

“Evaluación y Planteamiento de Mejoras y Redistribución de Planta en un Proceso de Fabricación de Bolígrafos mediante un modelo de Simulación”

Marcela Cabrera García ¹, MCs. Marcos Buestan Benavides ²

¹ Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción - Escuela Superior Politécnica del Litoral marcela.cabrera.g@gmail.com

² Ingeniero Industrial, Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción - Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2002; Certificación Internacional Black Belt Seis Sigma Breakthrough Management Group – Centro de Calidad y Productividad del Tecnológico de Monterrey, 2005 Diplomado Black Belt Seis Sigma; Centro de Calidad del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM) México; Coordinador de la Maestría en Gestión de Calidad de la Facultad en Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción (Agosto 2007 – Febrero 2008); Coordinador y miembro del cuerpo docente del Diplomado Superior en Administración Seis Sigma (Junio 2006 – Febrero 2008) ESPOL - Ecuador; Miembro del Comité Académico de los programas de pos-gradados de la carrera de Ingeniería Industrial en la FIMCP. (Octubre 2005-Febrero del 2008); Profesor de la FIMCP – ESPOL desde ABR/2005, Campus Politécnico Prosperina Km. 30.5 Vía Perimetral, Guayaquil, Ecuador, mbuestan@espol.edu.ec

Resumen

La presente tesis se desarrolla en una importante empresa que lleva 29 años produciendo bolígrafos en la ciudad de Guayaquil, perteneciente a una multinacional fundada en Francia en el año de 1945, y que desde entonces se ha desarrollado hasta el punto de ser hoy líder mundial en artículos de escritura.

Los problemas de la empresa surgen por el pronóstico de un aumento de su demanda actual, estimada en un 10% anual en los productos importados, y un 4.5% en las ventas del producto fabricado en esta planta, por tal motivo se ve en la obligación de aumentar su espacio disponible para el almacenamiento de sus productos importados y el aumento de su capacidad productiva para poder abastecer el mercado local y satisfacer las demandas de sus filiales. Además la empresa afronta problemas ocasionados por el sistema de manejo de materiales que utiliza actualmente, la cual afecta al desempeño del recurso humano de la compañía y la eficiencia del recorrido de las piezas.

Los principales obstáculos que tiene la empresa son; primero, la falta de capacidad para el almacenamiento de producto terminado actual y futuro, segundo; el actual sistema de manejo de materiales que ha causado molestias para el transporte, accidentes de los operarios y pérdidas de material, y tercero; la actual distribución de la planta, la cual debido a que las áreas que más interactúan se encuentra alejadas, permite que las piezas recorran mucho antes de ser ensambladas

Una vez que se tiene identificados estos problemas, se establecen planteamientos de solución para cada uno de ellos, los cuales son evaluados a través del uso de un modelo de simulación, herramienta que permite comparar los resultados que se obtienen programando la situación actual con los obtenidos con las propuestas de mejora. Estos planteamientos son evaluados financieramente como parte final de toda la secuencia de análisis que se ha realizado a lo largo de esta tesis.

Abstract

This thesis is developed in a company that has been producing pens in the city of Guayaquil for the last 29 years, it belongs to a multinational founded in France in 1945, and since then has grown to the point to become the world leader in writing instruments.

The company's problems arise because the forecast indicates that the current demand will increase in an estimated of 10% per year on imported products, and 4.5% in sales of product manufactured in this plant, for this reason the company has been obliged to increase its available space for storage of imported products, increased the production capacity to supply the local market and satisfies the demand of its clients. In addition, the firm faces problems caused by the material handling system currently used, which affects the performance of the company's human resource and efficient travel of the pieces.

The main obstacles the company has are: first, lack of storage capacity for the current and future finished product; second, the current handling material system has caused discomfort to the transportation, operator's accidents and material losses; and third, the current distribution of the plant in which the interacting areas are remote from each other causing the parts to travel too much before the assembly.

Once these problems has been identified, the solution approaches are established for each of them, this solutions are evaluated through the use of a simulation model, a tool to compare the results obtained by programming the current situation with those obtained with the proposals for improvement. These approaches are evaluated financially as the final part of the sequence analysis that has been done along this thesis.

INTRODUCCION

XYZ pertenece a una multinacional fundada en 1945, su fundador descubrió el enorme potencial de los instrumentos de escritura y compró una fábrica a las afueras de París para la producción de bolígrafos. En 1958 se inició como corporación en Estados Unidos y desde entonces se ha desarrollado hasta el punto de ser hoy líder mundial en artículos de escritura, encendedores y máquinas de afeitar.

La empresa cuenta capacidad de producción de 504000 bolígrafos diarios, bajo un sistema de producción make to stock (Fabricar para inventario), en el cual el producto va pasando por diferentes procesos que van dando valor a su transformación.

En el último año han surgido una serie de problemas debido a la cantidad de producción y productos comercializados, una de las grandes consecuencias es la reducción de espacio disponible en la planta, además de poseer un excesivo recorrido de material, por lo que se debe incrementar la disponibilidad de espacio, mejorar la distancia recorrida por las partes a través de la planta, y aumentar la eficiencia en tiempos de ciclo.

