



SIMULACIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO DE COLEC INVESTMENT COMO
HERRAMIENTA PARA LA TOMA DE DECISIONES

Cure Casalins, patricia
Maza príncipe, Henry Luis

Universidad Tecnológica de Bolívar

Ingeniería Industrial

Cartagena de Indias

2003

INTRODUCCIÓN

Es común al hablar de un sistema de manufactura, referirse a un sistema de entrada – transformación – salida; el cual es frecuentemente representado por un sistema que cuenta con una sola estación de trabajo, en el cual se le da una transformación a una materia prima para convertirla en un producto terminado. No obstante esto es simplemente una visión global de todo el sistema, pues en una visión más detallada del mismo, podemos encontrar diversos procesos que son realizados en varias estaciones de trabajo y que son necesarios para entregar un producto final.

Si todos los sistemas de manufactura constaran simplemente de una sola estación de trabajo, en donde se realizara el proceso de entrada – transformación – salida, estos podrían ser diseñados fácilmente con solo un lápiz, un papel, una calculadora y una que otra herramienta básica. Sin embargo, en la manufactura moderna, difícilmente encontraríamos un sistema que trabaje con estas características, y por lo tanto cada vez se hace más difícil diseñar sistemas productivos de forma eficiente. Por esto cada vez recurrimos a herramientas más potentes que nos permitan realizar análisis más detallados, profundos y confiables utilizando la menor cantidad de recursos posibles.

Uno de los recursos de mayor importancia es el tiempo, mucho más ahora cuando la competencia basada en el tiempo se ha convertido en un factor decisivo para la supervivencia de las empresas. Los métodos de ensayo y error ya no son adecuados. Aplicar pruebas de ensayo y error para aprender acerca del comportamiento del sistema se ha vuelto inútil en un ambiente en el cual los cambios ocurren más rápido de lo que se pueden aprender las lecciones que quedan como resultado de dicho proceso. Se necesita por lo tanto un método predictivo basado en el entendimiento de causa efecto.

Bajo este ambiente, la simulación de procesos se ha convertido en una de las herramientas preferidas de la ingeniería industrial, pues permite representar un proceso mediante un modelo que lo hace mucho más simple y entendible, para buscar soluciones a los problemas encontrados y extenderlas a la situación real, en un menor tiempo, a un menor costo y con un mayor grado de certidumbre.

La simulación es esencialmente una herramienta de experimentación en la cual un modelo de computador de un sistema nuevo o ya existente es creado con el propósito de conducir experimentos. El modelo actúa como un sustituto del sistema real y el conocimiento adquirido de la experimentación sobre éste puede ser extendido al sistema real.

La simulación se ha convertido en una herramienta esencial para analizar el desempeño de un sistema sin necesidad de hacer cambios en el mismo, validar

diseños, demostrar y visualizar operaciones, probar hipótesis y desarrollar muchos otros análisis. Es hoy en día la herramienta preferida en una gran variedad de industrias y es comúnmente solicitada antes de realizar grandes inversiones de capital.

La simulación de procesos está siendo usada para ayudar a minimizar el riesgo de cometer errores costosos y algunas veces fatales en la vida real. La tecnología de simulación se está abriendo camino entre un número creciente de aplicaciones que van desde el entrenamiento para pilotos de aeronaves hasta la prueba de nuevos prototipos. Lo que todas estas aplicaciones tienen en común es que todas ellas proveen un ambiente virtual que ayuda a preparar para situaciones de la vida real, resultando en ahorros significativos en tiempo, dinero e incluso vidas.

Un área en donde la simulación está encontrando mayores aplicaciones es en el diseño y mejoramiento de sistemas de manufactura y servicios. Su habilidad única para predecir con bastante precisión el desempeño de sistemas complejos la hace ideal para planeación de sistemas.

En lugar de dejar las decisiones de diseño al azar, la simulación provee una forma de probar si se está tomando la mejor decisión o no. La simulación evita gastar demasiado dinero, invertir demasiado tiempo y causar los conflictos que ocurrirían si se utilizaran pruebas de ensayo y error en sistemas reales.

En las siguientes páginas se mostrará el desarrollo de un proyecto de simulación de procesos en la empresa Colec Investment Corp. de la ciudad de Cartagena. En el primer capítulo se hará una presentación de la empresa, su historia, su misión y visión, los productos que fabrica y se dará una descripción del flujo de proceso para cada una de sus líneas de productos. En el segundo capítulo se hará una descripción de los problemas encontrados. En el tercer capítulo se mostrará la metodología utilizada para seleccionar las áreas de la empresa que se someterán al estudio de simulación y para definir el proyecto de simulación. En el cuarto capítulo se hará una descripción detallada de la recolección de datos, la construcción del modelo de simulación y la validación del mismo. En el quinto capítulo se evaluará el desempeño actual del sistema. El sexto capítulo se dedicará a la formulación y evaluación de alternativas de mejora, para finalizar con dos últimos capítulos en los que se presentarán las conclusiones y recomendaciones que surjan como resultado del proyecto de simulación.

La realización de este trabajo se fundamenta en la necesidad de los estudiantes de confrontar la teoría aprendida en las clases magistrales con la realidad que se vive en las empresas del país y la necesidad de aplicar nuevas herramientas en la solución de problemas en empresas de manufactura y servicios.

Su principal objetivo es reconocer la importancia de la simulación de procesos en la planeación de las actividades productivas de una empresa, lo cual permitirá desarrollar un sentido crítico frente a la administración y mejora de los procesos

productivos, que lleve a elevar los niveles de productividad y de competitividad empresarial.

Específicamente, se persigue identificar las diferentes entidades, locaciones, etc. que intervienen y definen los procesos productivos de Colec Investment; evaluar el desempeño actual de la empresa mediante un modelo de simulación, formular y evaluar alternativas de mejora con el fin de establecer las políticas más adecuadas para administrar los procesos de Colec Investment en las condiciones actuales de la empresa y también diseñar el flujo de proceso ideal para el proyecto de ampliación de capacidad que se desarrollará en la empresa.

1. PRESENTACIÓN DE LA EMPRESA

Colec Investment es una empresa industrial ubicada en el kilómetro 13 de la Zona Industrial de Mamonal en las bodegas 9 y 10 de la isla 2A de ZOFRANCA S.A. Su actividad principal es la maquila de juguetes caninos comestibles hechos a base de carnaza de bovino. Dentro de su proceso se fabrican dos líneas de productos: galletas de carnaza y productos extruídos de carnaza.

1.1. HISTORIA.

La empresa fue constituida legalmente el 5 de Septiembre de 1990; inicialmente se creó con el objeto social de producir, procesar, explotar, transformar, comercializar e importar pieles crudas o terminadas, exportar y reexportar pieles y productos terminados hacia terceros países y accesoriamente hacia el mercado nacional de pieles y productos provenientes de la fauna silvestre de zoocriaderos legalmente establecidos en el país y en el exterior. En ese entonces la fabricación de juguetes caninos era una actividad adicional y eventual que se había contemplado como una alternativa para ayudar al sostenimiento de la curtiembre. Con el paso de los años el negocio de los juguetes caninos fue creciendo y adquiriendo mayor importancia, a tal punto que un día los papeles se invirtieron y la transformación de pieles pasó a segundo plano, convirtiéndose los juguetes caninos en el principal producto de Colec.

Gracias al esmerado trabajo de sus fundadores en el firme propósito de lograr la máxima satisfacción de sus clientes en calidad y tiempo de respuesta, Colec Investment ha logrado penetrar en el mercado norteamericano y europeo.

Colec Investment Corp. cuenta actualmente con grandes oportunidades para aumentar las ventas de la compañía, pues el precio del dólar ha aumentado significativamente entre los meses de junio y octubre del presente año, lo cual hace más atractivos los productos que fabrica; sin embargo, la capacidad productiva de la empresa es una limitante para lograr esta meta, dado que ésta es, actualmente, insuficiente para satisfacer toda la demanda. Asimismo, debido al aumento registrado en la producción en los últimos años, el espacio con que se cuenta para almacenar materias primas en la actualidad parece insuficiente para los niveles de producción que se han alcanzado, por lo cual se ha adquirido una nueva bodega con el propósito de lograr una mejor organización de la planta y controlar más eficazmente la producción al separar los procesos de elaboración de las líneas de extruídos y galletas. Por todo esto se están estudiando alternativas que ayuden a incrementar la capacidad y optimizar el uso del espacio disponible.

Debido a lo anterior se ha pensado en la simulación de procesos como una herramienta que le permita a la empresa lograr los máximos beneficios económicos como resultado de la escogencia de la alternativa que se ajuste mejor a sus necesidades de crecimiento. Al mismo tiempo se desea realizar un diagnóstico del sistema actual, para que con base en el mismo se realicen

propuestas de mejora y estas sean evaluadas por medio de la simulación de procesos.

1.2. VISIÓN.

Seremos una empresa líder en la producción de juguetes caninos, distinguida por la búsqueda creativa en el diseño de productos en pro de la satisfacción permanente de nuestros clientes y sus mascotas, ayudando a nuestros distribuidores a crecer junto con nosotros económica y socialmente, llevando nuestros productos a ser reconocidos y preferidos en el mercado global.

1.3. MISIÓN.

Somos una empresa dedicada a la fabricación, distribución y comercialización de juguetes caninos, comprometidos con la calidad de nuestro producto, la satisfacción de nuestros clientes y sus mascotas, el bienestar de nuestro recurso humano y el retorno de nuestros inversionistas.

1.4. LÍNEA DE PRODUCTOS.

Colec Investment fabrica las siguientes referencias de productos. Estas pertenecen a dos familias de productos: juguetes extruídos de carnaza y galletas de carnaza.

