

CAPÍTULO IV

DESARROLLO DEL PROYECTO

4.1 Metodología del muestreo del trabajo

4.1.1 Muestreo Preliminar

El muestreo comenzó con el desarrollo de un muestreo preliminar que consistió en primer lugar en determinar los posibles estados en los que se podrían encontrar cada una de las máquinas a muestrear, a continuación presento la tabla de estos posibles estados:

<i>Estados de las máquinas para muestreo del departamento Q0</i>			
Depto.	Categoría	Clave	Descripción
Q0	Produciendo	P	Máquina produciendo
	Tiempo muerto	TM	Máquina parada: no está produciendo, no está en mantenimiento o limpieza
	Ajuste del operador	A	Operador ajustando la máquina para que vuelva al estado P, son ajustes menores por que se atora la pastilla o el empaque.
	Cambio de Sabor	CS	El cambio de sabor es una limpieza que se hace a cada una de las partes de la línea por que se empezará a procesar un sabor distinto.
	Falta de materiales	FM	Falta material para que vuelva al estado P *cualquier material excepto goma. (ej. esencias, micro talco, insumos para las máquinas, etc.)
	Falta de goma	FG	Falta goma para que vuelva al estado P
	Mtto. Eléctrico	ME	Máquina parada por mantenimiento eléctrico
	Mtto. Mecánico	MM	Máquina parada por mantenimiento mecánico
	Limpieza	L	La limpieza se hace cada vez que se termina de producir una orden de trabajo y solo cuando se va a procesar el mismo sabor en la siguiente orden. Solo se hace en algunas partes de la línea.
	Comida	CO	Máquina parada: operadores salieron a comer
	Descarga	D	El operador está descargando el producto de la máquina
	Carga	C	El operador está cargando producto a la máquina

Tabla 4.1 Estados de las máquinas del departamento Q0.

Después de haber definido los estados de las máquinas el siguiente paso es determinar las características del muestreo preliminar:

Máquina	M6, M7	Máquina	B1, B2, B3, B4
Turnos Muestreo Preliminar	11	Turnos Muestreo Preliminar	11
Número de observaciones totales	330	Número de observaciones totales	300
Número de observaciones por turno	30	Número de observaciones por turno	27
Máquina	T1, T2, T3, T4	Máquina	DU 6
Turnos Muestreo Preliminar	11	Turnos Muestreo Preliminar	11
Número de observaciones totales	300	Número de observaciones totales	300
Número de observaciones por turno	27	Número de observaciones por turno	34

Tabla 4.2 Tablas resumen del muestreo preliminar.

No estoy haciendo distinciones entre los distintos días y turnos en los que hice el muestreo debido al supuesto planteado por la empresa en el que no considera ninguna variación entre días ni turnos, teniendo un único dato que representa la eficiencia operativa del proceso (en el caso de mi muestreo es la categoría “Produciendo”) para todas las máquinas de cada área, sin embargo en la parte de la obtención de distribuciones de probabilidad que será explicada posteriormente si las obtuve diferenciando cada máquina de cada área pero no diferenciando el turno ni el día ya que la empresa considera que no hay variaciones importantes entre estos. Los datos proporcionados por la empresa provienen de un estudio de tiempos que se tomó hace 6 meses.

Para hacer el muestreo preliminar la empresa me permitió hacerlo en un tiempo máximo de 11 días, por lo que tomé muestras de 1 turno completo por día cubriendo los 3 turnos en este periodo. Los resultados de las proporciones del *muestreo preliminar* fueron los siguientes:

M6, M7	
Clave	%
Produciendo	32.3%
Tiempo Muerto (Equipo parado)	46.0%
Ajuste del operador	0.0%
Cambio de Sabor	0.0%
Falta de materiales	0.0%
Falta de goma	0.0%
Mtto. Eléctrico	0.0%
Mtto. Mecánico	0.0%
Limpieza	3.3%
Comida	0.0%
Descarga	9.5%
Carga	8.8%
Total	100.0%

B1, B2, B3, B4	
Clave	%
Produciendo	81.0%
Tiempo Muerto (Equipo parado)	9.5%
Ajuste del operador	0.7%
Cambio de Sabor	0.0%
Falta de materiales	0.0%
Falta de goma	0.0%
Mtto. Eléctrico	0.0%
Mtto. Mecánico	0.0%
Limpieza	1.7%
Comida	0.0%
Descarga	3.5%
Carga	3.6%
Total	100.0%

T1, T2, T3, T4	
Clave	%
Produciendo	82.7%
Tiempo Muerto (Equipo parado)	3.3%
Ajuste del operador	2.5%
Cambio de Sabor	4.8%
Falta de materiales	0.6%
Falta de goma	1.0%
Mtto. Eléctrico	0.5%
Mtto. Mecánico	0.3%
Limpieza	3.6%
Comida	0.0%
Descarga	0.0%
Carga	0.6%
Total	100.0%

DU 6	
Clave	%
Produciendo	78.4%
Tiempo Muerto (Equipo parado)	5.8%
Ajuste del operador	1.1%
Cambio de Sabor	0.0%
Falta de materiales	0.0%
Falta de goma	0.0%
Mtto. Eléctrico	0.5%
Mtto. Mecánico	0.5%
Limpieza	7.1%
Comida	0.0%
Descarga	4.0%
Carga	2.6%
Total	100.0%

Tabla 4.3 Tablas resultados del muestreo preliminar.

La razón por la cual la proporción de la categoría “Tiempo Produciendo” en las máquinas M6 y M7 es considerablemente más bajo que la misma categoría en las otras partes del proceso se debe a que estas máquinas funcionan únicamente cuando la siguiente etapa del proceso (proceso T) necesita goma para procesarla, y debido a que el tiempo para procesar un lote de 350 kilogramos es considerablemente menor en el proceso M que en el T para procesar el mismo tamaño de lote es entendible que gran parte del tiempo las máquinas M se encuentren en la categoría de Tiempo Muerto. Los tiempos para procesar el

lote de 350 kilogramos en cada etapa del proceso se obtuvieron a partir de información proporcionada por la empresa, de la cual obtuve las distribuciones de probabilidad mostradas en el ANEXO 4.

4.1.2 Muestreo Final

Para hacer el muestreo final se requirió una confianza del 95% y un error de estimación del 3.5%, ambos indicadores fueron acordados por la empresa. La z correspondiente a un nivel de confianza del 95% es de 1.96, cuyo valor esta basado en una Z obtenida mediante la aproximación de los datos a una distribución normal. Debido al número de observaciones tan grande que se hicieron se pueden aproximar los datos a una distribución normal. Debido a que las proporciones de nuestra categoría de interés produciendo (P) varían para cada grupo de máquinas decidí obtener un número de muestras distinto para el muestreo final. De acuerdo a la fórmula de la sección 3.1.2 inciso a, presento las N obtenidas para cada grupo de máquinas.

