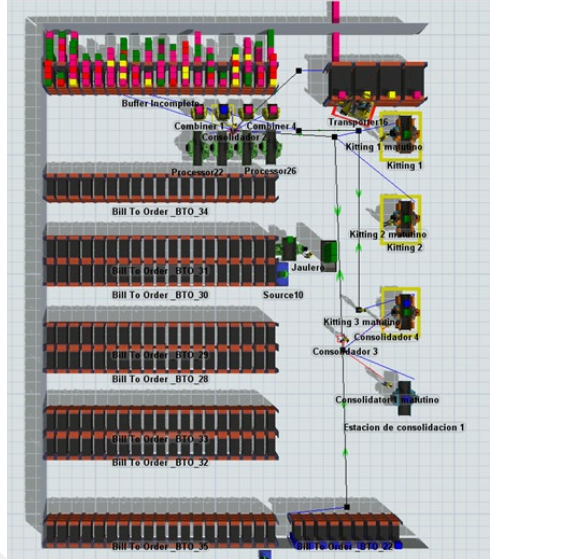
Modelo original	Propuesta
	
Espacio total 230m ²	Espacio total 174m ²
Output de kits por mes: 2734	Output de kits por mes: 3300
Distancias recorridas por operadores Coordinador (2) 1 km Kitting 1 (2) 0.15 km Kitting 3 (2) 1.4 km Consolidador (6) 1.43 km Carrito de transporte 1km por viaje (3 a 5 viajes por día)	Distancias recorridas por operadores Coordinador (2) 0.1 km Kitting 1 (2) 0 km Kitting 3 (2) 1.15 km Consolidador (6) 0.83 km Carrito de transporte 0 km (ya no es necesario)

Tabla 4 - Comparación del modelo 1 (Estado inicial) y modelo 2 (Modificación de espacios y reducción de distancias por reubicación de área)

Se puede observar una mejora en reducción de espacio total del 24.5%, un aumento del 20.7% en la salida de kits y un 45.3% de reducción en la distancia recorrida por día. De esta manera se pueden eliminar 3 operadores (un repartidor de cada turno) generando un ahorro de \$36,000 dólares anuales.

En base a los resultados mencionados fue tomada la decisión de reubicar y reorganizar el área de creación de kits, esto ocurre en Noviembre 2015.

4.3.4 Segunda etapa: Primeras propuestas de mejora (básculas inteligentes, mejora de registros)

Después de concluir con éxito la primera etapa, se procede con las opciones de mejora en base a las ideas del equipo.

La propuesta es reducir el tiempo ciclo de la operación de creación de kits para buscar aumentar el ahorro por reducción de personal. Para ello fue analizado primeramente el proceso que se ve reflejado en el siguiente diagrama de flujo:



FIG. 27 - Diagrama de flujo del proceso de creación de kits

Dentro del proceso de creación de kits se tienen subdivisiones que consisten en lo siguiente:

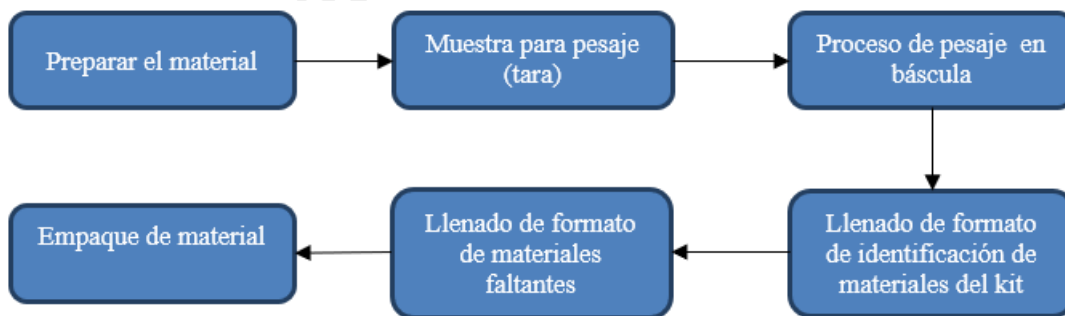


FIG. 28 - Diagrama de flujo subprocesos de creación de kits

La propuesta de reducir el tiempo ciclo comprende de 2 puntos principales:

- 1.- Utilizar básculas inteligentes que permitan guardar el proceso de pesaje inicial para cada componente y evitar realizarlo cada vez que se pese cierto material.
- 2.- Utilizar un sistema de impresión de registros para evitar que el operador llene formatos de materiales del kit y materiales faltantes.

Para llevar a cabo la simulación de la propuesta con los 2 puntos mencionados anteriormente, se requiere tomar los tiempos de la operación simulando que ya estuvieran las básculas inteligentes y los registros con el sistema de impresión. De igual manera se toman las muestras, se ajustan a una distribución estadística y se sustituyen los datos en la simulación original. Así pues, ahora se tiene el sistema inicial y el sistema utilizando las básculas y los registros impresos.

A partir de estos modelos, fueron creadas una serie de propuestas basadas en las combinaciones de 3 variables (básculas inteligentes, registros impresos y cantidad de operadores). Es muy fácil hacer las propuestas que se deseé una vez teniendo los modelos construidos y con datos. En esta etapa es donde se puede jugar con el modelo ya que las opciones de realizar cambios son infinitas y esto no afecta en nada el sistema productivo, ya que toda modificación es en la computadora dentro de la simulación. Las 3 propuestas nuevas pretenden generar datos para comparar todas las opciones en cuanto a rendimiento productivo vs ahorro en personal y considerando también la posible inversión para llevarlo a cabo.

La siguiente tabla muestra todas las combinaciones realizadas y los resultados de cada una de ellas:

Escenarios	Operadores de kits + consolidación	Operadores en área de kits	Estaciones	Turnos	Desempeño de kits por mes	Capacidad contra máximo 2015	Capacidad contra promedio 2015	Ganancia mensual (\$ dólares)	Inversión (\$ dólares)
Inicial (sep 2015)	12	12	7	3	2734	92%	126%	\$ -	\$ -
Actual (nov 2015)	12	9	4	3	3300	112%	153%	\$ 3,000.00	\$ -
Actual básculas	12	9	4	3	3117	105%	144%	\$ 3,000.00	\$ 12,000.00
Actual básculas/registros	12	9	4	3	3248	110%	150%	\$ 3,000.00	\$ 16,000.00
Propuesta 1					2059	70%	95%		\$ -
Propuesta 1 básculas	8	9	4	2	2135	72%	99%	\$ 7,000.00	\$ 12,000.00
Propuesta 1 básculas/registros					2206	75%	102%		\$ 16,000.00
Propuesta 2					2440	83%	113%		\$ -
Propuesta 2 básculas	9	9	5	2	2479	84%	115%	\$ 6,000.00	\$ 15,000.00
Propuesta 2 básculas/registros					2568	87%	119%		\$ 20,000.00
Propuesta 3					2703	91%	125%		\$ -
Propuesta 3 básculas	10	9	5	2	2803	95%	130%	\$ 5,000.00	\$ 15,000.00
Propuesta 3 básculas/registros					2859	97%	132%		\$ 20,000.00

Tabla 5 - Comparación de las simulaciones de las diferentes combinaciones (básculas inteligentes, registros impresos, cantidad de operadores)

A continuación, se describe cada una de ellas, así como sus ventajas y desventajas:

- **Inicial:** Es la simulación del sistema antes de realizar cualquier cambio.
- **Actual:** Es la simulación del sistema después de realizar el cambio de ubicación del área. En esta simulación ya se contemplan los 3 operadores menos.
- **Actual básculas:** Es el sistema actual, pero simulando el uso de básculas inteligentes en cada una de las estaciones.

- **Actual básculas/registros:** Es el sistema actual, simulado con el uso de básculas inteligentes y de impresión de registros en cada una de las estaciones.
- **Propuesta 1:** Se basa en el sistema actual en el cual se eliminan 2 personas de creación de kits y 2 personas de consolidación. El flujo ahora solo involucra 2 personas de creación de kits. De igual manera, se reduce la plantilla de consolidadores a 4, laborando 2 por turno. Este modelo se adecua a 2 turnos utilizando 4 estaciones.
- **Propuesta 1 básculas y básculas/registros:** Estas 2 propuestas están basadas en la propuesta anterior, pero se agrega el uso de solo básculas inteligentes en el primero y básculas e impresión de registros en el segundo.
- **Propuesta 2:** En este modelo solo se elimina 1 persona de creación de kits, quedando 1 turno con el flujo de 3 personas como estaba en el modelo actual y 1 turno queda con 2 personas de acuerdo con la propuesta 1. En cuanto a consolidación, queda de la misma manera que la propuesta 1. La desventaja de este modelo es que se tiene que agregar una quinta estación para poder alojar a todas las personas involucradas.
- **Propuesta 2 básculas y básculas/registros:** Basadas en la propuesta 2, solo que se incluye nuevamente una opción con básculas y otra con básculas y registros.
- **Propuesta 3:** La última de las propuestas que es un poco más conservadora ya que retoma la propuesta 2 para dejar un turno con 3 personas de creación de kits y 2 de consolidación y además en el otro turno añade una persona de consolidación más para de esta forma tener ocupadas las 5 estaciones en ambos turnos.
- **Propuesta 3 básculas y básculas/registros:** De igual forma que en las propuestas 1 y 2, estas opciones añaden reducción de tiempos a través del uso de las básculas inteligentes y de la impresión de registros.

Una vez que se conoce en que consiste cada una de las opciones, se revisa cada uno de los métricos asignados en la tabla comparativa:

- **Operadores de kits + consolidación:** Es la suma de los operadores del área que solo están asignados a las operaciones de creación de kits y consolidación.
- **Operadores en área de kits:** Son los operadores que están asignados al área, pero en actividades que no están involucradas con creación de kits y consolidación (coordinador, operadores de materiales, líder, operadores de empaque).
- **Estaciones:** Es el número de estaciones con las que cuenta el área o con las que se pretende tener para el caso de las propuestas.
- **Turnos:** Número de turnos con los cuales se maneja el área.
- **Desempeño de kits por mes:** Total kits por mes + promedio de kits incompletos para conocer la salida real de kits por mes.

- **Capacidad contra máximo 2015:** Desempeño de kits por mes comparado contra el máximo de kits por mes del 2015 (2957 kits).
- **Capacidad contra promedio 2015:** Desempeño de kits por mes comparado contra el promedio de kits del 2015 (2163 kits).
- **Ganancia mensual:** Ahorro calculado redondeando el ahorro por operador en \$1000 dólares por mes.
- **Inversión:** Cantidad de capital en dólares necesario para llevar a cabo los cambios de cada una de las propuestas.

Ahora que se entienden todas las opciones y todos los métricos, se analizan los datos para tomar una decisión. Los principales puntos por destacar son los siguientes:

1. Basándose en la "Capacidad contra promedio 2015" la propuesta 3 básculas/registros es la que más se adecua ya que comparado contra el modelo actual el performance solo cae un 21% y el beneficio es de \$5,000 dólares por mes. Sin embargo, este modelo requiere una inversión de \$20,000 dólares y además necesita también más espacio puesto que se necesitan 5 estaciones en lugar de las 4 que existen actualmente.
2. La propuesta 1 básculas/registros también luce tentadora puesto que el beneficio es de \$7,000 dólares por mes, pero en contra tenemos una inversión de \$16,000 dólares y un desempeño ligeramente arriba del 100%. Esto en su momento exigiría utilizar recursos extras ante cambios constantes de demanda como los que muestra la siguiente gráfica:

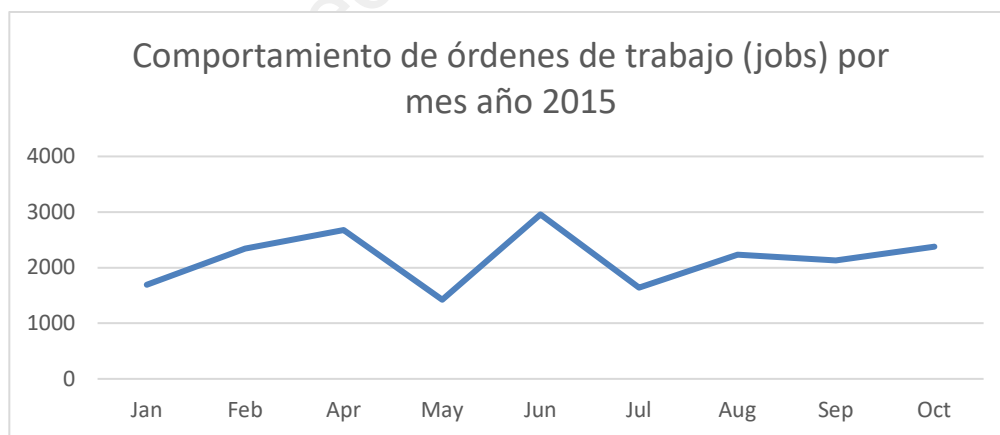


FIG. 29 - Gráfica de variaciones de cantidad de Jobs por mes (2015)

3. Por último, tanto las propuestas 1, 2 y 3 sencillas (sin básculas o registros) muestran un buen desempeño acompañado de ahorros y lo más importante sin realizar ninguna inversión. La propuesta 3 es la que mantiene un rendimiento mayor.