PRODUCTO	CLASE
Brown Flat	3
Natural Flat	3
Red Flat	3
Beef Flat	4
Chicken Flat	4
CHBCR-4.5/8	2
BBCR-4.5/10	2
BBCR-4.5/8	2
BCR-4.5/8	1
BCR-4.5/10	1
BCR-5/10	1
BCR-5/20	3
BCR-10/20	3
BBCR-5/10	2
BBCR-5/10 VIT	2
BBCR-5/20	4
BBCR-10/20	4
YCR-4.5/10	1
GCR-4.5/10	1
NCR-4.5/8	1
NCR-4.5/10	1
RCR-4.5/8	1
RCR-4.5/10	1
NCR-5/10	1

NCR-5/10 VIT NAT	2
NCR-5/10 VIT CAR	2
NCR-5/10 VIT POLL	2
RCR-5/10	1
GCR-5/10	1
NCR-12/25	3
BCR-12/25	3
OCR-12/25	3
YCR-12/25	3
CHNCR-5/10	2
NCR-5/20	3
BBCR-4.5/20	4
CHBCR-4.5/20	4
BCR-9.5/20	3
BCR-9/20	3
BBCR-9.5/20	4
NCR-5/20 CHEESE	4
NCR-5/20 MANÍ	4
BCR-5/20 POLLO	4
RCR-9.5/20	3
N-CRUNCHY	5
B-CRUNCHY	6
CRUNCHY BEEF	6
CRUNCHY	
CHICKEN	6

Colec Investment Corp. trabaja con un sistema de producción sobre pedido. Es el cliente quien especifica todas las características que los productos deben poseer. Sin embargo, a pesar de que manufacturan juguetes caninos para distintas compañías, los requerimientos de calidad exigidos por las mismas son muy similares, lo cual hace que el proceso de fabricación de los juguetes sólo difiera en aspectos como el tamaño en que se deberán cortar las piezas, los colores y sabores a utilizar y el logotipo impreso en las bolsas y cajas en donde se empacan

los mismos. La mayoría de los productos pasan a través de las mismas máquinas y utilizan, en general, los mismos materiales para su fabricación.

Aplicando el concepto de tecnología de grupos podemos entonces clasificar los productos por categorías, de acuerdo a la secuencia de operaciones que cada uno sigue, así:

- 1 - PRODUCTO DE CORTE EN HÚMEDO
- 2 - PRODUCTO DE CORTE EN HÚMEDO BESTEADO
- 3 - PRODUCTO DE CORTE EN SECO
- 4 - PRODUCTO DE CORTE EN SECO BESTEADO
- 5 - GALLETAS
- 6 - GALLETAS BESTEADAS

1.5. DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS DE MANUFACTURA.

1.5.1. Descripción del proceso de manufactura de los productos de corte en húmedo. La materia prima, (carnaza natural y retales de huesos de carnaza de otras plantas, los cuales son desperdicio de su normal operación) descansa en la zona de inventarios. En la primera zona de almacenamiento, la cual está adyacente a las máquinas molidoras, un operario toma un saco de materia prima, lo abre e identifica las características propias de la materia prima tales como textura (lo cual revela aproximadamente el contenido de grasa), tamaño de las

partículas y olor. Las inspecciones realizadas son efectuadas por atributos y sin ningún equipo, solo la experiencia del operario le permite saber de qué tipo de material se trata. Una vez identificadas las propiedades del material, se procede a llevar el saco junto a uno de los tres molinos (los cuales tienen capacidades diferentes); luego éste se vacía en una bandeja cercana a la boca del molino y se introduce al molino de forma manual con una pequeña pala. Las partículas de carnaza que han sido molidas y que posean un diámetro menor a 6 mm pasarán por un tamiz y caerán a través de una boquilla, la cual se abre y se cierra por acción manual. Previo al proceso descrito, el operario coloca un saco vacío en esta boquilla para recibir el material molido. Una vez el saco está lleno, lo retira y coloca otro. Luego procede a llevar el saco a un almacén intermedio.

Otro operario toma de uno a seis sacos de carnaza molida y la lleva hasta la zona de molido y la deposita en una de las dos mezcladoras disponibles, se agregan los colorantes que el pedido requiera, se agrega agua, aceite y harina de trigo y se procede a accionar la mezcladora. Cuando la masa está lista, se vacía el contenido de la mezcladora en unos recipientes ubicados dentro de una piscina de acero inoxidable. Esto es para agilizar el proceso de alimentación de las extrusoras. La masa que cae por fuera de los recipientes es recogida con pala para llenar los recipientes cada vez que se desocupen.

Un operario que se encarga de alimentar las extrusoras, toma los recipientes que han sido llenados con masa y los lleva a la zona de extrusión a una de las cuatro extrusoras disponibles y vacía el contenido del recipiente en la tolva de

alimentación de la extrusora. El material es entonces procesado en la máquina y sale a través de una boquilla en la forma de varias pencas de material extruído. La cantidad de pencas que se forman depende de la referencia que se esté trabajando en ese momento. La boquilla se selecciona de acuerdo a la orden de producción que se vaya a fabricar. Las pencas de material extruído que salen de la máquina ruedan a través de una banda transportadora y son tomadas por una operaria que “corta” las pencas de material con la mano al nivel de la boquilla por donde sale el material cuando el tamaño de estas es aproximadamente el largo de la banda transportadora. Estas pencas se toman y se colocan en una bandeja en donde se acomodan hasta formar tres capas. La cantidad de capas que se acomoden sobre la bandeja es determinante para garantizar que se obtenga un secado uniforme. Cuando la bandeja está llena, se procede a retirarla y llevarla hasta la zona de almacenamiento de productos en proceso, en donde se llena un carro con capacidad para 23 bandejas.

Normalmente en la operación de “cortado de las pencas” van quedando pedacitos de masa que caen de la banda transportadora a un balde ubicado al final de esta de allí puede ser recogida y llevada de nuevo hasta la tolva para continuar con el proceso de extrusión, sin embargo pasados diez minutos el material se endurece y debe ser llevado de nuevo al comienzo del proceso (molino) para ser utilizado como retal.

En la zona de cortado se toma una bandeja del carro, comenzando con la que se colocó de último, dado que los carros no cuentan con divisiones para las bandejas, estas deben ser apiladas una sobre otra sin permitir la utilización de un sistema PEPS, sino más bien obligando a seguir un UEPS. En esta zona se vacía la bandeja sobre la mesa de la cortadora y se cortan las pencas en las medidas que sean requeridas. El producto cortado es depositado nuevamente en las bandejas, utilizando otro carro con la misma capacidad para este fin. Los sobrantes son llevados a la zona de molino para ser reutilizados.

Seguidamente se llevan el carro al amortiguador del horno, en donde espera hasta que se abra el horno, lo cual sucede cada 12 horas. Una vez dentro del horno se espera un tiempo de 12 horas y se retira el producto que se encuentre seco.

Posteriormente se procede a depositar el producto en unas tinas plásticas y dejar enfriar el producto para su posterior empaque. El proceso de empaque consiste en llenar, pesar y sellar una bolsa de producto terminado. Las bolsas son llevadas a otra mesa y se empacan en cajas para ser embaladas y paletizadas.

1.5.2. Descripción del proceso de manufactura de los productos de corte en húmedo besteadado. El proceso para este tipo de producto es muy similar al anterior. La diferencia entre uno y otro radica en que una vez que el producto está seco y reposado, se lleva a la zona de besteadado, en donde se vacían las bandejas que reposan en los carros y se llenan unas cubas pequeñas de plástico

con orificios, y se sumergen las mismas en una solución para obtener de esta manera un recubrimiento que le da un olor y sabor característico al producto.

Seguidamente se deja reposar para que escurra la mezcla y se deposita en bandejas para formar carros que serán llevados nuevamente al horno para que se sequen. Luego se dejan reposar y se empaacan siguiendo el mismo proceso de los productos de corte en húmedo sin bestear.

1.5.3. Descripción del proceso de manufactura de los productos de corte en seco. El proceso para este tipo de productos es idéntico hasta la zona de extrusión. El proceso cambia de allí en adelante ya que estos productos no pueden ser cortados en húmedo, pues al hacerlo se presentan alteraciones en la apariencia final del producto, es decir, se altera la calidad que los clientes esperan. Por lo tanto una vez se han formado los carros con producto que sale de las extrusoras, estos se llevan al amortiguador del horno en donde esperan a que se abra la puerta del mismo para entrar. Una vez realizado el proceso de secado, se llevan a la cortadora en donde son cortados para luego ser empacados.

1.5.4. Descripción del proceso de manufactura de los productos de corte en seco besteadado. El proceso para este tipo de producto es muy similar al anterior. La diferencia entre uno y otro radica en que una vez que el producto está cortado, se lleva a la zona de besteadado, en donde se vacían las bandejas que reposan en los carros y se llenan unas cubas pequeñas de plástico con orificios, y se

sumergen las mismas en una solución para obtener de esta manera un recubrimiento que le da un olor y sabor característico al producto.

Seguidamente se deja reposar para que escurra la mezcla y se deposita en bandejas para formar carros que serán llevados nuevamente al horno para que se sequen. Luego se dejan reposar y se empacan.

1.5.5. Descripción del proceso de manufactura de las galletas. Para Colec las galletas son un producto al que sólo se le realiza un proceso de acabado y empaque, las galletas son compradas a otras fabricas que se encargan de su fabricación, en el mercado se pueden obtener dos tipos de galletas las de primera, que cumplen con las características de calidad (color, Forma y textura) para ser empacadas en estado “natural” y las de segunda, que son las que presentan imperfecciones y que requieren de un proceso de besteadado para ser aptas para la comercialización.