M6 Y M7

$$N = \frac{(1.96^2)(0.323)(1 - 0.323)}{0.035^2} = 686$$

B1, B2, B3, B4

$$N = \frac{(1.96^2)(0.81)(1 - 0.81)}{0.035^2} = 483$$

T1, T2, T3, T4

$$N = \frac{(1.96^2)(0.827)(1 - 0.827)}{0.035^2} = 449$$

DU 6

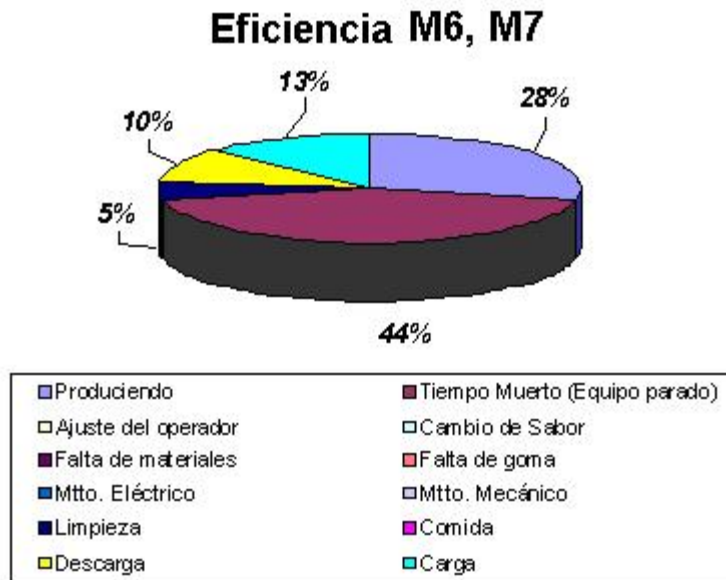
$$N = \frac{(1.96^2)(0.784)(1 - 0.784)}{0.035^2} = 532$$

Después de haber obtenido las N para los muestreos finales procedí a continuar con el muestreo en los 3 turnos y utilicé los mismos formatos del muestreo preliminar. Los resultados del *muestreo final* los presento a continuación:

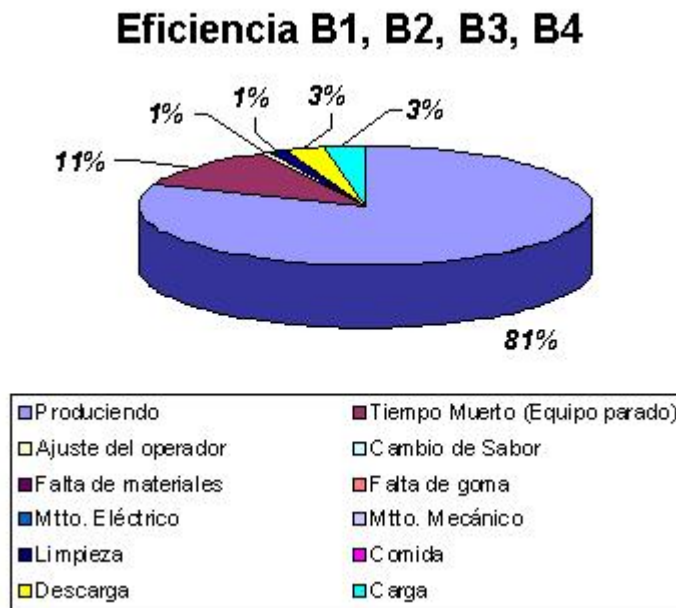
M6 Y M7		B1, B2, B3, B4	
Clave	%	Clave	%
Produciendo	28.2%	Produciendo	80.9%
Tiempo Muerto (Equipo parado)	43.5%	Tiempo Muerto (Equipo parado)	11.5%
Ajuste del operador	0.0%	Ajuste del operador	0.6%
Cambio de Sabor	0.0%	Cambio de Sabor	0.2%
Falta de materiales	0.0%	Falta de materiales	0.0%
Falta de goma	0.0%	Falta de goma	0.0%
Mtto. Eléctrico	0.0%	Mtto. Eléctrico	0.0%
Mtto. Mecánico	0.2%	Mtto. Mecánico	0.0%
Limpieza	5.3%	Limpieza	1.1%
Comida	0.0%	Comida	0.0%
Descarga	9.8%	Descarga	2.7%
Carga	13.0%	Carga	3.1%
Total	100.0%	Total	100.0%
T1, T2, T3, T4		DU 6	
Clave	%	Clave	%
Produciendo	72.1%	Produciendo	81.1%
Tiempo Muerto (Equipo parado)	12.8%	Tiempo Muerto (Equipo parado)	10.0%
Ajuste del operador	3.9%	Ajuste del operador	0.5%
Cambio de Sabor	3.9%	Cambio de Sabor	0.2%
Falta de materiales	0.4%	Falta de materiales	0.0%
Falta de goma	0.6%	Falta de goma	0.0%
Mtto. Eléctrico	0.6%	Mtto. Eléctrico	0.2%
Mtto. Mecánico	0.4%	Mtto. Mecánico	0.3%
Limpieza	4.7%	Limpieza	3.1%
Comida	0.0%	Comida	0.0%
Descarga	0.0%	Descarga	2.0%
Carga	0.5%	Carga	2.5%
Total	100.0%	Total	100.0%

Tabla 4.4 Tablas resultados del muestreo final.

La empresa llama “eficiencia operativa” a la proporción de tiempo que las máquinas se encuentran produciendo, a continuación presento las eficiencias operativas obtenidas del muestreo.



Gráfica 4.1 Gráfica Eficiencia M6, M7.



Gráfica 4.2 Gráfica Eficiencia B1, B2, B3, B4.

Eficiencia T1, T2, T3, T4



Gráfica 4.3 Gráfica Eficiencia T1, T2, T3, T4.

Eficiencia DU6



Gráfica 4.4 Gráfica Eficiencia DU 6

4.1.3 Validación del muestreo final

A continuación presento las respectivas pruebas de hipótesis que sirvieron como validación del muestreo. El parámetro de interés de mi muestreo a comparar es la categoría de la máquina produciendo (p). El dato de p_0 utilizado para validar nuestro muestreo fue proporcionado por la empresa y corresponde al dato del estándar 2006 obtenido a través de un estudio de tiempo y movimientos hecho hace 6 meses por ingenieros de la empresa. Cabe señalar que el tamaño de muestra (n) es mayor al obtenido en el muestreo preliminar debido a que los recorridos para tomar muestras excedieron el tamaño de muestra obtenido, lo que es positivo y nos da una mayor confianza.

Máquinas: M6 Y M7

Parámetro de interés: La proporción de la categoría p_0 de M6 y M7.

$$H_0 : p = p_0$$

$$H_1 : p \neq p_0$$

$$Z_o = \frac{X - np_0}{\sqrt{np_0(1 - p_0)}} = 0.1379$$

$$\alpha = 0.05$$

Estadístico de Prueba:

$$n: 961$$

$$X: 271$$

$$p_0: 0.28$$

Donde:

X : es el número de veces que se detectó la máquina produciendo

n : Tamaño de muestra

p_0 : representa la proporción que la máquina estuvo produciendo según estándares preestablecidos.

Puesto que $Z_0 = 0.1379 < Z_{.05/2} = 1.96$ y $Z_0 = 0.1379 > -Z_{.05/2} = -1.96$ se acepta H_0 y se concluye que la eficiencia de los mezcladores es 28%. El dato obtenido en el muestreo fue de 28.2% de la categoría p para M6 y M7.

Máquinas: B1, B2, B3, B4

Parámetro de interés: La proporción de la categoría p de las máquinas B.

$$H_0 : p = p_0 \quad Z_o = \frac{X - np_0}{\sqrt{np_0(1 - p_0)}} = 20.09$$

$$H_1 : p > p_0$$

$$\alpha = 0.05$$

Estadístico de Prueba:

n : 1994
 X : 1614
 p_0 : 0.588

Donde

X : es el número de veces que se detectó la máquina produciendo
 n : Tamaño de muestra
 p_0 : representa la proporción que la máquina estuvo produciendo según estándares preestablecidos.

Puesto que $Z_0 = 20.09$ tiene un valor mayor que $z_{.05} = 1.645$, hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula al nivel de significancia del 5%. Del estudio se obtuvo evidencia suficientemente contundente en contra de la hipótesis nula, por lo cual se puede descartar que la proporción de eficiencia de las máquinas B sea 58.8%.

Intervalo de confianza para máquinas B

Parámetro de interés: Proporción de las veces que las máquinas estuvieron en estado productivo.

$$p \pm Z_{1-\alpha/2} \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}} = [.792, .826]$$

Con un nivel de significancia de 95%, la proporción de eficiencia de las máquinas B se encuentra entre 79.2% y 82.6%. El dato obtenido en el muestreo fue de 80.9% de la categoría p para las máquinas B.