Por lo tanto y después de revisarlo en conjunto con el equipo gerencial, la conclusión de este grupo de propuestas es que la inversión no es una opción ya que hay otras opciones que de igual forma dan beneficio sin necesidad de realizar el gasto. Se decide entonces realizar una segunda ronda de simulaciones trabajando solamente con opciones que no requieran inversión, es decir, trabajar con movimientos y acomodos de las estaciones en su estado actual.

4.3.5 Tercera etapa: Segundas propuestas de mejora (sin inversión requerida)

Para la tercera etapa fue mucho más sencillo y rápido el generar las simulaciones y los datos para el análisis debido a que, como ya se mencionó anteriormente, solo se realizaron movimientos dentro de los modelos ya creados.

La idea principal de este tercer bloque de modelos fue utilizar la teoría de líneas de espera o teoría de colas para cambiar de un sistema con un solo canal y múltiples fases a un sistema con múltiples canales y múltiples fases, el concepto fue llamado "flujo de un kit" (one kit Flow) que consiste en que cada operador de creación de kits realiza un kit de principio a fin en lugar del modelo anterior donde los operadores se iban pasando el mismo kit hasta finalizarlo. Aquí podemos ver el diagrama del concepto "flujo de un kit":

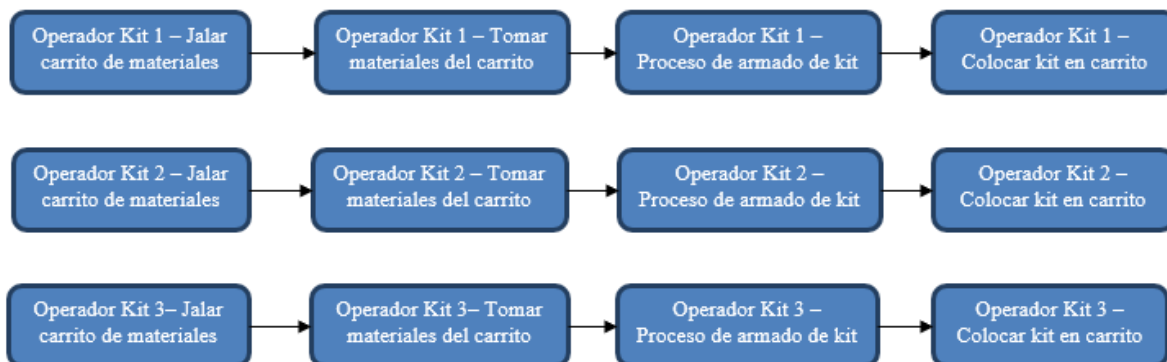


FIG. 30 - Diagrama de flujo del proceso de creación de kits (concepto "flujo de un kit")

Los resultados de la simulación del nuevo concepto en combinación con el número de operadores arrojaron los siguientes resultados:

Escenarios	Operadores de kits + consolidación	Operadores en área de kits	Estaciones	Turnos	Desempeño de kits por mes	Capacidad contra máximo 2015	Capacidad contra promedio 2015	Ganancia mensual (\$ dólares)	Inversión (\$ dólares)
Inicial (sep 2015)	12	12	7	3	2734	92%	126%	\$ -	\$ -
Actual (nov 2015)	12	9	4	3	3300	112%	153%	\$ 3,000.00	\$ -
Actual one kit flow	12	9	4	3	3808	129%	176%	\$ 3,000.00	\$ -
Propuesta 1	8	9	4	2	2181	74%	101%	\$ 7,000.00	\$ -
Propuesta 1 flujo un kit					2580	87%	119%	\$ 7,000.00	\$ -
Propuesta 2	9	9	5	2	2611	88%	121%	\$ 6,000.00	\$ -
Propuesta 2 flujo un kit					3140	106%	145%	\$ 6,000.00	\$ -
Propuesta 3	10	9	5	2	2879	97%	133%	\$ 5,000.00	\$ -
Propuesta 3 flujo un kit					3329	113%	154%	\$ 5,000.00	\$ -

Tabla 6 - Comparación de las simulaciones de las diferentes combinaciones (modelos actuales vs modelos con sistema flujo de un kit)

La descripción es la siguiente:

- **Inicial:** Es la simulación del sistema antes de realizar cualquier cambio.
- **Actual:** Es la simulación del sistema después de realizar el cambio de ubicación del área. En esta simulación ya se contemplan los 3 operadores menos.
- **Actual one kit flow:** Similar al modelo actual pero con el cambio de flujo siguiendo el nuevo concepto.
- **Propuesta 1, 2 y 3:** Similares al modelo actual pero reduciendo en 4, 3 y 2 respectivamente el número de operadores de creación de kits + consolidación.
- **Propuesta 1, 2 y 3 one kit flow:** Estos modelos utilizan los 4, 3 y 2 operadores menos respectivamente pero ahora en el concepto "flujo de un kit".

Para la interpretación de la tabla comparativa se pueden observar las siguientes afirmaciones:

1. Las 3 opciones de solo reducir operadores ayudan en los ahorros, pero se quedan demasiado abajo en desempeño comparadas contra el modelo actual.
2. Las 3 opciones que incluyen el concepto "flujo de un kit" mejoran las propuestas sencillas en un 20% promedio.
3. La propuesta 3 one kit flow mantiene el nivel de performance e incluso lo mejora en 1% comparado con el modelo actual y además reduce 2 operadores (uno de creación de kits y uno de consolidación).
4. Todas las propuestas no requieren una inversión financiera para ser ejecutadas.

Nuevamente, después de una revisión a fondo por parte del equipo y verificando que todos los datos son correctos y fueron validados, se decide que la propuesta 3 "flujo de un kit" debe ser puesta en marcha. La única consideración es mantener 3 turnos debido a la necesidad de entregar material durante todo el día y para no añadir la quinta estación. Para esto no existe ningún problema ya que las estaciones son flexibles, es decir, pueden ser utilizadas tanto para crear kits como para consolidar.

Tomando en cuenta la restricción anterior, los horarios y el acomodo de la gente queda de la siguiente manera:

Modelo actual		Propuesta nueva		Propuesta nueva adaptada	
Turno 1	Operadores	Turno 1	Operadores	Turno 1	Operadores
Kitting	3	Kitting	3	Kitting	2
Consolidación	1	Consolidación	2	Consolidación	2
Turno 2		Turno 2		Turno 2	
Kitting	0	Kitting	2	Kitting	0
Consolidación	4	Consolidación	3	Consolidación	2
Turno 3		Turno 3		Turno 3	
Kitting	3	Kitting	0	Kitting	3
Consolidación	1	Consolidación	0	Consolidación	1
Total	12	Total	10	Total	10

Tabla 7 - Distribución de operadores en los turnos de producción

Se puede observar que en la propuesta nueva adaptada en ningún turno hay necesidad de una quinta estación, quedando el segundo turno sobrado con 2 estaciones libres. Cabe recordar que el proceso de consolidación es independiente al de creación de kits, por lo que puede variar la cantidad de personas por turno y esto hace factible realizar este cambio.

El primer paso fue reorganizar el diseño del área. En el nuevo concepto es necesario un flujo definido de entrada, proceso y salidas por estación puesto que cada persona de creación de kits será independiente. En el siguiente diagrama se puede ver el antes y después:

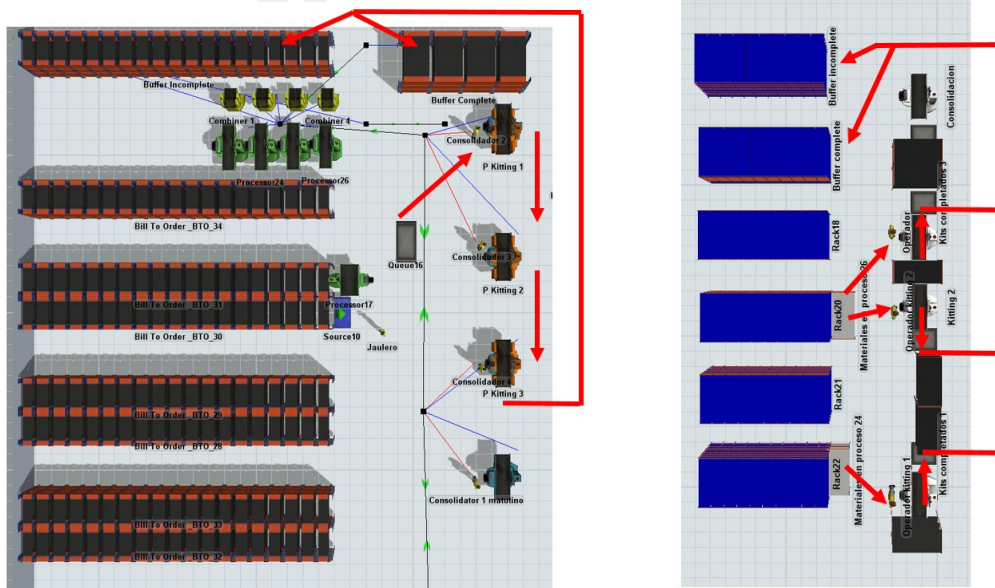


FIG. 31 - Comparación de flujo antes y después

En el diagrama anterior se observa como inicialmente todo el proceso sigue un flujo serial que no permite el avance de un kit hasta que es procesado por la persona anterior. En el nuevo concepto, tres personas pueden trabajar en paralelo en sus propios kits y realizar el trabajo más eficiente de acuerdo con los resultados de la simulación.

Las estaciones también fueron reacomodadas para permitir un flujo limpio que facilite la operación. En un inicio, las estaciones se encontraban mal distribuidas ocasionando que el operador colocara contenedores vacíos en los pasillos peatonales y kits completos en los pasillos del área de creación de kits. Estos kits eran puestos en el suelo y al momento de llevarlos a los racks era complicado y riesgoso. He aquí algunas imágenes del estado inicial:



FIG. 32 - Estaciones de creación de kits (estado inicial) sin lugar definido para kits terminados

Aquí se puede observar el contenedor del kit terminado en el suelo y dentro del pasillo. El estante de materiales se encuentra a espaldas de la estación, ocasionando constantes movimientos por parte del operador.



FIG. 33 - Estaciones de creación de kits (estado inicial) sin lugar definido para contenedores vacíos

De igual manera, en esta imagen se observan los contenedores vacíos en el pasillo peatonal, con el riesgo de ocasionar algún accidente y complicando el tránsito de personal.

La estación fue diseñada de una forma sencilla donde el espacio para los contenedores vacíos está a la derecha del operador, en el centro está la mesa para realizar el proceso y del lado izquierdo un carrito para colocar los kits terminados. El estante de materiales se encuentra del lado izquierdo con sus respectivas identificaciones para facilitar el trabajo.

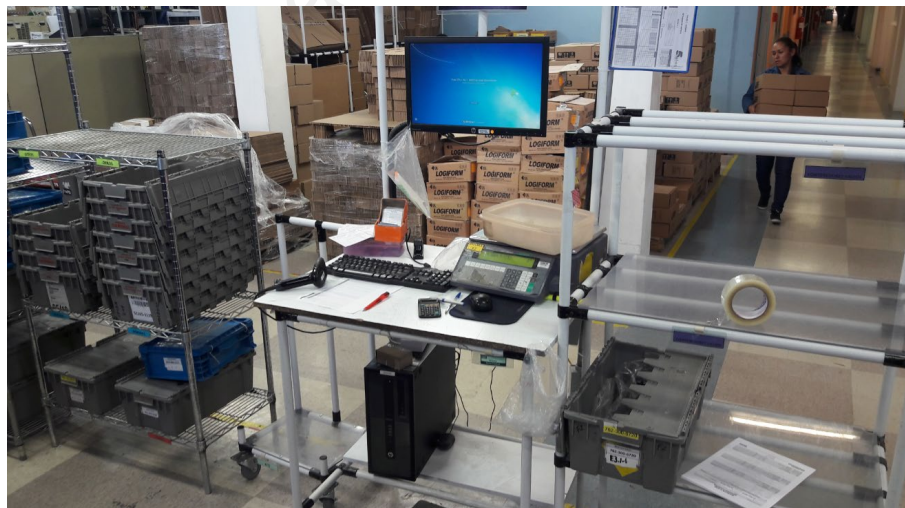


FIG. 34 - Estaciones de creación de kits (nuevo modelo)



FIG. 35 - Estantes de materiales con sus respectivas identificaciones



FIG. 36 - Carrito para colocar los kits terminados

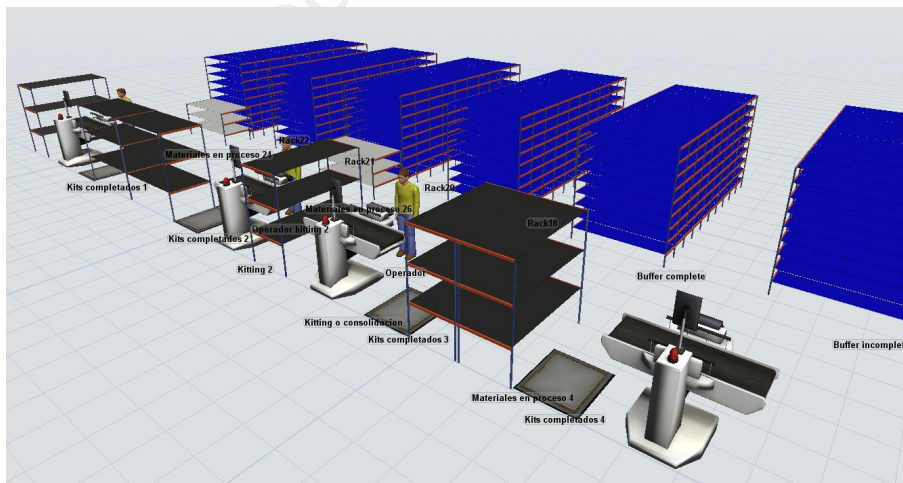


FIG. 37 - Diseño nuevo del área en FlexSim



FIG. 38 - Diseño nuevo del área físicamente implementado

Una vez teniendo el diseño listo, los estantes identificados y los carritos fabricados, se procede a entrenar al personal operativo. Previamente fue documentado todo el proceso en las instrucciones de trabajo y con ayuda de este material fue realizada la sesión informativa con todo el personal de los tres turnos para asegurar que el nuevo proceso es claro y para resolver todas las dudas.