El proceso para este tipo de producto es el siguiente. Se toma un saco de galletas de primera, y se pasa a la zona de empaque; las galletas de segunda se depositan en sacos y pasan a ser procesados en la línea de besteadado de galletas.

1.5.6. Descripción del proceso de manufactura de las galletas besteadas. El proceso para este tipo de producto es el siguiente. Se toma un saco de galletas, las cuales son compradas a otras empresas. Se lleva a la zona de besteadado, se

sacan las galletas y se depositan en unas cubas pequeñas de plástico con orificios, se sumergen las mismas en una solución para obtener de esta manera un recubrimiento que le da un olor y sabor característico al producto.

Seguidamente se sacan y se dejan reposar para que escurra la solución y se depositan las galletas en bandejas para luego formar carros que serán llevados al horno para que se sequen. Cuando las galletas alcanzan temperatura ambiente, se clasifican de acuerdo a su nivel de calidad. Aquellas que presentan defectos se llevan a la zona de molido para ser reprocesadas. Las que presentan un nivel de calidad aceptable son empacadas.

2. DESCRIPCIÓN DE LOS PROBLEMAS ENCONTRADOS

Como resultado de la etapa de observación, se identificaron los siguientes problemas:

2.1. FALTA DE ESTANDARIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA DE LA LÍNEA DE PRODUCTOS EXTRUÍDOS.

La materia prima de los productos extruídos es retal de carnaza que queda como resultado de la actividad productiva de distintas curtiembres y fábricas de juguetes de carnaza. Esto origina que no se pueda hacer una estandarización de la materia prima, lo cual dificulta la preparación de la mezcla, pues cada vez presenta características distintas, y por tratarse de un desperdicio de su proceso de manufactura, los proveedores no pueden cambiar las características de los retales, pues esto significaría cambiar las características de sus productos. Asimismo, en el transcurso del año, la capacidad de despacho de los proveedores es variada y en algunas épocas escasa, por lo cual resulta inevitable recurrir a varios proveedores, los cuales envían cantidades distintas de retal en distintas épocas del año.

Dado que la actividad principal de los proveedores no es la producción de retales sino la fabricación de productos terminados, podemos concluir que esta es una

causa de variabilidad en el proceso que no se puede eliminar, sin embargo, sí se debe tratar de controlar al máximo, pues de la calidad de la materia prima depende el proceso de preparación de la mezcla, la cual define la calidad de los productos terminados.

2.2. DESCONOCIMIENTO DE LAS CARACTERÍSTICAS DE CALIDAD DE LA MATERIA PRIMA.

Debido a la falta de estandarización de la materia prima, no se puede establecer una fórmula estándar para lograr una mezcla con características ideales. Sin embargo, si se contara con equipos de laboratorio para análisis de alimentos se podría conocer las características de calidad de la materia prima que se va a procesar (humedad, porcentaje de grasa, tamaño del grano, etc.) y por lo tanto se podría establecer cuál es la fórmula ideal para una materia prima que tenga las características de la que se va a procesar. Esto permitiría que no importando el origen de la materia prima, siempre que un examen de composición química revele que ya se ha trabajado con una composición dada, se puede aplicar la fórmula estándar para procesar esa materia prima. El gran inconveniente es que en este momento no se cuenta con estos equipos que podrían revelar las características de calidad de la materia prima. Es recomendable implementar un laboratorio de control de calidad que permita realizar una estandarización de las fórmulas de preparación de las mezclas.

2.3. REPROCESOS.

A lo largo de todo el sistema se observan reprocesos. En la línea de productos extruídos se observan cuando en la zona de Mezclado se detecta harina de carnaza proveniente del molino que tiene un grueso de grano mayor al deseado, en este caso la harina debe ser devuelta a la zona de molido, pues de incluir esta harina el producto se haría quebradizo.

Asimismo se presentan reprocesos de la zona de extrusión a la zona de molido, pues en el proceso de armado de las bandejas se crean desperdicios que si no son depositados inmediatamente en las tolvas de las extrusoras se hacen inservibles para el proceso a menos que los mismos sean molidos nuevamente. Además de este reproceso hacia el área de molido, también se presentan reprocesos hacia la zona de mezclado, pues en ocasiones la mezcla no tiene las características adecuadas para ser extruída, sin embargo, esto sólo se aprecia cuando se empiezan a formar las pencas de extruído.

De la zona de cortado también salen inventarios en proceso para llevar a la zona de molido, pues ya que las pencas no tienen el mismo tamaño, y algunas veces se encuentran quebradas, en el corte se obtienen retales, los cuales son enviados al molino para ser reprocesados.

En la zona de empaque también existen reprocesos, ya que se encuentran productos que han pasado por todo el proceso, bien sea de extruído o de besteadado y secado de galletas por falta de inspecciones. Estos productos pasan a la zona de molido para ser convertidos en harina de carnaza.

2.4. FALLAS EN LA INSPECCIÓN DE PRODUCTOS.

La materia prima de Colec en la línea de extruído son retales de otras fábricas, las cuales, al disminuir el nivel de producción o aumentar sus niveles de eficiencia, disminuyen la creación de desperdicios, es decir, disminuyen la “fabricación” de materia prima para Colec. Para que los retales se produzcan, los proveedores deben manufacturar los productos que hacen posible la generación de desperdicios útiles para Colec, lo cual es una variable que evidentemente incontrolable por parte de la empresa.

Sin embargo se observan otras variables que si podrían ser controladas; por ejemplo, en la recepción de las galletas de carnaza no se hace una inspección para determinar el nivel de calidad de las mismas. Esta inspección sólo se hace al final del proceso, al momento de empacarlas. Lo anterior origina que se pierda capacidad en el empaque de galletas; asimismo hace que se pierda capacidad en el sistema, pues se pone a trabajar el cuello de botella con productos malos; además de esto se crean sobre costos por las aplicación de recursos a productos que sólo son aptos para el molido y por lo tanto se paga un mayor costo a un

proveedor del que se debería. Esto se debe a que un saco de galleta tiene un mayor valor que un saco de retal; al no clasificar las galletas se acepta pagar por un retal el valor de una galleta. Si tenemos en cuenta que se compran grandes cantidades de galletas, se puede concluir que se está presentando una pérdida de dinero para la empresa. Ahora bien, por hacer la inspección al final, no se puede determinar qué proveedor envió las galletas que salen defectuosas. Con simplemente hacer la inspección al inicio del proceso, se podría determinar qué proveedor está mandando galletas por fuera de las especificaciones deseadas, lo cual permitiría optimizar la labor de compra al mismo tiempo que se aumenta la producción de la empresa al no utilizar la capacidad del cuello de botella con productos malos.

Además de lo anterior, dado que un saco de galletas ocupa más espacio que un saco de retal, al no convertir estas galletas en retal se crea una mayor necesidad de espacio de almacenamiento en la zona de almacenamiento de materias primas.

2.5. CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN INSUFICIENTE.

Colec Investment Corp. cuenta actualmente con grandes oportunidades para aumentar las ventas de la compañía, sin embargo, la capacidad productiva de la empresa es una limitante para lograr esta meta. Actualmente la capacidad productiva de la empresa es insuficiente para satisfacer toda la demanda. La solución a este problema es ampliar la capacidad, lo cual sólo puede ser obtenido

incrementando la capacidad de los cuellos de botella. Esta capacidad puede estar oculta debido a que la forma en que se están realizando los procesos no es la más apropiada.

2.6. DISTRIBUCIONES EN EMPAQUE Y FALTA DE DISPONIBILIDAD DE EQUIPOS.

La distribución de las mesas en la zona de empaque varía permanentemente, de acuerdo a la referencia que se está trabajando. El proceso de empaque es desordenado, a veces debido a este cambio en la distribución de las mesas y otras debido a la falta de máquinas selladoras o básculas. Continuamente se recurre a trabajo en horas extras por carecer de estas máquinas en el momento oportuno.

2.7. SE ASUME QUE LA EXTRUSORA ES EL CUELLO DE BOTELLA.

Actualmente se define el nivel de producción con base en las extrusoras. Al no estar seguros de si estas son el cuello de botella, se puede estar corriendo el riesgo de producir más de lo que el cuello de botella puede procesar, por lo que se crea un problema de inventario y se pone en peligro la calidad de los productos por las razones antes mencionadas.

2.8. PRODUCTO TERMINADO QUE SE DAÑA.

En ocasiones se produce más de lo que se tiene programado empacar. Esto trae como consecuencia la acumulación de producto terminado corriendo el riesgo de que aparezcan de hongos y bacterias, o de que por falta de controles en el empacado, el producto se caiga y se ensucie impidiendo su posterior utilización. Esto crea una disminución en la capacidad del sistema.

2.9. PROBLEMAS DE INVENTARIOS.

Actualmente se cuenta con espacio restringido en la empresa para almacenar. Se compran grandes cantidades de materia prima, pues la misma es escasa y de no hacerlo, bien se puede perder los proveedores o no se cuenta con la materia prima en el momento en que se necesita. Esto trae como consecuencia problemas de organización, pues en ocasiones se destinan para almacenar materia prima áreas de almacenamiento de productos terminados u otras áreas de la empresa, lo cual crea problemas de tráfico mientras se elimina este almacenamiento temporal.

De igual forma se observa acumulación de producto en proceso y de producto terminado en espera de que se realice el envío del pedido. Al ser el espacio reducido, y al estar ocupada la zona de almacenamiento de productos terminados, es necesario hacer que los productos se acumulen en otras áreas de la empresa

como el área de empaque. Esto trae como consecuencia un problema de tráfico y una disminución de la eficiencia en esta área como resultado del problema de tráfico creado.

2.10. SEGURIDAD INDUSTRIAL.

No se cuenta con elementos de protección personal adecuados para los operarios que trabajan en el horno. Asimismo se trabaja en condiciones de excesiva humedad y altas temperaturas pues los hornos carecen de aislamiento térmico.

