

150
2es.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

PROPUESTA DE MEJORA PARA UN
SISTEMA PRODUCTIVO VALIDADA CON
SIMULACION.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
AREA INDUSTRIAL
P R E S E N T A N :
ILIANA DE SILVA MUÑOZ
CLAUDIA PAOLA ESTRADA PONCE

FACULTAD DE
INGENIERIA



DIRECTOR DE TESIS: M.C. MARCIA GONZALEZ OSUNA.
JNG. SILVINA HERNANDEZ GARCIA.

MEXICO, D. F.

1998

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

257380



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos

Principalmente le doy gracias a Román por siempre apoyarme en la realización de mis proyectos y ayudarme a lograrlos con éxito.

A mi familia por tener siempre altas expectativas de mi, lo cual me hace trabajar duro para alcanzarlas.

A la Universidad, por todos los conocimientos que me proporcionó para desarrollarme profesional y personalmente. En especial, al departamento de Ingeniería Industrial y sus profesores, por dedicarme horas extras para la terminación de mi tesis.

Y finalmente, a Tapas S.A. por habernos dejado trabajar con ellos.

Iliana

Agradezco a mis padres Enrique y Carmen, a Carolina, Mónica, Miguel, Fer, Miguel Angel, y a toda mi familia que me apoyo a lo largo de mis estudios.

A Silvina y Marcia por la ayuda para la realización de esta tesis.

A Iliana y a Román.

A todos mis amigos y compañeros, así como a mis maestros por haber estado conmigo.

Paola

Índice

Agradecimientos

Introducción

Capítulo 1

Planteamiento del Problema **1**

La empresa 2

El proceso 2

Mantenimiento y Capacitación 8

Materia Prima 10

Motivación 11

Planeación y Control de la Producción 12

Distribución 14

Dirección 15

Calidad 16

Costos 17

Capítulo 2

Propuesta **18**

Dirección 18

Planeación y Control de la Producción 20

Plan 1 21

Plan 2 24

Mantenimiento y Capacitación 25

Motivación 28

Capítulo 3

Simulación **31**

Sistema 31

Modelo 32

Por qué Simulación? 33

Simulación 33

Ventajas 34

Desventajas 36

Pasos de una simulación 36

Lenguajes de Simulación	41
SIGMA	42
Modelo actual	46
Modelo propuesto	48
Capítulo 4	
Resultados y Conclusiones	49
Resultados	49
Conclusiones	59
Bibliografía	61
Apéndice A	I
Apéndice B	VIII
Apéndice C	X

Introducción

En México la mayoría de las empresas son micro y pequeñas, en estas se concentra gran parte de la producción del país, por ello es imperativo que se mantengan en condiciones sanas y ser competitivas para afrontar la globalización. Estas empresas se han formado sin conocimientos de ingeniería industrial, lo que ha repercutido en una eficiencia menor a la adecuada. De no corregirse esta situación, se corre el riesgo de perder mercado al no contar con la calidad y precio de los productos extranjeros, por lo cual las empresas mexicanas tenderán a desaparecer. El bienestar de cualquier país depende de su planta productiva, por lo que es de vital importancia, o más bien, de seguridad nacional, el no descuidar el desarrollo de este sector.

Para que la planta productiva nacional sea competitiva, debe tener procesos eficientes. Lo anterior depende de una planta laboral capacitada y motivada, instalaciones adecuadas al proceso, y encima de todo, una buena planeación y control de la producción basada en objetivos y metas claros. Los cambios necesarios para ser competitivo no son caros en comparación a los beneficios que estos puedan dar.

En general, las micro y pequeñas empresas tienen un defecto común que es la falta de dirección. La falta de cultura empresarial robusta por parte de la dirección demostrada en, un mal trato a sus trabajadores, una visión a corto plazo de la empresa, falta de capacitación de sus empleados, inversiones en maquinaria costosa e ineficiente y en términos generales, una falta de motivación clara hacia los integrantes de la empresa, incide directamente en la productividad de la misma. Participando en diferentes tipos de proyectos en donde se encontraron este tipo de tendencias generales dentro de las micro y

pequeñas empresas, surge la inquietud de estudiar un sistema que pudiera en un momento, ser tomado como base o modelo para el análisis de otros sistemas similares. La empresa sobre la cual se basa este estudio, está dedicada a la manufactura de tapas de madera para botellas de vidrio. El problema principal de la planta es no poder cumplir con el número de piezas que el cliente requiere. Las tres principales causas de este problema recaen en: una falta de planeación, falta de capacitación y falta de mantenimiento.

En el primer capítulo se habla del planteamiento del problema, en donde se explica el proceso y todos los problemas que en él existen. El capítulo dos habla de las propuestas de mejora para la producción eficiente utilizando técnicas de ingeniería industrial como planeación y control de la producción y simulación. Las propuestas incluyen un programa de mantenimiento y capacitación, así como una correcta planeación de sus recursos. Para validar nuestra propuesta, se utilizó la herramienta de la simulación para analizar el sistema actual y compararlo con el modelo propuesto. En el capítulo tres se presenta la descripción de los modelos y la simulación de éste. En el cuarto y último capítulo, se analizan los resultados obtenidos por la simulación, comparando los dos sistemas. Finalmente, en este mismo capítulo se concluye validando nuestra propuesta con aumentos muy considerables en productividad.

Los aumentos en productividad son producto de un adecuado programa de mantenimiento preventivo, una capacitación adecuada a todos los niveles de la planta, y una buena planeación y control de la producción.

El análisis realizado puede ser utilizado como base para el estudio de alguna otra fábrica. La herramienta de la simulación es, en muchos casos, un muy buen camino a seguir antes de tomar decisiones que pudieran ser costosas. De esta manera, la metodología propuesta en este estudio es replicable y de bajo costo de implementación para otras micro y pequeñas empresas.

De esta forma, sin invertir mayor capital, simplemente haciendo un análisis exhaustivo de la situación de la empresa, podemos encontrar soluciones viables para el incremento en eficiencia de los procesos, para que de esta manera se puedan lograr mayores índices de competitividad.

Al ir mejorando plantas pequeñas, creando un sistema que sostenga los procesos eficientes, haciéndolas crecer y ser competitivas a los niveles requeridos por el mercado, se irá formando una planta productiva nacional sana y estable. Al crecer las micro y pequeñas empresas, el país crece con ellas, fortaleciendo así el bienestar de los mexicanos en general.

1

Planteamiento del Problema

La mayoría de las empresas manufactureras en México se han enfrentado durante su historia, a ciertos problemas comunes, y ahora, a medida que la competencia crece, se ven en la necesidad de solucionarlos para poder seguir en el mercado. Con las fronteras abiertas y con el deseo por parte del cliente de recibir un mejor servicio, está en juego no solo su crecimiento, sino su existencia. La falta de una cultura de calidad, una correcta planeación de la producción, mantenimiento preventivo así como un adecuado ambiente de trabajo, son algunos de los problemas comunes que limitan el crecimiento de las empresas y evitan la producción a un buen precio, con calidad y con el servicio adecuado.

Tener un mercado cautivo durante los inicios de un negocio, no significa que se tendrá por siempre, la competencia siempre estará acechando, por lo que tener un proceso eficiente y estar preparados para cualquier necesidad que el cliente requiera, es imperativo para seguir en el mercado. Así, se tendrá que llegar a procesos eficientes antes de que la clientela requiera servicios adicionales, y antes que la competencia tenga la capacidad de otorgárselos.

La planeación requerida para alcanzar esto, no solamente envuelve la planeación de recursos materiales como serían inventarios y maquinaria, sino que también incluye a los recursos humanos y ambientales.

En éste capítulo se hablará de los problemas que existen en la fábrica en cuestión con características de las empresas en general arriba mencionadas. Si no se toman acciones contrarias a las actuales, no se cumplirá con las necesidades presentes del cliente y mucho menos con las futuras.

La empresa

Tapas S.A.¹ es una empresa manufacturera de tapas de madera para botellas de vidrio. Producen un tipo de tapón con 2 variaciones, una tapa oscura barnizada y otra al natural. Cuenta con alrededor de 30 trabajadores, está ubicada en el Distrito Federal y tiene una antigüedad de dos años. Debido a la falta de planeación de sus recursos, a la poca experiencia en producción y a la falta de consistencia en los métodos para realizar sus operaciones, no logra generar suficientes ingresos para la recuperación de las inversiones que realizan. En algunas de las operaciones cuentan con maquinaria automática, lo cual hace la tarea mucho muy sencilla.

El Proceso

El proceso de producción en Tapas se ha tenido que ajustar a varios cambios durante su vida. Han utilizado una gran variedad de maderas, muchas de las cuales no han dado resultado, se han comprado diferentes máquinas y se han ido modificando para lograr la producción. Esta “curva de aprendizaje” ha sido muy costosa, ya que la cantidad desperdiciada de materia prima durante este tiempo, ha sido excesiva, así como el monto erogado para la adquisición de máquinas.

En un principio, la empresa compraba madera clara para las tapas claras y oscura para las tapas barnizadas. Como es de esperarse en un producto natural las maderas no tienen uniformidad en el tono, entonces existía madera clara que no cumplía con las especificaciones de tono por ser grisáceas. En cuanto a la madera oscura, de cualquier forma había que entintarla para que cumpliera con especificaciones. Ahora, se compra madera clara y las que son de tono grisáceo son las que se entintan para la tapa oscura. En un bastón, se tiene como promedio que el 60% de la madera sea clara y el restante gris.

El proceso empieza al llegar la madera a la planta, ésta no tiene un lugar designado en específico, por lo que obstruye pasillos y áreas de trabajo. La madera llega en bastones no más largos de 1 metro y se apilan en el suelo hasta una altura de 2 metros aproximadamente.

¹ El nombre de la empresa es ficticio por motivos de confidencialidad.

Los bastones se alimentan manualmente a un torno automático el cual los corta en forma de la tapa sólida. El tamaño del bastón es importante ya que, si es demasiado largo, puede existir “pandeo” y, si es demasiado corto, se tiene mayor desperdicio como se explicará posteriormente. El afilado de las cuchillas que cortan la madera y la velocidad de giro del bastón y de corte, también son cruciales para el acabado de las piezas.

La siguiente operación del proceso productivo, es el perforado de la tapa, la operación se realiza en una perforadora automática, sin embargo, alimentada manualmente. Además de perforar, la máquina se diseñó para colocar y pegar la tapa de plástico con rosca con la cual se cierra la botella, este colocado y pegado no se utiliza ya que el cliente es el que pega estas tapas de plástico con rosca dentro de las de madera.

Debido a que las cuchillas del torno no están bien afiladas, y a que la velocidad de corte con la que se procesan los bastones no es la ideal para el tipo de madera utilizado, se llega a rasgar la madera, por lo que es necesario pulir las tapas. El proceso de pulido es manual, se tienen 6 pulidores por turno, cada uno trabajando con un pequeño torno. Este proceso genera colas largas en la producción, ya que depende tanto de la habilidad del operario, como de la calidad de la madera ya formada.

Para tratar de corregir el problema de la formación de colas, el director de Tapas S.A. decidió comprar una máquina pulidora. Desafortunadamente, por estar diseñada para pulir tapas con cabeza plana nunca funcionó ya que las tapas producidas en la fábrica son de cabeza redondeada (ver foto p 6). Ahora, esta máquina sólo ocupa espacio dentro de la planta. Posteriormente se compró una tómbola, la cual por medio de fricción entre las tapas y un material abrasivo, pule. Hasta la fecha se han realizado varios experimentos con diferentes materiales y tiempos de procesado, sin tener resultados que evitaran la operación del pulido.

Por tener diferentes tonalidades en la madera, después de pulidas, las tapas pasan a un proceso de selección en el cual se separan dependiendo del tono de la madera. Si es blanca en su totalidad, se manda a empaque directamente; por su parte, las que son grisáceas, se mandan a entintado y a barnizado.

El entintado se realiza manualmente, pieza por pieza, con un guante y una esponja, operación poco eficiente ya que solo se pueden entintar alrededor de 6000 piezas diarias.

Para mejorar esto, en algún momento utilizaron la tómbola para entintar, se colocaba asserín y tinte en polvo, y las metían por 15 minutos. De cualquier forma, era necesario quitar el exceso de polvo pieza por pieza con un guante, para evitar burbujas en la operación del barniz. No ahorrando ningún paso innecesario, se eliminó la idea de la tómbola. El tinte utilizado, no ha sido el adecuado ya que se han rechazado varios lotes enviados por no cumplir con el tono requerido. Se ha jugado con diferentes concentraciones de tinte y diferentes marcas, pero no se ha tenido éxito alguno.

Una vez entintadas, las tapas se colocan en charolas con dispositivos de sujeción y se barnizan por medio de inmersión. Estos dispositivos consisten en tubos de madera atornillados verticalmente a las charolas y las tapas encajan en estos. El proceso es lento, y la temperatura del cuarto no está controlada, por lo que el calor y humedad se intensifican haciendo difícil evitar la burbuja en los tapones. Además, la madera que utilizan ahora, es sumamente porosa, lo que hace que la tapa transpire y provoque burbuja. Por otro lado, los tubos de madera en donde se colocan los tapones, no son los adecuados para el proceso, y se saturan de barniz cada tercer día. La limpieza de estos tubos toma un día completo, lo que retrasa la producción.

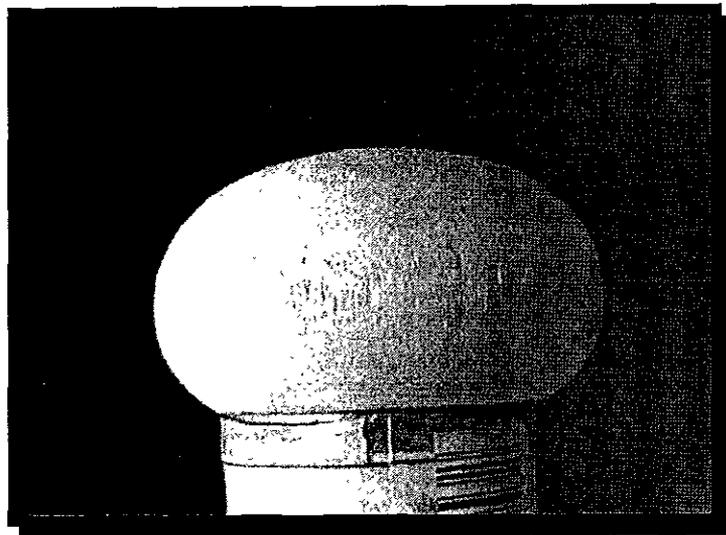
Debido a los problemas con estas dos últimas operaciones, tinte y barniz, se mando hacer una máquina que entinta y barniza por medio de pistolas de aire comprimido. Esta máquina está en construcción todavía, por lo que no conocemos su eficiencia, sólo se tienen datos estimados del proveedor.

Al finalizar el proceso de barniz se manda a empaque, en donde se hace una inspección final, como existen muchas fallas dentro del proceso las tapas se revisan una por una el rechazo que se tiene es de aproximadamente 20%. Esto hace a la operación del empaque lenta, evitando que el material fluya como debiera. El producto rechazado se regresa a pulido y al no haber control del proceso, existen piezas que son reprocesadas más de una vez. En alguna ocasión pudimos observar que al quedarse sin materia prima durante una semana, trabajaron las piezas defectuosas acumuladas en dos o tres meses, durante este tiempo el porcentaje de rechazo seguía siendo el mismo, quiere decir que ese material defectuoso seguía saliendo mal. Como se puede ver en el apéndice A, el costo de reproceso

de una pieza rechazada anteriormente es mayor al precio de venta, por lo que no se tiene utilidad alguna por ese producto.

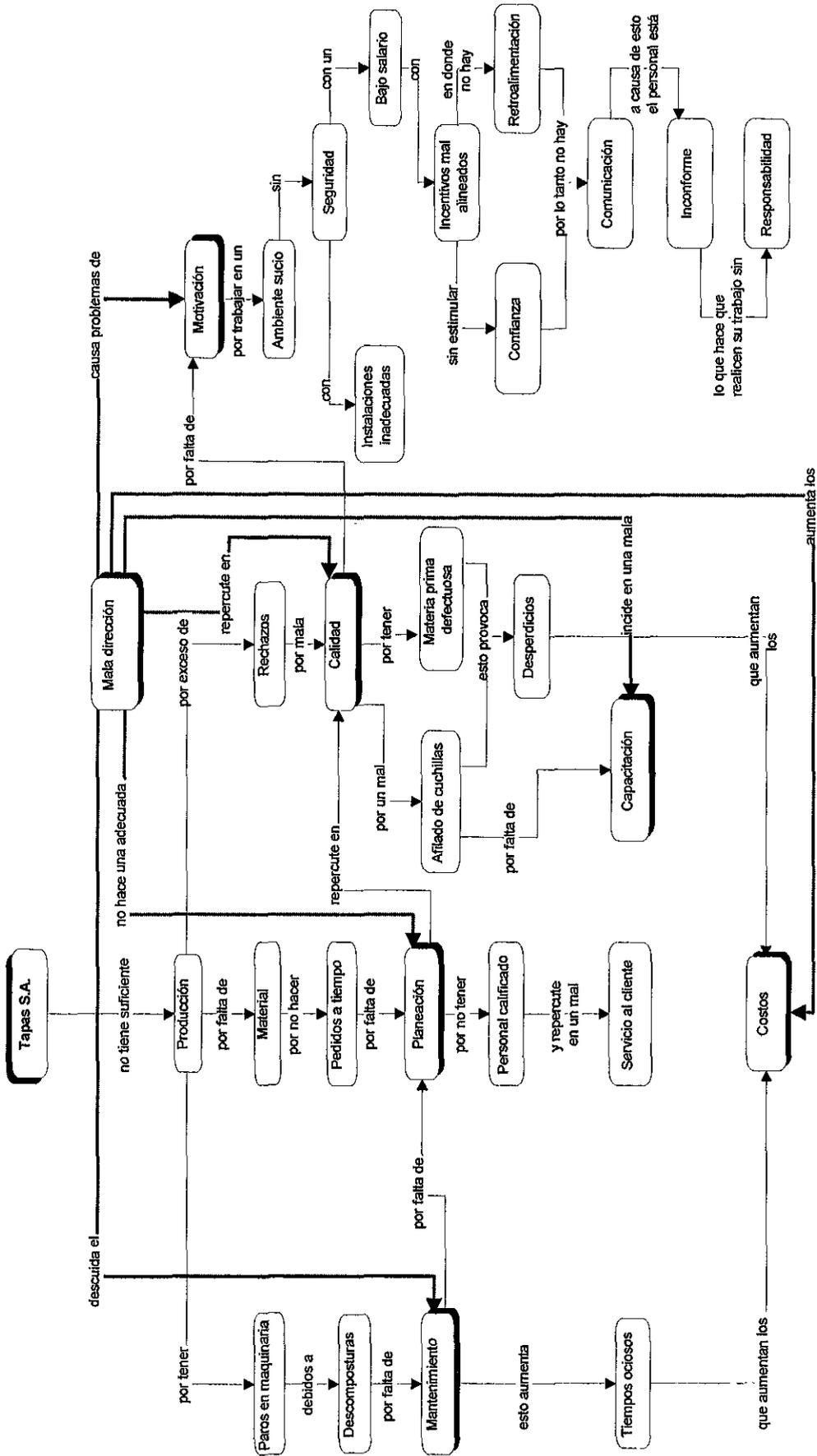
Lo anterior corresponde al proceso de formado de tapas normal. Llamamos proceso normal al realizado por el torno, se tiene también un proceso manual que se realiza con unos torneros manuales que forman la tapa desperdiciada por el torno. Este, no puede procesar los bastones en su totalidad por la manera como se alimenta. El último pedazo de bastón ya no puede llegar a las cuchillas por ser de donde se sostiene el bastón. Por cada uno de ellos, no importa el largo, se quedan por lo menos 13 cm sin procesar. Este “pico” sobrante, se corta en 3 cuadros en una sierra, se perforan los cuadros en un taladro u escoplo, y por último, unos torneros manualmente los moldean con instrumentos de corte para darles la forma del tapón y ellos mismos los pulen. Estas tapas se unen a las demás en la operación de selección, para después pasar al empaque o barniz según sea el caso. De esta manera, el desperdicio es procesado para ganar dinero. El costo de operación de los torneros es más caro, por lo que se tiene poca utilidad en estas tapas.