En esta sección es importante mencionar que hay mucha resistencia al cambio. Ciertas personas ya con mucho tiempo en el área se ven renuentes a aceptar que cambiando el flujo actual van a tener un mejor desempeño. Esta es una etapa difícil pero lo más importante es demostrar al equipo los datos que avalan el cambio y obtener su confianza para ejecutar satisfactoriamente las mejoras.

Como en todo proceso, hay una curva de aprendizaje donde al principio se tienen ciertas dificultades para que todo funcione como se espera. Paulatinamente y con la práctica los resultados se van pareciendo a los mostrados por la simulación y el personal operativo descubre que en realidad hay una mejora y demuestran su satisfacción con el equipo.

CAPÍTULO V - RESULTADOS

5.1 Resultado primera etapa

La primera etapa tiene como objetivo principal la reducción de espacios y la reubicación del área para disminuir las distancias recorridas tanto por las personas como por los carritos de transporte y de esta manera buscar un ahorro bajando el número de personas requeridas en esta área.

Retomando el resumen de resultados mostrado en la tabla 4, fue comprobado que el espacio se reduce en un 24.5% y la distancia recorrida en un 45.3%. Esto conlleva a eliminar 3 operadores del área generando un ahorro de \$36,000 dólares por año aunado a una mejora adicional en el rendimiento del área de un 20.7%. El resultado de la primera etapa es por lo tanto concretado de manera efectiva.

Con esto se demuestra la efectividad de la simulación como herramienta poderosa para analizar los sistemas antes de ejecutar acciones de mejora y además se fundamentan las bases para continuar con las siguientes etapas del proyecto.

5.2 Resultados segunda etapa

En la segunda etapa, el objetivo ahora es continuar con la reducción del personal pero ahora trabajando con el rendimiento del proceso.

Como ya se había comentado, no siempre la simulación arroja un resultado favorable, es decir, la simulación también puede demostrar que la opción que se propone no beneficiará a la compañía. Este es el caso de la segunda etapa.

Cualquier persona pudiera pensar que la propuesta de utilizar equipo más avanzado como las básculas y los escáneres con impresión de registro mejorarían bastante el rendimiento del área, pero la realidad es que de acuerdo con la simulación queda comprobado lo contrario.

El haber simulado para darse cuenta que la opción no es viable no es considerado un desperdicio, sino un beneficio. En esta situación se está evitando que la compañía invierta en algo que no generará un beneficio.

Por otra parte, la segunda etapa también demuestra que las opciones donde no se requiere inversión tienen una ligera mejora, es decir, existe potencial para trabajar simplemente en las opciones que consideran balancear líneas, cambiar flujos, etc. En resumen, esta segunda etapa evita invertir en algo innecesario y da la pauta para realizar una tercera fase de simulaciones.

5.3 Resultados tercera etapa

Ahora en esta tercera fase, el objetivo es mejorar el rendimiento sin inversión alguna. Se realizan nuevamente varios modelos a partir de las ideas del equipo y son simulados de manera sencilla ya que una vez teniendo el modelo se facilita el simplemente mover las piezas dentro de la simulación.

Se genera un concepto llamado "flujo de un kit" (one kit flow) que es la base de este tercer paquete de simulaciones. Como se pudo observar en la tabla 6, ahora se tienen modelos donde se mantiene el rendimiento eliminando personal del área. En esta ocasión debido al resultado favorable fue tomada la decisión de implementar las mejoras. Recordemos que ésta tercera etapa surge del análisis de la segunda etapa.

El resultado final, tomando en cuenta el estado inicial, la primera etapa implementada y la tercera etapa implementada se puede observar en la siguiente tabla de indicadores:

Variable	Definición	Indicador inicial	Objetivo	Resultado 1ra etapa	Resultado 3ra etapa
Espacio	Espacio requerido por el área de creación de kits.	230m ²	< 185m ²	174m ²	174m ²
Distancia	Distancia entre el área de creación de kits y las áreas de producción.	1km	< 1km	100m	100m
Tiempo de entrega	Tiempo desde la creación de una orden de trabajo hasta la entrega a manufactura.	5 días	≤ 2.5 días	2.5 días	2.2 días
Personal (Head count)	Número de personas en el área de creación de kits.	24 personas	≤ 22 personas	21 personas	19 personas
Ahorros	Dinero ahorrado al mejorar los métricos del proyecto.	0	≥ \$24,000 dólares anuales	\$36,000 dólares anuales	\$60,000 dólares anuales

Tabla 8 - Resultados para los indicadores de desempeño

En resumen, los resultados quedan plasmados en los siguientes enunciados:

1. La primera etapa reduce el espacio del área de creación de kits y las distancias entre el área de creación de kits con las líneas finales y el área de subensambles, por consiguiente, disminuye en 3 el personal del área.
2. La segunda etapa no aparece debido a que no se implementa, simplemente se descarta una idea que no generará beneficio a la compañía.
3. La tercera etapa se encarga de mejorar el rendimiento del proceso mejorando el flujo del material y permitiendo disminuir 2 personas más del área.

5.4 Conclusiones y recomendaciones

Como se puede observar en los resultados, hubo situaciones favorables y situaciones desfavorables que definieron el curso de la investigación. Por una parte en la primera etapa fue bastante obvio el resultado positivo que la simulación arrojaba, pero en la segunda etapa no ocurrió de la misma manera. Sin embargo, se pudo observar una de las grandes ventajas de la simulación que es evitar las grandes inversiones sin una certidumbre de si darán los resultados esperados.

De igual forma y a pesar de que este es el primer proyecto de simulación para la empresa, se pudieron observar todas las etapas de acuerdo con el proceso teórico de la simulación. Se definió el proyecto y sus posibles alcances, se realizaron los diagramas que describían el modelo a simular, se trabajó en la recolección de datos (toma de tiempos, estudios históricos de producción, etc.), se construyó el modelo en la computadora basado en los diagramas de flujo y los datos recolectados, se verificó y validó adecuadamente, se experimentó realizando la creación de múltiples modelos para observar sus comportamientos, se analizaron e interpretaron todas las opciones para elegir las mejores y se documentaron todas las acciones necesarias para que el proyecto fuera consolidado y llevado a cabo.

A lo largo del camino hubo ciertas lecciones aprendidas, aquí se enlistan algunas de ellas:

- Los datos son demasiado importantes. Hubo ocasiones donde no se tenían suficientes muestras y al momento de correr las pruebas de confiabilidad de las distribuciones estadísticas el % de confiabilidad era menor a 90% e incluso algunas pruebas salían rechazadas. Era necesario ir a tomar más datos para que la distribución estadística fuera lo más confiable posible.
- Se necesita experiencia en la creación de modelos en FlexSim ya que en varias ocasiones se hacía difícil encontrar algunas opciones o realizar ajustes y la

creación del modelo se demoraba. Se tenía que hacer una investigación en el manual para solucionar las dudas y ahora si proseguir con el desarrollo. En parte es algo que se va ganando con el uso del programa, pero definitivamente es recomendable llevar un buen curso de FlexSim antes de utilizar la herramienta a fondo.

- El equipo de cómputo debe ser el adecuado, esto facilita demasiado el proceso de simulación ya que se manejan muchísimos datos y un equipo sin las capacidades necesarias puede ser demasiado lento e incluso puede forzarse demasiado causando que el programa no reaccione y se pierda información valiosa.
- Recomiendo estar guardando constantemente los avances y renombrar con versiones consecutivas. Si no se lleva un control de este tipo es muy fácil perder información y desperdiciar horas de trabajo.
- Hay que ser pacientes en el análisis de resultados y hay que verificar cuantas veces sea necesario para estar seguro de ellos. Si lo tomamos muy a la ligera podemos generar información errónea y echar a perder todo el trabajo previamente realizado.
- Si los resultados no son los esperados no hay razón para desmotivarse, tenemos que buscar diferentes opciones ya que una vez teniendo el modelo es muy fácil jugar con él para generar infinitas opciones y comparar resultados.

Con este proyecto se pudieron apreciar todas las ventajas que la simulación brinda al momento de tomar decisiones importantes y se establecieron las bases para que continúe siendo una herramienta utilizada en los proyectos donde sea viable.

La implementación del proyecto fue todo un éxito en la empresa, tanto la etapa 1 como la etapa 3. El costo de implementación solo estuvo ligado al personal de mantenimiento encargado del movimiento de los estantes y estaciones del almacén al área donde se encuentran las líneas de producción para la etapa 1. Para la etapa 3 se aprovechó para remodelar las estaciones y fabricar los carritos para mover los kits completos con perfil tubular de bajo costo. El total de inversión fue de alrededor de \$2,000 dólares que comparado contra el ahorro de \$60,000 dólares anuales fue un gran beneficio.

Los comentarios a nivel gerencial fueron bastante positivos y sobre todo resaltaron el uso de la herramienta de simulación, la cual no había sido utilizada anteriormente en la empresa. Durante la presentación del proyecto se invitó a toda la compañía a fomentar el uso de la simulación como herramienta clave para la mejora continua y aseguramiento del éxito en implementación de futuros proyectos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Altiock, T., & Melamed, B. (2007). *Simulation Modeling and Analysis with ARENA*. Elsevier. 18/oct/2016. <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=5SezxR5q4mYC&oi=fnd&pg=PR3&dq=arena+simulation&ots=1eZbce3Vno&sig=p9TXuFhjzGel04xa4J7mERftJ2A#v=onepage&q=arena+simulation&f=false>

Banks J. & Gibson R. (1997). 10 Rules for Determining when Simulation is Not Appropriate. IIE Solutions. 1997. Vol. 29. 9, p. 30-33

Berenson, M. & Levine, D. (1996). *BASIC BUSINESS STATISTICS, Concepts and Applications*. [Estadística Básica en Administración, Conceptos y Aplicaciones]. (6ta Edición). México, Edo. De México.: Prentice Hall Hispanoamericana.

Carson, J. (2004). *Introduction of modeling and simulation*. En Winter Simulation Conference. 2004.

Casadiego R. (2015). Guía de usuario para el modelamiento y análisis con el Software FlexSim. (en línea). 16/oct/2016. <http://es.slideshare.net/rodolf22/manual-en-espaol-de-software-FlexSim>

Chase, R. et al. (2004). *Operations Management for Competitive Advantage*. [Administración de la producción y operaciones para una ventaja competitiva] (10ma edición). México, D.F.: The McGraw-Hill Companies Inc.

Coss Bu, R. (1996). *Simulación Un enfoque práctico*. (12va edición). México, D.F.: Editorial Limusa.

Fábregas, A. et al. (2003). *Simulación de sistemas productivos con Arena*. Barranquilla: Ediciones Uninorte.

FlexSim Software Products, Inc. www.flexsim.com. 1993. 31/jul/2016. <https://www.FlexSim.com/es/company/>

Goldsmán, D. & Nance, R. (2009). A brief history of simulation. En Winter Simulation Conference. 2009.
Disponible en: <http://www.informs-sim.org/wsc09papers/028.pdf>

Harrell, C. et al. (2003). *Simulation Using ProModel*. International Edition. New York, NY: McGraw Hill.

Harrell, C. & Tumay, K. (1995). *Simulation Made Easy: A Managers's Guide*. Engineering & Management Press.

Law A. (1995). *ExperFit Version 8 User's Guide*. Tucson, AZ: Averill M. Law & Associates, Inc.

Levin, R. & Rubin, D. (1996). *Statistics for Management*. [Estadística para Administradores]. (6ta Edición). México, Edo. De México.: Prentice-Hall Hispanoamericana.

Masini, J. (2010). *Elementos básicos de FlexSim*. <http://es.slideshare.net>. 01/Aug/2016. <http://es.slideshare.net/jmasini/elementos-bsicos-de-FlexSim>

Minitab Inc. www.minitab.com. 2016. 16/oct/2016. <http://support.minitab.com/es-mx/minitab/17/topic-library/basic-statistics-and-graphs/introductory-concepts/data-concepts/anderson-darling/>

Nance, R. (1993). *A History of Discrete Event Simulation Programming Languages*. Virginia: Department of Computer Science Virginia Polytechnic Institute and State University. Disponible en: <http://eprints.cs.vt.edu/archive/00000363/01/TR-93-21.pdf>

Rovetto C. (2020). *Folleto de modelado y simulación de sistemas*. Universidad Tecnológica de Panamá (UTP).

Shannon, R. (1998). *Introduction to the art and science of simulation*. En Winter Simulation Conference. 1998.

Spiegel, M. (1991). *Estadística*. (2da edición). México, Estado de México: McGrawHill/Interamericana de México.