En el área de empaque se observan conexiones eléctricas inseguras, los cables de los ventiladores, los pesos y las selladoras se entrecruzan atravesando el área de manera desordenada, y mostrándose como una situación de riesgo.

2.11. PROGRAMACIÓN Y CONTROL DE LA PRODUCCIÓN..

En ocasiones se producen referencias que están por fuera del programa de producción. Esto trae como consecuencia que no se pueda hacer un seguimiento de los pedidos. En ocasiones se produce más de lo programado lo que genera que el producto se dañe por carecer de empaques en el momento oportuno.

3. SELECCIÓN Y DEFINICIÓN DEL PROYECTO DE SIMULACIÓN

3.1. SELECCIÓN DEL PROYECTO DE SIMULACIÓN.

La simulación no es algo que simplemente se hace porque se cuentan con las herramientas y un proceso en las cuales estas pueden ser aplicadas. Tampoco se debe comenzar una simulación sin antes haber desarrollado un conocimiento previo y de prepararse para realizar el proyecto.

Normalmente la decisión de utilizar simulación surge de la necesidad de buscar una solución para un problema observado. La complejidad del problema varía desde ser tan simple como conseguir una mejor utilización de un recurso o tan compleja como incrementar el throughput y al mismo tiempo reducir el tiempo de ciclo en una empresa. En cualquier caso los problemas se convierten en oportunidades para el mejorar el sistema a través del uso de la simulación.

Para maximizar los beneficios obtenibles a través de un proyecto de simulación, lo primero es la escogencia de un proyecto que tenga un impacto en la organización.

Después de realizar el proceso de observación e identificar los problemas existentes, y estudiar detenidamente la lista de problemas encontrados, podemos ver que existen cuatro problemas a los que no se le puede encontrar solución a

través de simulación. Estos son: 1) Falta de estandarización de la materia prima de la línea de productos extruídos; 2) desconocimiento de las características de calidad de la materia prima; 3) Problemas de seguridad industrial; 4) Problemas de reprocesos (pues estos son consecuencia de la falta de estandarización de la materia prima).

Así la lista de problemas candidatos a ser estudiados a través de simulación de procesos es la siguiente:

1. Fallas en la inspección de productos.
2. Capacidad de producción insuficiente
3. Distribuciones en empaque y falta de disponibilidad de equipos.
4. Se asume que la extrusora es el cuello de botella
5. Producto terminado que se daña
6. Problemas de inventarios
7. Programación y control de la producción.

Las lista anterior se ha desarrollado con base en los problemas encontrados, los cuales han sido mencionados en el capítulo anterior y sometidos a cada una de las siguientes preguntas.

1. Está el proceso bien definido?
2. La información del proceso está disponible?

3. Tiene el proceso interdependencias?
4. Muestra el proceso variabilidad?
5. Son los ahorros potenciales mayores que los costos de realizar el estudio?
6. Existe tiempo para realizar un análisis de simulación del desempeño?
7. Sería menos costoso experimentar en el sistema real?
8. Está la administración dispuesta a apoyar el proyecto?

Ahora bien, para escoger un proyecto con gran impacto en la organización se seguirá estudiando la lista anterior con el fin de detectar los problemas principales.

De la anterior lista podemos ver que algunos problemas son consecuencia de otros de los que están listados. Por ejemplo vemos que el hecho de que asuma que las extrusoras son el cuello de botella hace que se defina el nivel de producción con base en ellas, lo cual hace que al producir más de lo que puede procesar el cuello de botella se acumule inventario y el producto terminado se dañe. De igual forma esto incide sobre la capacidad de producción, pues no se puede aumentar la capacidad del sistema si no se aumenta la capacidad del cuello de botella. Asimismo las fallas en inspección de productos crean una disminución de la capacidad.

Dado que existen varios candidatos, la simulación será priorizada en orden de un análisis costo beneficio, así como también las preferencias de la administración y el tiempo disponible.

Después de realizar un análisis de cuáles son los problemas esenciales y cómo pueden ser estos estudiados en un proyecto de simulación para encontrarles solución, se ha determinado realizar un estudio de la capacidad de producción actual, identificar los cuellos de botella y evaluar el impacto que tienen los procedimientos empleados en la actualidad en el desempeño del sistema. Este será el problema a estudiar. Se hará de esta manera ya que son los cuellos de botella los que marcan el ritmo de producción de un sistema de manufactura.

3.2. DEFINICIÓN DEL PROYECTO DE SIMULACIÓN.

Para que un proyecto de simulación sea exitoso, los objetivos y el alcance deben estar claramente definidos y los requerimientos deben estar identificados y cuantificados para desarrollar el proyecto.

3.2.1 Definición del objetivo del proyecto. El objetivo de una simulación define el propósito o razón para conducir el estudio de simulación. Este debe ser realista y alcanzable, dadas las restricciones de tiempo y recursos.

El objetivo de la simulación a realizar comprende:

1. Análisis de desempeño. Cuál es el desempeño global del sistema en términos de utilización de recursos, WIP, tiempo de ciclo, throughput, etc.?
2. Análisis de capacidad y de restricciones. En dónde están los cuellos de botella?

3. Comparación de configuraciones. Qué tan bien la configuración de un sistema alcanza los objetivos de desempeño comparado con otra?

Así, el objetivo del proyecto de simulación es encontrar una configuración que permita maximizar el throughput, al mismo tiempo que se disminuyan los inventarios y se optimice el uso de los cuellos de botella, obteniendo de esta forma una mejor relación costo - beneficio.

A lo largo del estudio es probable que los objetivos se modifiquen o se expandan a medida que el proyecto avanza, pues es claro que los descubrimientos suministrados por la simulación ponen en evidencia oportunidades de mejora no antes vistas. Además de esto, el proceso de hacer simulación ayuda a clarificar mejor los objetivos. Lo que sí se tendrá muy en cuenta es tratar de permanecer los más cerca posible del enfoque inicial, para evitar una desviación de los resultados que se quieren conseguir con el estudio de simulación.

3.2.2 Definición del alcance del proyecto. El alcance es esencialmente una especificación del proyecto que ayuda a establecer las expectativas al clarificar a las personas involucradas en el proyecto de simulación exactamente lo que la simulación incluirá y excluirá. Esta especificación es especialmente importante ya que debido a que el proyecto va a ser realizado por un consultor externo, debe haber un mutuo entendimiento de lo que se requiere que el modelo entregue como resultado.

Dado que se realizará una evaluación de las mejoras posibles a un sistema existente, es deseable modelar primero el sistema actual. Los resultados de este modelo serán comparados con el sistema del mundo real para validar el modelo de simulación. Así este modelo servirá como referencia para evaluar las alternativas con base en una comparación entre los indicadores de desempeño de la alternativa modelada con los del sistema real obtenidos a través del modelo de simulación validado.

Para definir claramente cuál es el alcance del proyecto se debe especificar cuál es:

- El alcance del modelo.
- Nivel de detalle.
- Responsabilidades de recolección de datos.
- Experimentación.
- El formato de presentación de resultados

3.2.2.1 Alcance del modelo. El alcance del modelo se refiere a qué elementos del sistema deben estar representados en el modelo. Esta elección se hará basados en qué tanto una actividad en particular contribuye a alcanzar los objetivos de la simulación.

En ocasiones, para alcanzar los objetivos del proyecto es necesario modelar todos los elementos del sistema; en otras, solo es necesario modelar una parte de los mismos. La elección dependerá de los objetivos del proyecto y las decisiones que se tomarán con base en él. En ocasiones el área del problema y todas las variables relevantes están aisladas dentro de un subsistema que puede ser estudiado en forma separada sin afectar los resultados esperados.

Citando los lineamientos definidos al respecto por Harrel, Gosh y Bowden en su libro *Simulation Using ProModel*, “si la tasa de llegada a una actividad B es razonablemente predecible, basado en cómo se comporta la actividad A, la actividad A puede ser excluida del modelo y ser únicamente modelada como una tasa de llegada a la locación donde se desarrolla la actividad B. Asimismo, si después en una actividad E los resultados no tienen impacto sobre el estudio la misma puede ser ignorada”. La determinación de qué elementos deben ser eliminados debe estar basada en la relevancia con los objetivos del estudio. Una actividad que no tenga impacto en el flujo del proceso puede ser ignorada sin mayores riesgos.

Así se ha definido que para estudiar el comportamiento del sistema en la línea de extruídos se partirá de las extrusoras, pues el proceso de mezclado no es estándar, y por lo tanto su modelado es complejo y los resultados obtenidos pueden estar poco ajustados a la realidad. La tasa de llegada a las extrusoras sin embargo, es mucho más claramente definible, pues dado que la empresa tiene la

política de utilizar las extrusoras el mayor tiempo posible, solo se necesita una tasa de llegada que permita tener en operación las extrusoras. Para este fin se tomará el tiempo de operación de la extrusora y se utilizará este como la media de la distribución. Para incluir variabilidad dentro del modelo se disminuye un poco el valor del tiempo de la operación y se agrega una pequeña desviación estándar arbitraria; esto con el fin de agregar variabilidad sin causar mayores alteraciones en los resultados del modelo. Como consecuencia de lo anterior también se excluirán el almacenamiento de retales y las mezcladoras del modelo, ya que se encuentran antes de las extrusoras en el flujo de proceso.

Por limitaciones de tiempo, la tasa de llegada de las galletas se tomará de forma arbitraria, pero contando para ello con la orientación del jefe de producción, con el fin contar con un dato lo más apegado posible a la realidad y facilitar la validación del modelo al correr el modelo de simulación y el sistema real bajo unas mismas condiciones.