Máquinas: T1, T2, T3, T4

Parámetro de interés: La proporción de la categoría p de las máquinas T.

$$\begin{aligned} H_0 : p &= p_0 & Z_o &= \frac{X - np_0}{\sqrt{np_0(1-p_0)}} = 6.5967 \\ H_1 : p &> p_0 & & & \alpha &= 0.05 \end{aligned}$$

Estadístico de Prueba:

n : 1396
 X : 1007
 p_0 : 0.6364

Donde n : Número

X : es el número de veces que se detectó la máquina produciendo

n : Tamaño de muestra

p_0 : representa la proporción que la máquina estuvo produciendo según estándares preestablecidos.

Puesto que $Z_0 = 6.5967$ es un valor mayor que $z_{.05} = 1.645$, hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula al nivel de significancia del 5%. Del estudio se obtuvo evidencia suficientemente contundente en contra de la hipótesis nula, por lo cual se puede descartar que la proporción de eficiencia de las máquinas T 63%.

Intervalo de confianza para máquinas T

Parámetro de interés: Proporción de las veces que las máquinas estuvieron en estado productivo.

$$p \pm Z_{1-\alpha/2} \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}} = [0.6978, 0.7448]$$

Con un nivel de significancia de 95%, la proporción de eficiencia de las máquinas T se encuentra entre 69.78% y 74.48%. El dato obtenido en el muestreo fue de 72.1% de la categoría p para las máquinas T.

Máquinas: DU6

Parámetro de interés: La fracción p de eficiencias del DU 6

$$\begin{aligned} H_0 : p &= p_0 & Z_o &= \frac{X - np_0}{\sqrt{np_0(1-p_0)}} = 2.408 & \alpha &= 0.05 \\ H_1 : p &> p_0 & & & & \end{aligned}$$

Estadístico de Prueba:

n : 863

X : 700

p_0 : 0.777

Donde

X : es el número de veces que se detectó la máquina produciendo

n : Tamaño de muestra

p_0 : representa la proporción que la máquina estuvo produciendo según estándares preestablecidos.

Puesto que $Z_0 = 2.408$, un valor mayor que $z_{.05} = 1.645$, si hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula al nivel de significancia del 5%. Del estudio se obtuvo evidencia suficientemente contundente en contra de la hipótesis nula, por lo cual se puede descartar que la eficiencia operativa para la máquina DU6 sea 77.7%.

Intervalo de confianza para DU 6

Parámetro de interés: Proporción de las veces que las máquinas estuvieron en estado productivo.

$$p \pm Z_{1-\alpha/2} \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}} = [.749, .804]$$

Con un nivel de significancia de 95%, la proporción de p de DU 6 se encuentran entre 74.9% y 80.4%. El dato obtenido en el muestreo fue de 81.1% de la categoría p para DU 6. A continuación presento una tabla que compara las proporciones de tiempo productivo entre el estándar 2006, el muestreo, y el estándar 2007 (el cual es un pronóstico determinado por el departamento de Ingeniería de Valor de la empresa).

Eficiencia máquinas departamento Q0

Máquinas	Estándar 2006	Muestreo	Estándar 2007
M6 y M7	28.0%	28.2%	28.0%
T1, T2, T3, T4	63.6%	72.1%	77.8%
DU6	77.7%	81.1%	73.8%
B1, B2, B3, B4	58.8%	80.9%	88.5%

Tabla 4.5 Tabla comparativa de Eficiencias de Q0.

A partir de esta información podemos constatar que la información tiende a acercarse al estándar 2007, el cual es un pronóstico proporcionado por la empresa, información que es entendible ya que el muestreo se hizo a finales de 2006.

4.2 Desarrollo del modelo de simulación

4.2.1 Descripción de la modelación

Los pasos para modelar el proceso del departamento Q0 consistieron en primer lugar en conocer el proceso productivo del departamento lo cual logré principalmente durante el tiempo que estuve tomando la muestra, en segundo lugar construir el modelo de simulación con Arena con los conocimientos adquiridos del proceso. Al principio construí el modelo de simulación independiente tanto la lectura de los datos como la salida de las hojas de Excel a las que va ligado.

El proceso en forma general lo muestro a continuación con este diagrama el cual muestra el flujo de la goma a través del departamento:

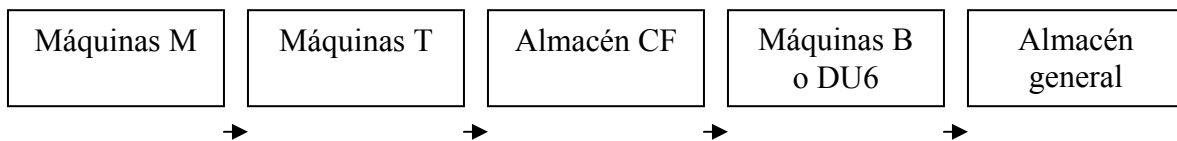


Figura 4.1 Diagrama de la secuencia de actividades en el departamento Q0.

Se hicieron las siguientes consideraciones en la construcción del modelo, estas son:

- La empresa labora 3 turnos de 8 horas cada uno.
- En cada turno los operadores tienen 30 minutos disponibles para comer y 15 minutos de descanso.
- Las máquinas no paran durante el turno ya que los operadores toman los tiempos de comida y descanso solo cuando hay operadores disponibles que los cubran.

El proceso se origina en las máquinas M, hay 2 la M6 y M7, cada una procesa un lote de 350 Kg. Contamos con 1 operador por máquina M. Las pérdidas en este proceso son mínimas por lo que se da por hecho que sale del mezclador el mismo lote de 350 Kg. El tiempo de proceso esta descrito con una distribución de probabilidad y se encuentra en el ANEXO 4.

Después de que la goma se termina de procesar se traslada a las máquinas T; hay 4 máquinas T las cuales cuentan con 6 operadores por cada una; los cuales son los responsables de ir por la goma a las máquinas M cuando se ha terminado en su proceso. Los operadores de las máquinas T transportan cada lote de 350 Kg de goma en 1 carrito de metal. La goma del carrito con los 350 Kg se va introduciendo poco a poco en una sección de las máquinas T hasta que se agota el lote.

Cabe señalar que cuando es procesado un sabor distinto en todas las máquinas del departamento Q0 se destina un tiempo para la limpieza de estas, tiempos que también tienen su propia distribución de probabilidad, al principio tenía la idea de que los cambios de sabor tenían distintos tiempos de acuerdo a la combinación de sabores de la orden anterior y la siguiente, sin embargo después de obtener la información para el departamento Q0 detecté que las distribuciones de probabilidad para los tiempos de cambio de sabor son exactamente las mismas debido a que el color de la goma para todos los sabores es blanco, es decir, la variación del tiempo para cambio de sabor esta relacionado con el color de la goma, si limpian una goma verde y la siguiente en procesarse es de color blanco se destina un tiempo mayor a la limpieza para que la goma blanca de la siguiente orden no se pinte de

color verde.. Las distribuciones de cambio de sabor para el departamento Q0 pueden ser consultas en el ANEXO 4.

Una vez que termina el proceso de las máquinas T, éste se coloca en charolas de plástico con capacidad de 7.14 Kg cada una, las cuales se apilan en plataformas que transportan 40 charolas con capacidad de 285.6 Kg de pastilla. Estas son trasladadas al almacén CF por alguno de los 6 operadores de cada máquina T. El tiempo mínimo que demora la pastilla en este lugar es de 24 horas. La capacidad del almacén CF es de 170 plataformas. Sin embargo si se llegan a saturar las plataformas pueden ser colocadas temporalmente fuera del almacén CF en lo que hay espacio dentro. Al pasar el tiempo en el almacén CF las plataformas se trasladan a las máquinas B o DU6.

Hay 4 máquinas B que cada una es llenada con 714 Kg de pastilla (2.5 plataformas), saliendo 1000 Kg de pastilla de este proceso debido a que se le agregan otros materiales a la pastilla. Las 4 máquinas B cuentan con 7 operadores por turno.

La máquina DU 6 es llenada con 714 Kg (2.5 plataformas) saliendo 1000 Kg de pastilla proceso debido a que se le agregan otros materiales a la pastilla. El proceso que hacen las máquinas B y la máquina DU6 es exactamente el mismo con la diferencia de la capacidad de estas máquinas.