Taha, H. (2003). *Operations Research: An Introduction*. [Investigación de Operaciones] (7ma edición). México: Pearson Education.

Thierauf, R. & Grosse, R. (1991). *Decision Making Through Operations Research*. [Toma de decisiones por medio de investigación de operaciones]. México, D.F.: Editorial Limusa. Versión en español de John Wiley & Sons Inc.

Vega A. (2021). *Construcción de modelos de simulación en FlexSim que implementen herramientas Lean Manufacturing en una línea de ensamblaje*. Valladolid. Universidad de Valladolid. Tesis grado en Ingeniería en Organización Industrial.

Disponible en: <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/47251/TFG-I1854.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Wackerly, D. et al. (2002). *Estadística matemática con aplicaciones*. (6ta edición). México, D.F.: International Thomson Editores.

Anexo 1 – Tiempos de creación de kits en su estado inicial

Jalar carrito			Tomar Material			Tomar y Repartir pick list			Kitteo				Actualizar TPC			Tomar contenedor para Kit			Colocar Kit en Carrito/ Regresar Material Sobrante			Total			
Velocidad			Process 1 multi			Process 2 multi			Process 3 multi				Process 3 multi			Process 3 multi			Process 3 multi						
Tiempo	Minutos	No.	Tiempo	Minutos	No.	Tiempo	Minutos	No.	Tiempo	Minutos	No.	faltantes	Tiempo	Minutos	No.	Tiempo	Minutos	No.	Tiempo	Minutos	No.	Tiempo	Minutos	No.	
1	00:17.4	0.290	00:02.3	0.038		00:29.1	0.485	1	02:00.0	2.000	1	5	00:43.3	0.722		00:09.2	0.153		00:02.6	0.043	C	2.918			
2	00:13.6	0.227	00:04.7	0.078		00:39.9	0.665	1	04:30.0	4.500	4	1	00:17.3	0.288		00:02.3	0.038		00:02.7	0.045	C	4.871			
3	00:08.2	0.137	00:02.9	0.048		02:08.0	2.133	3	04:11.0	4.183	3	2	00:35.4	0.590		00:03.1	0.052		00:07.2	0.120	C	4.945			
4	00:11.2	0.318	00:15.6	0.260		00:20.6	0.343	1	03:01.0	3.017	3	1	00:29.0	0.483		00:01.9	0.032		00:12.1	0.202	C	3.733			
5	00:14.3	0.238	00:06.2	0.103		00:49.8	0.830	3	03:38.0	3.633	2	2	00:24.4	0.407		00:01.8	0.030		00:02.1	0.035	C	4.105			
6	00:25.6	0.427	00:13.6	0.227		01:17.0	1.283	4	02:55.0	2.917	2	2	00:17.3	0.288		00:01.2	0.020		00:13.5	0.225	C	3.450			
7	00:16.5	0.275	00:10.6	0.177		01:04.0	1.067	1	03:12.0	3.200	2	2	00:21.5	0.358		00:08.9	0.148		00:09.7	0.162	C	3.868			
8	00:13.2	0.220	00:07.8	0.130		00:27.8	0.463	1	00:53.1	0.885	0	4	00:33.4	0.557		00:06.1	0.102		00:11.2	0.187	C	1.730			
9	00:19.1	0.318	00:09.7	0.162		00:11.4	0.190	1	04:26.0	4.433	3	3	00:29.4	0.490		00:03.8	0.063		00:27.1	0.452	C	5.438			
10	00:08.2	0.137	00:04.2	0.070		00:38.7	0.645	1	01:14.0	1.233	0	4	00:37.8	0.630		00:14.1	0.235		00:17.0	0.283	C	2.382			
11	00:11.4	0.190	00:19.7	0.328		00:41.6	0.693	1	05:33.0	5.550	3	2	01:17.0	1.283		00:02.7	0.045		00:15.7	0.262	C	7.140			
12	00:19.0	0.317	00:38.7	0.645		01:15.0	1.250	1	02:25.0	2.417	1	6	00:50.3	0.838		00:07.2	0.120		00:10.0	0.167	C	3.542			
13	00:12.8	0.213	00:14.9	0.248		00:52.2	0.870	1	02:52.0	2.867	1	4	00:36.5	0.608		00:05.3	0.088		00:12.5	0.208	C	3.772			
14	00:08.0	0.133	00:07.6	0.127		01:46.0	1.767	1	01:01.0	1.017	0	4	00:37.2	0.620		00:02.5	0.042		00:07.1	0.118	C	1.797			
15	00:12.3	0.205	00:12.9	0.215		00:19.6	0.327	1	04:34.0	4.567	1	4	00:35.2	0.587		00:04.2	0.070		00:10.2	0.170	C	5.393			
16	00:09.0	0.150	00:10.8	0.180		00:45.5	0.758	1	00:38.6	0.643	0	5	00:52.4	0.873		00:04.5	0.075		00:15.1	0.252	C	1.843			
17	00:06.2	0.103	00:02.9	0.048		00:52.9	0.882	1	01:26.0	1.433	0	6	01:16.0	1.267		00:04.4	0.073		00:05.0	0.083	C	2.857			
18	00:05.6	0.093	00:06.4	0.107		00:16.1	0.268	1	05:45.0	5.750	2	2	00:57.8	0.963		00:09.3	0.155		00:42.3	0.705	C	7.573			
19	00:09.9	0.165	00:07.3	0.122		00:55.4	0.923	1	10:56.0	10.933	4	2	00:36.6	0.610		00:05.3	0.088		00:15.5	0.258	C	11.890			
20	00:04.9	0.082	00:05.4	0.090		00:34.6	0.577	1	01:22.0	1.367	1	3	00:25.3	0.422		00:01.3	0.022		00:13.7	0.228	C	2.038			
21	00:16.4	0.273	00:04.7	0.078		00:19.2	0.320	1	05:41.0	5.683	2	3	00:40.1	0.668		00:02.9	0.048		00:08.9	0.148	C	6.548			
22	00:11.5	0.192	00:14.2	0.237		01:17.0	1.283	1	01:48.0	1.800	1	3	00:18.7	0.312		00:04.0	0.067		00:09.6	0.160	C	2.338			
23	00:10.8	0.180	00:15.4	0.257		00:17.3	0.288	1	01:13.0	1.217	0	4	00:27.8	0.463		00:05.4	0.090		00:13.7	0.228	C	1.998			
24	00:07.3	0.122	00:06.9	0.115		00:11.4	0.190	1	02:27.0	2.450	1	6	00:48.4	0.807		00:08.3	0.138		00:08.5	0.142	C	3.537			
25	00:24.3	0.405	00:24.6	0.410		00:37.6	0.627	1	00:20.3	0.338	0	6	00:40.2	0.670		00:02.4	0.040		00:12.8	0.213	C	1.262			
26	0.000		00:10.3	0.172		00:22.1	0.368	1	03:11.0	3.183	1	6	00:57.9	0.965		00:05.8	0.097		00:06.4	0.107	C	4.352			
27	0.000		00:21.1	0.352		00:12.2	0.203	1	00:43.6	0.727	1	6	00:39.6	0.660		00:07.2	0.120		00:03.8	0.063	C	1.570			
28	0.000		00:06.4	0.107		00:12.8	0.213	1	04:00.0	4.000	2	5	00:46.2	0.770		00:05.5	0.092		00:05.8	0.093	C	4.955			
29	0.000		00:17.1	0.285		00:20.3	0.338	1	05:10.0	5.167	5	4	00:45.8	0.763		00:09.1	0.152		00:07.6	0.127	C	6.208			
30	0.000		00:06.8	0.113		00:29.6	0.493	1	02:59.0	2.983	2	4	00:40.2	0.670		00:04.8	0.080		00:08.2	0.137	C	3.870			
31	0.000		00:06.4	0.140		00:30.7	0.512	1	08:35.0	8.583	4	5	00:35.4	0.590		00:08.1	0.135		00:09.5	0.158	C	9.467			
32	0.000		00:08.7	0.145		00:21.2	0.353	1	03:54.0	3.900	2	3	00:39.9	0.665		00:10.6	0.177		00:07.2	0.120	C	4.862			
33	0.000		00:17.3	0.288		00:28.8	0.480	1	05:51.0	5.850	3	3	00:35.3	0.588		00:07.9	0.132		00:06.2	0.103	C	6.673			
34	0.000		00:17.0	0.283		01:11.0	1.183	1	10:03.0	10.050	6	1	00:23.8	0.397		00:05.3	0.088		00:07.8	0.130	C	10.685			
35	0.000		00:18.8	0.313		00:41.0	0.683	1	03:48.0	3.800	2	3	00:24.3	0.405		00:02.5	0.042		00:03.6	0.060	C	4.307			
36	0.000		00:26.8	0.447		00:31.5	0.525	1	06:46.0	6.767	3	2	00:22.4	0.373		00:04.9	0.082		00:06.8	0.113	C	7.335			
37	0.000		0.000	0.000		00:35.2	0.587	1	04:53.0	4.883	3	2	00:19.0	0.317		00:04.1	0.068		00:05.4	0.090	C	5.358			
38	0.000		0.000	0.000		00:13.1	0.218	1	02:07.0	2.117	1	4	00:36.3	0.605		00:09.1	0.152		00:09.5	0.160	C	3.033			
39	0.000		0.000	0.000		01:02.0	1.033	1	09:45.0	9.750	9	3	00:18.8	0.313		00:04.8	0.080		00:05.5	0.092	C	10.235			
40	0.000		0.000	0.000		00:23.4	0.390	1	09:01.0	9.017	4	2	00:33.7	0.562		00:05.5	0.092		00:11.6	0.193	C	9.863			
41	0.000		0.000	0.000		00:43.6	0.727	1	04:01.0	4.017	3	3	00:21.6	0.360		00:04.8	0.080		00:08.1	0.135	C	4.592			
42	0.000		0.000	0.000		0.000	0.000		05:35.0	5.583	4	2	00:17.0	0.283		00:03.6	0.060		00:04.9	0.082	C	6.008			
43	0.000		0.000	0.000		0.000	0.000		07:26.0	7.433	5	0	00:20.2	0.337		00:07.5	0.125		00:03.1	0.052	C	7.947			
44	0.000		0.000	0.000		0.000	0.000		02:18.0	2.300	1	5	00:43.4	0.723		00:05.8	0.097		00:04.4	0.073	C	3.193			
45	0.000		0.000	0.000		0.000	0.000		04:21.0	4.350	2	8	01:50.0	1.833		00:05.6	0.093		00:04.8	0.080	C	6.357			
46	0.000		0.000	0.000		0.000	0.000		02:39.0	2.650	1	2	00:50.8	0.847		00:02.8	0.047		00:05.7	0.095	C	3.638			
47	0.000		0.000	0.000		0.000	0.000		02:30.0	2.500	2	3	00:25.4	0.423		00:04.6	0.077		00:03.3	0.055	C	3.055			
48	0.000		0.000	0.000		0.000	0.000		02:12.0	2.200	1	4	00:17.5	0.292		00:06.5	0.108		00:05.5	0.092	C	2.892			
49	0.000		0.000	0.000		0.000	0.000		01:54.0	1.900	1	3	00:33.1	0.552		00:05.4	0.090		00:07.9	0.132	C	2.673			
50	0.000		0.000	0.000		0.000	0.000		02:05.0	2.083	2	2	00:38.1	0.635		00:02.8	0.047		00:06.7	0.112	C	2.877			

Anexo 2 – Ajuste de tiempos a distribuciones estadísticas

Ejemplo 1:

Preparar picklist

Data summary

Data Characteristic	Value
Source file	<edited>
Observation type	Real valued
Number of observations	100
Minimum observation	0.10000
Maximum observation	1.63300
Mean	0.28875
Median	0.25500
Variance	0.03516
Coefficient of variation	0.64938
Skowness	4.31729

Graphical comparison / density-histogram plot

Histogram

Godness of fit test

Anderson-Darling Test with Model 1 - Log-Logistic(E)

Sample size: 100
Test statistic: 0.22896

Note: No critical values exist for this special case. The following critical values are for the case where all parameters are known, and are conservative.

Sample Size	Critical Values for Level of Significance (alpha)				
	0.250	0.100	0.050	0.025	0.010
100	1.248	1.933	2.492	3.070	3.857
Reject?	No				

Kolmogorov-Smirnov Test with Model 1 - Log-Logistic(E)

Sample size: 100
Normal test statistic: 0.05856
Modified test statistic: 0.58556

Note: No critical values exist for this special case. The following critical values are for the case where all parameters are known, and are conservative.

Sample Size	Critical Values for Level of Significance (alpha)				
	0.150	0.100	0.050	0.025	0.010
100	1.123	1.208	1.340	1.461	1.607
Reject?	No				

Equal Probable Chi-Square Test with Model 1 - Log-Logistic(E)

Number of intervals: 20
Expected (model) count: 5
Test statistic: 9.6

Warning: The test may not be statistically valid because a method other than maximum likelihood was used to estimate parameters.