3.2.2.2 Definición del nivel de detalle. Determinar el nivel apropiado de detalle es una decisión importante. Demasiado detalle hace del estudio una tarea dispendiosa que requiere una mayor duración tanto para desarrollar como para validar. Muy poco detalle puede hacer que el modelo sea poco realista al hacer el proceso muy simple.

El nivel de detalle está determinado por el grado de precisión requerido en los resultados. Si solo se busca un resultado aproximado, puede ser suficiente modelar sólo la secuencia de flujo y los tiempos de procesamiento. De otro lado, si se necesita una respuesta más detallada y apegada a la realidad, todos los elementos que influyen en el comportamiento del sistema deben ser modelados con precisión.

Por limitaciones de tiempo y de recursos, se incluirá en el modelo sólo los factores más relevantes. No se incluirán los recursos que intervienen y las rutas seguidas por los mismos en el proceso, así como tampoco los reprocesos existentes.

3.2.2.3 Responsabilidad en la recolección de datos. En cualquier proyecto de simulación, la recolección de datos es casi siempre la tarea más difícil y más larga. Identificar los requerimientos de datos y quien será responsable de recolectar los datos es esencial si se quiere tener éxito en esta actividad. Si el modelador va a recolectar los datos, es importante contar con la total cooperación de aquellos que poseen los mismos.

La recolección de datos se hará de forma directa, ya que actualmente no existen datos que sean utilizables directamente en un modelo de simulación. Por tal razón, y para garantizar que los datos obtenidos sean utilizables en un modelo, los datos serán recolectados por los autores de este trabajo. No es posible fijar fechas para la recolección de datos, lo cual hace que este proceso sea un poco

largo. Esto se debe a que como se mencionó con anterioridad, la producción no se hace de acuerdo con el programa de producción.

3.2.2.4 Planeación de la experimentación. Para estudios en los que se desea realizar mejoras de sistemas existentes, siempre es útil y efectivo modelar el modelo actual así como también los modelos propuestos. Esto es debido a que no se puede estar listos para hacer mejoras a un sistema sin antes entender cómo funciona el mismo. Una vez sea construido un modelo del sistema actual, es más fácil visualizar qué cambios son necesarios en el sistema. En la presentación final de los resultados se mostrarán ambos modelos para mostrar de forma efectiva las diferencias en el desempeño.

Se correrán pruebas piloto a medida que el modelo es construido, con el fin de identificar errores en el modelo. Se partirá de una validación del flujo del proceso. Una vez realizado esto, se incluirán los tiempos de arribos y de operación. Seguidamente se incluirán los indicadores de desempeño. Una vez listo el modelo, se hará una corrida y se estudiarán los resultados obtenidos de la misma. Con base en esto se harán propuestas de mejora hasta encontrar una solución satisfactoria. Este procedimiento será seguido para la construcción de todos los modelos creados durante el estudio de simulación.

3.2.2.5 Determinación de la forma de presentación de resultados. La forma en que se presenten los resultados varía de acuerdo al público al que se van a

presentar. En ocasiones basta con dar ciertas cifras, en otras es necesario presentar un documento completo, que detalle las metas, fuentes de datos, recursos, procedimientos de modelaje, suposiciones, experimentos y análisis de resultados y recomendaciones. La clave para determinar el tipo y cantidad de información a presentar a la gerencia es preguntar cuál es la naturaleza de la decisión que se va a tomar y cuál es la formación de la persona que va a tomar la decisión. La atención debe estar centrada en suministrar información adecuada y visualización efectiva para que se pueda tomar la decisión correcta.

La mayoría de los gerentes necesitan sólo unos datos claves. Se debe tener bien presente que la gente y no los modelos toman la decisión final. Con esto en mente, cada esfuerzo debe ser hecho con el fin de que la gerencia entienda claramente las opciones y consecuencia asociadas. El uso de gráficas ayuda a visualizar y enfocar la atención en factores claves. Por este motivo, se utilizarán gráficas para sustentar las conclusiones del estudio. Se tratará en todo momento de presentar pocas gráficas, para no confundir a la gerencia, pero las suficientes para mostrar los resultados obtenidos y tomar decisiones con base en estos.

3.2.3. Definición de los requerimientos del proyecto. Como es natural, el tiempo para desarrollar un proyecto de simulación varía de acuerdo al tamaño y dificultad del proyecto. Los requerimientos de tiempo son difíciles de predecir, por lo cual se utilizó la guía que al respecto han desarrollado Harrell, Ghosh y Bowden en su libro *Simulation Using ProModel*: Si se tienen datos disponibles, típicamente

se requieren de dos a cuatro semanas, de lo contrario puede tomar en promedio de dos a cuatro meses.

La recolección de datos toma aproximadamente 50% del tiempo del proyecto.

La construcción y validación del modelo es relativamente corta y toma alrededor de dos semanas.

En la elaboración de propuestas y conducción de experimentos se invierten aproximadamente cuatro días.

4. RECOLECCIÓN DE DATOS, CONSTRUCCIÓN Y VALIDACIÓN DEL MODELO

4.1. PROCESO DE RECOLECCIÓN DE DATOS.

El resultado de la recolección de datos es un modelo conceptual o mental de cómo está configurado el sistema y cómo opera el mismo. Este modelo conceptual puede tomar la forma de una descripción escrita, un diagrama de flujo, etc.

La información rara vez se encuentra en una forma que se pueda usar directamente en la construcción del modelo. Casi siempre necesita ser filtrada y manipulada para que tenga el formato adecuado para reflejar las condiciones bajo las cuales será analizado el sistema. Muchos esfuerzos de recolección de datos terminan con una gran cantidad de datos, pero muy poca información relevante.

Dado que la información existente no podía ser utilizada directamente en un modelo de simulación, los datos necesarios para desarrollar el modelo se recolectaron mediante observación directa utilizando una medición del trabajo.

Para ello se tuvo siempre en mente los siguientes lineamientos:

1. Identificar los acontecimientos que provocan el evento. Para saber cuál era la causa del evento.
2. Enfocarse únicamente en los factores de impacto claves. Eliminar aquellas actividades que no tienen impacto en el flujo del proceso.
3. Aislar los tiempos de actividades.
4. Buscar características comunes para agrupar los productos, ya que cuando se trabaja con una gran variedad de productos, la solución es reducir los datos a los patrones de comportamiento comunes. Una manera de hacer esto es identificar las categorías generales dentro de las cuales pueden caer todos los datos. Esto se hizo utilizando el concepto de tecnología de grupos.
5. Enfocarse en la esencia y no en la sustancia. Enfocarse principalmente en las relaciones causa – efecto e ignorar aquellos detalles que no aportan nada en la consecución de los objetivos de la simulación.
6. Separar las variables de entrada de las de salida. Las variables de entrada definen cómo funciona el sistema (tasa de llegadas, tiempos de actividad, secuencias de procesamiento, etc.) Las variables de respuesta describen cómo responde el sistema de acuerdo a las variables de entrada que se le hayan dado (WIP, TH, etc.)

Para realizar la recolección de los datos se siguió la siguiente secuencia:

1. Determinar los requerimientos de datos.

2. Identificar las fuentes de datos.
3. Recolectar los datos.
4. Analizar los datos.
5. Documentar y aprobar los datos.

4.1.1. Identificación de los requerimientos de datos. Los datos que se requieren en la construcción de un modelo de simulación son los siguientes:

Datos Estructurales: Entidades, recursos, locaciones.

Datos Operacionales: Rutas, comportamiento de las paradas, secuencia de procesamiento, ubicación de recursos.

Datos Numéricos: Capacidades, tiempos entre llegadas, tiempos de actividad, tiempo entre fallas.

4.1.2. Identificación de las fuentes de datos. Las fuentes de datos son de naturaleza primaria y secundaria. Los datos obtenidos por observación directa, como son los tiempos de actividad, tiempos entre llegadas, tiempo entre fallas, etc. se constituyen en datos tomados de una fuente primaria. Estos fueron tomados utilizando una medición del trabajo en cada una de las estaciones del proceso. Otros datos como las rutas, capacidades, etc. fueron tomados por medio de

entrevistas con el personal, lo cual los constituye en datos tomados de fuentes secundarias.

4.1.3. Recolección de los datos. Los datos identificados con anterioridad fueron tomados en el transcurso de dos meses, por medio de observaciones directas.

Datos Estructurales:

Después de aplicar tecnología de grupos, se identificaron las siguientes entidades:

- Bandeja de corte en húmedo
- Carro de corte en húmedo
- Bandeja corte húmedo besteadada
- Carro corte húmedo besteadado
- Bandeja corte seco
- Carro corte seco
- Bandeja corte seco besteadado
- Carro corte seco besteadado
- Bandeja galletas besteadadas
- Carro galletas besteadadas
- Bandeja galletas naturales

Las locaciones identificadas son:

- MEZCLADORA
- EXTRUSORA CORTE HÚMEDO
- EXTRUSORA CORTE SECO
- AMORTIGUADOR DE LAS CORTADORAS
- AMORTIGUADOR DE LOS HORNOS
- CORTADORA
- HORNO 1
- HORNO 2
- SALIDA HORNO 2
- SALIDA HORNO 1
- EMPACADO
- ALMACÉN GALLETAS
- ZONA BESTEADO
- AMORTIGUADOR DE BESTEADO
- AMORTIGUADOR DE EMPAQUE
- Loc1
- AMORTIGUADOR DE PESADO
- PESADO
- AMORTIGUADOR DE SELLADO
- SELLADO

- AMORTIGUADOR HORNO 1
- AMORTIGUADOR HORNO 2
- SALIDA

Algunas de estas locaciones no existen en el modelo real. Sin embargo, debido a la forma en que se introducen las instrucciones en Promodel, sí son necesarias incluirlas dentro del modelo para que éste refleje el comportamiento del sistema real y para evitar que se creen ciclos dentro del modelo que no permitan el correcto funcionamiento del mismo. Las locaciones antes mencionadas son: Salida horno 1, salida horno 2, loc1 y SALIDA.

Datos Operacionales:

Los datos operacionales recolectados se encuentran consignados en la descripción de los procesos.

Datos Numéricos:

Los datos numéricos se encuentran consignados en las tablas. (Ver anexos)

4.1.4. Análisis estadístico de datos numéricos. Los datos rara vez se encuentran listos para usarse en un modelo de simulación. Usualmente, se necesita hacer algunos análisis para que los datos puedan ser utilizados como variables de entrada para un modelo de simulación. Los valores que toman las

variables medidas (tiempos de operación, tiempos entre arribos, etc.) deben ser ajustados a una distribución teórica, como por ejemplo, una distribución normal o exponencial, o darles entrada como una distribución de frecuencia. Las actividades pueden necesitar ser agrupadas para simplificar la descripción de la operación de sistema.

Para definir una distribución usando una distribución teórica, lo cual se hará en el presente trabajo, se requiere que los datos, si estos están disponibles, se ajusten tanto como sea posible a la distribución que mejor describa el comportamiento de la variable. Para este fin se utilizará Stat::Fit, el cual es un software que permite realizar el análisis de escogencia de la distribución y aporta los parámetros de la distribución de datos para poder utilizarla en ProModel.

Cuando se toman muestras de una población que es estática, se puede aplicar una análisis de estadística descriptiva y sacar inferencias razonables acerca de la población. En cambio, al recoger datos de sistema dinámico y posiblemente variable en el tiempo, se debe estar alerta para detectar tendencias, patrones y ciclos que pueden ocurrir en el tiempo. Las muestras tomadas pueden no ser homogéneas y, por consiguiente, inadecuadas para ejercer técnicas descriptivas simples.

Previo al desarrollo de la representación de los datos, estos deben ser analizados para garantizar que estén listos para ser usados en un modelo de simulación. Se

deben determinar características de los datos tales como independencia (aleatoriedad), homogeneidad (los datos provienen de una misma distribución), e invariabilidad (la distribución de los datos no cambia en el tiempo).

Para hacer esto se hacen análisis de la estadística descriptiva de los datos de entrada (tiempos de operación, tiempo entre llegadas, etc.) con el fin de determinar la invariabilidad de los datos; para garantizar la independencia de los datos se hace el Scatter Plot de los datos, el Autocorrelation Plot y los Runs Test; por último para identificar la homogeneidad de los datos, se elabora el histograma. Este procedimiento será seguido para cada conjunto de datos que se vaya a incluir dentro del modelo de simulación. (Ver anexos)

Una vez comprobado que las distribuciones han pasado los tests antes mencionados, se procedió a utilizar la función de Auto::Fit, la cual realiza pruebas de bondad de ajuste para varias distribuciones y le asigna una calificación de acuerdo a su bondad de ajuste relativa. Una vez hecho esto se escogieron las distribuciones que obtuvieron los mayores puntajes y se observaron el Comparison Graph, el cual permite comparar gráficamente la distribución de datos (en barras azules) con la distribución teórica (línea roja); el Difference Graph, en el que se muestran las diferencias entre los datos de entrada y la distribución seleccionada; el Probability-Probability (P-P) Plot, el cual compara las probabilidades acumuladas de la distribución suministrada con los de la distribución normal y el Quantile-Quantile (Q-Q) Plot el cual compara los cuantiles

de la distribución suministrada con los de la distribución normal. Estas dos últimas gráficas son utilizadas para comprobar si un conjunto de datos siguen alguna distribución específica; si se ha escogido la distribución adecuada, ambos gráficos deben ser mostrar aproximadamente una línea recta.

Después de observar los gráficos antes mencionados, se procedió a escoger aquella distribución teórica en la que mejor encajaron los datos y se tomaron los parámetros de la distribución a través de la función Export para luego incluirlos dentro del modelo de simulación. (Ver anexos).

4.2. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN.

Para la construcción del modelo se definió inicialmente la unidad del estudio, la cual se determinó que debía ser una bandeja, pues esa es la base para la planeación y programación de la producción en la empresa, y por lo tanto hace más sencillo comprender los resultados. Se definieron las locaciones, tanto reales como ficticias (usadas solo para efectos de animación y de eliminar ciclos sin fin en la línea de extruídos besteados). Se definió el flujo del proceso en el processing, haciendo uso de atributos en los cuadros lógicos para definir la ruta a seguir de los productos extruídos besteados. Durante la construcción del modelo se corrieron inicialmente pruebas pilotos a medida que el modelo era construido, definiendo arribos solamente para una línea de productos a la vez, con el fin de identificar errores en el modelo. De esta manera se identificaron los ciclos sin fin

en la línea de extruídos besteados, los cuales fueron eliminados utilizando un atributo asociado con entidad, otro asociado con locación y la función User Condition. Una vez realizado esto, se incluyeron los tiempos entre arribos reales y los tiempos de operación. Para simular los turnos de trabajo, se definieron shifts para cada estación de trabajo.

Vale la pena anotar que dado que en la empresa se mantiene la mayor parte del tiempo las extrusoras en actividad, la tasa de llegada es tal que permita lograr esto. Se ha tomado el tiempo de la operación y se establece esta como media de la distribución de arribos. Se agrega algo de variabilidad por medio de una pequeña desviación estándar utilizando como base una distribución normal. La tasa de llegada para las galletas, como se mencionó anteriormente se estableció conjuntamente con el jefe de producción.

Luego de haber comprobado que el modelo se comportara de forma muy similar al modelo real, se incluyeron las variables que fueron utilizadas como indicadores de desempeño; las cuales a su vez servirán de base para la validación del modelo (WIP, Tiempo de ciclo, Bandejas producidas, Throughput). (Ver anexos.)

WIP: está especificado en bandejas. Representa el trabajo en Proceso. Si bien la variable es de tipo entera, en el modelo está definida como real ya que al final no se tienen bandejas sino paquetes, los cuales solo son una porción de la bandeja original. Por tal motivo se define en el modelo como una variable de tipo real.

Tiempo de Ciclo: está especificado en horas. Indica el tiempo que dura una entidad dentro del sistema.

Bandejas Producidas: Indica la cantidad de bandejas producidas en un intervalo de tiempo. Si bien la variable es de tipo entera, en el modelo está definida como real ya que al final no se tienen bandejas sino paquetes, los cuales solo son una porción de la bandeja original. Por tal motivo se define en el modelo como una variable de tipo real.

Throughput: Está indicada en bandejas por hora. Representa la tasa de salida del sistema.

4.3. VALIDACIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN.

Antes de utilizar un modelo de simulación en el estudio de un sistema, se debe estar seguro de que el modelo refleje el comportamiento del sistema real por lo menos aproximadamente. En otras palabras, se debe comprobar la validez del modelo.

Para comenzar con la validación del modelo se siguió la siguiente metodología:

1. Validación de la secuencia del flujo de proceso. Se corrieron pruebas pilotos en las que se le asignaron valores de cero en los arrivals de las entidades que no se estaban teniendo en cuenta y de infinito en aquellas que sí. Esto fue realizado para todas las entidades que entran al modelo (bandejas). En este proceso se identificaron ciclos sin fin en los productos besteados. Para eliminar estos ciclos se crearon dos locaciones ficticias en las que por medio del uso de atributos y de la regla User Condition en el move logic se logró hacer que todas los productos del modelo de simulación siguiesen la secuencia del flujo de proceso del sistema real.
2. Validación de los valores de las variables. Para hacer esto, se realizó una corrida con un tiempo de calentamiento de 30 horas (dado que el modelo es no-terminal) y se corrieron 168 horas adicionales (una semana) para validar los resultados obtenidos de esta prueba y se sometieron al juicio del jefe de producción, en donde se encontraron diferencias de aproximadamente el 9.2% entre los valores de throughput real y el throughput del modelo, lo cual puede deberse a los reprocesos que se dan en el modelo real y que no fueron incluidos en el modelo de simulación, como había sido determinado en la definición del alcance del modelo por limitaciones de tiempo.

5. DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA ACTUAL

Al modelar el sistema productivo de Colec en su situación actual, y después de haber sometido a análisis los resultados obtenidos del proceso de simulación podemos hacer las siguientes observaciones:

La operación de pesado se muestra como el cuello de botella del sistema, lo que se verifica en el sistema real al observar grandes cantidades de material en proceso acumulados en el amortiguador de pesado. (Ver modelo de simulación *Monografía Colec y Gráficos de locations states sistema actual*)

Como se planteó anteriormente el objetivo del presente proyecto de simulación es encontrar una configuración que permita maximizar el throughput, al mismo tiempo que se disminuyan los inventarios y se optimice el uso de los cuellos de botella, obteniendo de esta forma una mejor relación costo - beneficio. Por la teoría de restricciones divulgada por Goldratt sabemos que al aumentar la capacidad del cuello de botella se puede aumentar el throughput; esto siempre y cuando no exista una capacidad inferior en la demanda que la encontrada en todo el sistema, es decir, que el cuello de botella no esté en la demanda. Este no es el caso para Colec Investment, pues como se mencionó con anterioridad la demanda es mucho mayor que la capacidad disponible. Así, podemos decir que para aumentar el

throughput de Colec Investment basta con aumentar la capacidad del cuello de botella.

Dado que la operación cuello de botella es quien marca el ritmo de producción, se debe aumentar la capacidad de esta, si lo que se busca es aumentar la capacidad del sistema productivo. Por lo tanto, se puede afirmar que es necesario adquirir básculas adicionales si se desea aumentar el nivel de producción, ya que por problemas de sanidad que se han presentado en el pasado (aparición de bichos en los paquetes), se ha determinado no trabajar en horarios nocturnos. Ahora bien, dado que el costo de adquirir una báscula es relativamente bajo, pues oscila alrededor de ocho cientos mil pesos, es recomendable adquirir básculas adicionales para agregar confiabilidad al cuello de botella, y de esta manera garantizar que la capacidad del sistema no baje cuando se realicen calibraciones o algún tipo de mantenimiento.

Del análisis de las gráficas de resultados también se observa que las selladoras son el segundo recurso con capacidad restringida, por lo cual al aumentar la confiabilidad de la estación de pesado, el cuello de botella se puede trasladar eventualmente a la zona de sellado, por lo cual se recomienda adquirir una selladora adicional (cuyo costo es de aproximadamente doscientos mil pesos).

Vale la pena anotar que a pesar que en la actualidad existen problemas de inventarios sí se puede pensar en aumentar los niveles de producción, pues una

de las causas de este problema es la reducida área con que se cuenta en la planta, por lo cual recientemente se realizó la compra de una nueva bodega en donde se realizará el proceso de producción de galletas, que es precisamente la línea de productos que mayor área de almacenaje demanda. Por lo tanto al aumentar el nivel de producción no se ahondará el problema de inventarios, pues ya no se contará con la línea de galletas dentro de la planta actual.

Para disminuir los niveles de inventarios es necesario que estos roten con una mayor agilidad. Como es evidente, dado que el cuello de botella se encuentra al final de la línea de producción, los inventarios acumulados en el sistema actual pueden ser reducidos al aumentar la capacidad en el cuello de botella.

6. FORMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE PROPUESTAS DE MEJORA.

Para efectos del estudio se realizó la simulación de tres propuestas de mejora para el sistema actual y se procedió a realizar el respectivo análisis a cada una de ellas, con el fin de compararlas escoger la mejor alternativa. (Ver modelos de simulación *Monografía Colec Propuesta*, *Monografía Colec Propuesta 2*, *Monografía Colec Propuesta 3* y *Monografía Colec Futuro*)

6.1. FORMULACIÓN DE PROPUESTAS.

6.1.1. Propuesta 1. Dado que el proceso de pesado se ha identificado como un cuello de botella dentro del sistema, se pretende aumentar su capacidad con el fin de incrementar los niveles de producción y disminuir los inventarios en proceso que se acumulan en esta operación, para tales efectos se propone la inclusión de un nuevo aparato de pesado en el sistema.

Sin embargo, como sellado se vislumbra como la segunda operación con menor capacidad de procesamiento, no sería correcto aumentar las entradas en este punto sin aumentar la capacidad de esta operación, pues se correría el riesgo de eliminar un cuello de botella (pesado) para crear otro, (sellado) y en este caso la mejora sería casi nula. Por lo tanto se recomienda la inclusión de una nueva selladora.

El costo de esta propuesta es relativamente bajo comparado con los beneficios que traería, el costo oscila alrededor de un millón de pesos, que es lo que suman los precios de una selladora y un peso adicionales.

Para representar esta propuesta en el modelo de simulación se han agregado una unidad de pesado y una de sellado al modelo original. El modelo contiene los turnos de trabajo actuales para cada estación. Estos fueron definidos mediante shifts.

6.1.2. Propuesta 2. La propuesta dos contempla, además de los cambios de la propuesta anterior, el aislamiento térmico del horno, para lo cual se debe utilizar un material aislante del calor que recubra las paredes exteriores del mismo, con el fin de evitar la pérdida de calor por conducción, lo cual se traduce en tiempos de secado más cortos y un mayor aprovechamiento de los túneles de secado.

Para representar esta propuesta en un modelo de simulación se tomó un valor tentativo de diez por ciento de reducción en el tiempo del horno. Para utilizar un dato exacto es necesario conocer la cantidad de calor que se pierde por las paredes del horno, para luego mediante ecuaciones termodinámicas establecer el tiempo de secado. Sin embargo, por limitaciones de recursos, esto se ha modelado así para efectos de construcción del modelo.

Se hace esta propuesta con el fin de lograr un ambiente laboral más favorable. Los clientes actuales de la empresa cada vez exigen mejores condiciones para los trabajadores, y dado que recientemente se ha contratado una nueva fuerza de ventas en Estados Unidos es muy probable que brindar a los empleados un clima laboral más agradable puede significar un punto a favor a la hora de tomar la decisión de firmar un contrato con Colec Investment. Además de esto se ahorra en combustible para el horno, pues dado que mediante un sistema de termocuplas se regula la temperatura en el horno, la pérdida de calor a través de las paredes debe ser compensada con un aumento en la temperatura del quemador. Al aislarse térmicamente el horno se elimina la necesidad de utilizar el combustible consumido para compensar la pérdida de calor.

6.1.3. Propuesta 3. Como se mencionó anteriormente, poner en funcionamiento el área de empaque durante las horas de la noche representa actualmente un riesgo de calidad, dado que durante estas horas se incrementa exageradamente el número de bichos e insectos en el ambiente, lo que en el pasado ha provocado devoluciones de producto que ha sido empacado a estas horas, por presentar animales en el interior de las bolsas.

Lo que se propone es el aislamiento de esta zona, es decir, impedir la entrada de insectos al área de empaque mediante el uso de puertas con guardas o escobillas en la parte inferior de estas. Para de esta forma poder laborar durante toda la noche, como se hace actualmente con las extrusoras. Lo que se pretende con

esta propuesta es el incremento en la producción y la mejor utilización del área de empaque.

Para lograr esto se ha creado un nuevo turno de trabajo para las áreas de pesado y sellado. El resto del modelo es igual a la propuesta uno.

6.2. EVALUACIÓN DE PROPUESTAS.

Los cambios sugeridos en cada una de las tres propuestas anteriores fueron sometidos a simulación y comparados con el modelo inicial, para de esta forma realizar un análisis que permita recomendar una de las tres propuestas como la mejor alternativa de mejora.

Al simular las alternativas sugeridas observamos un aumento del throughput, incremento en los volúmenes de producción, disminución del tiempo del ciclo y de los niveles de inventarios, resultados que son comunes para todas las propuestas.

MODELO	SISTEMA	PROPUESTA 1	PROPUESTA 2	PROPUESTA 3
VARIABLE	ACTUAL			
BANDEJAS PRODUCIDAS	737.55	995.62	994.4	1108
THROUGHPUT	4.03	5.34	5.33	5.82
WIP	2428.73	2277.99	2279.56	2214.15
TIEMPO DE CICLO	108.15	105.05	106.26	107.83

A pesar de que las mejoras son notables en todas las alternativas, se observa que para la Propuesta 3 los incrementos en la producción son mayores, sin embargo

por experiencias anteriores en Colec Investment, la eficiencia de los operarios de la sección de empaque, pesado y sellado disminuye al trabajar en horario nocturno y los costos asociados con la misma (costo horas-hombre, costo de la obra civil) son mayores que en las propuestas anteriores y dada la incertidumbre en los resultados obtenibles de esta propuesta, se piensa que tan vez no llegará a compensar los elevados costos con la producción alcanzada; por esta razón no se recomienda.

La Propuesta 2 representa costos menores que la Propuesta 3, pero también beneficios económicos menos notorios, la real ventaja de esta propuesta es que brinda un mejor clima laboral para los operarios, pues al aislar el horno, la temperatura del sitio de trabajo desciende y los niveles de productividad de los empleados tienden a aumentar. Es una alternativa que se debe someter a consideración, teniendo en cuenta que los nuevos clientes de la empresa han exigido a esta la mejora del clima organizacional y de las condiciones laborales en general. Se puede observar en el modelo *Colec Futuro*, en el cual se muestra la planta después de separar la línea de galletas de la extruído, que no se requerirá optimizar el uso de los hornos, sin embargo, para asegurar la supervivencia de la empresa mediante la consecución de nuevos clientes, el crear un ambiente más favorable para sus trabajadores cobra cada vez más importancia, por lo cual es recomendable realizar esta mejora. Además de esto se ahorra en combustible, como se mencionó con anterioridad.

Los beneficios económicos de la Propuesta 1 a pesar de ser menores que los presentados en la Propuesta 3, también presenta menores costos, por lo que se considera como la alternativa de más fácil implementación en el corto plazo.

Las Propuestas que permiten alcanzar mejores resultados son la 1 y la 2. Al observar la tabla de resultados encontramos que la Propuesta 1 presenta mejores resultados; sin embargo es evidente que la Propuesta 2 contiene a la primera, y por lo tanto la diferencia en resultados puede deberse pequeñas variaciones en el procesamiento de los datos. Esto es más evidente al revisar los datos de Bandejas producidas discriminados por referencia, pues encontramos que ambas propuestas arrojan la misma cantidad de bandejas producidas para cada tipo de producto. (Ver Anexos)

Se considera por lo tanto que la mejor opción es la propuesta dos, ya que arroja mejores resultados para las variables en estudio que la propuesta 3, presenta los mismos resultados que la propuesta 1 y presenta beneficios intangibles tales como un ambiente laboral más agradable, lo cual puede redundar en aumentos en la productividad. Asimismo permite ahorros en combustible y facilita la labor de consecución de clientes que, cada vez más, se preocupan por el bienestar de los trabajadores.

Como una recomendación adicional se sugiere eliminar poner a trabajar la estación de pesado y sellado en las horas de almuerzo, haciendo esto mediante cambios de turnos para estas secciones. Así, se logra aumentar la capacidad del

sistema a través de la optimización del cuello de botella, buscando el bienestar para el trabajador a un costo relativamente bajo.