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Los problemas actuales de la empresa surgen debido al aumento de la demanda y la falta de espacio existente en la planta para enfrentarla, además del largo trayecto que actualmente recorren los materiales en la planta. El detalle de los problemas puede observarse a continuación:

Primero: Falta de espacio para almacenamiento de producto final; esto sucede en la Bodega de Producto Terminado, en la cual se coloca el producto en los pasillos de la bodega, creando doble trabajo para los bodegueros cuando se quiere sacar material de los racks, además los espacios para el almacenamiento de productos que tiene la empresa no satisfacen todas las necesidades, por lo que una vez llegados los contenedores que envían las otras filiales del mundo con producto para comercializar, se los almacenan en lugares alquilados

Segundo: Espacio y tiempo invertido en manejo de equipos de almacenamiento y traslado de material dentro de la planta; para transportar y almacenar una de las piezas, se requiere del recurso humano para que cambie los equipos de almacenamiento de una a tres veces por turno. Utilizando los equipos de almacenamiento para el traslado

de material entre áreas, el equipo debido a su altura se voltea generando un desperdicio de tiempo, que es lo que le toma al operario recoger todo el material caído.

Tercero: Partes recorren un largo trayecto antes de ser ensambladas; en la área de inyección se producen cuatro diferentes piezas tales como; barril, tapa, botón, y soporte, los tres primeros son enviados al área final directamente para su ensamble, por lo que debido al largo trayecto entre estas dos áreas, existen pérdidas de tiempo al trasladar el material, ya que el operario traslada tres piezas diferentes en tres ocasiones diferentes.

Cuarto: Accidentes ocasionados por el movimiento de los equipos de almacenamiento; el transporte de los equipos de almacenamiento ha causado accidentes de trabajo, cuando estos equipos son transportados de un área a otra, la visibilidad de la persona que los está empujando se pierde por el alto de estos equipos, y debido al pasillo angosto que une las dos áreas por las cuales se transportan estos equipos, cualquier descuido del personal puede terminar en un accidente de trabajo.

El objetivo general es: Evaluar diferentes alternativas de diseño de planta y de manejo de materiales, a través del desarrollo de un modelo de simulación, en un proceso de fabricación de bolígrafos con el fin de reducir el nivel de espacio utilizado y movimiento de materiales.

Objetivos Específicos

- Desarrollar un análisis de la situación actual del flujo de materiales del proceso de fabricación de bolígrafos.
- Desarrollar un modelo de simulación de la situación actual del proceso de fabricación de bolígrafos.
- Establecer alternativas de diseño de planta y de transporte de material, orientados a reducir el nivel de

espacio utilizado y el movimiento de material.

- Evaluación de alternativas de diseño de planta y de transporte de material a través de un modelo de simulación.

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO

El proceso de la planta que fabrica bolígrafos empieza con la recepción de la materia prima, la cual es recibida y almacenada en las bodegas para su posterior despacho a las áreas de producción.

Dentro de las operaciones de la planta tenemos cuatro áreas de producción; inyección, extrusión, sub-ensamble y ensamble, y la materia prima se despacha a las tres primeras mencionadas.

El proceso de producción empieza en el área de inyección donde se fabrican las siguientes piezas; barril, botón, soporte y tapa, las cuales se producen paralelamente con el tubo que se fabrica en el área de extrusión, se continúa el proceso en el área de sub-ensamble la cual recibe el tubo que proviene de extrusión y el soporte que proviene del área de inyección para junto con la materia prima poder fabricar el repuesto, el cual se ensambla en la última área junto con los demás componentes que provienen del área de inyección.

Una vez ensambladas estas partes, se obtiene el bolígrafo el cual es trasladado a la bodega de producto terminado para su posterior despacho al cliente.

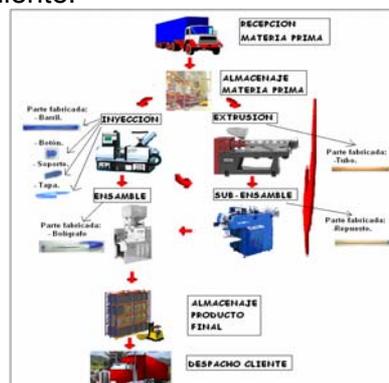


FIGURA 2.1 MACRO PROCESO DE PLANTA

Distribución de la Planta Actual

En el gráfico se puede apreciar el espacio ocupado por las áreas de los procesos involucrados dentro de la fabricación de bolígrafos, las cuales son las siguientes:

- Área de Inyección (1)
- Área de Extrusión (2)
- Área de Sub-Ensamble (3)
- Área de ensamble (4)

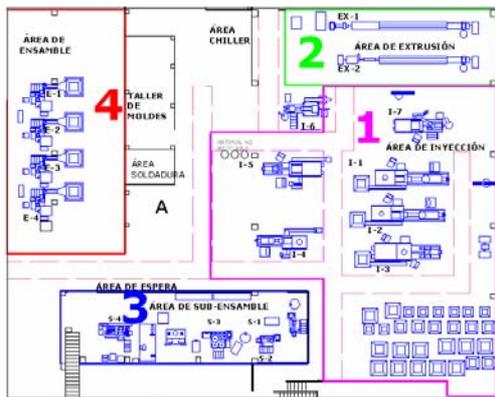


FIGURA 2.11 DISTRIBUCIÓN DE LA PLANTA ACTUAL

- 1.- ÁREA DE INYECCIÓN
- 2.- ÁREA DE EXTRUSIÓN
- 3.- ÁREA DE SUB-ENSAMBLE
- 4.- ÁREA DE ENSAMBLE

Este estudio se enfoca en 2 áreas de interés para la empresa, estas áreas son la de Inyección (1) y la de Ensamble (4).

Para poder saber más sobre las áreas se establece el flujo de recorrido que se genera dentro de la planta, el tiempo que se tardan en realizar la actividad, distancia recorrida y los tiempos de espera para ser trasladados a su posterior proceso.