Degrees of Freedom	Observed Level of Significance	Critical Values for Level of Significance (alpha)				
		0.25	0.15	0.10	0.05	0.01
19	0.962	22.718	25.329	27.204	30.144	36.191
Reject?	No					

Distribution analysis

Model	Relative Score	Parameters
1 - Log-Logistic(E)	98.15	Location: 0.03819 Scale: 0.21104 Shape: 3.37646
2 - Log-Logistic	96.30	Location: 0.00000 Scale: 0.25111 Shape: 4.01787
3 - Pearson Type V	91.67	Location: 0.00000 Scale: 1.25865 Shape: 5.41272

28 models are defined with scores between 0.00 and 98.15

Absolute Evaluation of Model 1 - Log-Logistic(E)

Evaluation: Good
Suggestion: Additional evaluations using Comparisons Tab might be informative. See Help for more information.

Additional Information about Model 1 - Log-Logistic(E)

"Error" in the model mean relative to the sample mean: 0.00568 = 1.97%

Fixes Representation of Model 1 - Log-Logistic(E)

Use:

```

When using a picklist option:
Distribution      Log-Logistic
Location         0.038195
Scale            0.211042
Shape            3.376446

When using code:
loglogistic( 0.038195, 0.211042, 3.376446, <stream>)
                    
```

Ejemplo 2:

Buscar materiales y colocar materiales

Data summary

Data Characteristic	Value
Source file	<edited>
Observation type	Real valued
Number of observations	96
Minimum observation	0.10667
Maximum observation	0.82500
Mean	0.34513
Median	0.31250
Variance	0.02460
Coefficient of variation	0.45447
Skewness	0.93314

Histograma

Graphical comparison / density-histogram plot

Godness of fit test

Anderson-Darling Test with Model 1 - Random Walk(E)

Sample size: 96
Test statistic: 0.22786

Note: No critical values exist for this special case. The following critical values are for the case where all parameters are known, and are conservative.

Sample Size	0.250	0.100	0.050	0.025	0.010	0.005
96	1.240	1.533	2.432	3.070	3.857	4.500

Reject? No

Kolmogorov-Smirnov Test with Model 1 - Random Walk(E)

Sample size: 96
Normal test statistic: 0.04365
Modified test statistic: 0.42768

Note: No critical values exist for this special case. The following critical values are for the case where all parameters are known, and are conservative.

Sample Size	0.150	0.100	0.050	0.025	0.010
96	1.123	1.208	1.340	1.460	1.606

Reject? No

Equal Probable Chi Square Test with Model 1 - Random Walk(E)

Number of intervals: 19
Expected (model) count: 5.05263
Test statistic: 13.64583

Warning: The test may not be statistically valid because a method other than maximum likelihood was used to estimate parameters.

Degree of freedom	Observed Level of Significance	Critical Values for Level of Significance (alpha)				
		0.25	0.15	0.10	0.05	0.01
18	0.752	21.605	24.155	25.989	28.869	34.805

Reject? No

Box-Cox Representation of Model 1 - Random Walk(E)

Use:

When using a picklist option:
Distribution: Random Walk
Location: 0.015562
Scale: 3.797936
Shape: 15.091431

When using code:
randomwalk(0.015562, 3.797936, 15.091431, catmax=)

Análisis de la distribución

Relative Evaluation of Candidate Models

Model	Relative Score	Parameters
1 - Random Walk(E)	92.24	Location: 0.01556 Scale: 3.79794 Shape: 15.09143
2 - Inverse Gaussian	89.66	Location: 0.00000 Scale: 0.34513 Shape: 1.55864
3 - Inverse Gaussian(E)	89.66	Location: 2.04723 e -4 Scale: 0.34492 Shape: 1.55522

30 models are defined with scores between 0.86 and 92.24

Absolute Evaluation of Model 1 - Random Walk(E)

Evaluation: Good
Suggestion: Additional evaluations using Comparisons Tab might be informative. See Help for more information.

Additional information about Model 1 - Random Walk(E)

"Error" in the model mean relative to the sample mean: 0

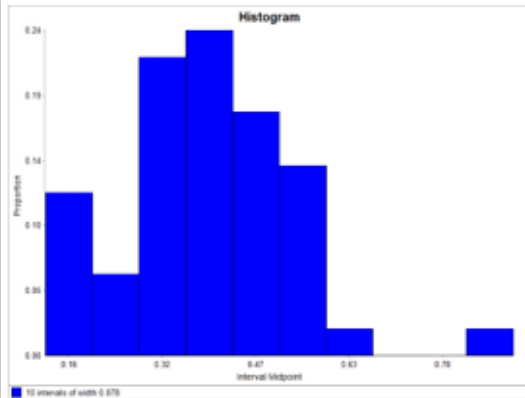
Ejemplo 3:

Tomar picklist (kit 3)

Data summary

Data Characteristic	Value
Source file	<edited>
Observation type	Real valued
Number of observations	50
Minimum observation	0.12800
Maximum observation	0.89000
Mean	0.39024
Median	0.39750
Variance	0.02009
Coefficient of variation	0.36322
Skewness	0.54867

Histograma



Análisis de la distribución

Relative Evaluation of Candidate Models

Model	Relative Score	Parameters
1 - Weibull	97.73	Location: 0.00000 Scale: 0.43639 Shape: 2.93633
2 - Weibull(E)	97.73	Location: 2.45668 e -4 Scale: 0.43613 Shape: 2.93455
3 - Beta	87.50	Lower endpoint: 2.45373 e -4 Upper endpoint: 1.13971 Shape #1: 4.50574 Shape #2: 8.72812

23 models are defined with scores between 3.41 and 97.73

Absolute Evaluation of Model 1 - Weibull

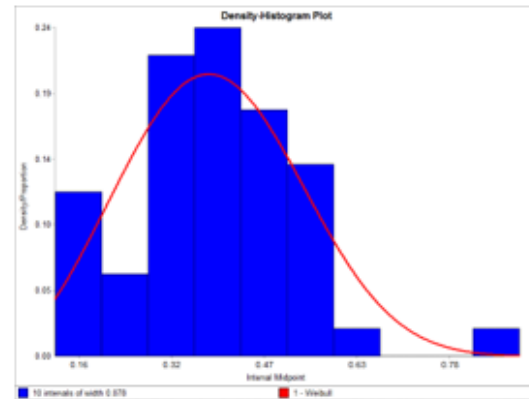
Evaluation: Good

Suggestion: Additional evaluations using Comparisons Tab might be informative. See Help for more information.

Additional information about Model 1 - Weibull

"Error" in the model mean relative to the sample mean: $9.1042e-4 = 0.23\%$

Graphical comparison / density-histogram plot



Godness of fit test

Anderson-Darling Test with Model 1 - Weibull

Sample size: 50
Test statistic: 0.48443

Note: The following critical values are exact.

Sample Size	Critical Values for Level of Significance (alpha)				
	0.250	0.100	0.050	0.025	0.010
50	0.461	0.619	0.736	0.853	1.009
Reject?	Yes	No			

Kolmogorov-Smirnov Test with Model 1 - Weibull

Sample size: 50
Normal test statistic: 0.07334
Modified test statistic: 0.51859

Note: The following critical values are exact.

Sample Size	Critical Values for Level of Significance (alpha)			
	0.100	0.050	0.025	0.010
50	0.790	0.856	0.922	0.988
Reject?	No			

Equal Probable Chi-Square Test with Model 1 - Weibull

Number of intervals: 10
Expected (model) count: 5
Test statistic: 5.6

Degrees of Freedom	Observed Level of Significance	Critical Values for Level of Significance (alpha)				
		0.25	0.15	0.10	0.05	0.01
9	0.779	11.389	13.288	14.684	16.919	21.666
Reject?	No					

Flexion Representation of Model 1 - Weibull

Use:

When using a picklist option:
Distribution: Weibull
Location: 0.000000
Scale: 0.436393
Shape: 2.936331

When using code:
weibull(0.000000, 0.436393, 2.936331, '<stream>')

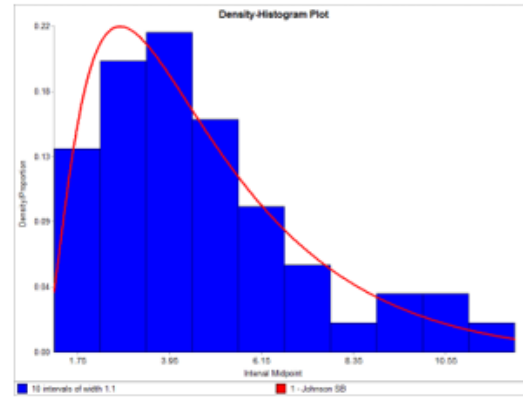
Ejemplo 4:

Kitteo, actualizar tpc, tomar contenedor y colocar kit (Kit 1)

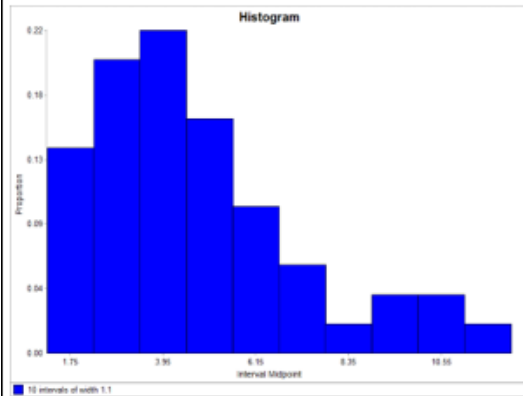
Data summary

Data Characteristic	Value
Source file	<edited>
Observation type	Real valued
Number of observations	50
Minimum observation	1.26200
Maximum observation	11.89000
Mean	4.73506
Median	3.98750
Variance	6.57072
Coefficient of variation	0.54135
Skewness	1.02964

Graphical comparison / density-histogram plot



Histograma



Godness of fit test

Anderson-Darling Test with Model 1 - Johnson SB

Sample size: 50
Test statistic: 0.11172

Note: No critical values exist for this special case. The following critical values are for the case where all parameters are known, and are conservative.

Sample Size	0.250	0.100	0.050	0.025	0.010	0.005
50	1.248	1.933	2.492	3.070	3.857	4.500
Reject?	No					

Kolmogorov-Smirnov Test with Model 1 - Johnson SB

Sample size: 50
Normal test statistic: 0.04373
Modified test statistic: 0.30918

Note: No critical values exist for this special case. The following critical values are for the case where all parameters are known, and are conservative.

Sample Size	0.150	0.100	0.050	0.025	0.010
50	1.117	1.201	1.332	1.452	1.597
Reject?	No				

Análisis de la distribución

Relative Evaluation of Candidate Models

Model	Relative Score	Parameters
1 - Johnson SB	96.30	Lower endpoint: 0.77918 Upper endpoint: 20.97929 Shape #1: 1.88724 Shape #2: 1.16674
2 - Pearson Type V(E)	87.96	Location: 1.07653 Scale: 184.69892 Shape #1: 1.96150 Shape #2: 99.98538
3 - Gamma(E)	87.04	Location: 1.04070 Scale: 1.85136 Shape: 1.99548

28 models are defined with scores between 0.00 and 96.30

Absolute Evaluation of Model 1 - Johnson SB

Evaluation: Good
Suggestion: Additional evaluations using Comparisons Tab might be informative. See Help for more information.

Additional Information about Model 1 - Johnson SB

"Error" in the model mean relative to the sample mean: 0.00763 = 0.16%

Equal-Probable Chi-Square Test with Model 1 - Johnson SB

Number of intervals: 10
Expected (model) count: 5
Test statistic: 3.2

Warning: The test may not be statistically valid because a method other than maximum likelihood was used to estimate parameters.

Degrees of Freedom	Observed Level of Significance	0.25	0.15	0.10	0.05	0.01
9	0.956	11.389	13.288	14.684	16.919	21.666
Reject?	No					

Flexsim Representation of Model 1 - Johnson SB

Use:

When using a picklist option:
Distribution: Johnson Bounded
Minimum: 0.779179
Maximum: 20.979286
Shape1: 1.887243
Shape2: 1.166737

When using code:
johnsonbounded(0.779179, 20.979286, 1.887243, 1.166737, <stream>)

Ejemplo 5:

Tomar material (kit 2)

Data summary

Data Characteristic	Value
Source file	<edited>
Observation type	Real valued
Number of observations	40
Minimum observation	0.06800
Maximum observation	1.00000
Mean	0.24055
Median	0.16500
Variance	0.04387
Coefficient of variation	0.87076
Skewness	2.43683

Histograma

Análisis de la distribución

Model	Relative Score	Parameters
1 - Pearson Type VI(E)	97.00	Location: 0.05801 Scale: 0.10230 Shape #1: 2.64305 Shape #2: 2.42744
2 - Lognormal(E)	94.00	Location: 0.05897 Scale: 0.11195 Shape: 0.99245
3 - Pearson Type VI(E)	93.00	Location: 0.03300 Scale: 0.23806 Shape: 2.07556

26 models are defined with scores between 0.00 and 97.00

Absolute Evaluation of Model 1 - Pearson Type VI(E)

Evaluation: Good
Suggestion: Additional evaluations using Comparisons Tab might be informative. See Help for more information.

Additional information about Model 1 - Pearson Type VI(E)

"Error" in the model mean relative to the sample mean: -0.00688 = 2.86%

Graphical comparison / density-histogram plot

Godness of fit test

Anderson-Darling Test with Model 1 - Pearson Type VI(E)

Sample size: 40
Test statistic: 0.16664

Note: No critical values exist for this special case. The following critical values are for the case where all parameters are known, and are conservative.