Se puede ver la relación que existe entre los problemas que existen en la planta en el mapa de la siguiente página.



Tapa blanca

MAPA CONCEPTUAL



Durante el tiempo que estuvimos trabajando con la empresa, pudimos dividir las causas principales que ocasionan los problemas y evitan la producción eficiente, estas son: mantenimiento y capacitación, materia prima, motivación, planeación y control de la producción y distribución de planta y dirección.

MANTENIMIENTO Y CAPACITACIÓN

Al comienzo del estudio, se observó que las tapas salían un poco desgarradas del torno, lo que nos llevó a dudar si las cuchillas se estaban afilando correctamente. Se sugirió pedir información al proveedor de cuchillas para ver como era el afilado correcto, después de afiladas con las especificaciones, la calidad de las piezas mejoró considerablemente y por consiguiente la operación de pulido se agilizó. Otro problema es la velocidad de corte de la madera. Cada material tiene sus propias características de dureza y densidad entre otras, por ello es que cada material debe ser cortado con diferentes instrumentos a diferentes velocidades. Para cada tipo de madera incluso, la velocidad de corte debe ser diferente por la diferencia en sus características, y esto repercute en la calidad de las piezas (desgarre). La empresa está determinando la velocidad de operación en función de la prisa y la cantidad de trabajo que tenga, cuando la debería estar haciendo en función de las características de la madera. Esto tiene como consecuencia que el tiempo de procesado suba al tener que pulirlas más tiempo, el costo aumente al gastarse más las cuchillas y como se dijo, la calidad disminuya.

El torno se puede manejar manual o automáticamente, trabaja con 4 cuchillas que se mueven una después de la otra. Al trabajarlo manualmente, se tiene que coordinar el movimiento de cada una de las cuchillas, por falta de ello, se han tenido accidentes en los que chocan entre ellas y ocasiona que se tengan que desbastar. . En cuanto a los ajustes de la máquina, se realizan a base de golpeteos con martillo, lo que hace que poco a poco se desajuste más. Al darse cuenta que necesitaban un mantenimiento, decidieron desarmar el torno para ajustarlo y limpiarlo, se realizó de tal manera que el torno quedó sin funcionar

por una semana. Además, existen manuales de cada una de las máquinas en donde hay instrucciones precisas de cómo darles mantenimiento.

El torno automático se compró en un principio para procesar de bastón a producto terminado, sin la necesidad de otra operación excepto el barnizado. Esto significa que el torno perforaba y cortaba la tapa con el filo suficiente para evitar el pulido. Al poco tiempo de nuevo se modificó para que dejara de perforar. Por la manera en como manejan el torno, podemos decir con certeza que se trató de una falta de capacitación y un inadecuado mantenimiento de la máquina.

A partir de la modificación hecha al torno para no perforar las tapas, se compró un escoplo cuya función no era hacer agujeros redondos. Éste se ajustó para poder hacer la perforación de la tapa, pero al haber varios accidentes por descuido del personal y al no ser la herramienta adecuada, se decidió comprar una perforadora que hiciera el trabajo adecuadamente. Esta perforadora, ha sufrido desgastes innecesarios por mala capacitación de los operarios. Contiene un broca vertical, que al subir devasta el tapón que está sujeto con un dado. Este dado sufrió un desvaste porque la broca que perfora, no estaba bien ajustada y traspasó al tapón y se llevó un pedazo de dado.

Por todo lo anterior, creemos que la falta de capacitación y de un mantenimiento preventivo adecuado, han sido factores determinantes para la ineficiencia de producción en la fábrica. Esto ocasiona paros en la producción indeseados y falta de calidad en el material produciendo reprocesos y por tanto aumentando el costo de producción.

Resumen

Problema	Causa	Consecuencia	Posible solución
Falta de Mantenimiento	Falta de cultura empresarial	Paros en las máquinas	Plan de mantenimiento preventivo
Falta de Capacitación	Falta de programas	Falta de calidad en el producto por mal manejo de maquinaria,	Capacitación a todos los niveles, y ser multifuncionales*

*posteriormente se explicará el concepto

MATERIA PRIMA

La madera necesaria para el proceso tiene que tener una humedad y una densidad específica. Si es muy porosa, es más difícil el trabajo para las cuchillas, si es muy dura se gastan las cuchillas más rápido.

La materia prima se compraba en un principio a proveedores mexicanos que proveían madera de segunda que resultaba en un proceso poco eficiente, con largos tiempos de producción por los reprocesos. La madera se recibía en tablas y se cortaba en bastones de 80 cm (el torno puede manejar bastones hasta de 1 metro), lo que ocasionaba un gran porcentaje de pérdida de material y los bastones se pandeaban al ser cortados; con estas características, las tapas no salen enteras. Generalmente, la madera llegaba apolillada y con una humedad mayor a la permitida, por lo que cambiaron de proveedor y ahora compran a una compañía de Arkansas en Estados Unidos, también de segunda. La madera llega en trailers ya cortada en bastones, cada uno de los camiones contiene 10,000 pies madereros (BF), que se consumen actualmente en 20 días de trabajo aproximadamente.

Para obtener un mejor precio, estos nuevos pedidos son de bastones de 48 cm. Esto aumenta el desperdicio de picos no procesados por el torno a casi el doble de lo que se obtenía con los bastones de 80cm. Como se había explicado, no importa el tamaño de bastón, 13 cm de éste se quedan sin procesar. Además, la madera también tiene sus defectos, ya que llega en forma romboide en lugar de cuadrada, esto ocasiona que el bastón se atore en el torno y se tenga que quitar a martillazos. Por el aumento en picos no procesados, los torneros manuales no se den abasto con ellos, se quedan sin procesar y se acumulan en la planta estorbando. Esto significa también más dinero “invertido” en material de desperdicio y un aumento en el costo unitario.

Existen proveedores mexicanos que venden madera con la calidad requerida para el proceso. Los tiempos de entrega son mucho menores, por lo que el tamaño de lote requerido puede reducirse considerablemente.

Resumen

Problemas	Causa	Consecuencia	Posible Solución
Materia prima de poca calidad	Percepción de un ahorro	Mayor desperdicio, mayor costo	Cambio de proveedor
Bastones de 48 cm	Ahorro de dinero	Mayor costo por mayor desperdicio	Compra de bastón más largo.

MOTIVACIÓN

Las condiciones de trabajo no son las adecuadas para realizar cualquier tipo de tarea. El lugar es pequeño, está sucio, sólo existe un baño para compartir entre hombres y mujeres, no existen equipos de seguridad completos ni a la mano, comen en el piso, trabajan parados, y la paga es mínima. Evidentemente, este tipo de características hace que la productividad de las personas disminuya a niveles no deseados.

Se les paga el salario mínimo, no hay prestaciones de ninguna clase, y los incentivos mal alineados, hacen que la gente ya no crea en las nuevas propuestas de la dirección, que en vez de motivar, provocan ausentismo, baja de calidad y finalmente una alta rotación de personal. Como ejemplo de lo poco sensibilizada que está la dirección, en algún momento se ofreció un disco compacto al trabajador que produjera más en una semana cuando los operarios ganan el sueldo mínimo y no tienen en donde oírlo!

La dirección implantó un sistema de destajo el cual a partir de cierto volumen de producción se pagaba por pieza extra producida. Los pulidores empezaron a ganar más cumpliendo con el objetivo en específico de aumentar el número de piezas producidas, dejando atrás la calidad de la pieza y faltando al trabajo después de rebasar su propia meta.

En el área de pulido no existe extracción de polvos y se produce un polvo muy fino que puede ser dañino para la salud. El trabajo de los operarios en el área consiste en pulir

1000 tapas diarias en un pequeño torno frotando las piezas que giran a grandes velocidades con un guante, ocasionando a veces quemaduras.

Tampoco existe comunicación entre los departamentos de la fábrica. Los cambios que se llegan a dar en personal, maquinaria, o métodos de producción, se realizan sin ser conocidos por los operarios y no se toman en cuenta sus opiniones, lo cual disminuye la motivación. Los operarios son los que mejor conocen el trabajo, por lo que pueden dar ideas que funcionen para la mejora del proceso y por tanto el beneficio de la empresa. El trabajo no se hace en equipo, cada quien trabaja su pieza sin importar si el trabajador de al lado lo hace bien o mal. Si esto no fuera así, se trabajaría como un equipo en el que los trabajadores buscaran el beneficio de la empresa en general, y no egoístamente el suyo.

Lo anterior repercute de manera directa en la calidad de las piezas, el nivel de producción, y la eficiencia del proceso. Si las personas no están satisfechas con la forma en que trabajan, el trabajo se vuelve difícil para ellos y para los que tratan de supervisarlos.

Resumen

Problema	Causa	Consecuencia	Posible solución
Falta de comunicación	Falta de confianza	Falta de motivación, productividad baja	Promover la comunicación, tomar en cuenta al trabajador
Salarios bajos	Ahorro	Poco respeto a su trabajo, productividad baja	Elevar salarios, definir bien incentivos
Ambiente de trabajo inadecuado	Descuido de dirección	Poca eficiencia por falta de motivación	Reglas definidas, promover trabajo en equipo

PLANEACIÓN Y CONTROL DE LA PRODUCCIÓN

En la planta no existen objetivos bien definidos, mucho menos una misión y una visión clara de empresa. No existen políticas de la empresa, por lo tanto tampoco de

producción. Este es en realidad el principal problema, ya que sin objetivos definidos y una misión establecida, no existen metas a dónde llegar.

La operación que restringe al sistema (cuello de botella) es el pulido, ya que al depender de la habilidad del operario y de la calidad de la madera se vuelve la más lenta y su capacidad es la más limitada de la planta.

Al no existir una política de producción, es lógico pensar que tampoco existe una planeación y control de la producción. No hay estándares en la producción, por lo que cada operario trabaja con la calidad que cada uno cree que es buena. No hay control en las operaciones lo que ocasiona exceso de inventario entre las estaciones y piezas defectuosas que no se detectan a tiempo, por lo que se les sigue agregando costo hasta la inspección final.

Las prioridades de producción están desordenadas lo que ocasiona paros en estaciones de trabajo por falta de material, se le da prioridad al material de desperdicio que sale del torno (picos) y hace que se detenga la producción principal. Con esto nos referimos a que a veces se utilizan las máquinas para procesar los picos haciendo a un lado las tapas buenas que salen del torno. Lo anterior ocasiona que el cuello de botella, los pulidores, estén ociosos sin tener material para trabajar.

La empresa trató de implantar controles en donde se apuntaba la cantidad de piezas producidas por estación. Al final del día, no cazaba el número de piezas realmente producidas por estación y lo que estaba en el papel. Estos números eran además, los que se tomaban en cuenta para pagar el incentivo; el resultado, una nómina que no correspondía a la producción. La razón es que los operarios contabilizan las tapas “a ojo”, dentro de las cajas caben alrededor de 1200 tapas, con una desviación de 100, la cifra es entonces muy aproximada, por falta de una manera eficiente de controlar o medir el proceso.

En cuanto a la planeación de los recursos materiales también es deficiente. Sus inventarios los manejan de manera completamente empírica, lo que ocasiona paros en la producción durante días enteros por falta de material. Cuando ven que les queda poca madera piden el nuevo embarque el cual se tarda más tiempo de lo que se tardan en consumir el resto de la madera.

Resumen

Problema	Causa	Consecuencia	Posible solución
Falta de material de trabajo	Falta de planeación de recursos	Retraso en la producción	Planeación de inventarios
Prioridades en la producción	Falta de planeación	Retrasos en la producción	Programación de la producción
Falta de control en los procesos	Falta de control de producción	Exceso e insuficiencia de inventarios	Planeación y Control de la Producción, políticas de ordenar

DISTRIBUCIÓN

La distribución de planta, no es definitivamente la ideal, pero dadas las condiciones y el espacio en donde se trabaja, es un problema que no afecta de manera directa a la producción, como sucede en otras plantas. Los recorridos, por ser el lugar tan reducido, no son tales como para perder tiempos que se califiquen como importantes. Las instalaciones en cambio, además de ser ineficientes, son peligrosas. Los cables de corriente eléctrica y de aire a presión están colgados del techo de lámina, el cual está en condiciones deplorables, completamente carcomido, causando goteras dentro de la planta. Un cambio de local con una adecuada distribución es necesario para lograr condiciones adecuadas de trabajo.

La compra de maquinaria se ha hecho sin conocimiento de la misma, sin haberla visto funcionar. Por eso, hay máquinas que no cumplen con las especificaciones de la pieza a producir. Un ejemplo es la pulidora.

Los directores quieren atacar otros mercados, sin poder todavía cumplir con la calidad y servicio a su cliente actual. Planean ya la inversión en maquinaria adicional para producir una nueva línea. El dinero con el que se compra nueva maquinaria es dinero fresco inyectado por los directores, ya que la empresa no da la suficiente utilidad para las inversiones. Actualmente, el mercado de tapas de ese tipo les pertenece, pero con la apertura comercial, en cualquier momento podrían ser desplazados por la competencia si no procuran la eficiencia de su proceso. Para ello hay que concentrarse en mejorar un proceso primero y después invertir en uno nuevo.

CALIDAD

Todo lo anterior influye directamente en la calidad tanto del producto como del servicio. La falta de motivación hace que el operario no conozca la importancia de su trabajo. Existen trabajadores que no conocen el uso de la tapa que producen todos los días. Al no saber por qué o para quien hacen las cosas, el resultado del proceso no es factor importante para ellos, por lo que la calidad de las piezas no es la adecuada.

La falta de capacitación junto con el inadecuado mantenimiento, hacen que las máquinas trabajen incorrectamente, causando reprocesos que pudieran ser evitados con un buen manejo de la maquinaria.

Para producir con calidad, se necesita un ciclo el cual empieza con los proveedores. Desde que entra, la materia prima tiene que ser de calidad, teniendo proveedores confiables. Dentro del proceso se requiere transformarla con calidad, lo que significa que no haya rechazos. Que la pieza que llega al final del proceso sea de buena calidad, sin haber tenido que pasar dos o tres veces por las operaciones para lograrlo. El servicio al cliente debe ser adecuado, el cliente espera un producto sin defectos, a bajo costo, con entregas a tiempo en las cantidades requeridas. Así tendremos también una cartera de clientes confiable. Si en

algún lugar del ciclo no se realiza bien la operación, repercute en costo, servicio y por supuesto calidad.

COSTOS

Los reprocesos y desperdicios, los tiempos muertos por fallas en las máquinas y los tiempos ociosos de los trabajadores, hacen que los costos de producción aumenten considerablemente. El tener el equipo y a los trabajadores sin trabajar, cuando se les esta pagando por hacerlo, hace que los costos aumenten, ya que para que produzcan la cantidad requerida tendrían que pagar horas extras. Como se muestra en el apéndice A, podemos ver el costo de reproceso que tienen en la fábrica es alto, por lo que es necesario controlar la piezas defectuosas. El costo por pieza que tienen podría ser reducido con una buena planeación, un programa de mantenimiento preventivo, una planta laboral capacitada y motivada, eliminando los reprocesos, desperdicios y tiempos muertos. Por esto la necesidad de un estudio de ingeniería industrial, que debe incluir una planeación y control de la producción.

2

Propuesta

DIRECCIÓN

Las mejoras en productividad son necesarias en cualquier organización, y más en el mundo de la economía globalizada. Las compañías que no mejoren serán dejadas atrás, y si esto se generaliza, puede afectar directamente a la economía de cualquier país.

Para que una empresa trabaje de manera eficiente y genere utilidades, el punto clave es una buena dirección. Con esto no nos referimos únicamente a cómo planear sus recursos, sino a tener una buena organización, con ciertas reglas, metas, objetivos y estrategias que todo el personal, desde el director general hasta el intendente, deben conocer y cumplir. Para esto, se necesita que todos en la empresa conozcan lo que se hace, por qué y para quién se hace.

Existen varios factores que determinan si las personas que laboran en un lugar se sienten satisfechas o no. Estos incluyen al factor monetario, ambiente de trabajo, buena supervisión, prestaciones, comunicación interna, instalaciones cómodas, seguras e higiénicas, etc. Los salarios no son el factor decisivo para que la gente esté motivada, cada individuo tiene su propio concepto de lo que es un “buen trabajo” y de acuerdo con ciertos estudios¹, algunas características de éste son : (1) los salarios son importantes pero como parte complementaria de otros factores; (2) ser participe en la toma de decisiones es una gran motivación; y (3) el desarrollo personal incluyendo el acceso a capacitación es

¹ McClain et al, pág. 99

necesario y beneficioso para todos. Éstas son algunas características con las que el trabajador se siente motivado para realizar su trabajo.

La motivación ha sido definida “como el deseo de ser productivo”². Los incentivos de trabajo tienen que estar alineados con un trabajo interesante para el operario, aunque haya veces que sea difícil ser leal a un trabajo repetitivo y sin responsabilidad. Una manera de lograr un trabajo interesante es la formación de equipos autónomos, donde se tenga responsabilidades, y que la productividad dependa de la labor del equipo entero. Se ha creado la tendencia de los incentivos monetarios encima del salario base, pero enfocados a grupos y no a personas individuales, estos últimos pueden ser contraproducentes ya que el interés hacia la productividad de la empresa globalmente se pierde, y con eso el interés para que la empresa como tal progrese.

Se necesitan cambios en el estilo de manejar a la empresa y estos tienen que reflejar un sentido de unidad y de intereses comunes para todos. Las metas de la organización deben ser entendidas y vistas como importantes. La meta de proveer productos de calidad con un adecuado servicio al cliente y a bajo costo, debe ser asumida y asegurada, empezando por los puestos directivos, si se quiere crecer o seguir existiendo.

La cercanía al cliente es uno de los puntos más importantes en estos días. Empresas van y vienen a causa del servicio al cliente. La competencia a nivel mundial hace necesario que las empresas no sólo tengan calidad en sus productos, sino en el servicio (entrega a tiempo). Si no existe calidad en la transformación del bien, el competidor podrá darle mejor precio y servicio al cliente. Las empresas exitosas tienen toda una cercanía al cliente (realizan encuestas, estudios de mercado, reciben sugerencias de los clientes) y parten de ella para satisfacer sus necesidades. También toman a los trabajadores como el activo más valioso de la empresa. Sus ideas y opiniones son de gran importancia ya que son los que conocen el proceso mejor que nadie, y éstas empresas se preocupan porque las iniciativas de mejora se pongan en marcha o se prueben. Esto fomenta responsabilidad en

² Ibid pág. 100

los operarios, y motiva para que el proceso siempre mejore. Es importante entender la filosofía detrás de esto, ya que esto ha significado grandes aumentos en la productividad de empresas como las japonesas.

De esta forma, es importante que el manejo de la dirección cambie de rumbo, considerando a sus trabajadores, poniendo el ejemplo de lo que se debe y no se debe hacer, retroalimentandolos siempre, sea por buen trabajo o por malo, tratandolos como se merecen, como personas y no como esclavos, finalmente ellos son los que hacen que la empresa gane dinero.

PLANEACIÓN Y CONTROL DE LA PRODUCCIÓN

Para poder lograr un proceso de producción eficiente, en donde el producto esté terminado en el tiempo planeado, con un precio adecuado y con la calidad deseada, es necesario la planeación, programación y control de la producción. Con esto nos referimos a tener un control del proceso desde antes de que llegue la materia prima, hasta que se distribuya adecuadamente. Además, saber cuándo producir, cómo hacerlo, cuánto se necesita y con qué recursos se logra. Un control adecuado significa bajos niveles de inventarios, puntos de reorden y cantidades a ordenar que logren minimizar el inventario y por lo tanto sus costos. Se debe tener calidad en el producto desde la primera vez a un costo bajo, es decir; cero reprocesos. También debe contemplar un control en los cuellos de botella para tener un flujo adecuado del material, mínimo desperdicio durante todo el proceso y una producción constante, en tiempos determinados y en la mezcla requerida por el cliente.