Ubicación de maquinarias

A continuación se muestra la ubicación de las maquinarias dentro de cada una de ellas, las maquinarias fueron identificadas a través de código, para su mejor ilustración.

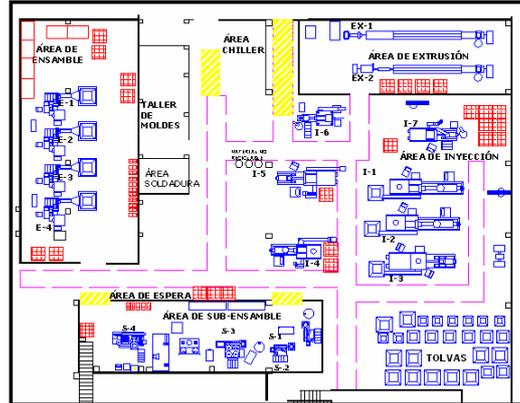


FIGURA 2.12 UBICACIÓN DE LA MÁQUINAS

En el área de inyección se ubican las máquinas que producen las piezas inyectadas, a continuación se realiza una descripción de cada maquinaria con su respectivo código:

- I-1: Inyectora 1 que fabrica barril.
- I-2: Inyectora 2 que fabrica barril.
- I-3: Inyectora 3 que fabrica barril.
- I-4: Inyectora 4 que fabrica tapas.
- I-5: Inyectora 5 que fabrica tapas.
- I-6: Inyectora 6 que fabrica botón.
- I-7: Inyectora 7 que fabrica soporte.

Dentro de esta área también se encuentran ubicados los equipos de almacenamiento de barriles, los cuales son nombrados como tolvas.

En el área de extrusión se ubican las máquinas que producen las piezas extrudidas, a continuación se realiza una descripción de cada maquinaria con su respectivo código:

- EX-1: Extrusora 1 que fabrica tubos.
- EX-2: Extrusora 2 que fabrica tubos.

En el área de Su-ensamble se ubican las máquinas que producen los repuestos, a continuación se realiza una descripción de cada maquinaria con su respectivo código:

- S-1: Sub-ensambladora 1 que produce repuestos.
- S-2: Sub-ensambladora 2 que produce repuestos.
- S-3: Sub-ensambladora 3 que produce repuestos.
- S-4: Sub-ensambladora 4 que produce repuestos.

En el área de ensamble se ubican las máquinas que producen el bolígrafo ya terminado:

E-1: Ensambladora 1 que produce el bolígrafo.

E-2: Ensambladora 2 que produce el bolígrafo.

E-3: Ensambladora 3 que produce el bolígrafo.

E-4: Ensambladora 4 que produce el bolígrafo.

Toma de tiempos de proceso

Se procede a tomar tiempos de proceso a las máquinas inyectoras y a las máquinas ensambladoras con el fin de establecer muestras que permitan obtener la distribución estadística con la que se comportan los tiempos de producción.

Se toman 20 muestras para cada máquina, y se calcula el número de observaciones (N), que se deben tomar para obtener las distribuciones estadísticas de los tiempos de ciclo de cada inyectora y ensambladora, se empleo la siguiente fórmula:

$$N = \left(\frac{st_{\alpha/2}}{k\bar{x}} \right)^2$$

Donde:

N = Número de observaciones necesarias para obtener la distribución estadística de los tiempos de ciclo.

s = Desviación estándar de la muestra.

t = Valor de la tabla de los valores críticos de la distribución t de student, según el tamaño n de muestras (en esta caso 20) y el valor de $\alpha = 1\%$, dado un porcentaje de confianza de 99%.

x = Promedio de la muestra.

k = Porcentaje de error máximo que se permite de la media, para el análisis será 1 %.

A continuación se ilustra una tabla con el número de muestras necesarias para cada máquina inyectora:

TABLA 12
NÚMERO DE MUESTRAS PARA LA TOMA DE TIEMPOS DE PROCESO DE LAS MÁQUINAS INYECTORAS

Máquina	I-1	I-2	I-3	I-4	I-5	I-6	I-7
Nº muestras	1	1	3	1	1	2	18

TABLA 14
NÚMERO DE MUESTRAS PARA LA TOMA DE TIEMPOS DE PROCESO DE LAS MÁQUINAS ENSAMBLADORAS

Máquina	E-1	E-2	E-3	E-4
Nº muestras	20	28	7	5

Para determinar la distribución estadística de los tiempos de proceso, se utiliza el software Stat::Fit, en el cual se ingresan estos datos, se realiza la prueba de Kolmogorov-Smirnov, y se determina la bondad de ajuste, por el cual, el programa muestra los resultados de las alternativas de distribución de probabilidad.