Sample Size	0.250	0.100	0.050	0.025	0.010	0.005
40	1.248	1.933	2.492	3.070	3.857	4.500
Reject?	No					

Kolmogorov-Smirnov Test with Model 1 - Pearson Type VI(E)

Sample size: 40
Normal test statistic: 0.05940
Modified test statistic: 0.37569

Note: No critical values exist for this special case. The following critical values are for the case where all parameters are known, and are conservative.

Sample Size	0.150	0.100	0.050	0.025	0.010
40	1.114	1.198	1.329	1.449	1.563
Reject?	No				

Equal-Probable Chi-Square Test with Model 1 - Pearson Type VI(E)

Number of intervals: 8
Expected (model) count: 5
Test statistic: 4.8

Warning: The test may not be statistically valid because a method other than maximum likelihood was used to estimate parameters.

Degrees of Freedom	Observed Level of Significance	Critical Values for Level of Significance (alpha)				
		0.25	0.15	0.10	0.05	0.01
7	0.884	9.037	10.748	12.017	14.067	18.475
Reject?	No					

Flexion Representation of Model 1 - Pearson Type VI(E)

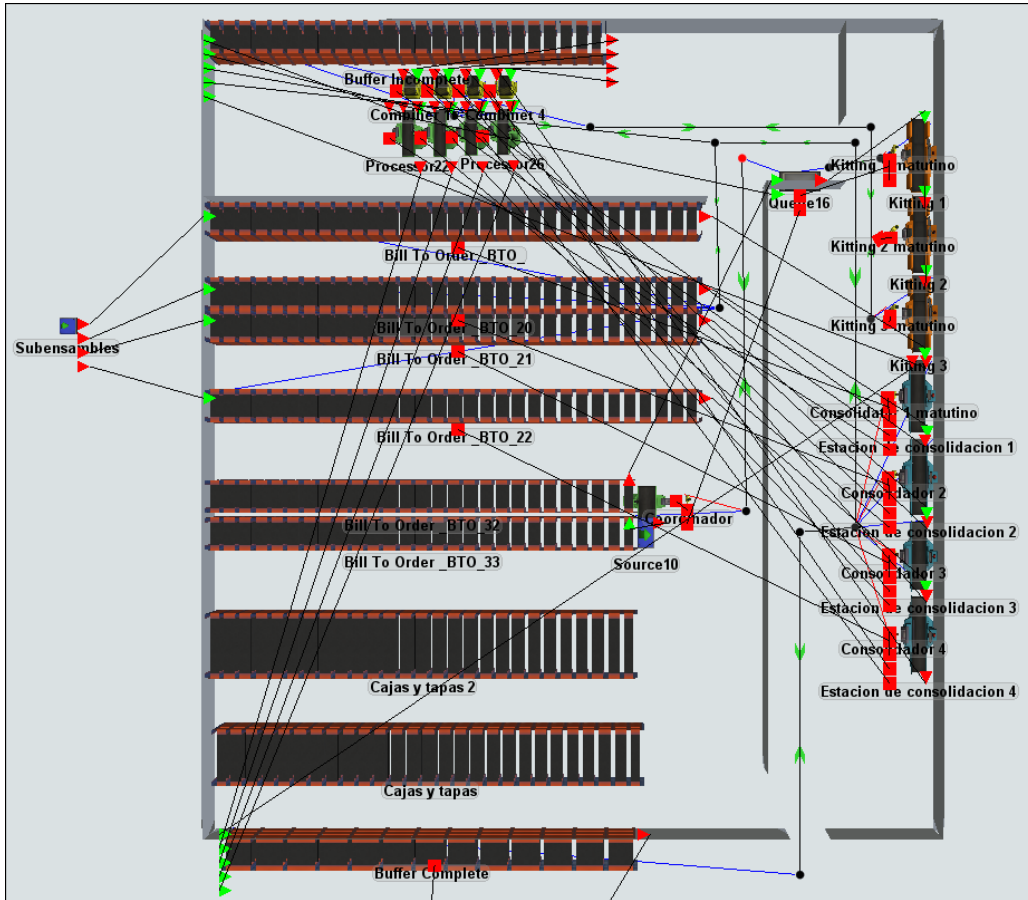
Use:

When using a packlist option:
Distribution: Pearson Type 6
Location: 0.058006
Scale: 0.102302
Shape1: 2.643046
Shape2: 2.427436

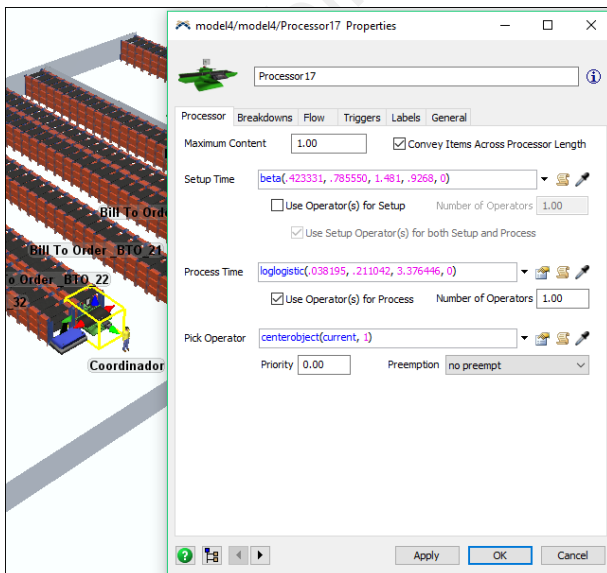
When using code:
pearson6(0.058006, 0.102302, 2.643046, 2.427436, <stream>)

Anexo 3 – Modelo en FlexSim (Estado inicial)

Modelo con todas las conexiones activas:



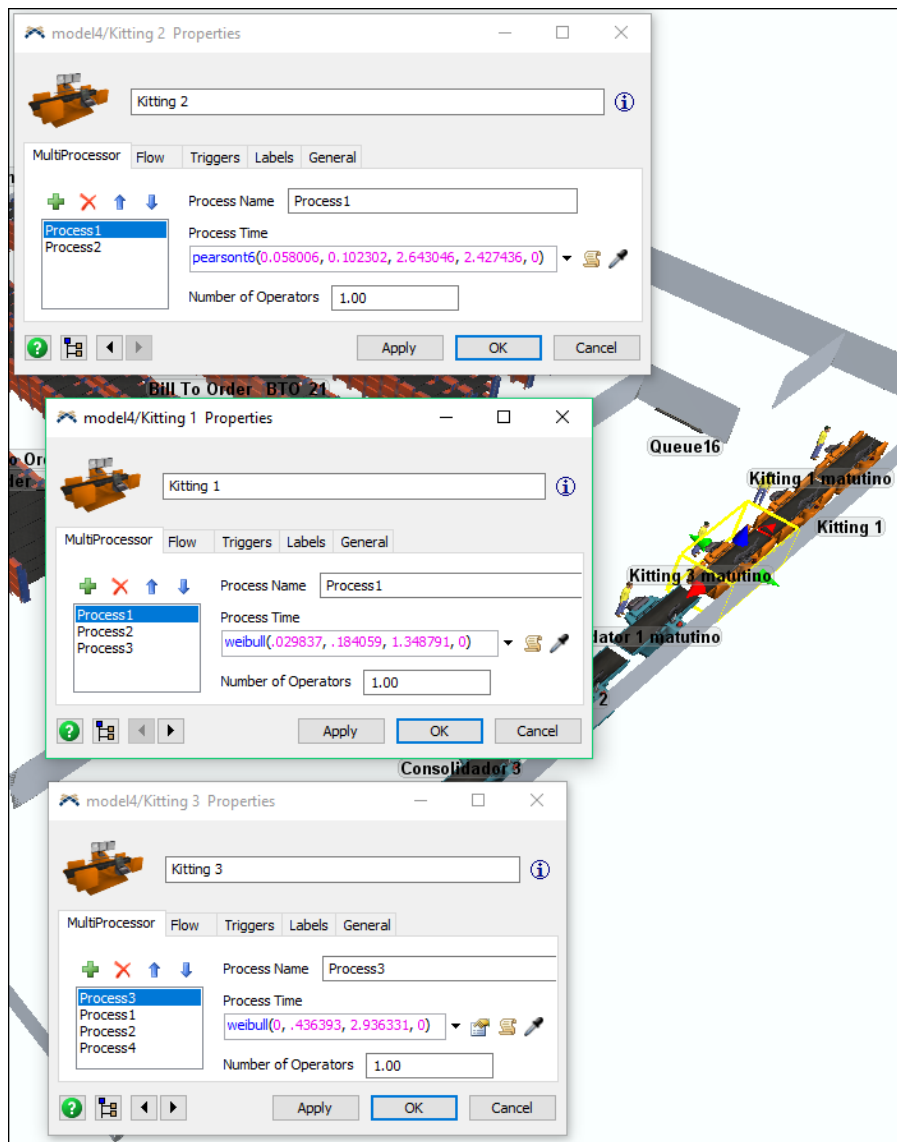
Proceso del coordinador:



Se observa que en el apartado "setup time" y "process time" se encuentra la distribución estadística generada de acuerdo con los tiempos tomados del proceso.

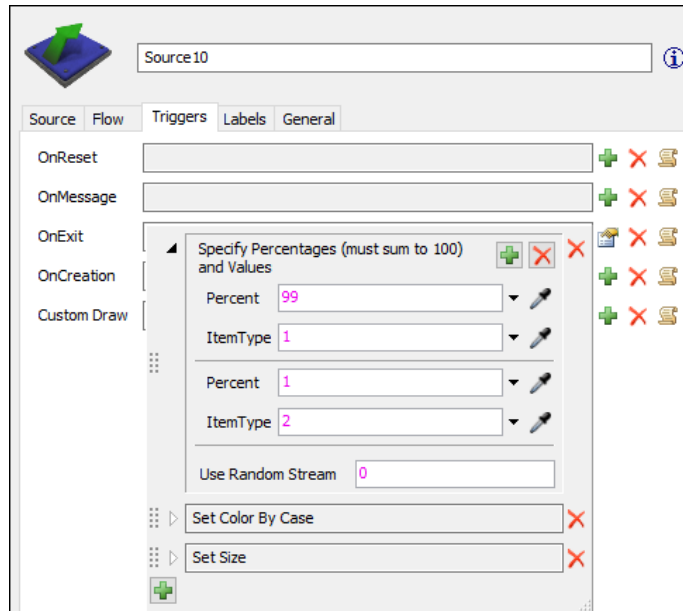
Los kits llegan al "queue" donde esperarán para pasar al flujo de procesos de creación de kits.

Procesos de creación de kits:

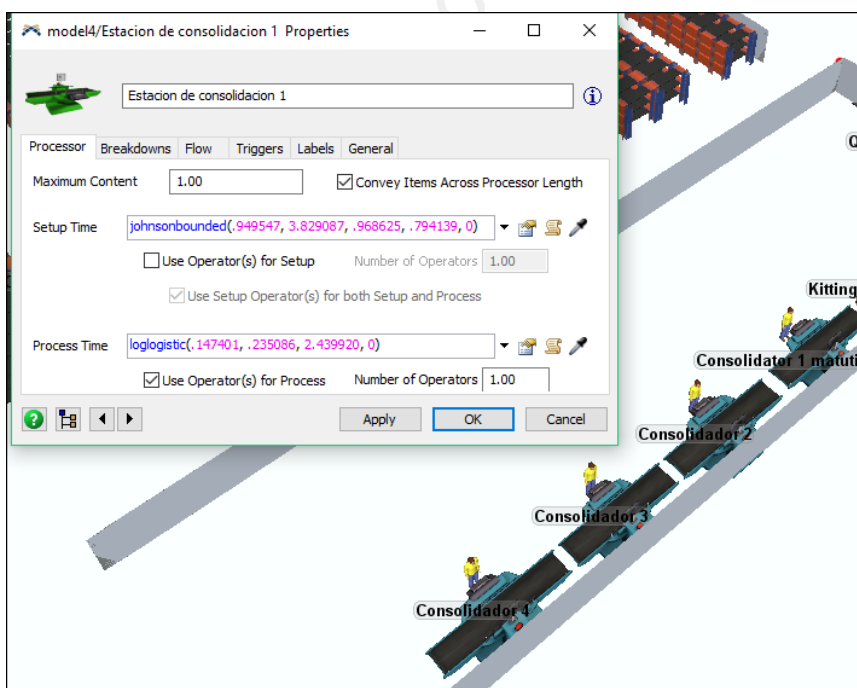


Los procesos de creación de kits se hacen en un "multiprocessor", herramienta que permite insertar más de un proceso. Estos son ejecutados en secuencia y de igual forma en "process time" se encuentra la distribución que se adapta al proceso de acuerdo con el análisis estadístico de los tiempos.