7. CONCLUSIONES

Al usar un modelo de computador para modelar un sistema antes de ser construido o para probar políticas operacionales antes de que sean implementadas, muchos de los obstáculos que son encontrados en el arranque de un nuevo sistema o en la modificación de sistemas existentes pueden ser evitados.

Las características de la simulación que la hacen una herramienta tan poderosa en la planeación y toma de decisiones son las siguientes:

- Captura las interdependencias de los sistemas
- Incluye variabilidad en el sistema.
- Es lo suficientemente versátil para modelar cualquier sistema.
- Muestra el comportamiento a través del tiempo.
- Es menos costoso, se requiere menos tiempo, y hay caos que experimentar en el sistema real.
- Provee información de múltiples medidas de desempeño.
- Provee resultados que son fáciles de entender y comunicar.
- Las corridas son comprimidas.
- Atrae el interés de la gente ya que tiene atractivo visual.

- La simulación promueve una actitud proactiva que estimula la innovación y da libertad al pensamiento. Le agrega emoción a la toma de decisiones al arrojar evidencia objetiva que es difícil de rebatir.

Queda claro que la simulación no es en sí misma una herramienta que determine la mejor solución a los problemas, mas sí permite evaluar cada una de las soluciones propuestas. Describe como se comportará un sistema bien definido, mas no indica cómo debería estar diseñado.

La simulación por lo tanto exige tener un claro entendimiento acerca del correcto funcionamiento de un sistema. En lugar de ser percibida como un sustituto del proceso de pensamiento, la simulación debe ser vista como una extensión de la mente que facilita el entendimiento de las dinámicas complejas de los sistemas.

La simulación tiene ciertas limitaciones de las cuáles se debe estar consciente antes de tomar la decisión de aplicarla a una situación dada. No es una panacea para todos los problemas relacionados con sistemas y debe ser utilizada sólo si el caso es apropiado para simular.

Antes de comenzar a simular se debe tener una visión amplia y clara de cuál es el problema que se someterá a estudio y estar plenamente seguro de que no existen métodos mas económicos y rápidos para dar solución al mismo, pues de existir se

estarían sacrificando recursos y tiempo para no recibir beneficios adicionales a los que brindaría otro método.

La etapa de planeación es de especial importancia en el desarrollo de un proceso de simulación, ya que durante esta se establecen los objetivos del proyecto de simulación, los cuales sirven de guía para la recolección de datos. El no tener los objetivos claramente definidos puede hacer que se realicen más esfuerzos de los necesarios para lograr los resultados esperados del proyecto de simulación.

Durante la etapa de recolección de datos se deben tener presentes los objetivos del proyecto de simulación, de no hacerlo se pueden recolectar datos que resultarán de poca utilidad en la etapa de construcción del modelo. Se debe tener presente la forma en que estos serán introducidos al software y de qué manera afectará incluir los tiempos de preparación, paradas, etc. al modelo de simulación. Si esto no es tenido en cuenta se pueden realizar esfuerzos en la recolección de datos que poco servirán en la construcción del modelo, o en caso de que se decida utilizarlos, pueden generar resultados viciados y poco confiables.

En la etapa de construcción del modelo de simulación se deben correr pruebas piloto, pues omitir este paso en modelos que trabajen con varios tipos de entidades puede traer como consecuencia que se pasen por alto errores en el funcionamiento de las variables, así como también en el flujo del proceso. Asimismo, la corrección de los errores cometidos se hace más sencilla, pues el

problema se centrará en la corrección del processing para una entidad específica y no para todas las entidades.

La etapa de validación del modelo puede requerir del tiempo y del esfuerzo de personas ajenas al proyecto de simulación, por lo cual, es importante el apoyo manifiesto de la administración en el desarrollo del mismo, pues de lo contrario, este proceso que permite evaluar el grado en que un modelo de simulación refleja el comportamiento del sistema real puede tomar mucho tiempo y esfuerzo por parte del analista. Asimismo, esta etapa permite detectar errores en la construcción del modelo, por lo cual es de vital importancia y le da credibilidad al modelo desarrollado, haciendo que los resultados obtenidos de un modelo de simulación sean difíciles de refutar y despierten el interés del público en general.

En la presentación de resultados no es necesario mostrar todas las gráficas aportadas por los software de simulación existentes, mas sí aquellas que sean claves para mostrar las conclusiones del proyecto.

8. RECOMENDACIONES

Para los productos extruídos es muy conveniente agregar una estación que se encargue exclusivamente a la preparación y el control de calidad de las mezclas. Esto se debe a que en esta sección se determina la calidad de los productos extruídos, los cuales pasan a través del cuello de botella y al resultar defectuosos desperdician la capacidad del mismo. Si bien es cierto que actualmente se realizan inspecciones físicas de la mezcla para determinar si la consistencia es la adecuada, también es cierto que continuamente se hacen reprocesos y lastimosamente algunas veces estos tienen que ser realizados desde la sección de empaque. Por todo lo mencionado se sugiere entonces implementar el control físico-químico de las mezclas, ya que mediante él se puede determinar qué está ocasionando exactamente que los productos resulten defectuosos y establecer un procedimiento estandarizado para preparar las mezclas de acuerdo a las características propias de cada una de las calidades ofrecidas por los proveedores. Algunos de las propiedades que se podrían estudiar son la densidad de la masa, el nivel de humedad, el contenido de grasa, etc. Los esfuerzos que se realicen en control de calidad redundarán en beneficios económicos para la empresa ya que se reducirían los reprocesos y se aumentaría el flujo de proceso, aumentando asimismo la capacidad de todo el sistema productivo. De igual manera permite mantener los estándares exigidos por los clientes, lo cual ayudará

a mantener una buena imagen de la empresa y facilitará el proceso de comercialización.

Dado que las horas perdidas en un cuello de botella están perdidas para siempre es importante aprovechar al máximo el tiempo disponible del cuello de botella.

Para esto es recomendable poner en práctica las siguientes observaciones.

1. Dejar ocioso la sección de pesado el menor tiempo posible, manteniéndola activa durante el descanso para almorzar mediante un cambio de turno de los operarios de esta sección.
2. No ponerlo a trabajar en productos defectuosos, debido a un mal control del proceso. La calidad de las bolsas debe ser tal que no se dañen en la etapa de sellado, pues de suceder esto, se habrá desperdiciado el tiempo del cuello de botella. Asimismo, el equipo empleado en la etapa de sellado debe generar la menor cantidad posible de productos defectuosos para maximizar el aprovechamiento del cuellos de botella.

El poner en práctica estas sugerencias puede aumentar la capacidad productiva de la empresa, permitiendo aceptar un mayor número de pedidos y por lo tanto incrementar las ventas de la compañía mientras se estudia la ampliación de la capacidad del sistema productivo actual. Lo cual en las condiciones actuales del mercado, con los niveles de devaluación actual y tomando en cuenta que las ventas de la empresa se traducen en dólares y no en pesos, puede resultar muy

beneficioso, pues se podrían incrementar los clientes de la compañía por la ventaja por ofrecer productos a precios más bajos que la competencia.

Como beneficios obtenibles al implantar los cambios propuestos se destacan:

1. Aumento en los niveles de producción acompañado de una disminución en los niveles de inventario de productos en proceso. Al aumentar la capacidad del cuello de botella, se acumula una menor cantidad de inventario frente a este.
2. Reducción de reprocesos y desperdicios, lo cual redundará en una disminución de los costos de producción y en una reducción del manejo de materiales.
3. Al disminuir los reprocesos y aumentar el flujo de proceso, el tiempo de ciclo disminuye y por lo tanto un pedido puede despacharse en forma más rápida.
4. Al disminuir los reprocesos se minimiza el manejo de materiales, por lo cual los controles en la producción se hacen más sencillos y se gana en el aprovechamiento de los recursos.
5. Aumento en los niveles de ventas con las instalaciones actuales mientras se efectúa la ampliación de la planta.
6. Aumento en la eficiencia y eficacia del sistema productivo, lo cual redundará en un aumento de productividad.

7. Al reducirse los inventarios de producto en proceso se facilita el tránsito dentro de la planta, por lo que los tiempos utilizados así como también el esfuerzo de los trabajadores pueden reducirse, logrando así un mayor rendimiento de la mano de obra.
8. Se gana en organización, lo cual permite dedicar menos tiempos a resolver problemas y más tiempo a la planeación..
9. Se reduce el espacio necesario para operar la planta, por lo cual se puede lograr una optimización del espacio disponible.
10. Al aumentarse los niveles de producción se disminuye la necesidad de trabajar con horas extras, lo cual redundará en una disminución de costos y un aumento en la productividad del trabajador, pues se elimina el agotamiento producto de trabajar con horas extras.
11. Al reducirse los tiempos de entrega se puede lograr un aumento en las ventas, pues se puede prometer un tiempo de entrega más competitivo.
12. Aumento en la rentabilidad, pues se reducen los costos y se aumentan las ventas.

BIBLIOGRAFÍA

BANKS Jerry y GIBSON Randall. Don't Simulate When, 10 rules determining when simulation is not appropriate. Modern Materials Handling Magazine. Marzo 21, 2000.

BLANCO, Luis E. Simulación con ProModel: casos de producción y logística. 1ed. Bogotá. Escuela Colombiana de Ingeniería, 2001. 253p.

GOLDRATT, Eliyahu y COX Jef. La Meta. 2ed. México. Ediciones Castillo, 1996. 408 p.

HARREL, Charles, GHOSH, Biman y BOWDEN, Royce. Simulation Using ProModel. 3ed. Boston. McGraw-Hill, 2000. 603 p.

MARIÑO, Nelson. Simulación de Procesos. 1ed. Cartagena. Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar. 2002. 125 p.

Simulation proves out sortation strategy Staff. Modern Materials Handling Magazine. Octubre 2, 2001.

ANEXOS