A continuación se muestra una tabla con las distribuciones de las máquinas:

TABLA 13
DISTRIBUCIONES DE TIEMPOS DE PROCESO DE LAS MÁQUINAS INYECTORAS

Máquina	Distribución	Media	Desviación Estándar
I-1	Log-normal	15.969 segundos	0.0289 segundos
I-2	Log-normal	15.196 segundos	0.0586 segundos
I-3	Log-normal	14.319 segundos	0.0833 segundos
I-4	Log-normal	15.086 segundos	0.0448 segundos
I-5	Log-normal	14.583 segundos	0.0582 segundos
I-6	Log-normal	10.700 segundos	0.1969 segundos

TABLA 15
DISTRIBUCIONES DE TIEMPOS DE PROCESO DE LAS MÁQUINAS ENSAMBLADORAS

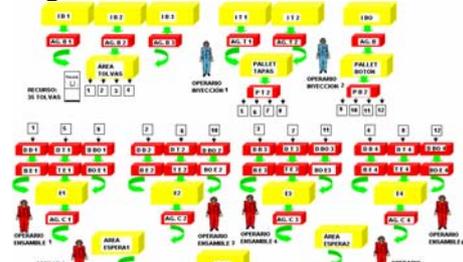
Máquina	Distribución	Media	Desviación Estándar
E-1	Log-normal	50 segundos	0.0073 segundos
E-2	Log-normal	48 segundos	0.0037 segundos
E-3	Log-normal	49 segundos	0.0043 segundos
E-4	Log-normal	51 segundos	0.0086 segundos

DESARROLLO Y VALIDACIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN

Una vez que se tiene toda la información recopilada, se procede a realizar el modelo de simulación, el

cual pueda representar el flujo de materiales dentro del proceso de fabricación de bolígrafos, de tal forma que se pueda obtener datos reales de tiempo y distancias recorridas.

Lógica del modelo de simulación



En la lógica del modelo de simulación cada cuadro muestra una locación, los cuadros son de dos colores, los de color amarillo que muestran las locaciones reales y los de color rojo que son locaciones ficticias, creadas para poder obtener que el modelo coincida con la realidad.

Para mejor ilustración del gráfico se detalló con números la conexión de la secuencia de las operaciones, como por ejemplo, el número 1 que sale del área de tolvas se dirige a otra entidad con el mismo número que en este caso es el DB1 (Ungroup Barril 1 o Desagrupador Barril 1).

A continuación se detalla los nombres de las locaciones y las capacidades de las mismas:

TABLA 17
LÓGICA DEL MODELO DE SIMULACIÓN

Nombre en la Gráfica	Nombre de la Locación	Capacidad
IB1/ IB2/IB3	Iny barril uno / Iny barril dos / Iny barril tres	1 barril
IT1/IT2	Iny tapas uno/ Iny tapas dos	1 tapa
IB0	Iny botón uno	1 botón
AG B 1/ AG B 2/ AG B 3 Actividad: Agrupar barriles	Agrupinyb1 / Agrupinyb2 / Agrupinyb3	Infinita
AG T 1 / AG T 2 Actividad: Agrupar tapas	Agruptapa1 / Agruptapa2	Infinita
AG Actividad: Agrupar botones	Agrupooton	Infinita
Área de tolvas	Área de tolvas	Infinita
Pallet tapas Actividad: Desagrupar las tapas que llegan en lotes	Pallet tapas ensamble	Infinita
Pallet Botón Actividad: Desagrupar los botones que llegan en lotes	Pallet Botón ensamble	Infinita
PT2 Actividad: Agrupar fundas que almacenan tapas	Pallet ensamble	Infinita
PB2 Actividad: Agrupar fundas que almacenan botones	Pallet ensamble dos	Infinita
DB1/ DB2/ CB3/ DB4 Actividad: Desagrupar los barriles que llegan en tolvas	Ungroup barril 1/ Ungroup barril 2/ Ungroup barril 3/ Ungroup barril 4	Infinita
DT1/ DT2/ DT3/ DT4 Actividad: Desagrupar las tapas que llegan en fundas	Ungroup tapas 1/ Ungroup tapas 2/ Ungroup tapas 3/ Ungroup tapas 4	Infinita

DT1/ DT2/ DT3/ DT4 Actividad: Desagrupar las tapas que llegan en fundas	Ungroup tapas 1/ Ungroup tapas 2/ Ungroup tapas 3/ Ungroup tapas 4	Infinita
D BO1/DBO2 / DBO3/ D BO 4 Actividad: Desagrupar los botones que llegan en fundas	Ungroup botón 1/ Ungroup botón 2/ Ungroup botón 3/ Ungroup botón 4	Infinita
BE 1/BE2/BE3/BE4 Actividad: Juntar el barril con la tapa y el botón	Barril e 1/ Barril e 2/ Barril e 3/ Barril e 4	1 Barril
TE 1/TE2/TE3/TE4	Tapa e 1/ Tapa e 2/ Tapa e 3/ Tapa e 4	1 Tapa
BO E1/BO E2/BO E3/BO E4	Botón e 1/ Botón e 2/ Botón e 3/ Botón e 4	1 Botón
E1/E2/E3/E4 Actividad: Ensambalar los Bolígrafos	Ensambaladora 1/ Ensambaladora 2/ Ensambaladora 3/ Ensambaladora 4	1 Bolígrafo
AG C1/AG C2 /AG C3/AG C4 Actividad: Agrupar los bolígrafos en cajas	Agrup cajas 1/ Agrup cajas 2/ Agrup cajas 3/ Agrup cajas 4	15 Cajas
AREA DE ESPERA / AREA DE ESPERA 2 Actividad: Agrupar las cajas en pallets	Espera 1 / Espera 2	Infinita
BPT	Bodega de Producto Terminado	Infinita

Para realizar el modelo de simulación se hizo las siguientes suposiciones:

El modelo empezará en un día ordinario, se asumirá que las máquinas inyectoras se encuentran funcionando normalmente, esto es que no estén paradas por mantenimiento preventivo o correctivo mayores a un turno.

No se modelará el Sub-proceso de fabricación de tubos, esto es la producción dentro del área de extrusión, además tampoco se incluirá en el modelo la inyectora que fabrica soporte.