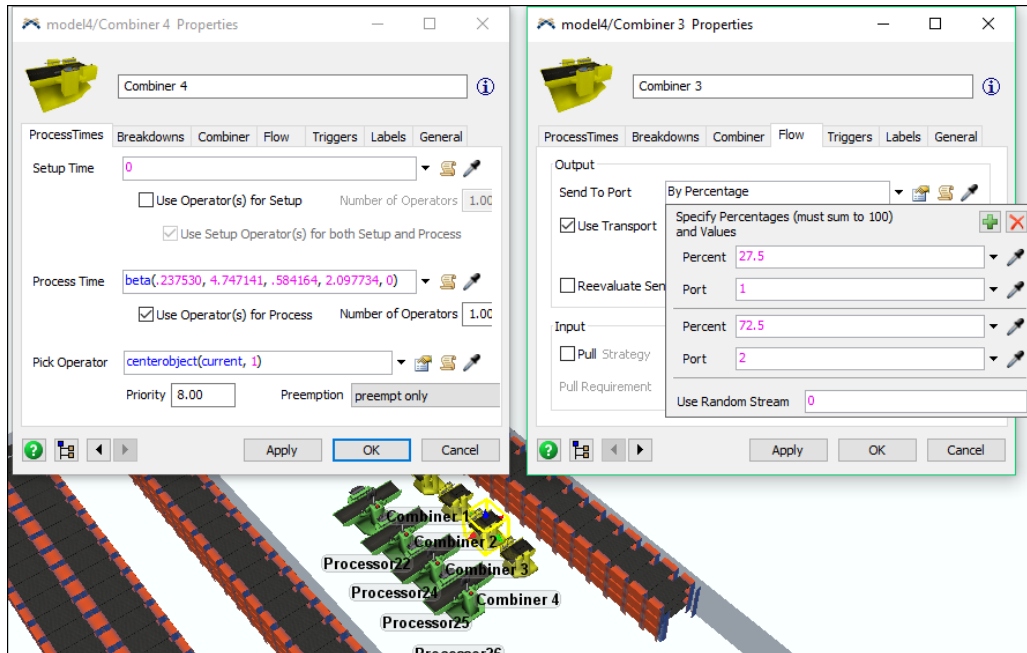
Ahora los kits pasan en un 99% al almacén de kits incompletos (buffer incompleto) y solo un 1% al almacén de kits completados (buffer completo) de acuerdo con el historial real del proceso. Este flujo se define desde la fuente de Jobs generados.



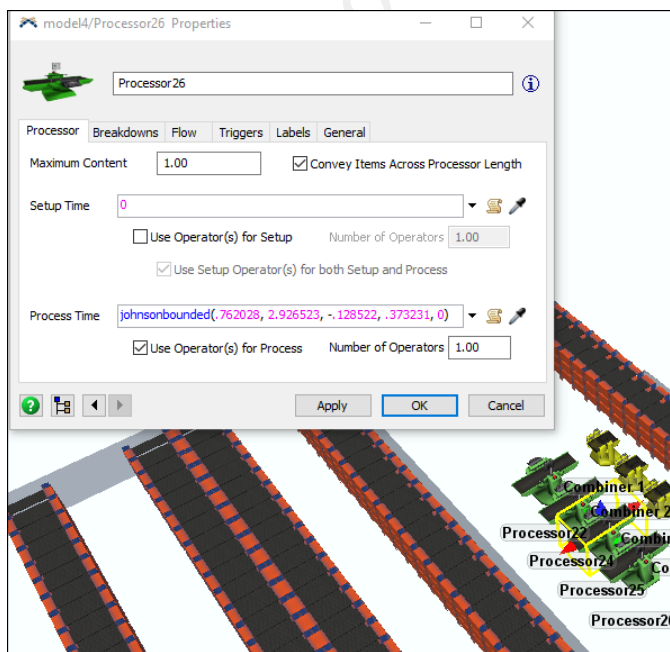
Por otra parte, en las estaciones de consolidación se reciben los materiales faltantes para completar los kits. Aquí también lleva un tiempo de proceso reflejado como se muestra:



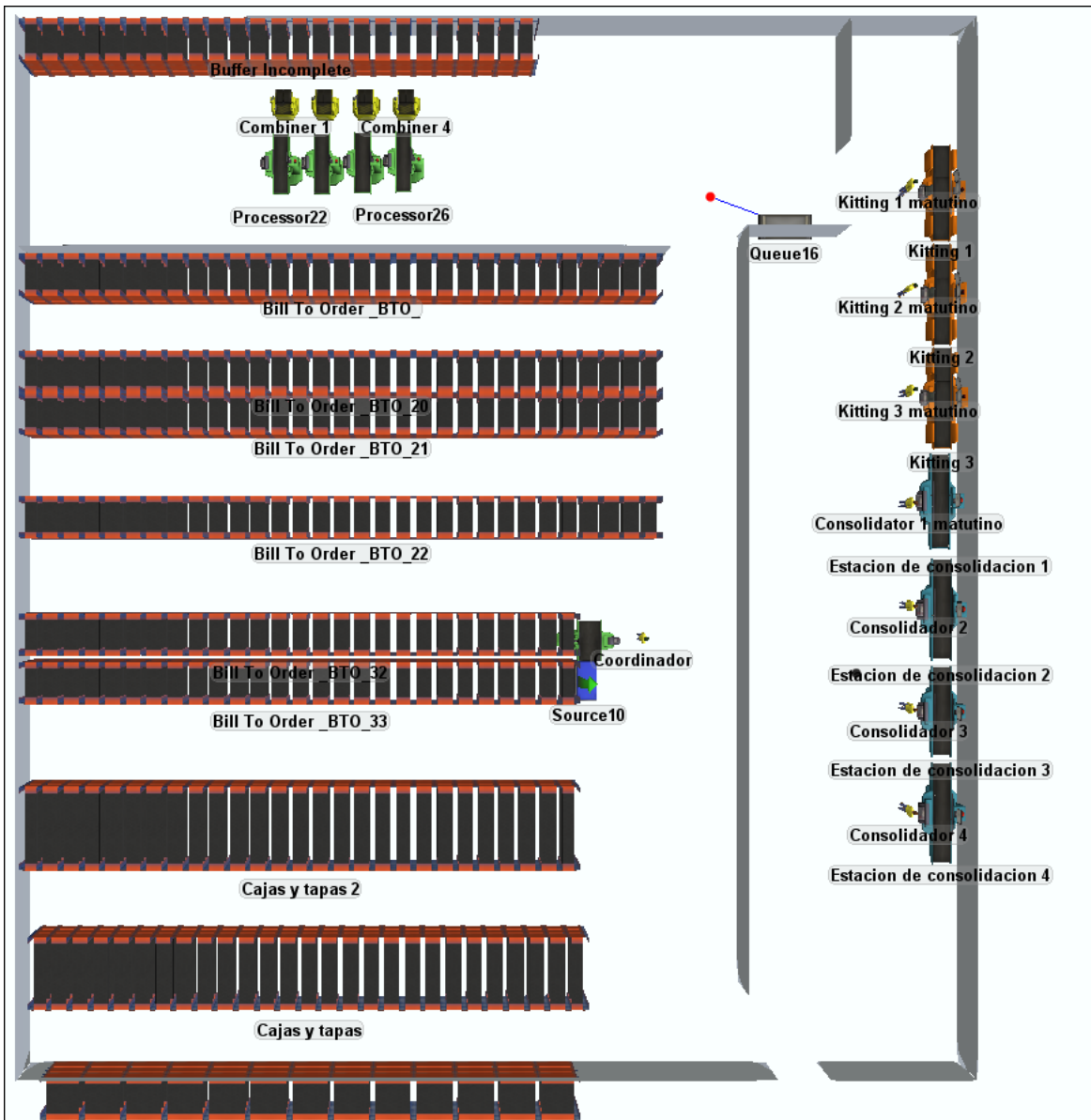
En el "combiner" es donde se unirán los kits del buffer incompleto con el material que viene de las estaciones de consolidación. Un 72.5% de estas combinaciones resultan en un kit completo, pero un 27.5% sigue estando incompleto y regresa al buffer incompleto.



Ese 72.5% va a un proceso final de revisión de kits con un process time definido y de ahí pasa al buffer completo:

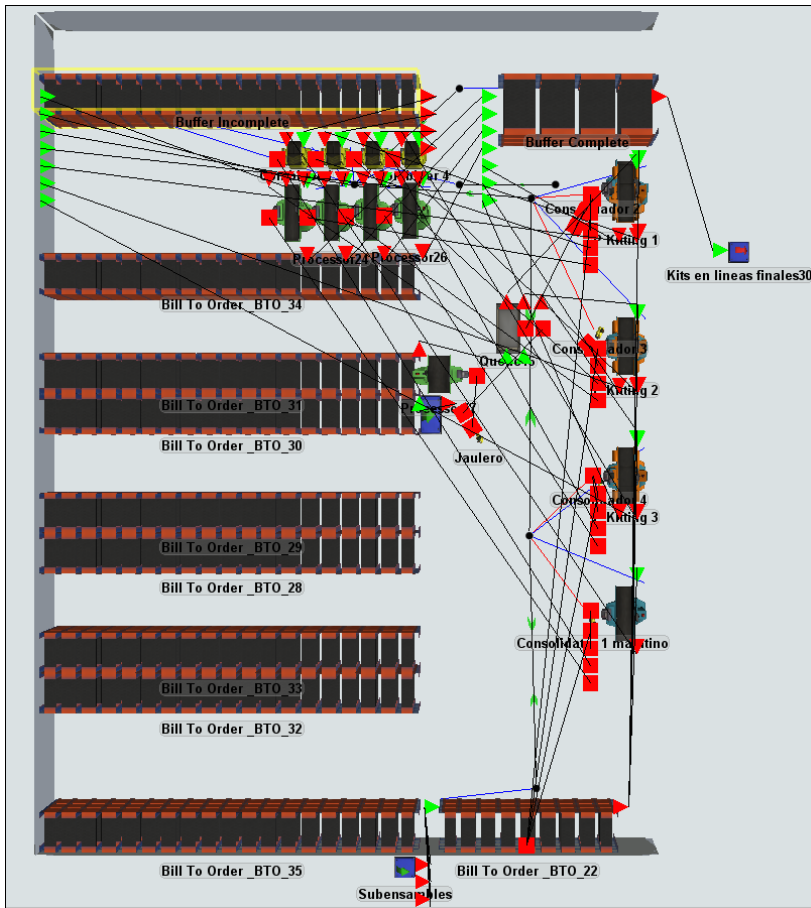


Modelo sin conexiones activas:



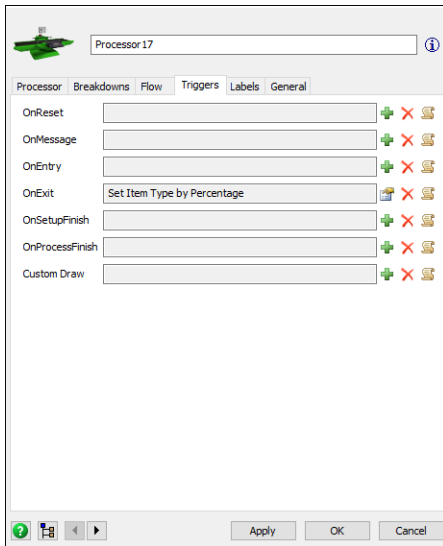
Anexo 4 – Modelo en FlexSim (Segundo modelo implementado)

Modelo con todas las conexiones activas:



La parte de generación de kits funciona de la misma manera que el modelo anterior, pero en el proceso del coordinador ahora se utiliza la pestaña de "triggers" donde se añade la opción de agregar un diferente "ítem type" a cada ítem dependiendo de los porcentajes históricos de producción. El "ítem type" es un valor que mantendrá el ítem durante todo su proceso.

La generación de diferentes "ítems types" se hace editando directamente el código del programa. Esta es una opción que hace que FlexSim tenga posibilidades ilimitadas.