Para lograr esto con Tapas S.A., proponemos 2 alternativas de producción. Para ambas se calcularán los costos y las ganancias y se hará una comparación con la producción actual. Las dos alternativas toman en cuenta la producción de tapas a partir de la demanda de botellas que se tenga. Actualmente, se producen tapas para ser almacenadas de manera

que se cumpla con la demanda de los próximos 6 meses. Se tiene un pronóstico de esta demanda que se utilizó para obtener los datos para las dos propuestas; este pronóstico está basado en la demanda de tapas como una variable dependiente de la demanda de botellas.

Se controlará el inventario con amortiguadores “buffer stock”³ y se implantará un sistema “pull”⁴. De esta manera, el inventario en proceso estará restringido y el material fluirá como debe dentro del proceso. Para esto se tendrá un número limitado de “cajas” entre cada estación, limitando el número de tapas en proceso. Se tendrán controles en donde se apuntará el número de piezas recibidas por la estación inmediata anterior, con las piezas defectuosas contadas y echas a un lado. Se harán muestreos aleatorios de los lotes para registrar el número de piezas defectuosas existentes, y se llevarán estadísticas de todos los eventos (control estadístico de procesos)⁵. Una vez que se llegue a un límite de rechazo determinado, se tendrá que parar la operación en la que ocurren para resolver el problema.

Como cada operación en el proceso es crucial para la producción, se recomienda tener a trabajadores multifuncionales, esto es, que todos sepan manejar el equipo de toda la planta. De esta manera se rotará al personal dentro de la fábrica, el trabajo será menos tedioso para los trabajadores, y se fomentará la responsabilidad, ya que no se harán cargo de una sola operación. Para ello, la necesidad de un programa de capacitación.

La demanda de las botellas es la misma que la del líquido que contienen y se obtuvo de datos y estadísticas publicados en *internet* por una asociación de prestigio. La demanda tiene una estacionalidad durante el año, los primeros 6 meses son de demanda baja y se incrementa conforme el año termina. Los datos se encuentran en una tabla en el apéndice A.

³ Chase & Aquilano, pág 99

⁴ Ibid pág 861

⁵ Melain et al, pág. 144

Plan 1

La primera propuesta consiste en tener una producción constante de 12,000 tapones diarios, la capacidad de la planta es de 12,000 tapones en dos turnos. Debido a la estacionalidad de la demanda, se pretende entonces acumular inventario en tiempo de baja demanda para que en época de alta demanda se cumpla con los requerimientos.

En cuanto al nivel de inventarios, al ser una producción constante no existe la posibilidad, con un plan de mantenimiento preventivo, de tener variaciones en la cantidad de piezas requeridas por el torno. Con base en esto, se tomó como modelo de inventario, el del lote económico (EOQ)⁶ con nivel de servicio. Este modelo determina la cantidad óptima a ordenar de materia prima y un punto de reorden considerando los costos de almacenamiento, costos de ordenar, así como la demanda, tomando en cuenta el servicio que se le quiere proporcionar al cliente de tapas. Se propone cambiar de proveedor de madera; el nuevo proveedor vende madera de mejor calidad a un menor precio y tiene un tiempo de entrega de 6 a 7 días. Ahora, dado que para calcular el tamaño óptimo de lote se utiliza la demanda que utiliza el torno, el cual requiere producir 12,000 tapas diarias, podemos suponer que no existe variación en la demanda. Las tapas se acumularán, y se podrá dar servicio al cliente externo cuando sea necesario.

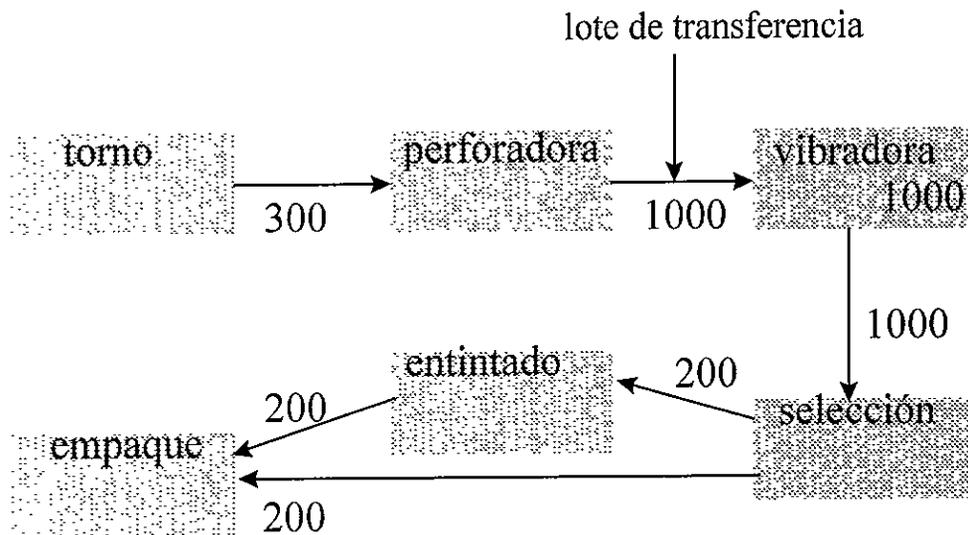
La cantidad óptima a ordenar convertida ya en la equivalencia a tapas, se calculó (ver apéndice B) en 171,000 tapas, con un punto de reorden de 91,000. El inventario de seguridad se calculó de 12,900 tapas al mes, con un nivel de servicio del 99%, ya que no queremos que el torno se quede sin material para trabajar.

La producción de los torneros manuales es muy cara, debido a que el costo de esta mano de obra es alto. Se pretende hacer un análisis de costos para ver qué tan rentable es tener este proceso.

⁶ Ibid, pág. 217

Actualmente, se cuenta con 5 pulidores en cada turno, se plantean dos alternativas: Continuar con ellos y eliminar la operación de selección ya que los pulidores pueden seleccionar directamente, ó comprar o rentar una máquina vibradora existente en el mercado en la cual se pulan las piezas en lotes mucho mayores. En esta alternativa sí es necesaria la operación de selección, ya que no se manejan las tapas pieza por pieza.

La cantidad de inventario en cada estación debe facilitar un flujo constante y rápido de las piezas a través del proceso. Idealmente se debería considerar lotes de una pieza para tener un “Justo a Tiempo”, pero por no tratarse de un proceso continuo entre las operaciones, los lotes deberán ser más grandes, de lo contrario se perdería un tiempo excesivo en recoger la pieza de la estación anterior. Para encontrar el tamaño de lote adecuado se realizaron cálculos que se encuentran en el apéndice B. Para el lote de transferencia entre el torno y la perforadora, se tomaron en cuenta los tiempos muertos de la perforadora así como el tiempo de producción de 900 piezas con diferentes tamaños de lote. El tiempo de producción es menor en los lotes mayores, pero el tiempo de ociosidad se hace más grande conforme el lote crece. Es necesario buscar un equilibrio entre estas dos variables, por eso se determinó que el lote de 300 piezas es el más adecuado. El lote de transferencia entre la perforadora y la vibradora es de 1000 tapas debido a que la vibradora procesa lotes de 1000 piezas. De aquí se transfieren las 1000 piezas al proceso de selección. Las piezas son seleccionadas entre dos personas y transferidas al empaque o barniz, dependiendo del tipo de tapa. De la misma forma en que se calculó el lote para la perforadora y el torno, se hizo para el barniz y empaque, este lote se determinó en 200 tapas. Al ser un proceso de un solo producto, no existen tiempos de preparación de las máquinas como sería cambio de dados, por ello es que el tamaño de los lotes de producción se tomaron iguales a los de transferencia excepto en la vibradora. No se permitirá la acumulación de un número mayor de tapas entre cada estación de las determinadas. Así se controlará el exceso de inventario y propiciará que las producción fluya más rápido dentro del proceso.



Tamaños de lote de transferencia

Plan 2

El segundo plan consiste en hacer una planeación agregada, produciendo según la demanda mensual de botellas, esto es, producir adelantando en un mes el número de tapas que se requieran para dar tiempo a la producción del líquido. De esta forma estarán produciendo lo que corresponde a la demanda pronosticada para el siguiente mes.

El control de la producción consiste en lo mismo que el plan anterior, se limitará el número de tapas entre cada operación, lo único que difiere es la cantidad de inventario promedio que se tendrá acumulado. De esta forma se necesitará producir más para el último semestre del año, que para el primero. Los datos del pronóstico de la demanda junto con los costos por tapa se encuentran en el apéndice A. Se pretende analizar si se puede cumplir con la demanda con la capacidad que se tiene ahora, se compararán los costos de mantener el inventario durante un semestre con los costos de contratar más personal en la demanda pico.

Para justificar nuestra propuesta, se construirá un modelo de cada propuesta y se utilizará la herramienta de la simulación para su análisis. Los modelos se describirán en el siguiente capítulo.

DISTRIBUCIÓN DE PLANTA

En cuanto a la distribución de planta, se necesita un cambio de local para poder trabajar adecuadamente. En el espacio en que se encuentran ahora sería ineficiente realizar un cambio en la distribución, para esto, se necesitaría una costosa remodelación total, con la desventaja de no poder expandirse en el momento en que se necesite por ser tan reducido. Debido a esto, sin una nueva localización, una propuesta de distribución de planta en este momento sería inútil; el paso a seguir es una localización de planta para después proponer una adecuada distribución, lo cual queda fuera de los fines de este trabajo.

MANTENIMIENTO Y CAPACITACIÓN

Para llevar a cabo la simulación de nuestra propuesta, se tomaron varios supuestos, sin los cuales la fábrica no podría mejorar su situación. Se propone un plan de mantenimiento preventivo, con el cual se evitarán las descomposturas tan frecuentes que existen ahora. Es también necesario tener un plan de capacitación, ya que el manejo de las máquinas requiere de entrenamiento. La capacitación se propone también para evitar los accidentes en las máquinas que actualmente suceden . Los planes propuestos son los siguientes:

Programa de Mantenimiento

Actualmente las descomposturas de las máquinas provocan el paro de la producción, el paro más significativo es el del torno que está descompuesto el 47% del tiempo. Al no trabajar el torno provoca el mismo tiempo muerto en la perforadora y se les paga a los

pulidores para reprocesar el rechazo existente. Los paros por falta de mantenimiento repercuten como se había mencionado en los costos de producción.

Para crear el programa de mantenimiento se tomaron en cuenta además de los datos ya mencionados (tiempos muertos y costos) los manuales de cada una de las máquinas que contienen la información necesaria para cumplir con un adecuado mantenimiento, la experiencia de los trabajadores y lo observado en las diferentes visitas a la planta. Con este programa de mantenimiento se pretende reducir el tiempo muerto del torno a un 5% y por lo tanto, también el tiempo ocioso de la perforadora.

El programa consiste en tener un mantenimiento menor y uno mayor, se propone dar entrenamiento a los mismos operarios para que se encarguen de dar mantenimiento a su área de trabajo. Así se fomenta la responsabilidad en el equipo que se utilice.

MAQUINA	MANTENIMIENTO MAYOR	MANTENIMIENTO MENOR
Torno	<ul style="list-style-type: none"> revisión de motor, pistones neumáticos y conexiones, desmontado del chuck (pieza que sostiene al bastón) <p>Cada 15 días, 30 minutos</p>	<ul style="list-style-type: none"> limpieza diaria por parte del operario <p>Las cuchillas se cambiarán por un juego afilado cada 4 horas dos veces por turno con una operación continua, se requieren de mínimo dos juegos</p>
Perforadora	<ul style="list-style-type: none"> limpieza y engrasado del motor revisión de los pistones y de conexiones <p>Cada 3 meses.</p>	<ul style="list-style-type: none"> limpieza diaria por el operador <p>La broca se afilará cada 15 días</p>

Motores de Pulidores y Torneros Manuales	<ul style="list-style-type: none"> • revisión de motores • limpieza y engasado <p>Cada mes</p>	<ul style="list-style-type: none"> • limpieza diaria
Vibradora	<ul style="list-style-type: none"> • revisión del motor y <p>Cada 4 meses</p>	<ul style="list-style-type: none"> • limpieza diaria • revisión de conexiones semanal
Barnizadora	<ul style="list-style-type: none"> • limpieza de la caja donde están las pistolas y la cadena • revisión del motor <p>Cada 2 meses</p>	<ul style="list-style-type: none"> • limpieza de las pistolas (diario) • revisión de conexiones <p>Cada semana</p>
Sierra	<ul style="list-style-type: none"> • revisión del motor • revisión de la herramienta de corte y de conexiones <p>Cada 4 meses</p>	<ul style="list-style-type: none"> • limpieza diaria
Escoplo	<ul style="list-style-type: none"> • revisión de motor, pistones, dados y conexiones <p>Cada 2 meses</p>	<ul style="list-style-type: none"> • limpieza diaria

Es importante que cada operario mantenga su equipo en las condiciones óptimas para el proceso. De esta manera, se evitarán paros por fallas en la maquinaria, mala calidad en el producto, y al mantenerlo en buen estado siempre, será más fácil la tarea para el trabajador.

Programa de Capacitación

La capacitación es de suma importancia, ya que de no darse se incurre en costos por accidentes, pérdida de herramientas, descompostura de la maquinaria y tiempos muertos de operarios. Además, si los trabajadores están entrenados para manejar la maquinaria y para hacer el trabajo correctamente, tendrán también un mayor sentido de responsabilidad hacia su maquinaria y hacia el producto.

Se propone dar una introducción al nuevo trabajador de como trabaja la empresa, cuales son las políticas, y el conocimiento del proceso. Es necesario que la dirección forme parte directa en esta parte del entrenamiento, fomentando desde el principio la comunicación entre el departamento de producción y la dirección.

Después de la introducción a la planta y a los demás trabajadores, se empezará con la capacitación en la operación designada, siendo ayudado por sus nuevos compañeros.

Después de cierto tiempo en esa operación se recomienda hacer un cambio para que se entrene en otra área. De esta forma se lograrán trabajadores multifuncionales, que sepan manejar todos los equipos de la fábrica.

Al tener un programa de mantenimiento preventivo realizado por los mismos operarios, se fomenta el sentido de pertenencia de los operarios hacia la maquinaria y de esta manera que el equipo esté en buenas condiciones siempre.

Es importante para el desarrollo del personal y de la propia empresa, que existan con frecuencia cursos o entrenamientos que refuerzen los conocimientos y habilidades de los operarios. Al desarrollarse en el trabajo, el personal está motivado para realizar su tarea.

MOTIVACIÓN

Para catalogar a un trabajo como “bueno” se necesitan condiciones mínimas de las cuales se habló al principio del capítulo.

Para que una empresa manufacturera pueda operar en óptimas condiciones son necesarias reglas para todos los que en ella trabajan. Este reglamento debe cumplirse por todos los que laboran dentro de la empresa sin excepción alguna. Incluye aspectos como:

Seguridad. En cualquier fábrica deben existir seguridad para producir. Si esto no es así se corre el riesgo de accidentes los cuales perjudican tanto a la empresa como al accidentado. Es importante tener medidas de seguridad para que la producción no se interrumpa por causas que no debieran existir. Para nuestros fines estas reglas se reducen a:

- Mantener limpias las estaciones de trabajo
 - Utilizar boquillas
 - Utilizar lentes de seguridad
 - Utilizar guantes
- Orden y limpieza. Al haber un orden y limpieza, es menor la probabilidad de accidentes por una parte, y por otra el personal se sentirá más cómodo para realizar sus actividades.
 - Asistencia. Es importante que la gente se preocupe de cumplir con el trabajo requerido, por ello, una asistencia y puntualidad es importante para no tener paros innecesarios.

Es importante que se entienda el porqué de los puntos anteriores, ya que si se toma como una orden no se cumplirán los objetivos de los mismos. Si se cumple con las características anteriores, se tiene un mejor ambiente de trabajo y por lo tanto se tiene a gente motivada.

Debe existir una buena comunicación entre los operarios y el departamento de producción. De esta forma, los trabajadores se sentirán parte de la empresa, ya que sus ideas y propuestas serán escuchadas por sus superiores.

Con la implantación de la nueva planeación y control de la producción, y en su momento, con una adecuada distribución, se establecerá un orden dentro de la planta el cual hará más sencillas las tareas de los operarios, y se sentirán más cómodos y seguros en su lugar de trabajo.

Los incentivos monetarios son delicados. Si éstos no son los adecuados o no están bien alineados, pueden surgir problemas con los operarios. Por ello no se recomiendan incentivos personales, sino incentivos por grupo. Se pueden fijar metas a corto plazo para toda la fábrica o por grupos como podrían ser cero accidentes, un límite de rechazos, un objetivo de producción, entre otros. Si éstas se cumplen, puede existir una convivencia entre los operarios y los directores, un juego de fútbol, una comida ofrecida por parte de la dirección para todos, etc. Así se motiva a la gente a trabajar ordenadamente, con seguridad, con una alta productividad y aprendiendo a ser competitivos.

3

Simulación

SISTEMA

Los sistemas organizacionales han tenido cierta complejidad siempre. Conforme hemos evolucionado, hemos empezado a apreciar la importancia del estudio de estos sistemas. Se sabe que el cambio en alguna característica interna o externa del sistema puede hacer variar al sistema completo, así es como empieza a tomar mayor importancia la investigación de operaciones para el estudio de sistemas. La labor del ingeniero industrial es mejorar los procesos (un proceso puede ser desde un restaurante hasta una planta manufacturera). Para ello, se requiere de un análisis completo y detallado del sistema en cuestión. Una de las herramientas más usadas para el análisis de sistemas es la simulación, que con la llegada de las computadoras se ha vuelto más sencilla su utilización. Una de las ventajas más importantes, radica en poder modelar un sistema complejo dinámicamente sin comprometer los recursos del sistema en estudio. La simulación entonces puede ser la herramienta adecuada para el estudio de nuestro sistema.

Un sistema es un grupo de objetos que se relacionan entre sí para realizar un fin común. Por ejemplo, un sistema puede ser un estacionamiento, el modelo podría representar los automóviles que entran y salen. Otro sistema pueden ser las cajas registradoras dentro de un supermercado, el modelo daría información sobre el tiempo que pasan los clientes en la cola de la caja, el número de clientes promedio, etc.

Un sistema puede ser de eventos discretos o continuos, dependiendo de las variables que se estén midiendo. Un sistema de eventos discretos es aquel en el que las variables cambian en forma discreta (llegada de clientes a una tienda). Uno continuo, es aquel en el

que una o más variables cambian continuamente durante el transcurso del tiempo; como ejemplo se tiene el nivel de algún fluido que se bombea a un tanque, dado que el bombeo es continuo el nivel del fluido aumenta continuamente en el tanque. Es común que por simplificar el modelo de un sistema, se haga una discretización de variables.

Un sistema va cambiando su estado conforme pasa el tiempo, los estados deben definirse como una descripción completa del sistema en el tiempo: tamaño de colas, número de clientes en el proceso, tiempo actual y transcurrido, o el valor de las variables que sean relevantes para el estudio del sistema.

MODELO

Un modelo es una representación de un sistema, que permite su análisis. Los modelos, pueden ser dinámicos, que cambian en el tiempo, o estáticos (una maqueta o un programa lineal). También se clasifican en determinísticos o estocásticos; los determinísticos se refieren a los que no contienen variables aleatorias a diferencia de los estocásticos, que pueden tener una o más. Un modelo estocástico tiene como resultados estimadores de las características del sistema real.

El detallar un modelo no quiere decir que es mejor, al contrario, simular es un arte y está ligado con poder crear un modelo sencillo que refleje la realidad, esto es lo que hace la diferencia entre un buen modelador y uno que no lo es. Por esto, los objetivos de la simulación se deben tener presentes a lo largo del modelado, para no caer en complicaciones innecesarias. Es recomendable empezar con un modelo sencillo y poco a poco irlo enriqueciendo hasta que se pueda lograr una representación clara y detallada de la realidad, llegando al modelo final, el cual cumpla con los objetivos del estudio. Un buen modelo está basado en buenas suposiciones.

Al hablar nosotros de “el modelo”, nos estaremos refiriendo a la descripción gráfica del sistema y a ésta la llamamos “gráfica de eventos”, de la cuál se hablará más tarde.

TAPAS S.A. COMO SISTEMA

Consideremos a Tapas como un sistema, el estudio empieza desde que la madera llega en forma de bastón y termina cuando llega la tapa al almacén de producto terminado.

Se modelará como un sistema estocástico, ya que sus procesos son aleatorios. El modelo se desarrollará y se simulará en computadora por ser la herramienta más adecuada para su análisis como se verá más adelante.

El objetivo del estudio es tener una representación del sistema que apoye a la toma de decisiones de casi cualquier índole; producción, compra de maquinaria, contratación de personal, entre otras. Nuestra propuesta de planeación y control de producción se modelará y simulará para ver las repercusiones que puede tener en el sistema actual. Nuestro propósito será validar nuestro programa de producción de manera que se pueda tomar la decisión de llevarlo a cabo o no.

Se pretende hacer ver la cantidad de inventario que existe dentro de la planta en varias de las operaciones, determinar cuál es la producción de tapas, tiempos de procesado, reprocesos y hacer un análisis de costos. Se desarrollará un modelo básico que muestre la situación actual y a partir de éste, se construirán otros que muestren la manera en que operarían con nuestras propuestas.

¿Por qué Simulación ?

Para los fines que se tienen con el estudio del sistema “Tapas”, se podría pensar que con un análisis de teoría de colas, cadenas de markov, programación lineal, entre otras, aparte de teoría de inventarios, podríamos encontrar una respuesta a nuestras preguntas de qué pasa si hacemos una cosa u otra. Desgraciadamente, estas técnicas importantes, no son de gran utilidad en este estudio. Para llegar a los resultados que se pretenden, tendríamos que poder interrelacionar el modelo de teoría de colas con el de inventarios, y no habría manera de incluir las descomposturas del torno, los transportes, el tiempo de reparación que no es constante, etc. El estudio de las variables en módulos separados no nos permitiría llegar a la toma de decisiones objeto de este estudio.

SIMULACIÓN

Para realizar cualquier análisis se debe entender perfectamente bien el sistema, así como la relación que tienen las variables entre sí, ya que si se modifica una de ellas afecta otros elementos del mismo. La simulación es una herramienta muy importante para el

análisis, el diseño y la operación de distintos sistemas y sus aplicaciones son tan diversas como: manufactura, política, transporte, educación, etc.. Con ella se pueden estudiar sistemas existentes para evaluarlos; o teóricos (no existentes) para diseñarlos o probarlos.

En nuestros días el uso de la simulación por profesionales ha aumentado considerablemente, esto nos habla de la importancia del beneficio que nos brinda el uso de esta herramienta. Robert E. Shannon define la simulación como “el proceso de designar un modelo a un sistema real y realizar experimentos con este modelo con el propósito tanto de entender el comportamiento del sistema, como de evaluar varias estrategias para la operación del mismo”¹, Thomas H. Naylor nos dice que la “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”².

Podríamos entonces definir simulación, como la reproducción del comportamiento de un sistema con el fin de obtener información acerca de él y poder tomar decisiones en base a esta información. Una buena simulación es una completa y fehaciente interpretación de un buen modelo.

Ventajas del uso de la simulación.

Como herramienta, la simulación tiene enormes ventajas en comparación con las técnicas que se mencionaron que podrían ser de utilidad para el análisis de un sistema. Las siguientes son algunas de estas ventajas :

- *Escoger correctamente.* Podemos tomar una decisión correcta sin comprometer recursos, esto es, que primero se verifica que la decisión es la correcta, y después se implementa la propuesta. Se ahorran grandes cantidades de dinero al no invertir en un proyecto que pudiera ser no factible.

¹ Shannon, pág 12

² Coss Bu, pág 12

- *Ahorro del Tiempo.* Se puede analizar el sistema en tiempos distantes, al ver el comportamiento del sistema después de un determinado periodo. Los tiempos se acortan al poder simular meses de producción en unos cuantos minutos.
- *Entender los porqués.* En la simulación se pueden entender aspectos que en la vida real son difíciles de asimilar. Se tiene control del tiempo, por lo que se puede reproducir el proceso una y otra vez, entendiendo la problemática que existe detrás de éste.
- *Explorar posibilidades.* Al hacer experimentos con nuestro modelo, se pueden ver posibilidades de inversión, expansión, recorte de personal, rediseño de procesos entre otros, sin incurrir en los costos de hacerlo en la realidad.
- *Identificar restricciones.* En el sistema real, existen ocasiones en donde no se pueden localizar ciertas restricciones que puedan estar afectando directamente al proceso. Al simularlo, es mucho más sencillo identificar cuáles son las posibles causas de que el sistema no opere como debería.
- *Diagnosticar problemas.* Ya encontradas las restricciones, se puede hacer un diagnóstico de los problemas con mucho mayor facilidad.
- *Desarrollar la comprensión.* Al trabajar con una simulación se llega a desarrollar un entendimiento profundo del sistema, de esta manera se pueden proponer soluciones que sean viables para el desarrollo adecuado del proceso.
- *Visualizar el plan.* Existen animaciones que hacen que se pueda visualizar el sistema tanto al principio, y cómo después de implementada la propuesta. Así, el cliente no tendrá que imaginarse su nuevo proceso a partir de un papel.
- *Construir consensos.* Ya visualizado el nuevo proceso, se pueden hacer consensos en los que se tomen decisiones adecuadas.
- *Prepararse para el cambio (¿qué pasa si?)* De este tipo de preguntas se pueden sacar soluciones viables para el desarrollo del sistema. Puede preverse cualquier cambio que pueda ocurrir.
- *Inversiones sabias.* Una vez analizadas todas las posibles propuestas, se puede tomar una sabia decisión, y tener una inversión segura.

- *Especificar requerimientos.* Es entonces sencillo saber cuales son los requerimientos del nuevo proceso para que funcione debidamente.

Desventajas.

El uso de la simulación como herramienta también tiene sus desventajas:

- *Entrenamiento.* Construir un modelo requiere un entrenamiento especial, poca gente actualmente, tiene los conocimientos para hacer un modelo válido.
- *Interpretación de resultados.* La interpretación de resultados no es cosa sencilla, se necesitan conocimientos de estadística, además del entendimiento exacto del problema.
- *Consume tiempo.* Realizar un modelo de simulación toma muchas horas de trabajo continuo y pesado. Por lo general es costoso por el tiempo que se lleva crear el modelo.
- *No optimiza.* La simulación no proporciona soluciones a los problemas como lo hacen los modelos analíticos; sirve exclusivamente como herramienta para analizar la operación de sistemas bajo ciertas condiciones. Dicho de otra manera, la simulación no optimiza, sólo nos ayuda a encontrar la mejor alternativa entre las propuestas.
- *Se usa cuando no se debe.* Al tener gran auge la herramienta de simulación, se ha estado utilizando de más. Así como existen todavía lugares en donde la simulación es una herramienta desconocida, existen algunos en donde se utiliza como primer recurso. La pregunta es: ¿cuándo es apropiado utilizar la simulación? Ésta generalmente se ha utilizado como último recurso después de analizar la solución del problema por otros métodos. Si no existen modelos matemáticos que se puedan aplicar al caso de estudio o éste es muy complicado, se utiliza la simulación. Cuando hablemos de “la simulación” nos estaremos refiriendo a un programa en computadora desarrollado a partir del modelo gráfico de eventos.

Pasos de una simulación

Existen varias versiones sobre cuáles deben ser los pasos para un estudio de simulación. Los que nosotros seguimos para realizar este estudio fueron los siguientes:

1. **Definición del sistema.** Se define un sistema al plantear los problemas y fijar los objetivos del estudio, definiendo también los límites del modelo, las restricciones e interrelaciones en el sistema.

Nuestro sistema es Tapas y anteriormente se establecieron los objetivos del estudio.

2. **Creación del modelo.** Para definir el modelo tenemos que determinar qué aspectos o partes del sistema se deben incluir y qué tan detallado debe ser. Este modelo se comienza desde lo más simple, como podría ser un diagrama de proceso sencillo para después ir complementándolo hasta tener la representación del sistema que se quiera. Un modelo consiste en una combinación de los siguientes elementos: componentes, que al ser juntados constituyen el sistema; variables, que pueden tomar diferentes valores a través de una simulación; parámetros, que son valores que una vez establecidos no varían en la corrida de simulación; relaciones funcionales, que describen el comportamiento entre los componentes del sistema; y condiciones, que son limitaciones impuestas sobre los valores de las variables. Dentro de un modelo, existen dos tipos de variables, las que podemos controlar (internas) y las que no (externas).

Nuestro modelo tiene como componentes: las máquinas en cada estación de trabajo, los almacenes existentes y los operarios que trabajan ahí. Las variables que se definieron fueron; la acumulación de inventarios antes y después de cada operación, el tiempo ocioso o ocupado de algunas de las máquinas, cantidad de reproceso que se generaba en la planta, número de tapas producidas, así como inventarios de materia prima y producto terminado. Los parámetros que se pudieran utilizar dentro de nuestro modelo sería por ejemplo el tiempo que tarda en salir del sistema cada uno de los lotes de producción, pero como esta no es la información que queremos obtener, no se tomó en cuenta. Las relaciones funcionales entre nuestros componentes son los cambios de estado que existen al ejecutarse un evento, como se explicará más adelante. Las restricciones o condiciones son las que limitan la acumulación de inventario en el proceso, así como evitar que se le lleve material a un trabajador o una máquina ocupado(a).

3. **Recolección de datos.** Se identifican los datos necesarios para la elaboración de la simulación. Estos datos pueden ser tiempos de operación, de transporte, descomposturas, tiempos ociosos ó cada cuando se le da mantenimiento a una estación de trabajo, por mencionar algunos.

Los datos utilizados se basan en la toma de tiempos de procesado, tiempos muertos, tiempos de entrega y de mantenimiento o de descompostura. Este estudio de tiempos tuvo que ser repetido más de una vez para obtener los datos requeridos por el modelo.

4. **Construir el programa en la computadora.** En este momento se debe escoger un lenguaje de programación para la simulación. Existen paquetes para este fin como son el GPSS, SIMAN, GASP y SIGMA, entre otros. Con ellos se lleva el modelo construido a un lenguaje de programación.

El lenguaje de simulación que se escogió fue SIGMA³ para Windows, con el cual se estaba familiarizado y nos daba una gran flexibilidad entre otras ventajas que se mencionarán posteriormente.

5. **Verificación del modelo.** Verificar el modelo ya traducido al lenguaje de programación quiere decir que debe incluir todas las restricciones y funciones para su buen funcionamiento, no deben existir errores de programación, ni de omisión en alguna relación funcional.

La verificación de la simulación se hizo a base de un análisis exhaustivo de los datos arrojados por ésta. Éste es uno de los pasos más tardados de todo el proceso, ya que para que no se tenga ni un solo error requiere de muchas horas.

6. **Validación.** Validar un modelo significa que se comprueba que el modelo es una representación del sistema actual. Si el programa no se comporta como lo hace la realidad, no es un modelo válido y se tendrá que rehacer. Este es uno de los pasos más importantes, ya que sin un modelo válido, no podemos tomar decisiones correctas, y si se toman, puede ser causa de errores graves. Los resultados obtenidos de dichas corridas se comparan con la realidad ó con las hipótesis que se tenían al crear el modelo, en caso

³ Shruben

de ser un modelo no existente. Si la respuesta es satisfactoria se continua el proceso normalmente, de lo contrario se regresa a la definición del modelo.

La validación de nuestro modelo base, el cual es la simulación del sistema actual, se hizo a partir de la facturación de la fábrica durante el mismo periodo que se simuló. Los datos arrojados por la simulación reflejaron la misma cantidad producida que la que realmente se dio. Esto hace de nuestro modelo uno perfectamente válido a partir del cual se pueden hacer mejoras confiablemente.

7. **Realización de corridas y experimentación.** Aquí se obtiene información estadística y se realizan experimentos con las preguntas de ¿qué pasa sí? De esta manera se puede ver cómo se comporta el sistema si se toma una u otra decisión.

El número de corridas que se realizaron se determinó a partir de a una distribución t de Student, la cual nos da el número de muestra necesario para ser válido (los datos se encuentran en el resumen que se presentan en la sección de resultados). Al terminar con las corridas de nuestro sistema inicial, se realizan experimentos con esa base, y se cambia el sistema con la propuesta hecha de planeación y control de la producción. De esta manera se observa el comportamiento del sistema con las mejoras.

8. **Interpretación.** Como su nombre lo indica, se interpretan los datos arrojados por la simulación, y se analiza si se necesitan más corridas. En la interpretación se validan las diferentes hipótesis hechas, y se compara si la propuesta es válida o no. Después, se podrá tomar una decisión.

9. **Documentación.** Es la parte escrita de cada paso del proyecto; del funcionamiento, sus variables, las relaciones entre éstas y los resultados.

10. **Implantación.** El modelo de simulación proporciona todas las características con que debe contar el nuevo sistema real que tendrá una mayor productividad.

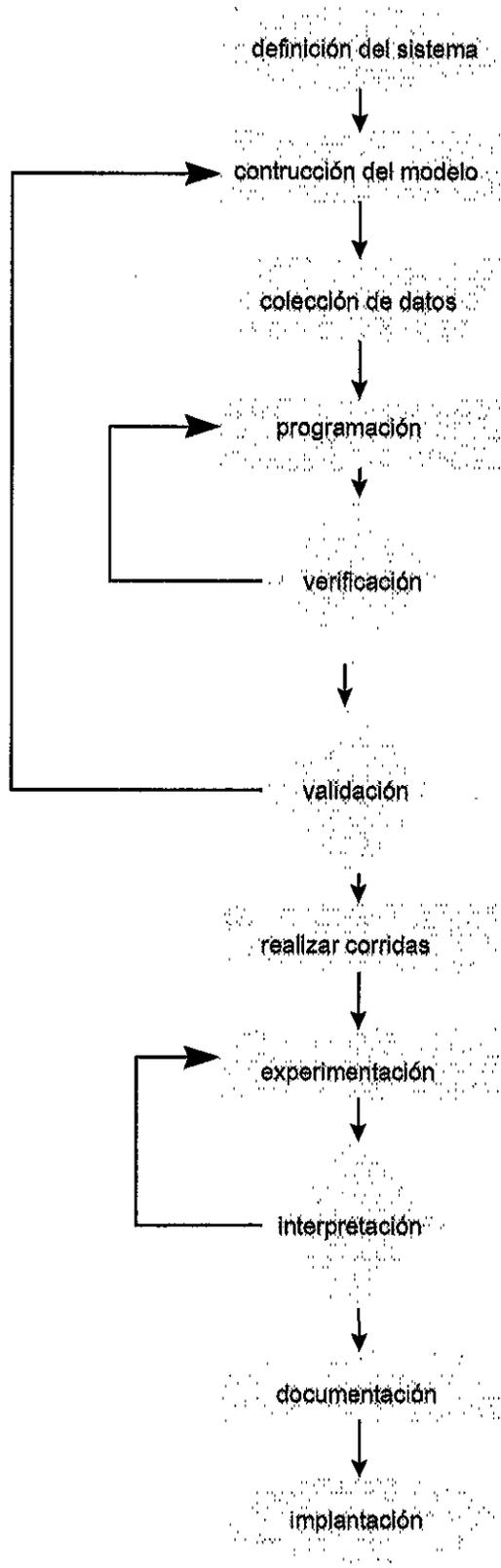


diagrama de flujo para realizar un a simulación

LENGUAJES DE SIMULACIÓN

Para realizar la programación de nuestro modelo podríamos crear un programa utilizando cualquier lenguaje de programación como C, Pascal o Fortran, entre otros, o utilizar un paquete de simulación ya existente. Con los adelantos tecnológicos algunos de los paquetes existentes están diseñados para ambientes amigables como el de Windows. Las ventajas al utilizar uno ya existente son :

- Los lenguajes de simulación proporcionan automáticamente la mayoría de las características que se necesitan para programar un modelo.
- Es más fácil detectar errores, ya que el paquete detecta automáticamente los problemas potenciales que se pueden tener en la programación.
- Nos dan un ambiente gráfico para la simulación, con lo que es más fácil visualizar lo que sucede.
- Es más fácil hacer cambios en los lenguajes de simulación por el ambiente amigable que tienen.

Existen dos grandes clases de paquetes de simulación los cuales son: los lenguajes y los simuladores. Los simuladores se diseñaron para simular sistemas muy específicos, con los cuales se requiere muy poco a nada de programación. Un lenguaje de simulación es un paquete que puede ser muy general, pero tiene ciertas características que resultan ser muy útiles para las aplicaciones. Los lenguajes al ser más generales tienen mayor ámbito de aplicación, ya que se puede simular cualquier tipo de sistema, estos requieren mayores conocimientos de programación. Ejemplos de lenguajes de simulación son : SIMAN, SIGMA y GPSS.

Como se explicó anteriormente, es común que se haga una discretización de variables para simplificar el modelo. Los lenguajes de simulación mencionados son todos de simulación de eventos discretos.

Existen dos enfoques básicos para la simulación de eventos discretos:

Simulación por eventos (Programación de eventos). El sistema se modela identificando los eventos característicos en los cuales se tiene asociado un cambio de estado del sistema (máquina ociosa u ocupada, tamaño de las colas, etc.), esto quiere decir que

cada vez que se ejecuta un evento el sistema cambia de estado. Para programar, se realizan una serie de rutinas que programan los eventos y nos dan una descripción detallada de los cambios que hay en el sistema. Un ejemplo de lenguaje sería SIGMA.

Simulación por tiempos fijos (Proceso). Es una secuencia de eventos relacionados separados por tiempo, que describen la experiencia de una “entidad” mientras fluye por el sistema, para este se utilizan programas de diagramas de bloques, i.e. GPSS.

Los dos son similares ya que tienen un reloj interno a la simulación y una lista de eventos que están por ejecutarse. Su diferencia básicamente radica en el lenguaje en que se construye el programa. La programación de eventos es más flexible ya que se puede simular una “entidad” que fluye a través del proceso, o puede simular ciclos en un proceso (máquina ocupada u ociosa). Con el Proceso, como ya se mencionó, sólo se simula el flujo de una “entidad” a través del proceso, por lo que se tienen menos líneas de código.

SIGMA

Es lógico pensar en que se desean ciertas características del lenguaje. Para escoger un lenguaje de simulación generalmente se toma en cuenta el enfoque de simulación que se requiere, la flexibilidad, la facilidad de desarrollo del modelo, la capacidad estadística, el acceso a una variedad de distribuciones estándar (normal, triangular, exponencial,...), la forma de presentar los resultados, el que puedan presentar los resultados mediante una animación para tener un mejor entendimiento del sistema y que las entidades tengan atributos, por ejemplo: que se puedan conocer las fechas de entrega de la pieza o entidad.

Al ver las ventajas que presentan ciertos lenguajes de simulación, y al estar familiarizados con uno de éstos, se simuló el modelo Tapas en SIGMA para Windows.

SIGMA es un lenguaje de simulación con el enfoque de programación de eventos, la cual se hace gráficamente. El reloj avanza discretamente con la ejecución de cada uno de los eventos característicos del sistema. Se tiene una lista de eventos en la cual aparecen los eventos programados para ejecutarse, con su respectivo tiempo de ejecución.

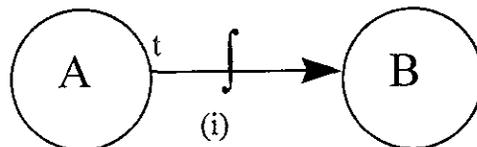
Los lenguajes de simulación de eventos discretos se distinguen por dos características: la lógica en la representación del paso del tiempo, y la lógica en la

representación de la aleatoriedad. SIGMA realiza las dos automáticamente, y son las únicas variables (CLK, RND) que el modelador no puede cambiar dentro de SIGMA.

El objetivo de SIGMA es proveer un medio amigable al usuario en el cual pueda construir, verificar y experimentar con modelos de simulación de eventos discretos.

Al desarrollar el modelo, se definen los eventos importantes del sistema, con las características que tienen. Al ejecutarse cualquier evento se realiza un cambio en el estado del sistema, como el aumento en una caja al almacén de producto terminado (el número de cajas en el almacén sería una variable de estado). Un sistema de eventos discretos está conformado por tres elementos: las variables de estado, los eventos que cambian los valores de las variables de estado y las relaciones entre los eventos. Una gráfica de eventos organiza el conjunto de los tres elementos en un modelo de simulación. La unidad básica de una gráfica de eventos es una flecha conectando dos vértices. Los eventos se representan con vértices o nodos y las relaciones entre ellos con flechas que los conectan. Los cambios de estado resultantes de la ejecución del evento se efectúan en los nodos por medio de una lista de expresiones que generalmente son muy sencillas, como sería el aumento del número de tapas en cierta operación en uno. En las flechas se define el flujo lógico y el comportamiento dinámico del modelo. Es importante entender la dinámica de cómo se programa un evento, y esto se puede explicar fácilmente mediante la figura que se lee:

Si la condición (i) es verdadera en el momento en que el evento A ocurre, entonces se programa el evento B para ocurrir después de un tiempo t.



De esta forma se construye una secuencia de vértices unidos por flechas con las condiciones para programar los eventos, la cual sería nuestra gráfica de eventos. Se puede restringir el acumulamiento del material por ejemplo, o simplemente evitar que el material

pase a una estación cuando la máquina está ocupada. En el evento suceden los cambios de estado como por ejemplo, que se desocupe uno de los servidores. Los tiempos de operación de los procesos se registran en el tiempo t para cada uno de las operaciones.

El ambiente de SIGMA es gráfico, con lo que se puede ver cuando se está ejecutando cada evento además de ver la lista de eventos futuros. Cada una de las variables de estado a las que se les lleva el rastro, se están graficando conforme la simulación se realiza. Se puede, entonces, ver el comportamiento de estas variables mientras el sistema opera. Durante la corrida, se crea un archivo, en donde se tiene el registro de todos los eventos que ocurrieron, en qué tiempo, y el valor de cada una de las variables rastreadas en tiempo (discreto) en el que ocurre cada evento, se sabe también cuantas veces ocurrió cada evento. De esta forma el análisis de los datos es sencillo, y la realización de estadísticas también.

Para facilidad de entendimiento de usuarios externos, se puede traducir el código del modelo al inglés, a C++ ó a Pascal. SIGMA está hecho con lenguaje C++, por eso es que varios de los comandos que se utilizan son iguales a los usados en C++. Como cualquier ambiente gráfico, las corridas en SIGMA no son del todo rápidas, pero al ser traducidas a C++, se pueden realizar las corridas en mucho menor tiempo, ya que el ambiente gráfico se elimina.

SIGMA cuenta con una forma de correr los programas que nos muestra evento por evento, lo que sucede con todas las variables, así como los eventos nuevos que se programan. A esta forma de correr los programas se le llama “single step”, y nos sirve para verificar el programa y encontrar los errores fácilmente.

Para modelar en SIGMA el número de máquinas ociosas u ocupadas, se define una variable entera, ésta tomará valores mayores a 0 cuando signifique que existe un servidor libre, y valores de 0 cuando no haya servidor libre. Ejemplificando : $T=1$ significa que hay un torno desocupado, $T=0$ está ocupado. De igual forma con servidores mayores a 1, $R=5$, existen 5 pulidores ociosos, $R=3$ hay 3 pulidores ociosos y dos ocupados.

Ya explicado el funcionamiento del lenguaje de simulación utilizado, sigue la explicación del modelo creado. Las variables utilizadas en la creación del modelo del sistema actual se encuentran definidas en el Apéndice C.

El modelo de la situación actual consta de 21 eventos relacionados entre sí. Parte de los eventos son las estaciones de trabajo, y los demás son los inventarios que se acumulan entre las estaciones excepto el *inicio*, que es la inicialización de la corrida, el *repro* que es la acumulación de rechazo, y el *cancel*, que simula las descomposturas del torno.

Llegan al almacén de materia prima bastones que equivalen a 225,000 tapas, que es lo que se compra, con cierta aleatoriedad debido a que los tiempos de entrega del proveedor varían. El torno empieza a procesar tapas y se van acumulando antes de la perforadora, como la perforadora trabaja más rápido que el torno, aquí no se acumula inventario, sino que la perforadora se queda ociosa mientras que el torno termina de procesar. La perforadora toma las piezas que el torno ya procesó, las procesa y se van acumulando antes del pulido. El pulido es una operación muy lenta, por lo que se acumulan grandes cantidades de tapas en espera de ser pulidas. Ya que no se tiene ningún control, éste inventario en proceso crece sin límite hasta que el torno deja de producir por descompostura o por falta de materia prima. En cuanto un pulidor acaba sus piezas las pasa a la selección y por medio de las personas que realizan la operación, se mandan a empaque en caso de las blancas o a tinte si son cafés. En promedio el 40% de las tapas son cafés y el resto blancas. Las tapas cafés se entintan y luego se barnizan. En el barniz se tiene un lote de 1200 tapas que es la capacidad de la estación, después se separa el rechazo y se empaqa. En los nodos del producto terminado café y blanco se cuentan las cajas terminadas. El evento *torno* programa al evento *manual* en el que está considerado todo el proceso de los torneros manuales, corte de pico, perforación en el taladro y formación manual. Las tapas que se procesan por ellos se suman en la selección.

Como en la realidad no se tiene ninguna política de producción ni control alguno en ella, dentro del modelo tampoco se tienen consideraciones en los tamaños de lote y en la restricción de inventarios en proceso. Se utilizaron tiempos de producción reales que incluyen los tiempos muertos de cada operación.

Las condiciones que existen entre los nodos evitan que una máquina ya ocupada trabaje en otro lote, y restringen el uso de una operación si no hay material con que trabajar.

El modelo de la propuesta consta de 19 eventos, integrados de igual forma que el modelo actual, no hay que olvidar que el modelo actual sirve como base al propuesto. Desaparecen los nodos *cancel* y *repro* debido a que con el programa de mantenimiento y capacitación se supone que no se descompondrá el torno como anteriormente y no existirán reprocesos.

Recordando, se calculó un inventario de seguridad de 12,960 tapas al mes con un punto de reorden de 91,000 tapas, el evento *revisa* está encargado de mandar las 171,000 tapas (EOQ ya calculado) al almacén de materia prima cada vez que éste llega al punto de reorden (91,000). Esencialmente, este modelo sigue los mismos pasos que el anterior sólo que aquí están restringidos los inventarios de producto en proceso de la manera que se explicó en el capítulo 2. Si en algún momento un “buffer stock” llega a su capacidad, en ese momento se detiene la operación anterior para evitar la acumulación excesiva de material entre estaciones. Cuando este inventario disminuye, la operación continúa su producción normalmente. También fue eliminada la selección, ya que los pulidores pueden realizar perfectamente la operación por las razones explicadas anteriormente. Los tiempos que se utilizaron en esta simulación varían de los de la simulación actual debido a los programas de capacitación y motivación con los que se logra un aumento en la productividad por la disminución de tiempos muertos.

Las condiciones que se tienen limitan lo mismo que el modelo anterior, además de controlar la acumulación de inventarios entre las operaciones.

4

Resultados y Conclusiones

A continuación se presentan los resultados obtenidos en las simulaciones y el análisis de los mismos. El siguiente cuadro nos muestra el promedio del valor de las variables que se rastrearon en la simulación del sistema actual. Se simuló el equivalente a 65 días de producción. Como se explica en el apéndice C, las Q's representan la cantidad de material en las estaciones o entre ellas. Q3 representa el número promedio de tapas en el proceso de torneado manual, Q5 es el inventario después de la operación del torno, Q7 es la cantidad de tapas después del pulido antes de la selección, Q9 son las tapas oscuras esperando a ser entintadas, Q16 representa el número de cajas de tapa blanca empacadas en el periodo simulado, Q17 representa el número de cajas de tapa café empacadas en el periodo simulado, Q19 son las tapas en el proceso de tinte, C es la cantidad de materia prima, ACUM es la acumulación de inventario antes del pulido y T y P representan los tiempos muertos del torno y perforadora respectivamente. La producción de torneros manuales, el número de piezas rechazadas y las descomposturas del torno, se determinaron a partir del archivo de salida de la simulación en donde se muestra el número de veces que ocurrió cada uno de los eventos. Este archivo es de 40,000 líneas de Excel, lo que equivale a 3 archivos saturados de esta hoja de cálculo, por ello es que no se presentan. El número de eventos ocurridos en cada una de las corridas se encuentra en el apéndice C y el detalle de los costos involucrados en el apéndice A. Aquí se justifica el número de corridas realizadas con una prueba t de Student tomando en cuenta un error del 10%, un nivel de significancia de .1, y 24 grados de libertad. Se realizaron 3 corridas más que el número de muestra determinado.

Datos arrojados por la simulación

Estadísticas de inventarios y tiempos muertos en la simulación de la situación actual

corrida #	C	T	ACUM	P	Q[3]	Q[5]	Q[7]	Q[9]	Q[13]	Q[16]	Q[17]	Q[19]
1	122926	0.1577	20726	0.7475	85	134	236	586		250	138	120
2	128090	0.159	14938	0.749	86	143	233	595	19	251	139	124
3	112362	0.186	23346	0.743	86	134	230	588	19	251	139	124
4	122702	0.160	19655	0.748	88	141	228	600	19	251	139	125
5	124256	0.161	25962	0.744	88	130	234	597	19	252	139	122
6	135986	0.160	15978	0.752	87	134	230	604	19	251	138	118
7	117041	0.161	19406	0.744	86	143	238	603	19	252	139	122
8	131900	0.155	16565	0.756	82	145	240	600	19	248	137	116
9	114540	0.163	26372	0.743	88	132	234	607	19	252	139	122
10	123868	0.162	24743	0.745	89	140	233	611	19	252	139	119
11	109548	0.198	29457	0.749	85	135	243	591	19	251	139	115
12	141251	0.156	16095	0.753	84	135	224	590	19	248	137	123
13	118624	0.197	18002	0.757	83	132	232	589	19	247	136	121
14	115345	0.165	20574	0.744	87	140	231	600	19	251	138	121
15	109275	0.194	32384	0.744	89	131	226	593	19	251	139	128
16	114157	0.160	25520	0.746	86	137	237	602	19	252	139	118
17	129608	0.159	14156	0.743	83	131	243	579	19	249	137	114
18	113120	0.174	27467	0.742	86	134	230	587	19	251	138	118
19	120237	0.170	20265	0.760	84	139	234	588	19	249	137	122
20	138937	0.160	19899	0.749	88	134	228	602	19	252	139	123
21	127602	0.158	19497	0.754	85	142	238	607	19	250	138	118
22	116874	0.159	22416	0.746	85	132	234	604	19	250	138	121
23	116874	0.159	22416	0.746	85	132	234	604	19	246	136	121
24	109036	0.190	31670	0.742	86	135	233	596	19	253	139	126
25	120234	0.159	20823	0.744	86	137	231	596	19	251	138	119

μ	121,375.72	0.17	21,933.28	0.75	85.98	136.14	233.29	596.86	18.98	250.40	138.12	120.67
σ	9,107.32	0.01	5,010.81	0.01	1.86	4.40	4.71	8.02	0.12	1.73	0.97	3.25

Error 12137.572 0.017 2193.328 0.075 8.598 13.614 23.329 59.686 1.898 25.040 13.812 12.067
 2.064 valor de $t_{\alpha/2}$ con 24 grados de libertad y nivel de significancia (.1)

muestra 2.398 2.886 **22.235** 0.020 0.200 0.445 0.174 0.077 0.017 0.020 0.021 0.309
 muestras

inventario promedio (materia prima)

121,375.72

65 días de corrida

tiempo muerto del torno

0.17

tiempo muerto de la perforadora

0.75

acumulacion promedio de tapas antes de pulido

21,933.28

inventario promedio antes de entintar

233.29

inventario promedio antes de perforar

136.14

inventario promedio en entintado

596.86

promedio de blancas diarias

3.9 cajas

64%

bcas por torno

3070

diarias

3852 tapas

tapas diarias totales

5977

en torno

4673

diarias

promedio de cafes diarias

2.1 cajas

36%

cafes por torno

1603

diarias

2125 tapas

costo de tapa 1.307

costo de torno por día

\$ 6,107.66

35.9 cajas a la semana promedio

6 diarias

promedio de tapas con torneros manuales diario

1304.27

22%

del total

cafes

522

bcas

783

costo de tapa 1.986

promedio de rechazos

426.71

7.1%

del total

costo de torneros por día

\$ 2,564.20

16% de tapas cafes

descomposturas del torno

30.40

veces

en 65 días

La facturación correspondiente al mismo periodo que fue simulado, fue de 35.9 cajas promedio a la semana, exactamente lo que resultó en la simulación. Se tomó un promedio de lo que se fabrica, por facilidad, pero en realidad hay días en donde no se produce nada y días en donde se logran 10 cajas. Las tapas producidas por el torno se obtuvieron a partir de la producción hecha por los torneros manuales.

Al ver el número de piezas producidas en la simulación se hizo un cuadro con la producción mes a mes de los resultados. Como estamos manejando promedios, se tomó la producción hecha al mes en promedio, para así obtener los costos mensuales. La demanda de tapas es constante por ser pedidos adelantados en 6 meses, como se mencionó anteriormente, la demanda es de 288,000 tapas mensuales. El 30% de la demanda no satisfecha es perdida por que se cancela esa parte del pedido, el otro porcentaje se puede satisfacer en los siguientes periodos. La producción y los costos de producción serían entonces:

MES	producción	demanda	backorder	faltantes	\$ 0.724 costo faltan	costo prod \$1.436	\$2.16 ganancia
ENE	143448	288000	144552	144552	\$31,396.69	\$205,991	309847.68
FEB	143448	288000	144552	144552	\$31,396.69	\$205,991	309847.68
MAR	143448	288000	144552	144552	\$31,396.69	\$205,991	309847.68
ABR	143448	288000	144552	144552	\$31,396.69	\$205,991	309847.68
MAY	143448	288000	144552	144552	\$31,396.69	\$205,991	309847.68
JUN	143448	288000	144552	144552	\$31,396.69	\$205,991	309847.68
JUL	143448	288000	144552	144552	\$31,396.69	\$205,991	309847.68
AGO	143448	288000	144552	144552	\$31,396.69	\$205,991	309847.68
SEP	143448	288000	144552	144552	\$31,396.69	\$205,991	309847.68
OCT	143448	288000	144552	144552	\$31,396.69	\$205,991	309847.68
NOV	143448	288000	144552	144552	\$31,396.69	\$205,991	309847.68
DIC	143448	288000	144552	144552	\$31,396.69	\$205,991	309847.68
					\$376,760.33	\$2,471,897.37	\$3,718,172.16

Se puede observar por el costo de oportunidad que representa el no cumplir a tiempo con el cliente. La utilidad resulta ser de \$1'246,274 anuales.

Si hacemos un análisis del costo de producción del proceso normal y el de los torneros manuales, se obtienen los resultados presentados en seguida:

producción con tomeros

MES	producción	costo prod	ganancia
		1.966	2.16
ENE	31296	\$61,528	67599.36
FEB	31296	\$61,528	67599.36
MAR	31296	\$61,528	67599.36
ABR	31296	\$61,528	67599.36
MAY	31296	\$61,528	67599.36
JUN	31296	\$61,528	67599.36
JUL	31296	\$61,528	67599.36
AGO	31296	\$61,528	67599.36
SEP	31296	\$61,528	67599.36
OCT	31296	\$61,528	67599.36
NOV	31296	\$61,528	67599.36
DIC	31296	\$61,528	67599.36
		\$738,337.20	\$811,192.32

ventas	\$811,192.32
costo	\$738,337.20
utilidad anual	\$72,855.12

9.867% de rentabilidad

pérdida de utilidades por el uso de un bastón pequeño

98 tapas sin procesar diarias por no darse abasto los tomeros
 \$89.68 diarios que no se ganan (venta-costo)
 \$2,152.23 a la semana
 \$25,826.80 al año

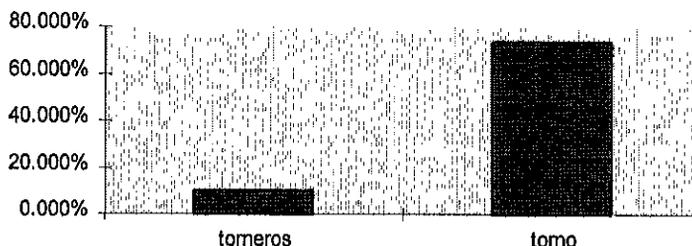
producción en torno

MES	producción	costo prod	ganancia
		1.244	2.16
ENE	112152	\$139,517	242248.32
FEB	112152	\$139,517	242248.32
MAR	112152	\$139,517	242248.32
ABR	112152	\$139,517	242248.32
MAY	112152	\$139,517	242248.32
JUN	112152	\$139,517	242248.32
JUL	112152	\$139,517	242248.32
AGO	112152	\$139,517	242248.32
SEP	112152	\$139,517	242248.32
OCT	112152	\$139,517	242248.32
NOV	112152	\$139,517	242248.32
DIC	112152	\$139,517	242248.32
		\$1,674,206.30	\$2,906,979.84

ventas	\$2,906,979.84
costo	\$1,674,206.30
utilidad anual	\$1,232,773.54

73.63% rentabilidad

rentabilidad



Se puede observar que la producción de los torneros deja una rentabilidad del 9.86%, cuando la del torno una del 73.63%. Además, debido a la utilización de bastones pequeños el desperdicio de madera que puede ser procesado, equivale a un costo de oportunidad de \$24,000 pesos al año. Si el bastón utilizado fuera más largo, los torneros se darían abasto al no tener tanto desperdicio de picos, y el torno podría formar más tapas por polín. De esta forma se aprovecha mejor la materia prima.

En cuanto a la simulación de la propuesta, se simularon 42 días ya quitando el tiempo de calentamiento del sistema. C modela el inventario de materia prima promedio durante las corridas, T y P son los tiempos muertos de el torno y la perforadora respectivamente, Q2 el número de tapas después del torno antes de la perforadora, Q3 las piezas promedio en la perforadora, Q4 el material antes de la operación de pulido, PUL el tiempo ocioso de los pulidores, Q7 material después de pulido, Q10 tapas blancas antes del empaque, Q11 tapas cafés antes del barniz, Q12 piezas blancas siendo empacadas, Q14 cajas totales de tapón blanco producidas en el periodo simulado, Q16 tapas cafés en empaque y Q18 las cajas totales de tapón café producidas en el periodo. A partir de estos datos se obtuvieron las estadísticas que se muestran. La producción de torneros manuales se determinó a partir del archivo de salida de la simulación. Se justifica igual que en el modelo anterior el número de corridas necesarias. El número obtenido fue sumamente pequeño debido a la poca variabilidad que existe en los resultados.

Datos arrojados por la simulación

corrida #	Estadísticas de inventarios y tiempos muertos en la simulación de la situación propuesta													
	C	T	Q2	P	Q3	Q4	PUL	Q7	Q10	Q11	Q12	Q14	Q16	Q18
1	98,912.49	0.05	28	0.44	155	116	0.24	88	110	103	89	357	80	238
2	102,458.78	0.05	28	0.44	153	116	0.24	88	110	103	89	357	81	238
3	99,448.99	0.05	28	0.44	154	115	0.24	88	111	103	89	357	80	238
4	104,368.13	0.05	28	0.44	155	117	0.23	88	110	103	88	357	81	238
5	104,268.83	0.05	28	0.44	155	115	0.24	88	110	103	89	357	81	238
6	98,465.65	0.05	28	0.44	158	115	0.24	88	110	103	88	357	81	238
7	100,104.10	0.05	28	0.44	155	115	0.24	88	109	103	89	357	81	238
8	103,348.53	0.05	28	0.44	155	117	0.23	88	110	103	89	357	81	238
9	100,749.21	0.05	28	0.44	154	117	0.23	88	111	104	89	357	82	238
10	99,986.05	0.05	28	0.44	155	115	0.24	87	110	103	89	357	81	238
11	99,871.54	0.05	28	0.44	155	116	0.24	88	110	103	89	357	81	238
12	100,178.79	0.05	28	0.44	155	115	0.24	88	110	103	89	357	80	238
13	104,489.95	0.05	28	0.44	155	114	0.24	88	111	103	89	357	80	238
14	98,505.08	0.05	28	0.44	154	117	0.23	88	110	104	89	357	81	238
15	104,730.92	0.05	28	0.44	155	115	0.24	88	110	103	88	357	80	238
16	101,291.08	0.05	28	0.44	155	114	0.24	88	109	102	89	357	82	238
17	98,828.82	0.05	28	0.44	154	116	0.24	88	110	103	70	357	81	238
18	97,509.36	0.05	28	0.44	154	114	0.24	88	110	103	89	357	82	238
19	98,754.15	0.05	28	0.44	155	116	0.24	88	110	103	88	357	81	238
20	101,564.07	0.05	28	0.44	154	115	0.24	88	110	103	88	357	81	238
μ	100,789.13	0.05	27.73	0.44	154.72	115.38	0.24	88.07	108.97	102.89	88.90	357.00	80.98	238.00
σ	2,458.09	0.00	0.01	0.00	0.58	0.88	0.00	0.24	0.24	0.37	0.45	0.00	0.50	0.00
2.064	valor de $t_{\alpha/2}$ con 24 grados de libertad y nivel de significancia (.1)													
E	10,078.81	0.00	2.77	0.04	15.47	11.54	0.02	6.81	11.00	10.30	6.89	35.70	8.10	23.80
n	0.25	0.00	0.00	0.01	0.01	0.03	0.05	0.01	0.01	0.01	0.02	0.00	0.03	0.00

42 días de corrida

inventario en materia prima	100,788.13
inventario promedio en proceso	708.74
utilización del torno	0.95
utilización de la perforadora	0.58
utilización de los pulidores	0.76

tapas hechas en total	595,000
producción del torno	14167 diarias 340,000 al mes
blancas	357,000 diarias
café	238,000 diarias
costo de la tapa	\$ 5687
producción de torneros	83,884
10.73%	

blancas	38,318 diarias
café	25,546 diarias
costo de la tapa	\$ 1.138
producción de torneros	1521 diarias por torneros
costo diario del proceso manual	\$ 1,727.37

cajas a la semana promedio	85
eliminando torneros	14 diarias
	12 diarias

Este modelo no toma en cuenta reprocesos ya que se espera que con la educación y entrenamiento de los operarios, no haya reprocesos, esto no significa que no existirá ningún defecto dentro de la planta, al trabajar con productos naturales, no podemos esperar que siempre estén libres de irregularidades calidad. El número de cajas producidas a la semana cubre la demanda requerida y se tiene una producción extra por el proceso manual. Esta

capacidad nos deja tener un porcentaje bastante alto de materia prima defectuoso, y tiempo para realizar el mantenimiento de las máquinas sin necesidad de otro turno. Si existiera algún factor que no se tome en cuenta a la hora de la implantación, o si surgiera un alza en la demanda, se podrá satisfacer sin problema.

Los resultados mes a mes de los resultados es como sigue:

PLAN 1		capacidad 360000 tapas mensuales						\$0 012		
MES	inv ini	producción	demanda	inv seguridad	invent final	pzas faltantes	costo fallan	exceso inventario	cost producción	\$2 16 ganancia
ENE	0	290000	218611	12960	71389	0	0	\$ 862.61	\$221,850	\$626,400
FEB	71389	290000	208595	12960	152794	0	0	\$ 1,846 26	\$221,850	\$626,400
MAR	152794	290000	258359	12960	184435	0	0	\$ 2,228 59	\$221,850	\$626,400
ABR	184435	290000	206687	12960	267748	0	0	\$ 3,235 29	\$221,850	\$626,400
MAY	267748	290000	238485	12960	319263	0	0	\$ 3,857 76	\$221,850	\$626,400
JUN	319263	290000	357728	12960	251536	0	0	\$ 3,039 39	\$221,850	\$626,400
JUL	251536	290000	337854	12960	203682	0	0	\$ 2,461 16	\$221,850	\$626,400
AGO	203682	290000	349778	12960	143904	0	0	\$ 1,738 84	\$221,850	\$626,400
SEP	143904	290000	298106	12960	135798	0	0	\$ 1,640 89	\$221,850	\$626,400
OCT	135798	290000	298106	12960	127691	0	0	\$ 1,542 94	\$221,850	\$626,400
NOV	127691	290000	349778	12960	67913	0	0	\$ 820 62	\$221,850	\$626,400
DIC	67913	290000	357728	12960	188	0	0	\$ 2 25	\$221,850	\$626,400
ENE	188	290000	218611	12960	71575	0	0	\$ 864.86	\$221,850	\$626,400
								\$24,141 45	\$2,884,051	\$8,143,200

Se tiene un costo por mantener el inventario acumulado que representa el .83% de los costos de producción. Se mantiene el inventario de seguridad siempre para poder tener el nivel de servicio deseado y se cumple con la demanda pronosticada. La utilidad generada con este plan es de \$5'235,007 al año sin impuestos.

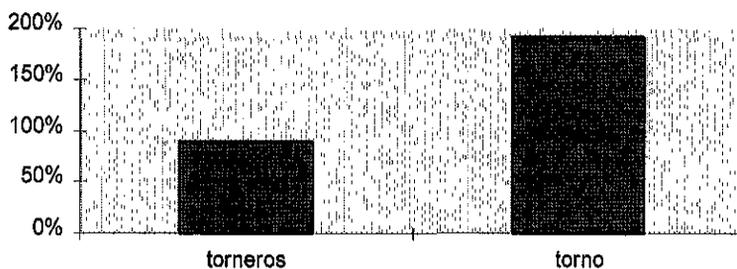
Una vez más, hacemos un análisis de la producción de torneros y el proceso normal:

PLAN 1		produccion con torneros		costo prod		2.16	
MES	producción	1.136	ganancia	ventas	costo	utilidad anual	
ENE	36504	\$41,469	78848 64				
FEB	36504	\$41,469	78848,64				
MAR	36504	\$41,469	78848 64				
ABR	36504	\$41,469	78848 64				
MAY	36504	\$41,469	78848 64				
JUN	36504	\$41,469	78848 64				
JUL	36504	\$41,469	78848.64				
AGO	36504	\$41,469	78848.64				
SEP	36504	\$41,469	78848 64				
OCT	36504	\$41,469	78848 64				
NOV	36504	\$41,469	78848 64				
DIC	36504	\$41,469	78848 64				
		\$497,623.66	\$946,183.68				
				ventas	\$946,183.68		
				costo	\$497,623.66		
				utilidad anual	\$448,560.02	\$1,557 50	diarios
				90.140% de rentabilidad			

produccion en tomo

MES	producción	costo prod	ganancia	
		0.737	2.16	
ENE	303504	\$223,682	655568.64	
FEB	303504	\$223,682	655568.64	
MAR	303504	\$223,682	655568.64	
ABR	303504	\$223,682	655568.64	ventas \$7,866,823.68
MAY	303504	\$223,682	655568.64	costo \$2,684,190.11
JUN	303504	\$223,682	655568.64	utilidad anual \$5,182,633.57
JUL	303504	\$223,682	655568.64	193.08% rentabilidad
AGO	303504	\$223,682	655568.64	
SEP	303504	\$223,682	655568.64	
OCT	303504	\$223,682	655568.64	
NOV	303504	\$223,682	655568.64	
DIC	303504	\$223,682	655568.64	
		\$2,684,190.11	\$7,866,823.68	

rentabilidad



Al bajar los costos de producción, el proceso manual se vuelve rentable, contrario a lo que se supuso en un principio. La rentabilidad de los torneros aumenta a 90% y la del proceso normal es considerablemente mayor a la anterior 193%. Como se explico, no se requiere de esta capacidad extra, pero nos damos cuenta que se puede suplir al proceso normal sin tener costos elevados y con una rentabilidad aceptable. El proceso propuesto elimina a los pulidores, aunque estos hayan sido simulados. Esto es posible ya que la capacidad de la vibradora es tal, que puede hacer el trabajo de los 5 pulidores. Como el plan propone que se produzca 12000 tapas diarias, no se necesita simular para saber si esta nueva máquina puede procesarlas. Con un balanceo de líneas se puede determinar si la producción es factible con la capacidad instalada. A continuación se presenta el balanceo que justifica nuestras razones de no simular el cambio:

Capacidades
 vibradora
 3800 pzas/hr
 selección
 1400 pzas/hr

Balanceo de línea con vibradora y selección
 750 piezas requeridas por turno
 pzas/hr real (80%) # de operarios

torno	900	750	1.0000	1
perforadora	1368	1140	0.6579	1
vibradora	3800	3040	0.2467	1
selección	700	560	1.3393	2
barniz	600	500	1.5000	2
empaques	1440	1200	0.6250	1

utiliza el 62% de la capacidad, por lo que uno de ellos puede manejar la vibradora

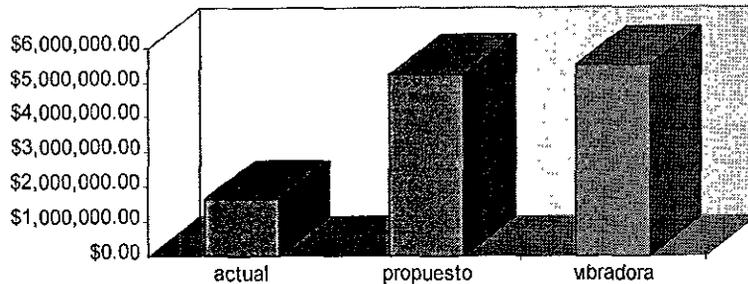
Al tener el mismo plan de producción, no es necesario hacer una justificación de lo que pasaría al cambiar la máquina con una simulación. La vibradora tiene una capacidad suficientemente mayor como para eliminar a los pulidores y así ahorrar el salario de estas personas, ya que solo se necesitan 4 personas para la vibradora y la selección, en lugar de 10. El costo por tapón se reduce a \$.703, por lo tanto conviene operar con una vibradora.

Se presenta un cuadro comparativo de las utilidades con un proceso y el otro. De esta forma, se visualiza mejor la diferencia bruta que existe con una buena planeación.

situación actual		propuesto		pulidores		vibradora	
ventas	\$3,718,172.16	ventas	\$8,143,200	ventas	\$8,143,200	ventas	\$8,143,200
costos de producción	\$2,471,897.37	costos de producción	\$2,884,051	costos de producción	\$2,884,051	costos de producción	\$2,884,051
utilidad	\$1,246,274.79	inventario	\$24,141.45	inventario	\$24,141.45	inventario	\$24,141.45
oportunidad	\$376,760.33	utilidad	\$5,235,007.78	utilidad	\$5,235,007.78	utilidad	\$5,468,747.85
	\$1,623,035.12						

337%

utilidades antes de impuestos



Las utilidades del primer plan representan un aumento en las utilidades de 337%.

En cuanto al segundo plan, que consiste en producir según la demanda cíclica anual, se determinó que no es factible. Durante la primera mitad del año se trabajarían dos turnos, los cuales estarían subutilizados debido a que la demanda es menor a la capacidad instalada. En la segunda mitad, dos turnos no son suficientes para cubrir la demanda, por lo que se tendría que trabajar horas extras. Las horas extras que se trabajarían varían de una a cuatro dependiendo de la demanda del mes, nótese que cuatro horas es más de medio turno por ser nocturno, estas horas son diario durante siete meses. Los trabajadores no podrían trabajar al mismo ritmo, por lo que es probable que se necesiten más horas extras, el costo se volvería no rentable y se tendría que contratar a otro turno para que cubriera estas horas. Como el manejo de las máquinas requiere de gente capacitada, no es conveniente contratar y despedir al personal, que aparte de una calidad deficiente por causa de la curva de aprendizaje, implica costos de contratación y despido. Por lo anterior se determinó que no es conveniente contratar un tercer turno por la mitad del año.

Los costos que se tienen del segundo plan son los siguientes:

PLAN 2 MES	capacidad 360000 tapas mensuales		diarias	# de turnos	piezas requeridas	750 pzas por hora horas extras diarias	costo x hr	cost producción		\$2.16 ganancia
	producción	demanda						0.765	6.5	
ENE	218611	218611		9109	2			\$167,238	\$472,200	
FEB	208595	208595		8691	2			\$159,575	\$450,565	
MAR	258359	258359		10785	2			\$197,644	\$558,055	
ABR	208687	208687		8612	2			\$156,116	\$448,444	
MAY	238485	238485		9937	2			\$182,441	\$515,128	
JUN	357728	357728		14905	3	2905	4	\$4,368	\$273,662	\$772,691
JUL	337854	337854		14077	3	2077	3	\$3,276	\$258,458	\$729,784
AGO	349778	349778		14574	3	2574	4	\$4,368	\$287,580	\$755,520
SEP	298108	298108		12421	3	421	1	\$1,092	\$228,051	\$643,910
OCT	298108	298108		12421	3	421	1	\$1,092	\$228,051	\$643,910
NOV	349778	349778		14574	3	2574	4	\$4,368	\$287,580	\$755,520
DIC	357728	357728		14905	3	2905	4	\$4,368	\$273,662	\$772,691
ENE	218611	218611		9109	2			\$167,238	\$472,200	
								\$22,932	\$2,828,296	\$7,986,599
								costo de tiempos extras		

Aquí nos damos cuenta de que el costo por horas extras es casi igual al costo de inventario que se tiene en el primer plan. Este costo, aunado a lo explicado anteriormente, resulta mucho más alto que el costo de producción del primer plan.

Con estos resultados, se decidió no simular esta propuesta ya que sería absurdo por ser rechazada desde un principio.

Conclusiones

A partir del análisis realizado, se obtuvieron resultados convincentes para la implantación del primer sistema propuesto.

Como el costo de mantener el inventario no es muy alto por el tipo de producto que se maneja, es recomendable este plan en comparación con uno en el que se produzcan tapas conforme la demanda estacional lo requiera. Debido a que las máquinas deben ser manejadas por gente calificada, no es viable adoptar ese plan, ya que se tendría que contratar por seis meses a personal para cubrir un tercer turno.

Al justificar que la simulación de la segunda propuesta es absurda por no ser un plan costeable, se propone el primero que consiste en la producción constante de tapas acumulando el inventario necesario para las alzas en las demandas. Se eliminan los pulidores y se utiliza una vibradora junto con un proceso de selección. Contrario a lo que se pensaba, los torneros manuales no se eliminan por ser una operación rentable y un exceso de capacidad para cuando sea necesario. Al ser pagados por pieza producida, no se gasta en un salario por mantenerlos desutilizados.

El estudio aparte de estar concentrado en una planeación y control de la producción adecuada, toma en cuenta varios supuestos para la correcta implantación. Estos, mencionados en el capítulo 2, son de suma importancia para la operación eficiente, ya que una propuesta como esta, no solo depende de la capacidad de la planta, sino también de la productividad de la misma contando con las personas.

Este modelo tiene además posibilidades enormes de ampliación. Nos referimos a que a partir de éste, se puede hacer cualquier modificación para obtener otro tipo de resultados. Se puede incluir la posibilidad de compra o venta de maquinaria para aumentar o disminuir capacidad, contratación de personal, nueva distribución de planta, por mencionar algunas aplicaciones. Cabe aclarar que la obtención de estos resultados no es inmediata, por requerir de pasos explicados en el capítulo 3.

La propuesta significa una reducción de costos por tapón en casi un 50% en el proceso normal, de manera que se tienen casi los mismos gastos con una producción de poco más del doble. Simplemente con una correcta planeación de la producción, un adecuado mantenimiento preventivo, el aumento en utilidades es de 377%, con una inversión mínima.

Bibliografía

Alvarez, Román. La simulación en el sistema de administración portuaria, Tesis UNAM, México D.F., 1993.

Arellano, Ma. De Lourdes. Metodología para determinar los Costos involucrados en los Modelos de Inventario, Tesis UNAM, México D.F. 1992

Chase, Richard y Aquilano,. Production & Operations Management, Irwin, EUA 1992.

Coss, Raúl. Simulación Un enfoque práctico, Limusa, México D.F. 1992.

De la Torre, Jorge J. Elementos de la Administración y Manejo de Inventarios, ediciones El Caballito, México D.F., 1982

Edwards, James, Hermanson y Maher,. Principles of Financial & Managerial Accounting, Irwin, Boston 1993.

Hanke, John y Reitsch, Estadística para negocios, Irwin, España 1995.

McClain, John, Thomas y Mazzola,. Operations Management, Production of goods and services, 3a edición, Prentice Hall, New Jersey 1992.

Ross, Sheldon. Introduction to Probability Models, Academic Press, EUA 1993.

Schriber, Thomas. An Introduction to Simulation, Wiley & Sons, EUA 1991.

Shannon, Robert E. Systems Simulation the art and science, Prentice Hall, EUA 1975

Shruben, Lee. Graphical Simulation Modeling and Analysis, Boyd & Fraser, MA 1995.



Costos por tapa con la operación actual

Producción	café	blancas	total	torneros manuales	total tapas
tapas diarias	1603	3070	4673	7824	
mensuales	38472	73680	112152	31296	143448

costos por estación

	tapas/turno	\$/turno	c/seguro	\$/tapa café	\$/tapa bca	reproceso café	reproceso bca
Torno	2634	\$	37.27	\$ 0.014	\$ 0.014		
Perforadora	2634	\$	37.27	\$ 0.014	\$ 0.014		
Pulido	2500	\$	186.35	\$ 0.075	\$ 0.075	\$ 0.075	\$ 0.075
Seleccionado	2573	\$	74.54	\$ 0.029	\$ 0.029	\$ 0.029	\$ 0.029
Entintado	1285	\$	74.54	\$ 0.058		\$ 0.058	\$ -
Barniz	1285	\$	74.54	\$ 0.058		\$ 0.058	\$ -
Empaque	2995	\$	37.27	\$ 0.012	\$ 0.012	\$ 0.012	\$ 0.012
Seguro	10.87						
Mano de Obra				\$ 0.260	\$ 0.144	\$ 0.232	\$ 0.116
Materia Prima				\$ 0.422	\$ 0.422		
MO indirecta				\$ 0.092	\$ 0.092		
MP indirecta				\$ 0.275	\$ 0.066	\$ 0.275	\$ 0.066
gastos indirectos							
depreciación				\$ 0.070	\$ 0.070		
inventario				\$ 0.007	\$ 0.007		
gastos ventas				\$ 0.056	\$ 0.056		
gastos admon				\$ 0.173	\$ 0.173		
Total		\$ -		\$ 1.355	\$ 1.030		
reprocesado 1 vez				\$ 1.863	\$ 1.212		
reprocesado 2 veces				\$ 2.370			
ponderado con reprocesos				\$ 1.609	\$ 1.039		
ponderado entre las dos tapas				\$ 1.244			

costo de la tapa en proceso normal

El porcentaje de tapas cafés que se reprocesan es de 25%, de este rechazo se vuelve a reprocesar un 25%. De las tapas blancas, sólo se reprocesa el 5% y no se vuelve a rechazar. De cada bastón, el 78% se procesa por el torno y el resto con los torneros manuales.

Proceso de torneros

	tapas/turno	\$/turno c/seguro	\$/tapa cafe	\$/tapa bca
Sierra	652	\$ 37.27	\$ 0.057	\$ 0.057
Escoplo y Taladro	652	\$ 74.54	\$ 0.114	\$ 0.114
Torneros			\$ 0.600	\$ 0.600
Seleccionado	2573	\$ 74.54	\$ 0.029	\$ 0.029
Entintado	1285	\$ 74.54	\$ 0.058	
Barniz	1285	\$ 74.54	\$ 0.058	
Empaque	2995	\$ 37.27	\$ 0.012	\$ 0.012
Mano de Obra			\$ 1.340	\$ 1.224
MO ind			\$ 0.092	\$ 0.092
MP ind			\$ 0.275	\$ 0.066
gastos indirectos invent			\$ 0.007	\$ 0.007
ventas			\$ 0.056	\$ 0.056
admon			\$ 0.173	\$ 0.173
Total			\$ 1.943	\$ 1.750
reprocesado 1 vez			\$ 2.451	\$ 1.932
reprocesado 2 veces			\$ 2.958	
ponderado con reprocesos			\$ 2.102	\$ 1.760
ponderado entre las dos tapas			\$ 1.966	

COSTO TOTAL POR TAPA

	<i>cafe</i>		<i>blanca</i>
\$	1.72	\$	1.24
\$	1.436 pondero		

Detalle de costos

<i>Materiales directos</i>					costo por	# de pies
madera	pie maderero	envío	estufado		pie maderero	10,000.00
USD	\$ 0.98	\$ 0.15	\$ 0.12	\$ 1.25	\$	12,500.00

36 pulgadas mide el pie maderero
 18 pulgadas mide el bastón comprado
 0.5
 20,000.00 bastones

tipo de cambio
 8.1 dólar
 5.0625 \$/baston
 12 tapas por baston
\$ 0.42 \$ pesos/tapa

<i>Materiales Indirectos</i>				producción de		
	material al mes	\$\$\$\$	\$\$ al mes	tapas/mes	\$/tapa café	\$/tapa bca
lijas	600 pliegos	\$ 3.90	\$ 2,340.00	143448	0.02	0.02
boquillas	480 boquillas	\$ 5.00	\$ 2,400.00	143448	0.02	0.02
finitura	480 kg	\$ 27.14	\$ 13,027.20	143448	0.09	
tinta óptima	28.8 kg	\$ 51.70	\$ 1,489.08	143448	0.01	
tinta amarilla	28.8 kg	\$ 48.21	\$ 1,388.39	143448	0.01	
solvente	96 kg	\$ 13.43	\$ 1,289.47	143448	0.01	
solvente r71	600 kg	\$ 14.17	\$ 8,500.80	143448	0.06	
acelerante	120 kg	\$ 36.25	\$ 4,349.76	143448	0.03	
bolsas	240	\$ 7.00	\$ 1,680.00	143448	0.01	0.01
cajas	168	\$ 3.00	\$ 504.00	143448	0.0035	0.0035
sellos	504	\$ 0.06	\$ 28.89	143448	0.0002	0.0002
rollo papel			\$ 229.13	143448	0.0016	0.0016
brocas		\$ 280.00	\$ 280.00	143448	0.0020	0.0020
afilado		\$ 10.53	\$ 10.53	143448	0.0001	0.0001
empastillado		\$ 112.95	\$ 112.95	143448	0.0008	0.0008
fleje		\$ 104.00	\$ 104.00	143448	0.0007	0.0007
cinta canela		\$ 5.94	\$ 5.94	143448	0.0000	0.0000
maskin tape		\$ 6.32	\$ 6.32	143448	0.0000	0.0000
estafeta			\$ 240.00	143448	0.0017	0.0017
papelera			\$ 1,500.00	143448	0.0105	0.0105
polvo tombola		\$ 25.87	\$ 25.87	143448	0.0002	0.0002

0.28 0.07
MP indirecta

Gastos Fabricación

depreciación			\$ 10,000.00	143448	0.070	0.070
--------------	--	--	--------------	--------	-------	-------

depreciación

Gastos Ventas

				\$/tapa	bca	
transportes			\$ 5,000.00	143448	0.0349	0.0349
aeropuerto			\$ 3,000.00	143448	0.0209	0.0209

0.0558

ventas

Gastos Admon

abogado			\$ 765.00		
luz			\$ 2,000.00		
teléfono			\$ 2,500.00		
renta			\$ 6,000.00		
contador			\$ 3,500.00		
director			\$ 10,000.00	\$/mes	
			\$ 24,765.00	0.173	admon

Mano de Obra Directa

salarios	fijo	# de operarios	diario	al mes	tapas al mes	\$/mes/tapa
pulidores	26.4	11	\$ 290.40	\$ 6,969.60	143448	0.01
tomo	26.4	3	\$ 79.20	\$ 1,900.80	143448	0.02
tinte	26.4	6	\$ 158.40	\$ 3,801.60	143448	0.02
barniz	26.4	2	\$ 52.80	\$ 1,267.20	143448	0.03
taladro	26.4	1	\$ 26.40	\$ 633.60	143448	0.01

MO indirecta

\$ 27,772.80 salarios al mes

inventario

costo de la madera por los intereses que se generarían en el banco por esa inversión

a una tasa del 20% anual nominal

0.42 * 20 \$ 0.084 por tapa/año

Costos por tapa con la operación propuesta

Producción	café	blancas	total	torneros manuales	total tapas
tapas diarias	1603	3070	4673	7824	
mensuales	38472	73680	112152	31296	143448

costos por estación

	tapas/turno	\$/turno c/seguro	\$/tapa café	\$/tapa bca	reproceso café	reproceso bca
Torno	6336	\$ 37.27	\$ 0.006	\$ 0.006		
Perforadora pulido	6336	\$ 186.35	\$ 0.029	\$ 0.029	\$ 0.029	\$ 0.029
Barniz	2903	\$ 74.54	\$ 0.026		\$ 0.026	
Empaque	7148	\$ 37.27	\$ 0.005	\$ 0.005	\$ 0.005	\$ 0.005
Seguro	10.87					
Mano de Obra			\$ 0.072	\$ 0.046	\$ 0.060	\$ 0.035
Materia Prima			\$ 0.221	\$ 0.221		
MO indirecta			\$ 0.039	\$ 0.039		
MP indirecta			\$ 0.217	\$ 0.042	\$ 0.217	\$ 0.042
gastos indirectos						
depreciación			\$ 0.033	\$ 0.033		
inventario			\$ 0.060	\$ 0.060		
gastos ventas			\$ 0.038	\$ 0.038		
gastos admon			\$ 0.173	\$ 0.173		
Total			\$ 0.853	\$ 0.652		
reprocesado 1 vez			\$ 1.131	\$ 0.729		
reprocesado 2 veces			\$ 1.408			
ponderado entre los dos			\$ 0.725			
costo de inventario de producto terminado			\$ 0.012			
			\$ 0.737	<i>costo de la tapa en proceso normal</i>		

De cada bastón, el 89% se procesa con el torno y el resto con los torneros manuales

Proceso de torneros

	tapas/turno	\$/turno c/seguro	\$/tapa café	\$/tapa bca
Sierra	1521	\$ 37.27	\$ 0.025	\$ 0.025
Escoplo y Taladro	1521	\$ 74.54	\$ 0.049	\$ 0.049
Torneros			\$ 0.600	\$ 0.600
Barniz	2903	\$ 74.54	\$ 0.026	
Empaque	7148	\$ 37.27	\$ 0.005	\$ 0.005
Mano de Obra			\$ 0.704	\$ 0.679
MO ind			\$ 0.039	\$ 0.039
MP ind			\$ 0.217	\$ 0.042
gastos indirectos				
invent			\$ 0.060	\$ 0.060
ventas			\$ 0.038	\$ 0.038
admon			\$ 0.173	\$ 0.173
Total			\$ 1.232	\$ 1.031
reprocesado 1 vez			\$ 1.509	\$ 1.107
reprocesado 2 veces			\$ 1.786	
entre los dos			\$ 1.124	
costo de inventario de producto terminado			\$ 0.012	
			\$ 1.136	<i>costo de la tapa en proceso manual</i>

COSTO TOTAL POR TAPA

\$	café	0.89	\$	blanca	0.69
\$		0.766		ponderado	

Detalle de costos con la nueva propuesta

Materiales directos

		costo por		# de pies	
madera		pie maderero		6365	
	USD	\$	0.71	\$	4,519.15

36 pulgadas mide el pie maderero
 24 pulgadas mide el bastón comprado
 0.67
 9,548 bastones de 24"

tipo de cambio

8.4
 3.976 \$/baston
 18 tapas por baston
\$ 0.22 \$ pesos/tapa

Materiales Indirectos

	material al mes	\$\$\$\$	\$\$ al mes	producción de tapas/mes	\$/tapa café	\$/tapa bca	
lijas	1200 pliegos	\$	3.90	\$ 4,680.00	340000	0.01	0.01
boquillas	500 boquillas	\$	5.00	\$ 2,500.00	340000	0.01	0.01
finitura	960 kg	\$	27.14	\$ 26,054.40	340000	0.08	
tinta óptima	56 kg	\$	51.70	\$ 2,895.42	340000	0.01	
tinta amarilla	56 kg	\$	48.21	\$ 2,699.65	340000	0.01	
solvente	170 kg	\$	13.43	\$ 2,283.44	340000	0.01	
solvente r71	1200 kg	\$	14.17	\$ 17,001.60	340000	0.05	
acelerante	240 kg	\$	36.25	\$ 8,699.52	340000	0.03	
bolsas	480	\$	7.00	\$ 3,360.00	340000	0.01	0.01
cajas	336	\$	3.00	\$ 1,008.00	340000	0.0030	0.0030
sellos	1000	\$	0.06	\$ 57.33	340000	0.0002	0.0002
rollo papel				\$ 229.13	340000	0.0007	0.0007
brocas		\$	280.00	\$ 280.00	340000	0.0008	0.0008
afilado		\$	10.53	\$ 10.53	340000	0.0000	0.0000
empastillado		\$	112.95	\$ 112.95	340000	0.0003	0.0003
fleje		\$	204.00	\$ 204.00	340000	0.0006	0.0006
cinta canela		\$	5.94	\$ 5.94	340000	0.0000	0.0000
maskin tape		\$	6.32	\$ 6.32	340000	0.0000	0.0000
estafeta				\$ 240.00	340000	0.0007	0.0007
papeleria				\$ 1,500.00	340000	0.0044	0.0044
						0.22	0.04
							MP indirecta

Gastos Fabricación

depreciación							
				\$ 11,250.00	340000	0.033	0.033
							depreciación

Gastos Ventas

transportes		\$	8,000.00		340000	0.0235	0.0235
aeropuerto		\$	5,000.00		340000	0.0147	0.0147
						0.0382	0.0382
							ventas

Gastos Admon

abogado	\$	765.00		
luz	\$	2,000.00		
teléfono	\$	2,500.00		
renta	\$	6,000.00		
contador	\$	3,500.00		
director	\$	10,000.00	\$/mes	
	\$	24,765.00		0.17 admon

Mano de Obra Directa

salarios	fijo	# de operarios	diario	al mes	tapas al mes	\$/mes/tapa
pulidores	26.4	10	\$ 264.00	\$ 6,336.00		
torno	26.4	2	\$ 52.80	\$ 1,267.20		
barniz	26.4	4	\$ 105.60	\$ 2,534.40		
taladro	26.4	2	\$ 52.80	\$ 1,267.20		
jefe producción			\$ 1,800.00		340000	0.01
asistente de producción			\$ 3,000.00		340000	0.01
asistente de producción			\$ 2,600.00		340000	0.01
mecánico			\$ 4,000.00		340000	0.01
mensajero			\$ 1,800.00		340000	0.01
						0.04
						MO indirecta
			\$ 24,604.80	salarios al mes		

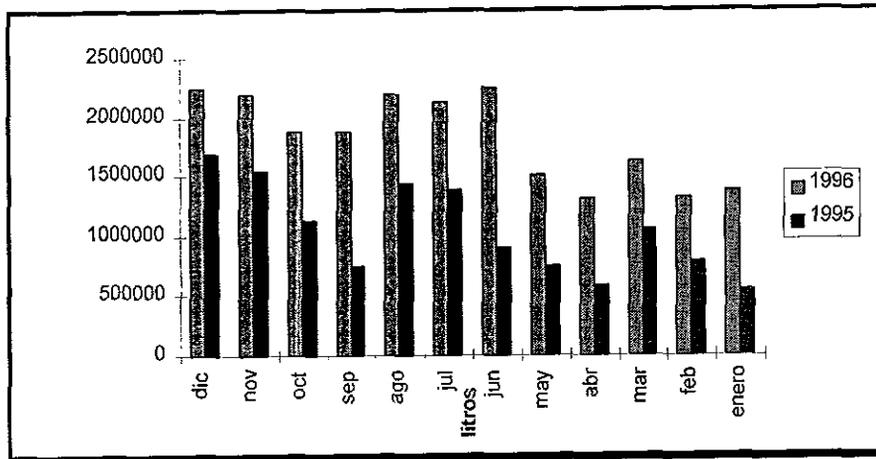
inventario

costo de la tapa (por estar ya terminada), tomando el costo del inventario de materia prima por los intereses que generaría ese dinero en el banco a una tasa del 20% anual nominal
 $.725 \cdot 2 = \$ 0.145$ por tapa/año

Costos por falta de mantenimiento

operación	no trabaja	hrs/día	prod/hr	tapas/día	costo/tapa	perdida/día
torno	40%	6.4	750	4800	2.16	\$ 10,368.00
operadores		# operarios	salario/día	salario/hr	sal/hr no trab	
torno	40%	6.4	\$ 52.00	\$ 3.25	\$ 20.80	\$ 20.80
perforadora	40%	6.4	\$ 26.00	\$ 1.63	\$ 10.40	\$ 10.40
pulidores	25%	4	\$ 130.00	\$ 8.13	\$ 32.50	\$ 32.50
selección	15%	2.4	\$ 52.00	\$ 3.25	\$ 7.80	\$ 7.80
barniz	15%	2.4	\$ 26.00	\$ 1.63	\$ 3.90	\$ 3.90
empaque	15%	2.4	\$ 26.00	\$ 1.63	\$ 3.90	\$ 3.90
					total/día	\$ 10,447.30
	prod/día	costo/tapa	ganancia/día	pérdida/día	ganancia diaria	
torno	12000	\$ 2.16	\$ 25,920.00	\$ 10,447.30	\$	15,472.70

Demanda estudiada



B

Se presentan en detalle de los cálculos para la determinación de la cantidad óptima a ordenar en base al modelo del lote económico.

EOQ

$$Q_{\text{opt}} = \sqrt{\frac{2DS}{H}}$$

en donde

Q = cantidad óptima a ordenar (equivalencia en tapas)

D = Demanda anual

S = Costo por ordenar

H = Costo de mantener el inventario

$$Q_{\text{opt}} = \sqrt{\frac{2(3,456,000)(295)}{.06}} = 170,672 \approx 171,000$$

LT = Lead Time (tiempo de entrega)

U = demanda durante el LT

$$\bar{U} = \bar{d}LT \text{ (promedio de U)}$$

\bar{d} = demanda promedio diaria

Var U = (~~Var d~~) (LT) + (Var LT) (d)² (como no existe variación en la demanda por el supuesto de que el torno es el que demanda madera, este término se vuelve cero)

$$\text{Var U} = (\text{Var LT}) (d)^2$$

$$\text{Var U} = (12000)^2$$

$$\sigma_u = 12000$$

E(z) = número esperado de unidades faltantes (normalizado)

P = nivel de servicio = 99%

$$E(z) = \frac{Q(1-P)}{\sigma_u}$$

$$E(z) = \frac{171000(1-.99)}{12000} = .014$$

$z = 1.08$ de tablas

R = punto de reorden

$$R = dLT + z\sigma_u$$

$$R = (12000)(6.5) + (1.08)(12000)$$

$$R \approx 91,000$$

$$\text{Inventario de seguridad} = z\sigma_u = 12,960$$

La justificación de los lotes de transferencia del plan propuesto es la siguiente:

lote de transferencia entre torno y perforadora

pzas/lote	tiempo torno	tiempo perf	tiempo muerto perf	hrs/900pzas	
				perf	
100	0.13	0.088	0.042	0.84	
300	0.39	0.264	0.126	0.81	
900	1.17	0.792	0.378	0.80	

lote de transferencia entre el entintado y el empaque

pzas/lote	tiempo entintado	tiempo empaque	tiempo acumulación	tapas acum	hrs/1000pzas	
					empaques	empaques
100	0.077	0.083	0.006	7	0.89	
200	0.154	0.166	0.012	14	0.86	
500	0.385	0.415	0.03	36	0.84	

C

Explicación del modelo actual :

El modelo TESIS.MOD de SIGMA es una simulación de eventos discretos.

I. DEFINICIÓN DE LAS VARIABLES DE ESTADO.

Para esta simulación están definidas las siguientes variables de estado:

Q(100):	colas en diferentes estaciones (número entero)
T:	estado del torno (ocupado u ocioso) (número entero)
P:	estado de la perforadora (número entero)
R:	número de pulidores ociosos (número entero)
C:	número de tapas en almacén de materia prima (número real)
ACUM:	piezas acumuladas antes del pulido (número real)
E:	ociosidad del empaque (número entero)
TIN:	ociosidad del tinte (número entero)
BAR:	estado del barniz (número entero)
J:	generación de un número aleatorio (número entero)
EMP:	estado del empaque café (número entero)

II. DEFINICIÓN DE EVENTOS

Los cambios de estado de la simulación están representados por vértices (nodos) en una gráfica de SIGMA. Las relaciones lógicas y dinámicas entre eventos se representan por medio de flechas que los unen en la misma gráfica. Las prioridades de ejecución de los eventos, para ser programados, son iguales a 5 a menos de que se cambien dentro del modelo.

1. El evento INICIO modela la inicialización.

Este evento causa los siguientes cambios de estado:

$T=1$

$P=1$

$R=5$

$E=1$

$TIN=1$

$BAR=1$

$EMP=1$

Después de cualquier ejecución del evento INICIO:

Programa el evento MATPR sin ninguna condición ni tiempo.

Programa el evento CANCEL el cual se ejecuta 32 unidades de tiempo después, esta programación tiene una prioridad de 6.

2. El evento MATPR modela la llegada de materia prima al almacén.

Causa los siguientes cambios de estado:

$C=C+225000$

Después de cada ejecución del evento MATPR:

Se programa el evento MATPR después de 480 a 640 unidades de tiempo, teniendo una prioridad de 6.

Si $T>0$ y $C\geq 300$, entonces se programa el evento TORNO para ejecutarse inmediatamente.

3. El evento TORNO modela el procesamiento de tapas.

Este evento causa los siguientes cambios de estado:

$Q(2)=Q(2)+300$

$C=C-300$

$T=T-1$

$J=RND$

Después de cada ejecución del evento TORNO:

Se programa sin ninguna condición el evento MANUAL después de 2.85 unidades de tiempo, con una prioridad de 6.

Sin ninguna condición se programa el evento REGRE que ocurre .42 unidades de tiempo después el 66% de las veces y el resto del tiempo ocurre .26 unidades de tiempo después, con una prioridad de 4.

4. El evento MANUAL modela la formación de tapas manualmente.

Causa los siguientes cambios de estado:

$$Q(3)=Q(3)+60$$

$$Q(2)=Q(2)-60$$

No se programa ningún evento más.

5. El evento PERFOR modela la perforación de tapas.

Este evento causa los siguientes cambios de estado:

$$Q(4)=Q(4)+300$$

$$P=P-1$$

$$Q(5)=Q(5)-300$$

Después de cualquier ejecución del evento PERFOR:

Se programa el evento ACUMUL sin ninguna condición, el cual ocurre .17 unidades de tiempo después con una prioridad de 6.

6. El evento ACUMUL modela la acumulación de inventario antes de pulido.

Causa los siguientes cambios de estado:

$$Q(4)=Q(4)-300$$

$$ACUM=ACUM+300+Q(20)$$

$$P=P+1$$

$$Q(20)=0$$

Después de cada ejecución del evento ACUMUL:

Si $P > 0$ y $Q(5) \geq 300$, entonces se programa un evento PERFOR a ocurrir en el mismo tiempo.

7. El evento REGRE modela la programación del torno al acabar su lote.

Este evento causa los siguientes cambios de estado:

$$T=T+1$$

$$Q(2)=Q(2)-240$$

$$Q(5)=Q(5)+240$$

Después de que se ejecuta el evento REGRE:

Si $T > 0$ y $C \geq 300$, entonces se programa el evento TORNO en el mismo tiempo y con una prioridad de 6.

Si $P > 0$ y $Q(5) \geq 300$, entonces se programa un evento PERFOR que se ejecuta en el mismo tiempo y con prioridad 4.