De acuerdo a información proporcionada por el departamento de Ingeniería de Valor de la empresa los promedios en el primer semestre de 2006 de desperdicio y retrabajo para las áreas de Máquinas T y Máquinas B es la siguiente:

Área	Desperdicio (Scrap)	Retrabajo (Salvage)
Máquinas T	1.32%	0%
Máquinas B	0.7%	0%

Tabla 4.6 Tabla de promedio de desperdicio y retrabajo primer semestre 2006 en Máquinas T y Máquinas B.

Posteriormente la pastilla es transportada hacia el proceso E, la cual es un área donde la pastilla es depositada a granel en cilindros de cartón con capacidad de 10 Kg, los operadores que procesan la pastilla en máquinas B se encargan del proceso E. El modelo finalizado de los departamentos Q0 y U0 dentro del ambiente Arena se puede ver completo en el ANEXO 6.

4.2.2 Descripción de la hoja de lectura

El siguiente paso fue diseñar una hoja de lectura que tuviera las características que el modelo necesita para hacer su corrida, es decir, tenía que definir cual iba a ser la estructura que esta hoja de lectura tendría y había que definir cuales son las variables de mayor importancia para que el modelo las leyera y funcionara apegado a la realidad. Además había que estandarizar la misma hoja de lectura para todos los departamentos de la empresa.

Después de varios intentos en el diseño de la hoja de lectura llegué a una opción que permite al modelo funcionar apegado a la realidad, esta hoja puede ser consultada en el ANEXO 3. La hoja de lectura está dividida en distintas columnas que están identificadas desde A1 hasta A37; cada una de estas columnas es leída por el modelo de simulación como un atributo.

El usuario tendrá acceso a la hoja de lectura llenando solamente los siguientes atributos:

A1: Número de SKU. Es una clave numérica con la que se identifica un producto en la empresa.

A2: Descripción del producto. En este espacio el usuario pondrá el nombre característico de producto.

A6: Volumen kilogramo pastilla. En este espacio el usuario decidirá que cantidad en kilogramos se requieren fabricar para ese producto.

A8: Número de orden: En este espacio el usuario llenará con un número indicando la prioridad que tiene esa orden de ser producida. Por lo que la orden que tenga el número 1 será la primera orden en producirse, y así consecutivamente. No pueden existir 2 o más ordenes con la misma prioridad.

Después de llenar estos atributos, del atributo **A10** al **A37** están las etapas del proceso: proceso M (máquinas M), proceso T (máquinas T), almacén CF, proceso R (máquinas B y DU6), proceso S, proceso E; como comenté anteriormente esta hoja de lectura ha sido estandarizada para poder usarse en cualquier departamento por que lo existen etapas del proceso en las que el producto del departamento Q0 no interviene. Esta

hoja de lectura la podemos consultar en el ANEXO 3 y como podemos observar hay 4 columnas para cada proceso a partir del atributo **A10**; cada una de las cuales representa una variable de importancia que el modelo requiere leer para funcionar lo más apegado a la realidad; estas variables son: estación, tamaño de lote, tiempo por lote, y número de lotes a procesar. El atributo denominado “estación” es donde el usuario decide en que máquina quiere que se procese ese producto. El proceso del departamento Q0 puede ser simulado independiente del U0 a pesar de que compartan un mismo modelo y hoja de lectura por que cada máquina es una estación diferente. En esta opción el usuario podrá simular la producción en una máquina específica o podrá elegir una estación que simule la producción en cualquier máquina de cada proceso dependiendo de su disponibilidad, la lista de estaciones para cada máquina puede ser consultada en el ANEXO 5.

El atributo “tamaños de lote” va a ser llenado con las cantidades de 350 kilogramos para máquinas M y T, de 285.6 kilogramos para almacén CF y 714 kilogramos para máquinas B y DU6; esto se debe a que las distribuciones de probabilidad de la categoría “Tiempo Produciendo” fue obtenida a partir de estos tamaños de lote para cada etapa del proceso.

El atributo “tiempo por lote” es donde debiera ir el tiempo en que ese proceso se demora para procesar el tamaño de lote escrito en el atributo anterior; sin embargo el modelo de simulación ya tiene incluidas las distribuciones de probabilidad para cada proceso por lo que este espacio se debe dejar en blanco en la hoja de Excel.

Por ultimo el atributo “número de lotes a procesar” se llena automáticamente con una formula que divide la cantidad total en kilogramos a procesar para esa orden (A6) entre el atributo “tamaños de lote” que fue explicado anteriormente.

Los atributos A3, A4, A5, A7 y A9 son llenados automáticamente por la hoja de lectura con fórmulas a partir de que el usuario ingrese la información en los atributos que he mencionado anteriormente.

Cabe señalar que el modelo de simulación se construyó junto con el modelo del departamento U0 debido a que comparten una distribución en la planta y son considerados en varios casos como un solo departamento por lo que la hoja de lectura presentada en el ANEXO 3 conjunta tanto los procesos del departamento Q0 como del U0, sin embargo el modelo leerá solamente las columnas donde aparezca información.

La hoja de lectura es de gran importancia para el funcionamiento del modelo ya que en ella se ingresará la información necesaria para que el modelo funcione lo más apegado a la realidad, esta hoja será llenada exclusivamente por el usuario del modelo de acuerdo a las necesidades del plan de producción

4.2.3 Descripción de las hojas de salida

Las hojas de salida es donde el modelo mientras esta haciendo la corrida escribirá el tiempo en que una entidad entra a cada proceso en cada máquina por separado y el tiempo en el que esta entidad ha terminado de ser procesada en este proceso. A entidad me refiero

y como comenté anteriormente a los kilogramos que van a ser procesados en cada proceso; sin embargo una entidad no es igual a 1 kilogramo sino a 1 lote en kilogramos que esta siendo procesado en ese proceso. En la sección 4.2.2 ya he mencionado que el atributo “tamaño de lote” es fijo para cada proceso de ahí que las distribuciones de probabilidad se obtuvieron para estos tamaños de lote.

La forma en que el modelo de simulación escribe a hojas de Excel su salida, es a través de una variable usada por Arena llamada “tnow” que registra el momento exacto en que pasa una entidad por un módulo específico; de esta manera con el módulo Read/Write el modelo escribe cada entidad cada vez que entra y sale de cada proceso, registrando además el número de orden que tiene para identificar cada producto haciéndolo por separado dependiendo el número de máquina en el que se hizo el proceso. Ejemplos de hojas de salida pueden ser consultadas en el ANEXO 2.

De esta manera se cumple con el requisito que pidió la empresa de simular un plan de producción que contenga el tiempo de inicio de proceso, final de proceso, número de orden y la máquina en que se procesó.

4.2.4 Obtención de las Distribuciones de Probabilidad

La información necesaria para obtener cada una de las distribuciones requeridas la obtuve tanto del muestreo como de información histórica proporcionada por la empresa y por entrevistas hechas a los operadores expertos en cada máquina.

La información proporcionada por la empresa para obtener las distribuciones de probabilidad proviene de 45 reportes de producción diaria que representan 1 mes y medio de información histórica del mes de Octubre y la mitad de Septiembre. La forma en que obtuve las distribuciones de probabilidad fue tomando un dato por día de diferentes turnos de 45 días que abarcaron el mes de Octubre y la primera quincena Noviembre. La información que saqué de estos reportes fue en primer lugar la cantidad de kilogramos que se produjeron en ese turno y el tiempo productivo que estuvo la máquina trabajando, eliminando cualquier tiempo muerto que estuviese registrado en el reporte, así que cada dato que obtuve tenía las unidades de kilogramos producidos entre tiempo productivo, lo cual es la velocidad promedio de producción de la máquina de ese turno.

En el caso de máquinas T debido a que es un proceso continuo y la empresa complementó que no hay variaciones entre los turnos ni los días pero si en las máquinas, interpolé la velocidad obtenida para los turnos de proceso a un tamaño de lote igual a su proceso anterior, es decir, ajuste la distribución de probabilidad de máquinas T a un tamaño de lote de 350 kilogramos.