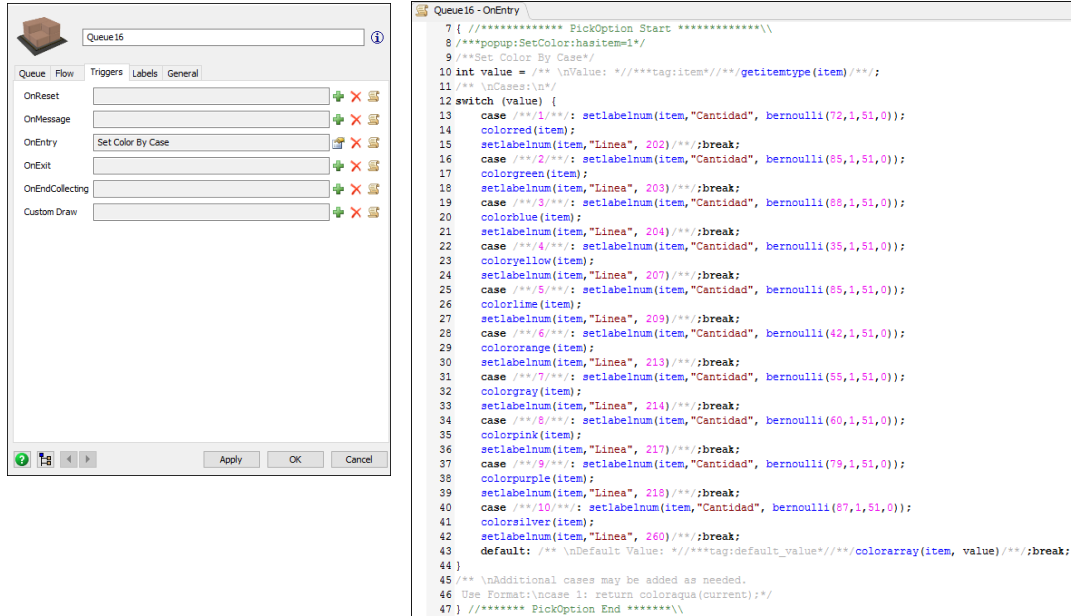
```

Processor17 - OnExit
5 { //***** PickOption Start *****\
6 /**popop:ItemTypePercentage:valuestr=ItemType*/
7 /**Set Item Type by Percentage*/
8 int stream = /**\nStream number: /**tag:stream/**/0/**/;
9 double randomnum = uniform(0.0, 100.0, stream);
10 double total = 0.0;
11 int foundmatch = 0;
12 /**tag:ex:data*/
13 total += /**\nPercent: /**/9/**/;
14 if (!foundmatch && randomnum <= total) {
15     setitemtype(item, /** ItemType: /**/1/**/);
16     foundmatch = 1;
17 }
18 total += /**\nPercent: /**/1/**/;
19 if (!foundmatch && randomnum <= total) {
20     setitemtype(item, /** ItemType: /**/2/**/);
21     foundmatch = 1;
22 }
23 total += /**\nPercent: /**/4/**/;
24 if (!foundmatch && randomnum <= total) {
25     setitemtype(item, /** ItemType: /**/3/**/);
26     foundmatch = 1;
27 }
28 total += /**\nPercent: /**/2/**/;
29 if (!foundmatch && randomnum <= total) {
30     setitemtype(item, /** ItemType: /**/4/**/);
31     foundmatch = 1;
32 }
33 total += /**\nPercent: /**/15/**/;
34 if (!foundmatch && randomnum <= total) {
35     setitemtype(item, /** ItemType: /**/5/**/);
36     foundmatch = 1;
37 }
38 total += /**\nPercent: /**/8/**/;
39 if (!foundmatch && randomnum <= total) {
40     setitemtype(item, /** ItemType: /**/6/**/);
41     foundmatch = 1;
42 }
43 total += /**\nPercent: /**/40/**/;
44 if (!foundmatch && randomnum <= total) {
45     setitemtype(item, /** ItemType: /**/7/**/);
46     foundmatch = 1;
47 }
48 total += /**\nPercent: /**/17/**/;
49 if (!foundmatch && randomnum <= total) {
50     setitemtype(item, /** ItemType: /**/8/**/);
51     foundmatch = 1;
52 }
53 total += /**\nPercent: /**/3/**/;
54 if (!foundmatch && randomnum <= total) {
55     setitemtype(item, /** ItemType: /**/9/**/);
56     foundmatch = 1;
57 }
58 total += /**\nPercent: /**/1/**/;
59 if (!foundmatch && randomnum <= total) {
60     setitemtype(item, /** ItemType: /**/10/**/);
61     foundmatch = 1;
62 }/**/
63 } //***** PickOption End *****\
c+

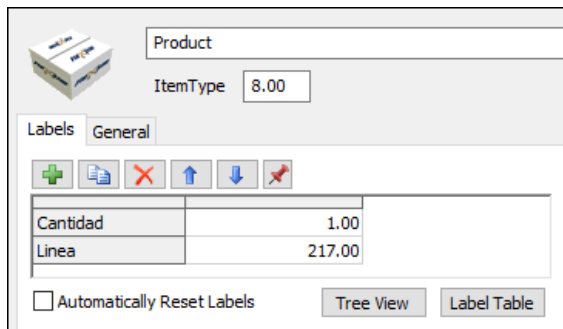
```

Todos los kits generados viajan al "queue" donde ahora son editados especialmente para asignarles etiquetas. Estas etiquetas definen la familia del producto que será procesado utilizando nuevamente la pestaña "triggers".

Nuevamente se modifica el código fuente de manera personalizada. En esta sección se asigna el nombre del producto dependiendo del "ítem type" que contenga cada ítem. De igual forma se le asignan colores diferentes para diferenciar los kits a lo largo del proceso. Además, se define la cantidad de piezas que contendrá cada kit. Esta información será utilizada más adelante para definir si en los procesos de creación de kits se requerirá el uso de báscula o se hará el conteo manualmente.



Un kit procesado en el "queue" queda de la siguiente manera:



Procesos de creación de kits

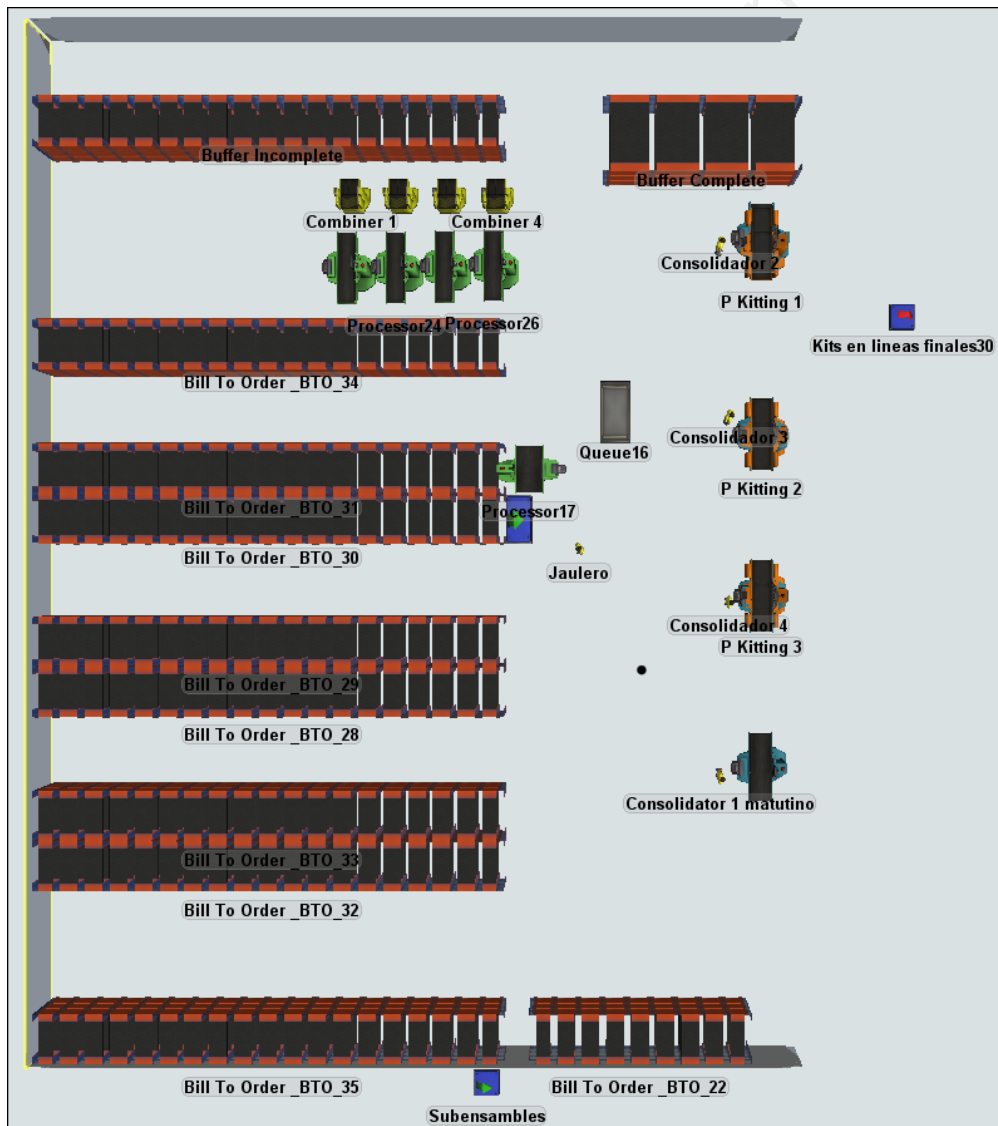
Los procesos de creación de kits se mantienen iguales que en modelo anterior, solo hay una modificación que es el tiempo de proceso de acuerdo con la cantidad de piezas que contenga el kit. Se añade la opción "values by case" donde para kits mayores de 50 piezas se toma la distribución estadística que utiliza la báscula y en caso de ser menor a 50 piezas se toma la distribución estadística de conteo de forma manual.

The image shows a software configuration window for 'Kitting 1'. On the left, there are tabs for 'MultiProcessor', 'Flow', 'Triggers', 'Labels', and 'General'. The 'General' tab is active, showing fields for 'Process Name' (3) Kitteo, tpc, contenedor, colocar, 'Process Time', 'Values By Case', 'Number of Operators' (1.00), 'Pick Operator' (centerobject(current, 1)), 'Priority' (0.00), and 'Preemption' (no preempt). On the right, a code editor displays the following process time logic:

```
Kitting 1 - Process Time
1 treenode current = ownerobject(c);
2 treenode item = parnode(1);
3 /**popop:ValuesByCase:hasitem=1:valuestr=Time*/
4 /**Values By Case*/
5 int case_val = /** \nCase Function: ****tag=ValueFunc****/getlabelnum(item, "Cantidad")/**/;
6 /** \nCases:\n*/
7 if (case_val < 50)
8 return johnsonbounded(0.779179, 20.979286, 1.887243, 1.166737, 0);
9 else
10 return gamma( 1.015066, 1.300452, 1.906624, 0);
11
```

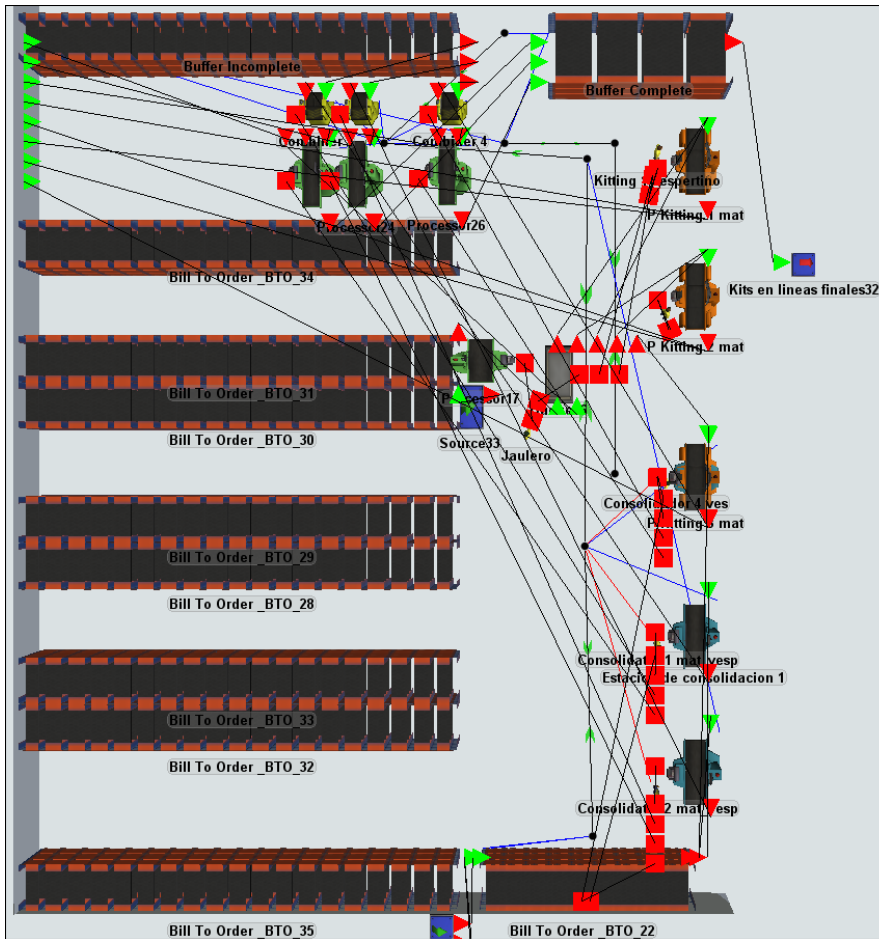
El resto del programa se mantiene igual, recordando que el principal beneficio de este modelo es solo en espacios y movimientos.

Modelo sin conexiones activas:



Anexo 5 – Modelo en FlexSim (Modelo final implementado)

Modelo con todas las conexiones activas:



El principal cambio de este modelo viene en las estaciones de creación de kits. En la siguiente imagen se puede observar como las tres estaciones de creación de kits tienen los mismos procesos debido a que con el sistema de flujo de un kit (one kit Flow) cada operador hace un kit de principio a fin.

The image displays three overlapping property windows for 'P Kitting' processes in a simulation software. The background shows a 3D model of a factory floor with various workstations and material flow paths.

Top Window: P Kitting 1 ves

- Process Name: Kitteo 1
- Process Time: johnsonbounded(0.779179, 20.979286, 1.887243, 1.166737, 0)
- Number of Operators: 1.00
- Pick Operator: centerobject(current, 1)

Middle Window: P Kitting 2 mat Properties

- Process Name: Jalar carro
- Process Time: weibull(0.066542, 0.161986, 1.672408, 0)
- Number of Operators: 1.00
- Pick Operator: centerobject(current, 1)

Bottom Window: P Kitting 3 mat Properties

- Process Name: Jalar carro
- Process Time: weibull(0.066542, 0.161986, 1.672408, 0)
- Number of Operators: 1.00
- Pick Operator: centerobject(current, 1)

The 3D model in the background includes labels for various components and stations, such as 'Buffer Complete', 'Kitting 1 vespertino', 'P Kitting 1 ma', 'Kitting 2 vespertino', 'P Kitting 2 mat Kits er', 'solidador 4 ves', 'P Kitting 3 mat', and 'olidacion 1'. A speed control slider at the top right is set to 4.00.

Modelo sin conexiones activas:

