

capitulo6

SIMULACIÓN DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN

En el Capítulo 6 se simula la línea de producción de la “Ripping Bar” en la distribución actual, para así generar un modelo inicial que sirva de punto de comparación. Posteriormente, se simulan las 3 alternativas para comparar resultados y determinar si la propuesta cumple o no con el objetivo de reducir el costo de manejo de materiales y disminuir el tiempo total de proceso. Se usa la simulación como herramienta de análisis porque no solamente basta con reducir las distancias entre procesos, sino porque se debe verificar que la suma de todas las posibles rutas que hace el montacargas en su operación normal se disminuya como se menciona anteriormente. Es decir, el montacargas no siempre sigue la ruta natural del proceso, sino que éste, por ejemplo, puede estar en el almacén de producto terminado y ser solicitado en granalla para mover el lote a pulido y después ser solicitado en corte. Para la presente tesis se usa el software Arena 9.0 para la simulación.

6.1 Simulación del Sistema Actual

El modelo de simulación comprende todos los procesos desde el almacén de materia prima hasta el almacén de producto terminado. Se usa la producción semanal para validar el modelo. El tiempo de transferencia se utilizará para comparar el promedio de tiempo que una barra esta en movimiento entre departamentos. Este tiempo promedio específicamente es el tiempo que una barra hace uso del montacargas en todo su proceso, pues se despreciaron los tiempos de transferencia manuales. Por último el tiempo de proceso total se usa para ver si existe una reducción en éste.

Antes de comenzar a generar el modelo se hace un muestreo piloto de 10 muestras de los tiempos de ciclo de cada proceso. Este procedimiento se hace para los procesos actuales excepto para la granalla, pintura amarilla, pintura negra y el horneado que posteriormente se explica. Con esta prueba piloto se calcula la media y desviación estándar para todos los procesos de la muestra piloto. Usando la fórmula 3.3 se calcula el número N de muestras que debemos tomar para obtener un error (e) máximo de 1.5 seg. El proceso de corte es el que mayor número de muestras requiere (48 muestras), por lo que al redondear a la decena próxima se tiene un número N de muestras de 50. Se decide tomar las 50 muestras (ver tabla 6.2) para todos los procesos, para asegurar el error deseado (1.5 seg). Se toma en cuenta que el costo del muestreo en pesos es despreciable. Posteriormente, se procede a realizar las pruebas de normalidad y ajuste de éstos (ver anexo A). Arena genera las pruebas Kolmogorov-Smirnov y chi-cuadrada y según Kelton (2004) si el valor p de éstas pruebas es menor a 0.05, entonces la distribución no es muy buena, de lo contrario es aceptable.

Tabla 6.1 Muestreo Piloto de los Tiempos de Ciclo (seg.) de los Procesos Manuales

(Fuente: Elaboración Propia)

No. Muestra \ Proceso	Corte	Forja Gancho	Forja Zapa	Pulido	Marcado 4 pzas	Empaque caja/6pzas
1	41.30	34.53	17.98	49.28	32.88	89.11
2	39.59	26.47	23.03	45.41	33.47	80.59
3	40.16	28.76	20.47	49.04	34.65	81.94
4	26.40	30.13	27.24	42.51	34.47	78.62
5	35.89	38.25	20.72	47.17	34.35	83.56
6	41.97	34.91	22.98	50.73	33.44	85.03
7	37.87	32.79	17.36	40.64	34.92	83.53
8	38.28	27.93	22.40	45.92	30.30	76.08
9	33.37	38.38	26.14	45.86	36.71	78.92
10	35.98	35.64	23.84	47.86	34.26	87.39
T. Ciclo Promedio	37.08	32.78	22.22	46.44	33.94	82.48
media	37.08	32.78	22.22	46.44	33.94	82.48
std dev	4.60	4.26	3.19	3.10	1.65	4.07
varianza	21.12	18.17	10.16	9.62	2.73	16.59
error	3.29	3.05	2.28	2.22	1.18	2.91
% error	9%	9%	10%	5%	3%	4%
N	48.04	41.32	23.10	21.89	6.21	37.73

Tabla 6.2 Muestreo de Tiempos de Ciclo (seg.) de los Procesos Manuales (Fuente:

Elaboración Propia)

Proceso No. Muestra	Corte	Forja Gancho	Forja Zapa	Pulido	Marcado 4 pzas	Empaque caja/6pzas
1	35.36	33.83	17.49	42.69	33.23	82.27
2	31.04	23.82	25.64	44.78	33.89	80.30
3	38.19	29.88	24.63	46.56	32.35	85.93
4	35.69	35.65	20.66	48.62	35.85	87.71
5	40.71	31.88	22.14	40.27	31.67	84.64
6	38.08	30.57	17.18	46.29	33.40	80.41
7	29.75	35.15	18.87	40.08	33.31	82.24
8	42.54	28.98	20.09	42.41	29.68	83.57
9	32.93	32.61	17.19	47.94	33.42	83.13
10	38.15	33.64	21.44	43.13	34.02	85.48
11	34.26	30.54	21.65	46.02	32.97	89.44
12	39.51	35.83	16.74	43.89	31.69	82.35
13	41.86	30.43	22.46	44.80	32.91	81.27
14	37.58	27.59	23.33	40.57	34.03	92.01
15	35.04	31.28	23.21	45.33	33.64	79.29
16	36.26	35.26	18.40	46.52	31.31	86.88
17	36.33	39.68	20.48	48.80	36.56	89.10
18	39.78	21.42	20.09	42.75	33.44	83.38
19	36.18	29.64	19.77	42.20	35.73	80.79
20	37.14	34.49	17.41	42.92	33.92	86.05
21	35.58	27.95	20.14	43.57	31.01	80.23
22	38.05	31.06	21.50	45.95	34.25	83.01
23	36.87	27.76	22.57	40.17	35.01	84.12
24	37.60	31.01	21.13	39.19	33.27	74.48
25	47.89	33.94	21.66	48.40	32.95	83.48
26	35.03	28.14	21.17	41.27	36.22	85.65
27	32.44	31.25	20.91	40.21	30.94	85.26
28	35.08	27.51	21.51	45.77	31.22	80.62
29	40.25	24.92	23.71	46.84	36.33	83.24
30	37.25	28.17	20.48	39.61	33.40	83.01
31	29.32	37.78	17.04	46.41	32.86	79.14
32	33.55	28.04	19.58	45.96	32.52	82.10
33	33.71	31.89	25.29	41.07	33.29	84.88
34	43.38	38.75	20.50	42.66	31.91	88.86
35	34.36	24.28	24.24	47.86	35.91	81.97
36	40.79	28.62	27.50	41.27	33.49	84.09
37	34.89	34.62	21.57	44.50	32.29	90.76
38	28.20	31.87	22.38	48.67	34.61	85.75
39	38.17	27.15	21.35	48.77	34.09	83.52
40	41.78	32.35	25.97	42.24	32.33	85.86
41	35.25	30.28	19.83	49.06	31.43	79.74
42	46.46	27.62	18.62	41.17	31.66	84.50
43	41.92	34.96	22.53	44.09	31.35	88.69
44	34.27	33.36	15.25	38.60	32.33	84.10
45	32.64	28.58	20.15	43.14	32.88	85.60
46	44.37	38.35	24.00	40.80	34.58	85.19
47	38.08	31.17	22.51	42.81	32.81	84.71
48	35.26	31.40	20.39	44.72	35.52	84.63
49	37.71	34.18	22.22	45.60	32.50	83.15
50	37.36	33.42	20.53	44.22	33.74	77.93
T. Ciclo Promedio	37.07	31.21	21.11	44.02	33.26	84.01
No. De pzas.por ciclo de proceso	6	1	1	1	4	6
T. Ciclo/pieza	6.18	31.21	21.11	44.02	8.32	14.00
media	37.07	31.21	21.11	44.02	33.26	84.01
std dev	4.14	3.93	2.58	2.96	1.57	3.25
varianza	17.11	15.44	6.67	8.73	2.45	10.55
error	1.15	1.09	0.72	0.82	0.43	0.90
% error	3%	3%	3%	2%	1%	1%

Los tiempos de ciclo en los módulos de proceso en la simulación son tiempos de ciclo para el número de piezas que se procesan a la vez, es decir, si se procesan dos o mas

barras a la vez, se toma como tiempo de ciclo el tiempo de proceso total. Por ejemplo, para el marcado láser se introducen a la máquina sets de 4 barras. El tiempo de ciclo para las 4 barras es de 33.26 seg, en la simulación se hace un “batch” temporal de 4 barras y se toma como tiempo de proceso 33.26 para el “batch” de las barras. Posteriormente se hace un “separate” para deshacer el “batch”. Al final de la tabla 6.2 y en la figura 2.3 se especifica el número de piezas procesadas por ciclo y el tiempo de proceso de cada lote procesado.

El granallado es un proceso que se hace en la máquina granalla la cual tiene un temporizador que se programa para que ésta trabaje 240 segundos cada vez que se procesa el lote de 70 barras. Las barras en los procesos de pintura y horneado, son transportadas a lo largo de éstos por una cadena que viaja a una velocidad constante de 1.62m/seg.

Por lo anterior tanto el granallado, como los procesos de pintura y horneado para el modelo de simulación se toma el tiempo de proceso respectivo como constante. Para facilitar la modelación se hace uso de los datos que contiene la figura 2.2, del flujo de proceso. Se hace uso también de la tabla 4.1 para conocer la distancia de todas las posibles rutas entre procesos que el montacargas tiene que recorrer.

Para el desarrollo del modelo se usan módulos del panel “Basic Process” y “Advanced Transfer”. Se trabaja solamente un turno de 8 hrs 6 días a la semana. Se toma en cuenta el horario de los trabajadores que es de 8 horas con 30 min de descanso y una eficiencia del 95% de las horas trabajadas. Estos datos son proporcionados por la empresa. Se usaron módulos como el “leave” y “enter” para asignar la ruta del montacargas y se especificó como regla de selección la atención a la estación más

Figura 6.1 Modelo de la Distribución Actual en Arena (Fuente: Elaboración propia)

Una vez terminado el modelo se depura y se verifica. Se observa que el modelo se comporte como uno piensa que debería y se hacen los ajustes necesarios para que así sea. Para su validación se empieza por hacer 10 réplicas iniciales del modelo, para después calcular el número de réplicas con un error dado. Cada réplica corresponde a una semana de trabajo, o sea 6 días de 8 horas más un calentamiento del sistema de 5 días. El calentamiento es debido a que se necesita llenar el sistema con producto en proceso para que los resultados de la simulación reflejen la operación de una semana normal de trabajo. Los 5 días se determinan en base a un estudio (Mapeo del Proceso) que realizó la empresa en donde se calcula que el tiempo total de proceso de una pieza desde que sale del almacén de materia prima hasta que llega al almacén de producto terminado es de aproximadamente 3 días. Para asegurar un buen desempeño de la simulación se decide que sean 5 los días de calentamiento. Los resultados de las barras producidas en una semana, de las 10 réplicas para calcular el tamaño N, final se muestran en la tabla 6.3.

Tabla 6.3 Resultados de las 10 réplicas iniciales del modelo de simulación

(Fuente: Elaboración Propia)

Réplica	Barras producidas
1	3556
2	3569
3	3570
4	3210
5	3202
6	3547
7	3209
8	3566
9	3212
10	3207

De los resultados anteriores obtenemos una media y desviación estándar:

$$\bar{\chi} = 3384.80 \text{ piezas}$$

$$\sigma = 186.49$$

Se utiliza la fórmula 3.3 del Capítulo 3, Marco Teórico, para el tamaño N de réplicas.

$$N = \left(\frac{t_{(n-1, \alpha/2)} S}{e} \right)^2$$

Se desea tener un error aproximado de 60 unidades (barras producidas) con respecto a la media, que representa 10 cajas de 6 barras cada una. Este error es considerado aceptable para la gerencia de manufactura.

Por lo que $e = 60$ y $t_{(9, .025)} = 2.26$ con un nivel de significancia $\alpha = 0.05$, por lo tanto:

$$N = \left(\frac{2.26 * 186.49}{60} \right)^2 = 49.34 \cong 50 \text{ réplicas}$$

Los resultados de las 50 réplicas se muestran en la tabla 6.4.

Tabla 6.4 Resultados de las 50 réplicas del modelo de simulación (Fuente: Elaboración Propia)

Réplica	Barras producidas	Réplica	Barras producidas	Réplica	Barras producidas	Réplica	Barras producidas	Réplica	Barras producidas
1	3556	11	3564	21	3202	31	3558	41	3216
2	3569	12	3215	22	3215	32	3564	42	3209
3	3570	13	3558	23	3554	33	3204	43	3216
4	3210	14	3216	24	3562	34	3562	44	3201
5	3202	15	3562	25	3223	35	3562	45	3559
6	3547	16	3212	26	3558	36	3559	46	3210
7	3209	17	3208	27	3561	37	3211	47	3565
8	3566	18	3555	28	3210	38	3563	48	3200
9	3212	19	3209	29	3209	39	3206	49	3205
10	3207	20	3208	30	3203	40	3206	50	3573

De los resultados anteriores se obtiene una media, desviación estándar y un error de:

$$\bar{\chi} = 3364.02 \text{ piezas}$$

$$\sigma = 176.66$$

$$e = 50.20$$

El porcentaje de error se calcula con la fórmula 6.1.

$$\%error = \frac{e}{\bar{x}} \times 100 \quad (6.1)$$

Por lo tanto,

$$\%error = \frac{50.20}{3364.02} \times 100 = 1.50\%$$

De esta forma se puede observar que se tiene un error de 50 barras, que representa un 1.5% de la producción media.

Los resultados del tiempo de transferencia y el tiempo total de proceso se muestran en la tabla 6.5.

Tabla 6.5 Resultados de la Simulación de la Distribución Actual

(Fuente: Elaboración Propia)

Tiempo total promedio de proceso (hrs)	Tiempo promedio de transferencia (hrs)
47.20	7.45

Para realizar la prueba de hipótesis descrita en el Capítulo 3, Marco Teórico, se necesita la media y la desviación estándar del sistema real. En la tabla 6.6 se muestran las primeras 15 semanas de producción real en lo que va del año 2005 de la “Ripping Bar”.

Tabla 6.6 Producción Semanal Real del año 2005 (Fuente: Elaboración Propia)

Semana	Barras Producidas
1	3512
2	3478
3	3514
4	3403
5	3317
6	3364
7	3251
8	3250
9	3478
10	3158
11	2933
12	2896
13	3156
14	2940
15	2951

Con estos datos se obtiene una media de 3240.067 y una desviación estándar de 225.2505.

A continuación se presenta nuevamente la prueba de hipótesis, donde se desea comparar la media del sistema real contra la media del modelo de simulación con un nivel de significancia de 0.05.

$$H_0 : \mu_1 - \mu_2 = 0$$

$$H_a : \mu_1 - \mu_2 \neq 0$$

Criterio de rechazo de H_0 :

$$|t_o| > t_{\alpha/2, v}$$

Para calcular t_0 y $t_{\alpha/2, v}$ se tienen las fórmulas 3.4 y 3.5, donde:

$$\bar{\chi}_1 = 3240.067$$

$$\bar{\chi}_2 = 3364.02$$

$$s^2_1 = 50737.78$$

$$s^2_2 = 31210.79$$

$$n_1 = 15$$

$$n_2 = 50$$

Sustituyendo se obtiene:

$$t_0 = \frac{3240.067 - 3364.02}{\sqrt{\frac{50737.78}{15} + \frac{31210.79}{50}}} = -1.95$$

$$v = \frac{\left(\frac{50737.78}{15} + \frac{31210.79}{50}\right)^2}{\frac{(50737.78/15)^2}{16} + \frac{(31210.79/50)^2}{51}} - 2 \cong 19$$

$$t_{0.025, 19} = 2.093$$

entonces;

$$|t_0| < t_{0.05/2, 19}$$

Por lo tanto se acepta la hipótesis de que las medias de los dos sistemas son iguales y por ende se asume que el sistema del modelo de simulación se comporta como el sistema real.

6.2 Simulación de las Alternativas de Layout

Para el desarrollo de los modelos de las 3 alternativas de layout se actualizan las distancias entre departamentos, en los departamentos que quedan adyacentes se elimina el

uso de montacargas y se modifican los tamaños de lote que éste manejaba. Los tiempos de proceso quedan igual. Los resultados se resumen la tabla 6.7.

Tabla 6.7 Resultados de la Simulación (Fuente: Elaboración Propia)

	Tiempo total promedio de proceso (hrs)	Disminución de tiempo de proceso	Tiempo promedio de transferencia (hrs)	Disminución de tiempo de transferencia
Distribución Actual	47.20	N/A	7.45	N/A
Alternativa 1	40.74	14%	3.53	53%
Alternativa 2	40.11	15%	3.36	55%
Alternativa 3	40.68	14%	3.42	54%

N/A No Aplica

Nuevamente la alternativa 2 obtuvo los mejores resultados, disminuyendo el tiempo total promedio de proceso y el tiempo de transferencia.