En el área de inyección, el operario puede realizar cualquier actividad sin necesidad de parar la máquina, ya que esta no necesita de un operario para producir las partes

Se descontaron las siguientes actividades:

30 minutos de almuerzo y 30 minutos de merienda

15 minutos por cambio de turno.

Cada pieza dentro del sistema representa cien unidades en la producción real.

No serán tomados en cuenta en los análisis los porcentajes de fatiga.

Las distancias del recorrido del material fueron tomadas del plano de ubicación de áreas y equipos

Se crearon locaciones y entidades ficticias con el fin de poder modelar el paso del producto en proceso.

Procedimiento para la elaboración del modelo de Simulación

Se crearon las locaciones son lugares fijos por los cuales van pasando las entidades para el proceso, o rutas por las cuales deben de seguir, a continuación se muestran las locaciones creadas:

**TABLA 18
LOCACIONES DEL MODELO DE SIMULACIÓN**

Nombre de la locación	Función
Iny barril uno /Iny barril dos / Iny barril tres	Locación donde amba el barril
Iny tapas uno /Iny tapas dos	Locación donde amba la tapa
Iny botón uno	Locación donde amba el botón
Agrupinyb1 /Agrupinyb2 / Agrupinyb3	Locación ficticia que agrupa los barriles en las tolvas, en la cual la cantidad es variable y depende de una función de probabilidades
Agruptapa1 /Agruptapa2	Locación ficticia que agrupa 2,000 tapas que equivale a 200,000 en la producción real
Agrup botón	Locación ficticia que agrupa 4,500 botones que equivale a 450,000 en la producción real
Área de tolvas	Locación a la cual llegan las tolvas llenas con barriles, mientras esperan ser trasladados
Pallet tapas ensamble	Locación a la que llega 2,000 unidades y se lo desagrupa para enviarlo de una en una.
Pallet Botón ensamble	Es la locación a que llega el lote de 4,500 unidades, en el modelo.
Pallet ensamble	Locación a la que llega una tapa y se las agrupa en fundas de 100 tapas.
Pallet ensamble dos	Locación a la que llega el botón de uno en uno y se agrupan en fundas de 500 unidades
Ungroup barril 1 / Ungroup barril 2 / Ungroup barril 3 / Ungroup barril 4	Locación ficticia a la cual llegan los lotes de barriles y se desagrupan.
Ungroup tapas 1 / Ungroup tapas 2 / Ungroup tapas 3 / Ungroup tapas 4	Locación ficticia a la cual llegan los lotes de tapas y se desagrupan.
Ungroup botón 1 / Ungroup botón 2 / Ungroup botón 3 / Ungroup botón 4.	Locación ficticia a la cual llegan los lotes de botones y se desagrupan.
Barril e 1 / Barril e 2 / Barril e 3 / Barril e 4	Locación ficticia que ayuda al sistema a enviar un barril a la ensambladora.
Tapa e 1 / Tapa e 2 / Tapa e 3 / Tapa e 4	Locación ficticia que ayuda al sistema a enviar una tapa a la ensambladora.
Botón e 1 / Botón e 2 / Botón e 3 / Botón e 4	Locación ficticia que ayuda al sistema a enviar un botón a la ensambladora.
E 1 / E 2 / E 3 / E 4	Máquina ensambladora que produce un bolígrafo, manejada cada una con un operario.
Agrup cajas 1 / Agrup cajas 2 / Agrup cajas 3 / Agrup cajas 4	Locación ficticia que agrupa los bolígrafos en las cajas de 15 unidades.
Espera 1	Es el área donde se almacenan las cajas de los bolígrafos que vienen de la máquina ensambladora E 1 y E 2.
Espera 2	Es el área donde se almacenan las cajas de los bolígrafos que vienen de la máquina ensambladora E 3 y E 4.
BPT	Es la bodega que almacena todo el producto terminado de la producción de bolígrafos.

Las entidades fueron creadas para representar la materia prima y sus diferentes transformaciones en el proceso de fabricación de bolígrafos, a continuación se muestran las entidades que fueron creadas:

**TABLA 19
ENTIDADES DEL MODELO DE SIMULACIÓN**

Nombre de la entidad	Descripción
Barril	Representa el cuerpo del bolígrafo
Tapa	Representa la parte inferior del bolígrafo.
Botón	Representa la parte superior del bolígrafo
Lote barril	Representa a las tolvas que se encuentran llenas de barriles, en una cantidad que depende de la distribución de probabilidades
Lote tapas	Representa el lote de 20,000 tapas, en la producción real son 200,000 tapas.
Lote botón	Representa el lote de 45,000 botones, que en la producción real son 450,000 unidades.
Lote tapa 10000	Representa el lote de 100 unidades de tapa.
Lote botón 50000	Representa el lote de 500 unidades.
Bolígrafo	Representa al producto final del proceso de fabricación de bolígrafos.
Caja bolígrafo	Es la entidad que representa el cartón que almacena 15 bolígrafos, que en la producción real son 1,500 unidades

Los recursos fueron creados para representar personas y equipos que ayudan al funcionamiento de la máquina y al transporte de las partes. En el modelo de simulación se tienen los siguientes recursos:

**TABLA 20
RECURSOS DEL MODELO DE SIMULACIÓN**

Cantidad	Nombre del recurso	Descripción
2	Operarios Inyección	Estos operarios programan las inyectoras y verifican su función
35	Tolvas	Las tolvas son equipos de almacenamiento para los barriles y se trasladan del área de inyección al área de ensamble
4	Operarios ensamble	Estos operarios programan las ensambladoras y verifican su función

Se asignaron horarios a los operarios de ensamble, siendo los siguientes:
Horario de almuerzo: De 12:30 a 13:00
Horario de merienda: De 18:00 a 18:30

Variables del modelo de Simulación

Las variables son contadores del sistema que varían durante la simulación, algunas de estas son utilizadas para la toma de decisiones del modelo, estas son de dos tipos; real y entera, en esta simulación todas las variables que se han utilizado son enteras.