Las distribuciones necesarias las obtuve usando la opción de Input Analyzer contenida en el software Rockwell Arena 10.0TM cuya finalidad es aproximar los datos a la distribución que presente un menor error.

Las distribuciones de probabilidad que obtuve fueron para las máquinas: M6, M7, B1, B2, B3, B4, T1, T2, T3, T4 y DU6. Las máquinas M y la DU 6 son llamadas en la empresa equipos periféricos los cuales se caracterizan principalmente por que no poseen un

registro detallado por turno en cuanto a su funcionamiento. La información referente a máquinas M presenta las siguientes características:

- Es un proceso “de jalar” (pull) debido a que solo produce cuando el proceso siguiente lo demanda (Máquinas T).
- No se cuenta con información exacta por turno del tiempo productivo y de cada uno de los tiempos muertos que suceden por turno.
- Los operadores de estas máquinas tienen muchos años de experiencia operando estas máquinas.

Cabe señalar que a pesar de haber tomado muestras en los 3 turnos de producción, por petición y consejo de la empresa no se consideró obtener distintas distribuciones de probabilidad por turno de producción, pero sí por máquina en todos los casos. Esto debido a que se considera que no hay variación entre los turnos pero sí entre las máquinas.

La información referente a la maquina DU 6 muestra que es un equipo periférico y no cuenta con información exacta por turno de su comportamiento. Debido a estas características y por consejo de la empresa decidí entrevistar a los expertos del funcionamiento de estas 3 máquinas (M6, M7 y DU6) que son los que conocen a detalle su comportamiento, de esta manera obtuve distribuciones Triangulares para estas máquinas.

La información referente al comportamiento de las máquinas T sí esta disponible en la empresa, después de hacer entrevistas a los expertos en la operación de estas máquinas me comentaron que el funcionamiento de las 4 máquinas T tiene variaciones entre estas, no

así del turno que estén funcionando, a partir de esta información decidí obtener una distribución de probabilidad diferente para cada máquina T.

La información referente a Máquinas B también la obtuve a partir de información proporcionada por la empresa. A partir de entrevistas con los operadores expertos decidí ajustar la información de cada máquina B para obtener 4 distribuciones de probabilidad de la categoría “Produciendo” para estas 4 máquinas.

Las distribuciones de probabilidad las obtuve tomando como base el tamaño de cada lote dependiendo del proceso en el que se encuentra: las máquinas M procesan un tamaño de lote de 350 kilogramos, las máquinas T debido a que son el proceso inmediato reciben lotes de 350 kilogramos de las máquinas M y es su tamaño de lote también, para las máquinas B las distribuciones las obtuve a partir de los tiempos en que tardan para procesar su tamaño de lote que es de 1000 kilogramos, así como para la máquina DU 6. En el ANEXO 4 presento la lista de las distribuciones que se necesitaron para simular el proceso del departamento Q0.

4.2.5 Validación del Modelo

Después de haber hecho el modelo, el paso más importante es su validación contra el sistema real lo cual se hace por pasos, el primer paso es obtener el periodo de calentamiento del sistema.

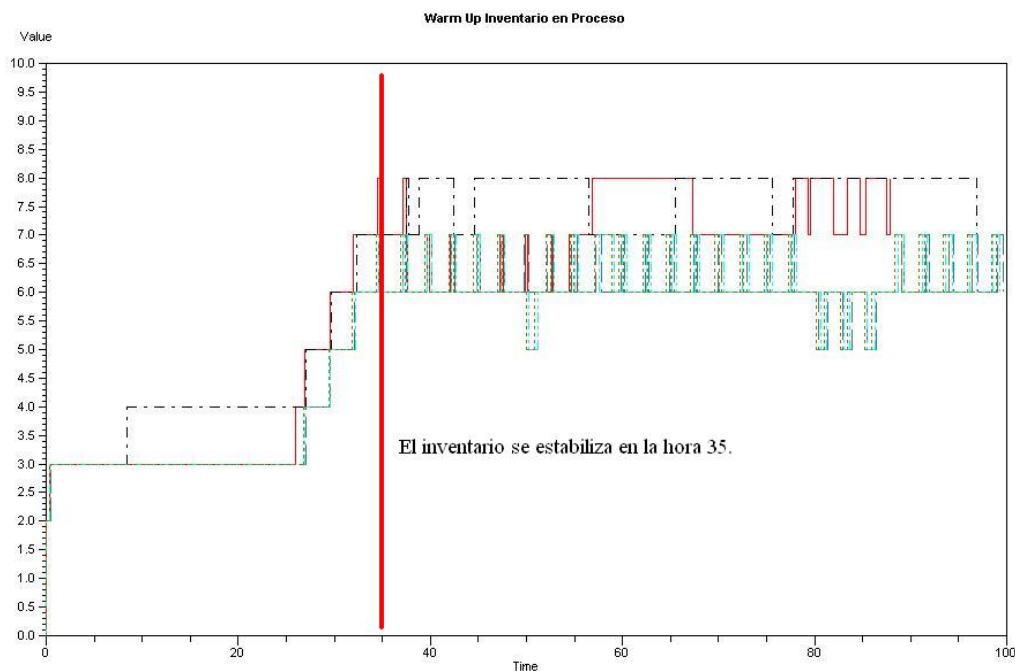
a) Periodo de Calentamiento (Warm up period)

El periodo de calentamiento es el tiempo que tiene que correr el modelo para que se empiece a estabilizar de manera que se apegue lo más posible a la realidad. Normalmente se utiliza un período de calentamiento para sistemas que son continuos y que no tienen un periodo distintivo del cual se requieran estadísticas.

Para obtener el periodo de calentamiento en primer lugar se necesita correr el modelo con órdenes de trabajo representativas y durante el tiempo que esta órdenes deben de ser procesadas; así que elegí las órdenes representativas de 1 mes de producción que fue hecho con el promedio de la producción de Enero a Junio de 2006, información que fue proporcionada por la empresa. En segundo lugar se debe de determinar un numero de réplicas, las cuales son las repeticiones que el modelo debe de correr esa orden representativa continuamente sin eliminar la información que pudiese quedarse en el modelo entre una réplica y otra. Normalmente se corre el modelo con 5 réplicas o repeticiones de esa orden representativa.

El siguiente paso es poner a correr el modelo el tiempo en que esas ordenes deben de ser procesadas, debido a que he elegido 1 mes de producción y a que el departamento Q0 trabaja los 3 turnos del día y los 30 días del mes el tiempo de calentamiento de la corrida fue duración 720 horas (lo cual representa 1 mes de producción) con 5 réplicas o repeticiones.

La función Output Analyzer contenida en el software Rockwell Arena 10.0™ es la herramienta que me permitió hacer el estudio para obtener el periodo de calentamiento, esta herramienta hace una gráfica de la variable Inventario en Proceso (WIP) de cada una de las réplicas hechas y el periodo de calentamiento se obtiene visualmente verificando en la gráfica la hora en que todas las curvas de WIP de cada réplica se estabilizan, a continuación presento la gráfica arrojada por el Output Analizar y donde se puede ver que en la hora 35 se estabiliza el sistema:



Gráfica 4.5 Gráfica del momento en que el sistema se estabiliza.

La corrida que obtuve para obtener el periodo de calentamiento tiene las siguientes características:

- Posee 5 réplicas
- Corresponde al promedio mensual histórico que la empresa tuvo en 6 meses, de Enero a Junio 2006.

- El tiempo de corrida esta especificado en 720 horas que es el tiempo que trabaja el departamento Q0 en un mes, es decir, 3 turnos durante los 30 días del mes.

Después de haber obtenido el periodo de calentamiento procedí a correr el modelo nuevamente ya con el periodo de calentamiento y comparar los resultados arrojados contra los reales proporcionados por la empresa.

b) Prueba de hipótesis para validar el modelo

La información arrojada por el software Rockwell Arena 10.0TM en una corrida de 720 horas con 5 réplicas y sin considerar el tiempo de calentamiento de 35 horas da en promedio la cantidad **216, 500** kilogramos de producción para un mes, cantidad que se acerca en gran medida a la producción promedio mensual que hubo en el departamento Q0.

Después de haber hecho la corrida con las características anteriormente mencionadas, el siguiente paso es volver a hacer la corrida pero ahora con el periodo de calentamiento de 35 horas obtenido a partir de la función Output Analyzer contenida en el software Rockwell Arena 10.0TM, esto para obtener resultados más apegados a la realidad. El resultado de la nueva corrida ya con el periodo de calentamiento incluido y obteniendo el promedio de las 5 réplicas **215, 830.8** kilogramos, de esta manera podemos notar que la corrida con el periodo de calentamiento se acerca más a la realidad que en mi caso es el promedio de producción de 6 meses.

Para validar las salidas del modelo contra la realidad lo que hice fue hacer una corrida por mes de Enero a Junio de 2006, ingresando las órdenes de trabajo que hubo en cada mes, de esta manera comparé los datos históricos de cada mes contra las corridas de mi modelo. En la siguiente tabla se muestra la producción histórica por mes contra los resultados que arrojaron las corridas del modelo:

Real vs. Simulación (Kg.)		
Mes	Producción Histórica	Resultados Arena
Enero	248,345	247,494
Febrero	181,819	182,364
Marzo	265,024	264,000
Abril	172,582	171,000
Mayo	192,299	188,000
Junio	235,263	232,000
Promedio	215,889	214,143

Tabla 4.7 Tabla comparativa producción Real vs. Simulación de Enero a Junio 2006 en el departamento Q0.

A partir de los resultados obtenidos del promedio de producción histórico versus el promedio de las corridas del modelo en Arena para el mismo periodo hice una prueba de hipótesis en el software Minitab para poder concluir como se encontraba la producción de kilogramos del modelo de simulación con respecto al dato de producción histórica que me proporcionó la empresa. A continuación muestro la prueba de hipótesis:

Ho: $\mu_1 = \mu_2$

Ha: $\mu_1 \neq \mu_2$

Two-Sample T-Test and CI: C1, C2

Two-sample T for C1 vs C2

	N	Mean	StDev	SE Mean
C1	6	215889	38564	15744
C2	6	214143	38656	15781

Difference = mu (C1) - mu (C2)

Estimate for difference: 1745.67

95% CI for difference: (-48681.17, 52172.50)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 0.08 P-Value = 0.939 DF = 9

La prueba de hipótesis que hice fue la prueba T student comparación de 2 medias debido al número de datos que poseía. Dado que el valor P (0.939) es mayor a α (0.05) no se rechaza la hipótesis nula. Con lo que concluyo con una confianza del 95% que el sistema productivo es capaz de producir lo que determiné como la producción histórica del sistema.

4.3 Propuestas de mejora

4.3.1 Propuestas de mejora a partir del Optquest de Arena

Las propuestas de mejora que propongo son basadas en los resultados del optimizador Optquest de Arena el cual permite hacer combinaciones de diferentes variables que pueden ser modificadas para optimizar una función objetivo. Cabe señalar que las variables que se modificaron en este análisis para hacer las propuestas fueron validadas con la empresa la cual me delimitó las variables factibles a modificar.

Como comenté anteriormente se corrió el modelo durante 1 mes y se determinó que el tiempo en el que las máquinas terminan de procesar la producción es menor al tiempo total de 1 mes, es decir, 1 mes tiene 720 horas de tiempo en que pudieran funcionar las máquinas, sin embargo el tiempo para que las máquinas procesen la producción promedio de 1 mes es de 475 horas.

Ahora que sabemos esto el primer paso para utilizar el optimizador Optquest de Arena es determinar cual sería la función objetivo a optimizar; pueden existir 2: maximizar el producto terminado y minimizar el tiempo de proceso que en este caso es 475 horas.

Para este proyecto decidí la segunda opción de minimizar el tiempo total de proceso debido a que las máquinas aún poseen tiempo de proceso disponible en el mes y elegir maximizar la producción tendría que fijar el tiempo de proceso de 475 horas, lo cual no es factible ya que podrían trabajar las 720 horas del mes.

Después de conocer el tiempo de proceso mínimo que tarda el departamento para procesar su producción promedio mensual se hace una nueva corrida con ese tiempo considerando el tiempo de calentamiento obtenido con la finalidad de obtener las utilidades de las máquinas.

Al obtener las utilidades de las máquinas me percaté de donde se estaba originando el cuello de botella lo cual fue otro de los objetivos del modelo de simulación y lo comenté a la empresa, de esta manera supe si hay alguna posibilidad de incrementar el

número de recursos en esa área. La nueva corrida del modelo arrojó que las máquinas con la mayor utilización fueron las Máquinas B, es decir, fueron el cuello de botella.

La siguiente etapa es obtener las diferentes variables en el modelo que podrán ser modificadas respetando restricciones de capacidad y las que la empresa dictó, las variables que optimicé fueron:

- a) Número de máquinas
- b) Tamaños de Lote
- c) Velocidades de las máquinas

La última etapa antes de correr el optimizador Optquest de Arena es determinar las restricciones del sistema, las cuales fueron las siguientes:

- 1.- El número de máquinas a aumentar solo se podría hacer en el área de Máquinas B, ya que la empresa ya había encontrado el cuello de botella y en este momento hay un pedido para adquirir nuevas. La forma en que se delimita este rango en el Optquest es en una sección donde se ingresan las variables que serán modificadas y se eligen los rangos de estas variables, para este caso modifique cada recurso de cada Bateria ingresando un valor mínimo y un máximo para cada una y especificando si las combinaciones se harían con números discretos o continuos, para este caso son discretos. El rango fue de 1 a 2 recursos por Máquina B, esto quiere decir que el Optquest haría la optimización de la función objetivo variando de 1 a 2 Máquinas B cada una de estas, es decir, desde 4 Máquinas B hasta 8.

- 2.- De acuerdo a la empresa no es aconsejable variar los tamaños de lote en el inventario almacén CF debido a que hay un sistema de refrigeración que hace que la pastilla conserve sus características por un tiempo determinado, si se aumenta el tamaño del lote en el almacén CF se tendría que hacer un estudio para determinar si la capacidad de enfriamiento del sistema actual es suficiente para conservar estas características en la nueva forma de almacenaje.
- 3.- La velocidad de las máquinas solamente puede ser variada en el área de máquinas T ya que en las áreas de máquinas M, B y DU6 los tiempos de proceso son fijos. El rango de velocidad que modifiqué fue la velocidad actual que tienen las máquinas T y que está representada por sus distribuciones de probabilidad, hasta un aumento máximo de 10% que fue la capacidad máxima a la que pueden trabajar las máquinas, este dato fue proporcionado por la empresa. La forma en que hice esta modificación fue agregando una variable junto a la distribución de probabilidad de cada proceso de las Máquinas T en el modelo de simulación, de esta manera esta variable la pude modificar en el espacio del Optquest donde van las variables a modificar. El rango de esta variable fue de 0.95 a 1.1, es decir, hice modificaciones para que la velocidad de las máquinas T pudiera variarse desde el 95% hasta el 110% de su desempeño actual, este 10% extra en su velocidad lo hice por decisión de la empresa y lo corroboré para que no excediera la eficiencia del 100%, lo cual no ocurrió ya que las Máquinas T están trabajando al 72.1% de eficiencia de acuerdo a mi muestreo y el aumento del 10% en su velocidad apenas llegaría al 82.1% de eficiencia. El rango lo modifiqué con valores continuos en este caso.

4.- Hay una propuesta que se determinó a través de la metodología “5M + S + Q” y que será descrita posteriormente en este capítulo la cual consiste en mejorar la comunicación entre el almacén CF y las máquinas B, además de que aumentaría la eficiencia de las Máquinas B hasta un 5% considerando que se implemente este proyecto que será presentado en la sección 4.3.3. La forma en que aumenté en 5% la eficiencia de las Máquinas B es la misma que el aumento de velocidad en las máquinas T agregando una variable junto a las distribuciones de probabilidad de las máquinas B, sin embargo en esta ocasión fijé el número de esta variable en 1.05 de esta manera la eficiencia de las distribuciones de probabilidad de las máquinas B aumento en 5%. Este aumento es factible considerando que actualmente las máquinas B tienen una eficiencia de 80.9% por lo que con el aumento de 5% llegarían a una eficiencia de 85.9% solamente con la disminución de un tiempo muerto que será presenta en la sección 4.3.3. En resumen las modificaciones que hice a las variables para correr el optimizador Optquest siguiendo las restricciones de la empresa fueron:

- a) Variar la velocidad actual de las Máquinas T de 95% a 110%.
- b) Variar el número de Máquinas B de 4 (cantidad actual) a 8.
- c) Fijar un aumento de eficiencia en las Máquinas B del 5%.

La manera en que trabaja el Optquest es ir haciendo corridas en el modelo de simulación modificando las variables anteriormente mencionadas desde los valores mínimos de su rango hasta los máximos y va delimitando el mejor valor para la función objetivo que en este caso es minimizar el tiempo total de proceso de 475 horas.

4.3.2 *Resultados arrojados por el Optquest de Arena*

Los resultados que presento a continuación y que son los que arrojó el optimizador Optquest de Arena después de haber hecho las diferentes corridas y haber delimitado los niveles de las variables más adecuados para optimizar la función objetivo que es minimizar el tiempo total de proceso de 475 horas, solamente pueden darse como válidos si las 3 modificaciones que presento a continuación son hechas al mismo tiempo y las condiciones del sistema permanecen constantes.

La información arrojada por el Optquest dice que el valor óptimo de la función objetivo que es el tiempo total de proceso da como resultado una disminución del tiempo total de proceso de 475 horas a 465.06 horas, es decir, la disminución del tiempo total de proceso es de **9.94 horas** lo que representa un **2.1 % del tiempo total del proceso**. Este beneficio se va a dar siempre y cuando se conjunten las siguientes 3 propuestas de mejora:

a) Incrementar el número de máquinas B:

Para llegar a esta propuesta de mejora el primer paso fue correr el modelo de Arena con el promedio mensual de producción y obtener la utilización de las máquinas de todo el departamento. Los resultados fueron las máquinas B tienen una utilización alta con respecto a las demás áreas; la siguiente tabla muestra la utilización de las máquinas B en la corrida de 475 horas (tiempo mínimo de procesar la producción promedio mensual):

Máquina	Utilización
B1	0.9661
B2	0.973
B3	0.9764
B4	0.9778

Tabla 4.8 Tabla de utilización de Máquinas B.

A partir de que la utilización de máquinas B es bastante alta, es decir, todas ellas tienen una utilización mayor al 95% corriendo el modelo 475 horas, decidí utilizar el optimizador Optquest para variar el numero de máquinas B y determinar cuantas máquinas B es necesario adquirir para reducir su utilización, y lo más importante es que esta decisión reducirá el tiempo de proceso total que es el objetivo de las propuestas de mejora obtenidas con el Optquest. Después de hacer la optimización del Optquest variando el número de máquinas B llegué a la conclusión de que una propuesta de mejora es **aumentar 2 máquinas B** más a las 4 existentes. De acuerdo a la empresa aumentar el número de máquinas B si es una situación factible debido a que ellos ya consideraban esta área como un cuello de botella e inclusive ya habían hecho un pedido de nuevos equipos que se agregaran a esta área para eficientar su proceso.

b) Incrementar la velocidad de máquinas T

Otra de las propuestas de mejora obtenidas a partir de este optimizador fue la que surgió a partir de variar la velocidad de las máquinas T para lograr mi objetivo que es reducir el tiempo de proceso total que tarda la orden de un mes en ser procesada a lo largo del departamento Q0. Esta propuesta consiste en aumentar la velocidad de 2 de las máquinas T que estén utilizando en un **6.1% y 8.5%**. De acuerdo a la empresa el

incremento en la velocidad de las máquinas T es una situación factible debido a que estas están trabajando a una eficiencia del 72.1%, y la velocidad se podría elevar capacitando a los operadores de estas máquinas y haciendo alguna modificación menor en la máquina a la que la empresa llama “overhaul” que significa dar un mantenimiento mayor cambiando algunas partes de la máquina por partes nuevas.

c) Mejorar la comunicación entre Almacén CF y Recubierto

Llevar a cabo la propuesta de mejorar comunicación de estas dos áreas a través del dispositivo de focos que será explicado en la sección 4.3.3.

4.3.3 Propuestas de mejora y sugerencias adicionales

Otro de los requisitos para con la empresa en este proyecto fue la petición que me hicieron de hacer propuestas de mejora y sugerencias generales adicionales a las obtenidas gracias al modelo de simulación y a su optimización, estas propuestas las obtuve durante mi estancia en la empresa y no están relacionadas directamente a la optimización de la función objetivo que usé en el Optquest que fue minimizar el tiempo total de proceso de 475 horas, sin embargo son propuestas que pretenden eliminar desperdicios en el proceso. Para la generación de estas propuestas de mejora fue necesario en primer lugar utilizar una metodología para la identificación de desperdicios y áreas de oportunidad en el departamento Q0, a partir de aquí comencé a desarrollar las propuestas de mejora. Posteriormente de identificar los desperdicios en cada una de las tareas del departamento Q0, el siguiente paso es la generación de las ideas de mejora; las cuales las obtuve a través

de una lluvia de ideas hecha entre varias personas que están relacionadas con el proceso del departamento Q0.

En esta parte del proyecto la metodología que implementé fue “5M + Q + S”; la cual es una metodología basada en identificar los lugares donde el desperdicio se presenta. Las siglas del método significan: hombre, material, máquina, método, administración, calidad y seguridad (Man, Material, Machine, Method, Management, Quality y Security por sus siglas en Inglés). De acuerdo a THE PRODUCTIVITY PRESS DEVELOPMENT TEAM (2003) los tipos de desperdicio que se pueden encontrar con este método son clasificados como se muestra a continuación:

- **Hombre:** Caminar, esperar, buscar, movimiento innecesario, desperdicio difícilmente identificable.
- **Material:** Partes, pernos, soldaduras, funciones, almacenaje y manejo.
- **Máquina:** Máquinas de proceso continuo, de propósitos generales, bandas transportadoras, con movimientos de desperdicios, fallas y manejo.
- **Método:** Lotes muy grandes de producción, inventarios, transporte por bandas, retención de materiales, no estandarización, levantamiento y asentamiento de piezas de trabajo.
- **Administración:** Materiales, reuniones, control administrativo y comunicaciones.
- **Calidad:** Fabricación de productos terminados malos, reparación de defectos, errores, inspección y control de calidad.
- **Seguridad:** Métodos de prevención de desastres y reparación de defectos.