8. El evento PULIDO modela el pulido de tapas.

Causa los siguientes cambios de estado:

$$R = R - 1$$

$$ACUM = ACUM - 100$$

$$Q(6) = Q(6) + 100$$

Después de cada ejecución del evento PULIDO:

Se programa incondicionalmente el evento SELEC de 1.3 a 1.8 unidades de tiempo después, con una prioridad de 6.

Si $R > 0$ y $ACUM \geq 100$, entonces se programa el evento PULIDO que se ejecutará .00139 unidades de tiempo después, con una prioridad de 6.

Si $ACUM \geq 100$ y $R > 0$, entonces se programa un evento PULIDO que se ejecutará en ese mismo tiempo.

9. El evento SELEC modela la acumulación de tapas antes de selección.

Este evento causa los siguientes cambios de estado:

$$Q(6) = Q(6) - 100$$

$$Q(7) = Q(7) + 100$$

$$R = R + 1$$

Después de cada ejecución del evento SELEC:

Si $R > 0$ y $ACUM \geq 100$, entonces se programa el evento PULIDO que ocurrirá al mismo tiempo.

Si $Q(7) \geq 500$, entonces se programa el evento CHAVAS que ocurrirá en el mismo tiempo.

10. El evento CHAVAS modela la selección de tapas blancas y grises.

Este evento ocasiona los siguientes cambios de estado:

$$Q(7) = Q(7) - 500$$

$$Q(8) = Q(8) + Q(3) + 500$$

$$Q(3) = 0$$

Después de cualquier ejecución del evento CHAVAS:

Sin condición alguna se programa el evento GUARDA que ocurrirá .57 unidades de tiempo después.

11. El evento EMPBCA modela el empaque de tapas blancas.

Causa los siguientes cambios de estado:

$$E=0$$

$$Q(10)=Q(10)-1000$$

$$Q(18)=Q(18)+1000$$

Después de cada ejecución del evento EMPBCA:

Si $Q(18) \geq 100$, entonces se programa el evento PTBCA que se ejecutará 3.33 unidades de tiempo después.

12. El evento PTBCA modela la llegada de tapas blancas al almacén de producto terminado.

Este evento causa los siguientes cambios de estado:

$$Q(18)=Q(18)-1000$$

$$Q(16)=Q(16)+1$$

$$E=1$$

Después de cada ejecución del evento PTBCA:

Si $Q(10) \geq 1000$ y $E > 0$, entonces se programa un evento EMPBCA en el mismo tiempo.

13. El evento TINTE modela el entintado de tapas.

Causa los siguientes cambios de estado:

$$TIN=0$$

$$Q(9)=Q(9)-1200$$

$$Q(19)=Q(19)+1200$$

Después de que este evento ocurre:

Si $Q(19) \geq 1200$, entonces se programa el evento CAJA el cual ocurrirá .8 unidades de tiempo después con un prioridad de 4.

Si $Q(9) \geq 1200$ y $TIN=0$, entonces se programa un evento GUARDA que ocurrirá .8 unidades de tiempo después.

14. El evento CAJA modela la acumulación de tapas antes del barnizado.

Este evento causa los siguientes cambios de estado:

$$Q(11)=Q(11)+1200$$

$$Q(19)=Q(19)-1200$$

$$TIN=1$$

Después de cada ejecución de este evento:

Si $Q(11) \geq 1200$ y $BAR > 0$, entonces se programa un evento BARNIZ en el mismo tiempo.

15. El evento BARNIZ modela el barnizado de tapas.

Causa los siguientes cambios de estado:

$$BAR=0$$

$$Q(12)=Q(12)+1200$$

$$Q(11)=Q(11)-1200$$

Después de cada ejecución de este evento:

Si $Q(11) \geq 1200$ y $BAR > 0$, entonces se programa un evento CAJA que se ejecutará .25 unidades de tiempo después.

Se programa un evento BOTE sin condición con prioridad de 6, que ocurrirá en 4 unidades de tiempo.

16. El evento BOTE modela la acumulación de tapas antes de empaque.

Causa los siguientes cambios de estado:

$$BAR=1$$

$$Q(13)=Q(13)+1200$$

$$Q(12)=Q(12)-1200$$

Después de ejecutado este evento:

Incondicionalmente se programa un evento REPRO en el mismo tiempo, con una prioridad de 4.

Si $EMP > 0$, entonces se programa un evento EMPAQ en el mismo tiempo, con prioridad 6.

17. El evento PTCAFE modela la llegada de las tapas cafés al almacén de producto terminado.

Este evento causa los siguientes cambios de estado:

$$Q(21)=Q(21)-1000$$

$$Q(17)=Q(17)+1$$

$$EMP=1$$

No programa ningún evento después de su ejecución.

18. El evento GUARDA modela la acumulación de tapas ya clasificadas.

Causa los siguientes cambios de estado:

$$Q(9)=Q(9)+(Q(8)*.4)$$

$$Q(10)=Q(10)+(Q(8)*.6)$$

$$Q(8)=0$$

Después de su ejecución:

Si $Q(10) \geq 100$ y $E > 0$, entonces se programa un evento EMPBCA que ocurrirá en el mismo tiempo, con una prioridad de 4.

Si $TIN > 0$ y $Q(9) \geq 1200$, entonces se programa un evento TINTE en el mismo tiempo.

19. El evento CANCEL modela la cancelación del turno por descomposturas.

Después de su ejecución:

Si ninguna condición programa un evento CANCEL que ocurrirá de 20 a 48 unidades de tiempo después, con prioridad 6.

Inmediatamente y sin condición cancela la ejecución del siguiente evento REGRE programado, con una prioridad de 4.

Si $C \geq 300$, entonces se programa un evento REGRE de 6 a 23 unidades de tiempo después, con prioridad de 6.

20. El evento REPRO modela la acumulación de tapas para reproceso.

Este evento causa los siguientes cambios de estado:

$$Q(20)=Q(20)+200$$

$$Q(13)=Q(13)-200$$

El ejecutarse este evento no programa ningún evento.

21. El evento EMPAQ modela el empaque de tapas barnizadas.

Causa los siguientes cambios de estado:

$$EMP=0$$

$$Q(21)=Q(21)+1000$$

$$Q(13)=Q(13)-1000$$

Después de que este evento ocurre:

Si $Q(21) \geq 1000$, entonces se programa un evento PTCAFE con prioridad 6, que se ejecutará .5 unidades de tiempo después.

Explicación modelo propuesto

El modelo TES1.MOD de SIGMA es una simulación de eventos discretos.

I. DEFINICIÓN DE LAS VARIABLES DE ESTADO.

Para esta simulación están definidas las siguientes variables de estado:

- Q(100): colas en diferentes estaciones (número entero)
- T: estado del torno (ocupado u ocioso) (número entero)
- P: estado de la perforadora (número entero)
- PUL: número de pulidores ociosos (número entero)
- C: número de tapas en almacén de materia prima (número real)
- E(10): colas de tapas torneadas y perforadas (número entero)
- BAR: estado del tinte y barniz (número entero)
- EMP: estado del empaque café (número entero)
- TOR: número de tapas torneadas a mano (número entero)
- J: generación de un número aleatorio (número entero)

II. DEFINICIÓN DE EVENTOS

Los cambios de estado de la simulación están representados por vértices (nodos) en una gráfica de SIGMA. Las relaciones lógicas y dinámicas entre eventos se representan por medio de flechas que los unen en la misma gráfica. Las prioridades de ejecución de los eventos, para ser programados, son iguales a 5 a menos de que se cambien dentro del modelo.

1. El evento INICIO modela la inicialización.

Este evento causa los siguientes cambios de estado:

T=1

P=1

PUL=5

BAR=1

Después de cualquier ejecución del evento INICIO:

Programa el evento MATPR sin ninguna condición ni tiempo y con prioridad 4.

Programa el evento REVISA sin condición en el mismo tiempo, esta programación tiene una prioridad de 6.

2. El evento MATPR modela la llegada de materia prima al almacén.

Causa los siguientes cambios de estado:

$$C=C+171000$$

Después de cada ejecución del evento MATPR:

Si $T > 0$ y $C \geq 300$, entonces se programa el evento TORNO para ejecutarse inmediatamente.

3. El evento TORNO modela el procesamiento de tapas.

Este evento causa los siguientes cambios de estado:

$$T=T-1$$

$$Q(1)=Q(1)+300$$

$$C=C-300$$

Después de cada ejecución del evento TORNO:

Se programa sin ninguna condición el evento MANUAL después de .11 unidades de tiempo, con una prioridad de 6.

Sin ninguna condición se programa el evento VERDE que ocurre .4 unidades de tiempo después, con una prioridad de 6.

4. El evento MANUAL modela la formación de tapas manualmente.

Causa los siguientes cambios de estado:

$$TOR=TOR+36$$

No se programa ningún evento.

5. El evento PERFOR modela la perforación de tapas.

Este evento causa los siguientes cambios de estado:

$$P=0$$

$$Q(3)=Q(3)+300$$

$$Q(2)=Q(2)-300$$

Después de cualquier ejecución del evento PERFOR:

Se programa el evento BLANCO sin ninguna condición, el cual ocurre después de .0008 unidades de tiempo por tapa existente en $Q(3)$ con una prioridad de 4.

ESTA TROPE NO BEBE
SALIR L. L. BIBLIOTECA

Si $Q(2) < 300$ y $E(1) > 0$, entonces se programa un evento BUF1 que se ejecutará en el mismo tiempo.

6. El evento PULIDO modela el pulido de tapas.

Causa los siguientes cambios de estado:

$$PUL = PUL - 1$$

$$Q(5) = Q(5) + 100$$

$$Q(4) = Q(4) - 100$$

Después de cada ejecución del evento PULIDO:

Si $PUL > 0$ y $Q(4) \geq 100$, entonces se programa el evento PULIDO que se ejecutará .00083 unidades de tiempo después, con una prioridad de 6.

Se programa incondicionalmente el evento AMARI de .609 a .704 unidades de tiempo después.

Si $Q(4) < 600$ y $E(2) > 0$, entonces se programa un evento BUF2 que se ejecutará en ese mismo tiempo.

7. El evento EMPBCA modela el empaque de tapas blancas.

Este evento causa los siguientes cambios de estado:

$$Q(10) = Q(10) - 200$$

$$Q(12) = Q(12) + 200$$

Después de que se ejecuta el evento REGRE:

Incondicionalmente programa un evento PTBCA que se ejecutará .166 unidades de tiempo después.

Si $Q(10) \geq 200$, entonces se programa el evento EMPBCA en el mismo tiempo.

8. El evento PTBCA modela la llegada de tapas blancas al almacén de producto terminado.

Causa los siguientes cambios de estado:

$$Q(13) = Q(13) + 200$$

$$Q(12) = Q(12) - 200$$

$$Q(14) = Q(14) + 1 * (Q(13) == 1000)$$

$$Q(13) = Q(13) * (Q(13) == 1000)$$

No se programa ningún evento.

9. El evento BARNIZ modela el entintado y barnizado de tapas.

Este evento causa los siguientes cambios de estado:

$$\text{BAR}=0$$

$$Q(15)=Q(15)+200$$

$$Q(11)=Q(11)-200$$

Después de cada ejecución del evento BARNIZ:

Si $Q(15) \geq 200$, entonces se programa el evento EMPAQ que ocurrirá en .154 unidades de tiempo.

10. El evento PTCAFE modela la llegada de tapas cafés al almacén de producto terminado.

Este evento ocasiona los siguientes cambios de estado:

$$Q(17)=Q(17)+200$$

$$Q(16)=Q(16)-200$$

$$Q(18)=Q(18)+1*(Q(17)-1000)$$

$$Q(17)=Q(17)-(Q(17)-1000)$$

No se programa ningún evento al ejecutarse PTCAFE.

11. El evento ROJO modela el número de tapas antes del barniz.

Causa los siguientes cambios de estado:

$$Q(9)=Q(9)+\text{TOR}+200$$

$$\text{TOR}=0$$

$$Q(7)=Q(7)-200$$

$$Q(10)=Q(10)+Q(9)*.6$$

$$Q(11)=Q(11)+Q(9)*.4$$

$$Q(9)=0$$

Después de cada ejecución del evento ROJO:

Si $\text{BAR} > 0$ y $Q(11) \geq 200$, entonces se programa el evento BARNIZ que se ejecutará en el mismo tiempo.

Si $Q(10) \geq 200$, entonces se programa en evento EMPBCA en el mismo tiempo.

Si $Q(6) > 0$, entonces se programa en evento AZUL en el mismo tiempo.

12. El evento EMPAQ modela el empaque de tapas cafés.

Este evento causa los siguientes cambios de estado:

BAR=1

$Q(16)=Q(16)+200$

$Q(15)=Q(15)-200$

Después de cada ejecución del evento EMPAQ:

Se programa sin condición el evento PTCAFE con prioridad 6, que ocurrirá después de .166 unidades de tiempo.

Si $BAR > 0$ y $Q(11) \geq 200$, entonces se programa un evento BARNIZ en el mismo tiempo.

13. El evento VERDE modela las tapas ya torneadas.

Causa los siguientes cambios de estado:

$E(1)=E(1)+300$

$Q(1)=Q(1)-300$

Después de que este evento ocurre:

Si $Q(2) < 300$, entonces se programa el evento BUF1 el cual ocurrirá en el mismo tiempo con un prioridad de 6.

14. El evento BLANCO modela las tapas ya perforadas.

Este evento causa los siguientes cambios de estado:

$E(2)=E(2)+300$

$Q(3)=Q(3)-300$

Después de cada ejecución de este evento:

Si $Q(4) < 600$, entonces se programa un evento BUF2 en el mismo tiempo.

15. El evento AZUL modela las tapas blancas antes del empaque.

Causa los siguientes cambios de estado:

$PUL=PUL+1$

$Q(7)=Q(7)+100$

$Q(6)=Q(6)-100$

Después de cada ejecución de este evento:

Si $PUL > 0$ y $Q(4) \geq 100$, entonces se programa un evento PULIDO que se ejecutará en el mismo tiempo, con prioridad de 4.

Si $Q(6) > 0$ y $Q(7) < 200$, entonces se programa un evento AZUL el cual se ejecutará en el mismo tiempo.

Si $Q(7) \geq 200$, entonces se programa un evento ROJO que ocurrirá en .00083 unidades de tiempo.

16. El evento REVISA modela la revisión del almacén de materia prima.

Causa los siguientes cambios de estado:

$$J = 96 + 16 * RND$$

Después de ejecutado este evento:

Si $C \leq 91000$, entonces se programa un evento MATPR que ocurrirá después de J unidades de tiempo, con prioridad 4.

Incondicionalmente se programa un evento REVISA con una prioridad de 6, el cual se ejecutará en 2 unidades de tiempo si en el almacén de materia prima hay más de 91000 tapas y después de J unidades de tiempo si hay menos de 91000 tapas en el almacén de materia prima..

17. El evento AMARI modela las tapas ya pulidas.

Este evento causa los siguientes cambios de estado:

$$Q(6) = Q(6) + 100$$

$$Q(5) = Q(5) - 100$$

Después de su ejecución:

Si $Q(7) < 200$, entonces se programa un evento AZUL que ocurrirá en el mismo tiempo, con una prioridad de 6.

18. El evento BUF1 modela las tapas antes de perforado.

Causa los siguientes cambios de estado:

$$T = 1$$

$$E(1) = E(1) - 300$$

$$Q(2) = Q(2) + 300$$

Después de su ejecución:

Si $P > 0$ y $Q(2) \geq 300$, entonces se programa un evento PERFOR que ocurrirá en el mismo tiempo, con una prioridad de 6.

Si $T > 0$ y $C \geq 300$, entonces se programa un evento TORNO en el mismo tiempo, con prioridad de 4.

19. El evento BUF2 modela las tapas en espera de pulido.

Causa los siguientes cambios de estado:

$$P = 1$$

$$Q(4)=Q(4)+300$$

$$E(2)=E(2)-300$$

Después de su ejecución:

Si $PUL > 0$ y $Q(4) \geq 100$, entonces se programa un evento PULIDO que ocurrirá en el mismo tiempo.

Si $P > 0$ y $Q(2) \geq 300$, entonces se programa un evento PERFOR que ocurre en el mismo tiempo, con una prioridad de 4.

A continuación se presenta el número de eventos que ocurrieron en la simulación, los cuales se mencionan en el capítulo 3.
 Simulación del sistema actual

numero de eventos	acumul	bamiz	bote	caja	cancel	chavas	empaqa	emboca	guarda	manual	perfor	ptbca	ptcafe	pulido	regre	repro	selec	tinje	torno
1	1118	139	138	139	31	669	138	250	668	1399	1118	250	138	3350	1398	138	3346	139	1399
2	1140	139	139	139	31	670	139	251	670	1420	1140	250	138	3356	1426	139	3351	139	1427
3	1146	140	139	140	30	671	139	243	670	1427	1146	242	139	3361	1433	139	3356	140	1434
4	1147	140	139	140	32	669	139	252	669	1435	1147	251	139	3352	1434	139	3348	140	1435
5	1154	140	139	140	30	670	139	252	669	1443	1155	252	139	3357	1444	139	3353	140	1445
6	1142	139	139	139	30	669	139	252	669	1430	1143	251	138	3353	1429	139	3349	140	1430
7	1159	140	139	140	28	672	139	253	671	1444	1159	252	139	3365	1449	139	3360	140	1450
8	1088	138	138	138	31	669	138	249	668	1360	1180	248	137	3350	1449	138	3345	138	1362
9	1180	140	139	140	30	667	139	252	667	1469	1180	252	139	3348	1475	139	3338	140	1476
10	1175	140	140	140	30	668	140	253	668	1470	1175	252	139	3348	1469	140	3343	140	1470
11	1164	140	139	140	31	668	139	252	667	1456	1164	251	139	3346	1455	139	3342	140	1456
12	1096	138	138	138	30	670	138	249	669	1366	1096	248	137	3356	1371	138	3352	138	1372
13	1065	138	137	138	29	669	137	248	670	1326	1065	247	136	3359	1332	137	3355	138	1333
14	1166	140	139	140	31	668	139	252	668	1452	1166	251	138	3346	1458	139	3341	140	1459
15	1174	140	140	140	32	668	140	252	668	1469	1174	252	139	3345	1468	140	3340	140	1469
16	1153	140	139	140	30	669	139	252	669	1443	1153	252	139	3354	1442	139	3350	140	1443
17	1131	139	138	139	30	668	138	250	668	1409	1132	249	137	3345	1415	138	3340	139	1416
18	1130	139	139	139	30	670	139	251	670	1131	1132	251	138	3356	1414	139	3352	139	1415
19	1095	138	138	138	29	670	138	250	670	1370	1095	249	137	3357	1369	138	3352	138	1370
20	1147	140	139	140	32	670	139	252	670	1435	1147	252	139	3359	1434	139	3355	140	1435
21	1120	139	138	139	33	670	138	251	670	1401	1121	250	138	3359	1402	138	3354	139	1403
22	1140	139	139	139	29	669	139	251	668	1420	1140	250	138	3353	1425	139	3348	139	1426
23	1181	137	136	137	30	650	136	247	650	1471	1181	246	136	3256	1477	136	3251	137	1478
24	1164	140	140	140	29	671	140	253	671	1456	1164	253	139	3361	1455	140	3357	140	1456
25	1136	139	139	139	32	669	139	251	669	1422	1136	251	138	3353	1421	139	3349	139	1422
prom	1140.44	139.24	138.68	139.24	30.40	668.52	138.68	250.72	668.24	1412.96	1143.35	250.08	138.12	3349.88	1426.28	138.68	3345.08	139.28	1427.24
	30.08	0.88	0.90	0.88	1.19	4.02	0.90	2.23	3.96	69.77	29.11	2.43	0.97	20.73	37.34	0.90	20.47	0.89	37.42
tapas producidas		167,088					138,680	250,720		84,778	343,004			334,988			334,508	167,136	342,538
diarias		1,285					1,067	1,929		652	2,638			2,577			2,573	1,286	2,635
							2,995	empaqa total										promedio de tapas hechas por turno	