**TABLA 21
VARIABLES DEL MODELO DE SIMULACIÓN**

Variable	Descripción
X / X2 / X3	Son las variables que retienen la cantidad de barriles que se deben agrupar dada por la distribución de probabilidades.
Y / Y2 / Y3	Son las variables que sirven de contador de barriles que ingresan a una locación, con el fin de formar un lote dependiendo de la función de probabilidades.
Z / Z2 / Z3	Son las variables que ayudan al sistema a congelar la cantidad de barriles almacenados hasta que sean trasladados a la siguiente locación.
X4 / Y4	Son las variables que sirven de contador de tapas que ingresan a una locación, con el fin de formar un lote de 2000 unidades.
Y5	Es la variable que sirve de contador de botones que ingresan a una locación, con el fin de formar un lote de 4500 unidades.
X6	Es la variable que sirve de contador de botones que ingresan a una locación, con el fin de formar un lote de 500 unidades.
Z5	Es la variable que sirve de contador de tapas que ingresan a una locación, con el fin de formar un lote de 100 unidades.
Producción	Es la variable que ayuda como contador de cajas de bolígrafos terminados, cada caja contiene 15 unidades en el sistema.

Atributos del modelo de Simulación

En la simulación se utiliza los atributos para registrar los tiempos de ciclos de las entidades a lo largo del proceso en la fabricación de bolígrafos, el tipo de los atributos será real ya que se necesitan para el análisis las fracciones del tiempo.

TABLA 22
ATRIBUTOS DEL MODELO DE SIMULACIÓN

Atributo	Descripción
CTBA1/ CTBA2/ CTBA3	Tiempo promedio que debe esperar un barril hasta ser ensamblado.
CTTA1/ CTTA2	Tiempo promedio que debe esperar una tapa hasta ser ensamblado.
CTBO	Tiempo promedio que debe esperar un Botón hasta ser ensamblado.

Distribuciones estadísticas usadas en el modelo de simulación.

En el modelo se utilizó una distribución estadística para poder simular la aleatoriedad de la capacidad de las tolvas. En la planta se tiene actualmente:

6 Tolvas con capacidad de 50,000 barriles, equivalentes en el sistema a 500 unidades.

21 Tolvas con capacidad de 30,000 barriles, equivalentes en el sistema a 300 unidades.

8 Tolvas con capacidad de 25,000 barriles, equivalentes en el sistema a 250 unidades.

Para traducir esta situación a la realidad se programó una distribución acumulativa, mostrada a continuación:

TABLA 3.8
DISTRIBUCIÓN ESTADÍSTICA DEL MODELO DE SIMULACIÓN

Porcentaje	Valor
23%	250 Barriles
83%	300 Barriles
100%	500 Barriles

Parámetros de comparación

Los parámetros de comparación son los ítems a igualarse entre la situación real y los resultados del modelo de simulación, estos parámetros son los siguientes:

Producción de barriles por máquina inyectora (PB1 / PB2 / PB3).- Es la cantidad de barriles producidos en una máquina inyectora en un tiempo dado, en este parámetro se tiene tres ítems de comparación, ya que hay tres equipos que fabrican barriles dentro del proceso productivo.

Producción de tapas por máquina inyectora (PT1 / PT2).- Es la cantidad de tapas producidas en una máquina inyectora en un tiempo dado, en este parámetro se tiene dos ítems de comparación, ya que hay dos equipos que fabrican tapas dentro del proceso productivo.

Producción de botones por máquina inyectora (PBO).- Es la cantidad de botones producidos en una máquina inyectora en un tiempo dado.

Producción de bolígrafos por máquina ensambladora (PE1 / PE2 / PE3 / PE4).- Es la cantidad de bolígrafos producidos en una máquina ensambladora en un tiempo dado, debido a que en el área de ensamble se encuentran cuatro equipos que producen bolígrafos.

Producción de cajas de bolígrafos (PRODUCCIÓN).- Es la cantidad de cajas llenas de 1500 bolígrafos cada una y que se encuentran listas para ser enviadas a la bodega de producto terminado.

Tiempo de ciclo de un barril antes de ser ensamblado (CTBA).- Es el tiempo que le toma a un barril ser transportado desde que es fabricado en la máquina inyectora hasta antes de ser unida con el botón y la tapa en la ensambladora.

Tiempo de ciclo de una tapa antes de ser ensamblada (CTTA).- Es el tiempo que le toma a una tapa ser transportada desde que es fabricada en la máquina inyectora hasta antes de ser unida con el barril y el botón en la ensambladora.

Tiempo de ciclo de un botones antes de ser ensamblados (CTBO).

Es el tiempo que le toma a un botón ser transportado desde que es fabricado en la máquina inyectora hasta antes de ser unido con las demás piezas en la ensambladora.

Los cuatro primeros parámetros fueron escogidos para poder verificar que el modelo de simulación refleje la producción real del área de inyección, y los siguientes parámetros fueron escogidos ya que son los que se deben mejorar con la re-distribución de planta.

Determinación del número de réplicas

El número de réplicas es la cantidad de veces que corre el modelo de simulación.