Las propuestas de mejora que presento a continuación las obtuve basándome en la metodología 5M + Q + S y gracias a una lluvia de ideas (brain storming) entre operadores y diferentes personas involucrados en el departamento:

Propuestas iniciales para departamento Q0

Mezclado

- | | |
|---|---|
| 1 | Forrar las escaleras al subir a los mezcladores con material antiderrapante ya que están muy resbalosas cuando las limpian. |
|---|---|

Troquelado

- | | |
|---|--|
| 1 | Colocar tapa movable donde se mete la goma en las máquinas T para evitar accidentes si se sube un operador a la máquina. |
| 2 | Hacer las charolas más amplias y altas para evitar que la pastilla caiga al suelo. |
| 3 | Colocar material antiderrapante en las escaleras que llevan las máquinas M. |
| 4 | Designar un lugar apropiado para que cuando los mecánicos estén arreglando una Máquina coloquen su herramienta. |
| 5 | Utilizar una pala de algún material cuando los colegas empujen la goma al interior de las máquinas T, podrían sufrir un accidente. |
| 6 | Colocar una pequeña escalera en el estante donde de polvos y esencias Para Q0 ya que usan un tambo. |

Almacén CF

- | | |
|---|---|
| 1 | No existe un espacio destinado a pastilla Q0 en Almacén CF, siempre se llena con pastilla Q0 y U0 sin una distribución apropiada. |
| 2 | Colocar hojas de colores de acuerdo al sabor de la pastilla en cada plataforma para una mejor identificación. |

Máquinas B y DU 6

- | | |
|---|--|
| 1 | Proteger los motores de las Máquinas B con una guarda o con algo para evitar accidentes ya que están cercanos a los operadores. |
| 2 | Dar mantenimiento a las Máquinas B actualmente no están calibradas sus espreas, El flujo de aire varía estas, no todas tienen platos chocheros y algunas no sellan bien y se genera scrap. |
| 3 | En los cuñetes colocar hojas de colores de acuerdo al sabor de pastilla fuera para una mejor identificación. |
| 4 | Colocar más iluminación en el DU 6 ya que la actual es insuficiente. |
| 5 | En Máquinas B cambiar una báscula que tenga 2 dígitos decimales sería Más útil que la actual que tiene solo 1. |
| 6 | Dar mantenimiento a las bombas que jalen la esencia de las marmitas de Máquinas B, tiran agua. |
| 7 | Hace falta un reloj en Máquinas B para verificar la hora y mejorar la puntualidad del personal. |

Propuestas Generales	
1	Forrar de lona la parte inferior de los carros donde se transporta la pastilla Para evitar que absorba humedad.
2	Dar mantenimiento a llantas de plataformas para evitar Un accidente y se caigan las charolas.
3	Hacer obligatorio el uso de cubre bocas para disminuir el riesgo De contaminación vía oral.
4	Cambiar escobas por unas mas delgadas y largas que puedan llegar A lugares de difícil acceso
5	Instalar letreros con los nombres de las áreas para una mejor identificación Para visitas y proveedores.
6	Identificar las hojas donde los operadores escriben la información por colores dependiendo el sabor de esta manera mejoraría su identificación en todas las áreas.

Tabla 4.9 Tabla de propuestas iniciales para el departamento Q0.

Las propuestas de mejora que podrían tener un gran impacto en la reducción de los desperdicios y que fueron obtenidas a partir de la metodología 5M + Q + S son las siguientes:

1.- Mejorar la comunicación entre almacén CF y máquinas B

Esta propuesta tiene como finalidad reducir un tipo de desperdicio que existe entre el almacén CF y las máquinas B, el cual es la demora que existe cuando se traslada la pastilla de almacén CF a máquinas B. Durante el muestreo me percaté la manera en que los operadores de máquinas B hacen notar a los de almacén CF que necesitan pastilla para procesarla; cabe señalar que el almacén CF y máquinas B se encuentran a una distancia de aproximadamente 50 metros y hay paredes entre estas áreas. La forma en que piden la pastilla para procesarla es que los operadores de máquinas B se trasladan al almacén CF para pedirla personalmente; sin embargo el tiempo que demora este traslado esta estimado en 13 minutos los cuales se dividen en: 5 minutos en que el operador se traslada al almacén CF, 3 minutos para pedir la carga de pastilla y 5 minutos para que el operador regrese a su

área. A través de una lluvia de ideas y de opiniones de los operadores de ambas áreas llegué a la conclusión de que la mejor manera de eliminar esta demora es a través del uso de algún dispositivo que envíe una señal entre la zona de máquinas B y la de almacén CF; de esta manera se eliminará el desperdicio que se origina por la demora en la búsqueda de los operadores del almacén CF.

Entre las opciones que surgieron la mejor en costo y visualización fue la de colocar un foco rojo en el almacén CF que fuera encendido por el operador de las máquinas B a través de un interruptor en el área de máquinas B, 15 minutos antes de que terminara su proceso; de esta manera los operadores en el almacén CF podrán ir preparando con antelación la carga que será procesada y poder ser trasladada al área de máquinas B inclusive antes que terminara este proceso. La cotización de este dispositivo es insignificante comparada con los tiempos muertos que se eliminarían, ya que durante un día el proceso de cada máquina B se hace 3 veces, si trasladamos este tiempo a un mes estos 13 minutos por tiempo muerto se convierten en **4,680 minutos** de demoras por cada máquina B. La siguiente tabla muestra un resumen de este desperdicio:

Propuesta de disminución de demora en Máquinas B	
Tiempo para terminar la producción (min)	114,000
Eficiencia (%)	81%
Minutos productivos (min)	92,226
Demora Innecesaria (min)	4,680
Minutos productivos sin demora (min)	96,906
Nueva Eficiencia sin demora	85%
% de Aumento de Eficiencia en Máquinas B	5%

Tabla 4.10 Tabla informativa de la propuesta de mejora de comunicación entre almacén CF y máquinas B.

Esta tabla muestra que el tiempo total para procesar en máquinas B de acuerdo al modelo de simulación es de 114,000 minutos por los 4 equipos, lo que significa que cada una de las 4 máquinas B requiere de 28,500 minutos para terminar la producción (475 horas), y que la demora innecesaria conjuntando las 4 máquinas B es de 4,680 minutos. Si eliminamos esta demora el aumento en la eficiencia en esta área es de **5%**. Ésta propuesta fue ingresada en la optimización que hice con el Optquest para validar con el optimizador que este aumento de la eficiencia de 5% no genere un desbalanceo en el sistema y los beneficios obtenidos por la optimización de los recursos obtenidos con el Optquest sean reales siempre y cuando esta propuesta se lleve a cabo.

2.- Respetar la ley FIFO dentro del almacén CF

Durante el desarrollo del proyecto me pude percatar de que existe una gran área de oportunidad en el inventario de almacén CF, lo que pude constatar gracias al muestreo y a comentarios de los operadores. Una de los principales desperdicios que pude ver es que en el almacén CF existen plataformas almacenadas de hasta 15 días, siendo que el tiempo ideal para que una plataforma permanezca en este lugar es de 24 horas; una de las razones para que suceda esta situación se debe a que en el almacén CF hay poco espacio para maniobrar entonces para los operadores es más fácil tomar las plataformas que se encuentran más cercanas a la puerta de entrada; sin embargo estas plataformas son las últimas en haberse producido en el área de máquinas T. De acuerdo a la empresa las plataformas deberían seguir una filosofía del tipo FIFO (Primeras entradas-Primeras salidas) la cual es una filosofía que se refiere a que las plataformas que ingresan primero al inventario (almacén

CF) son las que deben ser tomadas en primer lugar para ser trasladadas al siguiente proceso (máquinas B y DU 6). El promedio de tiempo que deben de permanecer las plataformas dentro del almacén CF como lo mencioné anteriormente es de 24 horas; sin embargo en varias ocasiones había plataformas que las habían producido 1, 2, 5, 10 y hasta 15 días atrás.

En muchas ocasiones no se respeta la Ley FIFO y se retiran plataformas que tienen un menor tiempo en el almacén CF que otras. Mi propuesta en este sentido tiene como finalidad eliminar el desperdicio de inventarios innecesarios de manera que pueda haber una capacitación a los usuarios del almacén CF en cuanto a la metodología FIFO se refiere, de esta manera se entenderá mejor la finalidad de la metodología y las afectaciones que pueden existir sino se respeta tal metodología.

3.- Reconfigurar el número de operadores en las máquinas T

Actualmente cada una de las 4 máquinas T es operada por 6 personas, sin embargo se están generando cambios en la distribución del departamento. Uno de estos cambios se refiere a conjuntar 2 máquinas T para que posean un mismo inicio. Esta nueva configuración de las máquinas T ya se está implementando en las máquinas T3 y T4, y en un futuro se hará esta reconfiguración en la 1 y 2. Al hacer este cambio habría 12 operadores por 2 máquinas T que comparten algunos de sus equipos. La propuesta consiste en hacer un estudio de tiempos y movimientos con la finalidad de disminuir el número de operadores por cada par de máquinas T. Esta propuesta no será tocada en este proyecto pero deja abierta la posibilidad de una nueva mejora en el mediano plazo.