Debido a que el modelo de producción de bolígrafos tiene actividades que parten de distribuciones estadísticas, se debe estimar el número de réplicas ideal.

Para obtener el número de réplicas ideal, se realiza una corrida piloto de 30 veces, con el fin de obtener las desviaciones estándares de los parámetros que se van a comparar, realizando el procedimiento obtenemos que el número de réplicas es 71 veces.

Validación del modelo de Simulación.

Los resultados del promedio de simulación se encuentran dentro de los intervalos de confianza de los datos reales:

TABLA 26
COMPARATIVO ENTRE LOS RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN Y LOS DATOS REALES

PARÁMETRO	SITUACIÓN REAL		PROMEDIO SIMULACIÓN	UNIDADES
	95% C.I. LOW	95% C.I. HIGH		
PB1	159474	165726	162446	Pieza barril
PB2	148396	153302	150965	Pieza barril
PB3	155655	162981	159159	Pieza barril
PT1	231786	239300	235032	Pieza tapa
PT2	243843	251747	248252	Pieza tapa
PBO	435690	477466	458708	Pieza botón
PE1	115157	120071	116707	Bolígrafo
PE2	119008	123318	120706	Bolígrafo
PE3	115214	125526	118468	Bolígrafo
PE4	151536	159652	157521	Bolígrafo
PRODUCCIÓN	328	344	341.81	Cajas
CTBA	1803	1825	1808.83	s
CTTA	2191	2211	2199.83	s
CTBO	2168	2184	2174.96	s

PROPUESTAS DE MEJORA CON RESPECTO A LA DISTRIBUCIÓN DE PLANTA Y FLUJO DE MATERIALES

Propuesta de Mejora I:

Reubicación del área de ensamble a un área más cercana a las inyectoras. Con el fin de aumentar el espacio disponible y disminuir el trayecto de las partes antes de ser ensambladas, se puede reubicar el área de ensamble que actualmente se encuentra sobredimensionada

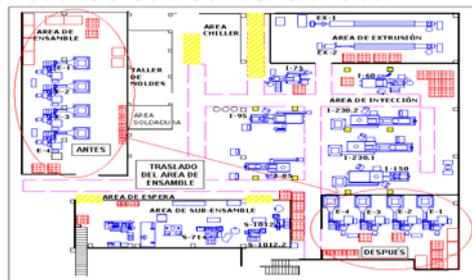


FIGURA 4.2 TRASLADO DEL AREA DE ENSAMBLE

Propuesta de mejora II:

Implementación de una banda transportadora.

Debido a los problemas ocasionados por el uso de las tolvas, éstas deben ser eliminadas, ya que ocupan espacio y dificultan el flujo de material, por lo que se propone implementar una banda transportadora que una a las inyectoras con las ensambladoras. Esta banda transportadora es elevada para no ocupar espacio en los pasillos del área de inyección.

Se muestra a continuación un plano con el detalle de las bandas transportadoras:

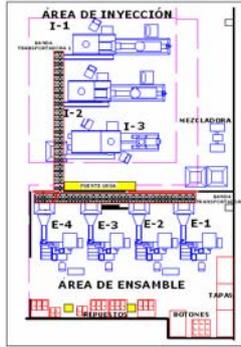


FIGURA 4.7
UBICACIÓN DE BANDA
TRANSPORTADORA

Análisis de los resultados de la situación Futura y comparación con la situación Actual.

Una vez que se haya corrido el modelo la cantidad de veces determinada, en este caso se decidió que serán 51 veces en el modelo futuro, ya que es el mayor valor obtenido, se procede a la comparación de los resultados obtenidos en la simulación con aquellos que fueron tomados como muestra de la fabricación de bolígrafos.

TABLA 38
DATOS DE LA SITUACIÓN ACTUAL
VS FUTURA

PARÁMETRO	PROMEDIO SIMULACIÓN SITUACIÓN ACTUAL	PROMEDIO SIMULACIÓN SITUACIÓN FUTURA	MEDIDA	UNIDADES
PE1	116707	123095	Bolígrafo	6388
PE2	120706	130536	Bolígrafo	9830
PE3	118468	140088	Bolígrafo	21620
PE4	157521	157600	Bolígrafo	79
PRODUCCIÓN	341,81	366,00	Cajas	24
CTBA	1808,83	1738,00	s	-71
CTTA	2199,83	2162,71	s	-37
CTBO	2174,96	2145,36	s	-30

Producción en la Ensambladora 1 (PE1): En el modelo de simulación la máquina 1 del área de ensamble produce en promedio 116707 bolígrafos en tres turnos de ocho horas cada uno, con los cambios que se le realiza al modelo que representan las mejoras propuestas, la ensambladora 1 produce 123095, aumentando la producción en 6388 piezas terminadas.

Con las propuestas de mejora se aumenta la tasa de producción de esta estación en un 5.47 % diario.

Producción en la Ensambladora 2 (PE2): La Ensambladora 2 produce en promedio 120706 bolígrafos en tres turnos de ocho horas cada uno, en el modelo de la situación actual, con los cambios que se le realiza al modelo la ensambladora 2 produce 130536, aumentando la producción en 9830 piezas terminadas.

Con el cambio en el modelo de simulación se incrementa la tasa de producción de esta estación en un 8.14 % diario.

Producción en la Ensambladora 3 (PE3): En el modelo de simulación la máquina 3 del área de ensamble produce en promedio 118468 bolígrafos en tres turnos de ocho horas cada uno, con los cambios que se le realiza al modelo que representan las mejoras propuestas, la ensambladora 3 produce 140088, aumentando la producción en 21620 piezas terminadas.

Con las propuestas de mejora se aumenta la tasa de producción significativamente de esta estación, en un 18.25 % diario.

Producción en la Ensambladora 4 (PE4): La Ensambladora 4 produce en promedio 157521 bolígrafos en tres turnos de ocho horas cada uno, en el modelo de la situación actual, con los cambios que se le realiza al modelo, la ensambladora 4 produce 157600, aumentando la producción en 79 piezas terminadas.

Con el cambio en el modelo de simulación el incremento de la tasa de producción es poco significativo ya que aumenta sólo en un 0.05 % diario.

Producción de cajas de bolígrafos (PRODUCCIÓN): La situación actual se tiene una producción promedio de 341 cajas, e ingresando en el modelo las propuestas de mejora se obtiene como resultado una producción promedio de 366 cajas de bolígrafos, esta producción total representa un aumento promedio de 37500 piezas terminadas, que en total aumenta la producción diaria en 7,12 %:

Tiempo de ciclo de un barril antes de ser ensamblado (CTBA): Uno de los parámetros de comparación que se analiza es el tiempo de ciclo de las piezas antes de ser ensambladas, el tiempo promedio del ciclo del barril en la situación actual es de 1808.83 segundos, el cual disminuye un 3.92 % con las propuestas de mejora, obteniendo un tiempo de ciclo en este modelo futuro de 1738 segundos.

Tiempo de ciclo de una tapa antes de ser ensamblada (CTTA): El tiempo promedio que a la tapa le toma desde que es fabricada en la inyectora hasta ser ensamblada como un bolígrafo en la situación actual, es de 2199.83 segundos el cual disminuye un 1.69% con las propuestas de mejora, obteniendo un tiempo de ciclo en este modelo futuro de 2162.71 segundos.

Tiempo de ciclo de un botón antes de ser ensamblado (CTBO): El tiempo promedio del ciclo del botón en la situación actual es de 2174.96 segundos, el cual disminuye un 1.36% con las propuestas de mejora, obteniendo un tiempo de ciclo en este modelo futuro de 2145.36 segundos.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Conclusiones:

Se desarrolló un modelo de simulación de la situación actual de la compañía, el mismo fue validado con la ayuda de parámetros de tiempos de ciclo de las partes antes de ser ensambladas y de la producción de piezas y bolígrafos, y se concluyó que este modelo representa el proceso de producción de bolígrafos con un 95 % de confianza.

Con la reubicación del Área de Ensamble se obtienen algunos beneficios; uno de ellos es la eliminación del alquiler de las bodegas externas, ya que se aumenta la capacidad de almacenamiento de la bodega en 188 metros cuadrados, adicionalmente se ahorra 1176 horas

en el recurso humano, al unir estos dos puntos generan un ahorro total por incremento de capacidad de almacenamiento de \$12033,60 al año.

Con la implementación de la banda transportadora que traslada el barril desde las inyectoras hasta su ensamble final, se obtienen los siguientes beneficios; se prescinde automáticamente del espacio considerable que estos equipos ocupan en la planta, se elimina las caídas de material ocasionadas por altura de los actuales equipos de transportación del barril, se reduce a cero el tiempo que las ensambladoras paran por el cambio del actual equipo de transportación que alimenta de barril a la máquina, y la eliminación total del riesgo de accidentes que históricamente han causado este sistema de manejo de materiales, todas estas mejoras se convierten en un ahorro total de \$8325,29 al año.

Unificando estas dos mejoras, ubicación del área de ensamble e implementación de una banda transportadora, se obtiene un mejor recorrido de las partes antes de ser ensambladas y un recorrido único y directo del bolígrafo desde la línea final de ensamble hasta la bodega, adicionalmente se reduce el tiempo de ciclo de cada una de estas partes, 71 segundos en el recorrido del barril, 37 segundos en el recorrido de la tapa y finalmente 30 segundos en el recorrido del botón.

Con el nuevo sistema de recorrido de las partes, y la disminución del tiempo de ciclo, el modelo que representa las propuestas de mejora, sostiene que la tasa de producción aumenta en un 7,12 %, lo cual permite afrontar a la empresa los incrementos de demanda sin tener que aumentar sus días laborables por mes.

Recomendaciones:

Con el fin de evitar la saturación de las estaciones de ensamble se debe instalar un sistema de recepción

previo donde debe caer el material desde la banda transportadora, y ésta entregar material a la máquina, como un sistema de amortiguamiento por si alguna de las ensambladoras para por fallas.

Se recomienda evaluar la inclusión de una banda transportadora que tome el bolígrafo ya ensamblado y lo traslade desde las máquinas hasta un punto de recepción para almacenarlo al granel, y de esta manera eliminar cuatro operarios por uno.

BIBLIOGRAFÍA

1. Arias Lourdes “Evaluación y Planteamiento de Mejoras en el Área de Armado de Cajas de una Empacadora de Mangos de Exportación mediante un Modelo de Simulación” (Tesis, Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2007).
2. ProModel, User Guide Version 7, 2006.
3. Konz, Stephan, Diseño de Instalaciones Industriales, Editorial Limusa, 1991
4. Meyers Fred E., Plant Layout and handling, Prentice Hall, 1995.
5. Arnold Tony J.R., Introduction to materials management, Prentice Hall, 1995.
6. Buffa Elwood S., Modern Production Management, John Wiley & Sons Inc., 1991.