

COMPARACIÓN DEL SISTEMA DE COSTOS ESTANDAR Y LA TEORIA DE RESTRICCIONES PARA EL CONTROL DEL FLUJO DE MATERIALES MEDIANTE UN MODELO DE SIMULACIÓN

M.C. Fernando Ortiz Flores¹

*Instituto Tecnológico de Orizaba
División de Estudios de Posgrado e investigación
Orizaba, Veracruz, México
ferchilo@prodigy.net.mx*

Dr. Pablo Nuño de la Parra

*Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla
Puebla, Puebla, México
pablo.nuno@upaep.mx*

M.C. Raúl Torres Osorio

*Instituto Tecnológico de Orizaba
División de Estudios de Posgrado e investigación
Orizaba, Veracruz, México
raultorresosorio@yahoo.com*

Dr. Oscar Báez Senties

*Instituto Tecnológico de Orizaba
División de Estudios de Posgrado e investigación
Orizaba, Veracruz, México
obaez70@yahoo.com.mx*

Resumen

El presente trabajo muestra los resultados obtenidos de la comparación de dos modelos de simulación empleando el software profesional ProModel. El primer modelo representa a un sistema de manufactura funcionando mediante el *sistema de costos estándar (SCE)*, y el segundo modelo representa al mismo sistema de manufactura, pero ahora funcionando bajo los conceptos de la Teoría de Restricciones (TOC, de las siglas en inglés, *Theory Of Constraints*), en particular de su *sistema logístico tambor-amortiguador-cuerda (DBR, de las siglas en inglés Drum-Buffer-Rope)*. La comparación se realizó para cumplir dos objetivos: 1) identificar qué sistema proporciona mejores ventajas competitivas: menor inventario en proceso y flujo sincronizado de producción; y 2) para encontrar una pauta en el desarrollo de proyectos de investigación relacionados con la sincronización de las operaciones.

Palabras claves: *DBR, Drum-buffer-rope, TOC*

¹ Correspondencia con el autor

Introducción

En la actualidad, debido a la gran competencia internacional por la incorporación de tratados de libre comercio y la globalización en general, las empresas de bienes y de servicios deben buscar estrategias que proporcionen alguna ventaja competitiva. Entre tales estrategias, que pueden ayudar a que estas empresas obtengan un mejor posicionamiento en el mercado, se encuentra el mejorar la capacidad para fabricar productos con alta calidad, producir una gama amplia de productos, cumplir con fechas de entrega y mantener bajos costos de producción, para que el precio de venta de los productos no sobrepase el precio de venta del mercado.

Las plantas manufactureras, para cumplir con algunas de estas estrategias, deben estar en condiciones de establecer un flujo sincronizado de materiales a través de sus procesos, que responda a la demanda del mercado en una forma oportuna.

Para Umble (1997) y Goldratt (1996), la implementación del sistema logístico DBR, que forma parte de la teoría de restricciones (TOC), puede ayudar a sincronizar el flujo de producción en una planta manufacturera de una forma rápida. Ellos mencionan que esta sincronización trae como consecuencia la reducción de inventarios, la mejora de la calidad y sobre todo, la disminución de trabajos atrasados al incrementar el nivel del servicio al cliente.

La idea de Umble -acerca de que la sincronización puede obtenerse identificando y controlando las restricciones que hay en el sistema- y los conocimientos básicos acerca del funcionamiento del SCE, proporcionaron las siguientes suposiciones:

- La eficiencia de los recursos en un sistema de manufactura bajo el SCE es mejor que en el sistema bajo el sistema logístico DBR.
- El inventario en proceso en un sistema de manufactura bajo el SCE es menor que en el sistema bajo el sistema logístico DBR.
- El tiempo promedio de permanencia de las piezas en el sistema de manufactura bajo el SCE es menor que en el sistema bajo el sistema logístico DBR.
- En general, el sistema de manufactura bajo el SCE es mejor que el sistema bajo el sistema logístico DBR.

Para dar respuesta a estos supuestos y al mismo tiempo visualizar si el sistema SCE, el cual persigue obtener la máxima eficiencia de sus recursos, proporciona mejores, iguales o peores ventajas competitivas que el sistema logístico DBR, se realizó lo siguiente:

1. Se desarrolló un modelo de simulación de un sistema de manufactura, en el software ProModel, funcionando con el enfoque del sistema de costos estándar.
2. Se ajustó el modelo de simulación del sistema de manufactura, para que ahora funcionara con el sistema logístico DBR.

Es importante mencionar que se utilizó ProModel porque éste permite, además de obtener estadísticos de cada una de los elementos involucrados en el proceso de manufactura, animar el funcionamiento del sistema de manufactura en estudio.

En las siguientes secciones, se describe cómo repercute el control de la producción en un sistema de manufactura cuando utiliza el enfoque del SCE y cuando utiliza el enfoque del sistema logístico DBR para la sincronización del flujo de materiales.

Enfoque del sistema de costos estándar (SCE)

El control de la producción, mediante el enfoque del SCE, se logra mediante un programa que normalmente se da a conocer al inicio de la línea de producción. Este programa se basa en la suposición de que todas las máquinas o centros de trabajo tienen una capacidad balanceada, o que si no lo tienen, parece no importar, debido a que el objetivo que persigue este enfoque es la máxima eficiencia de cada una de las máquinas. En otras palabras, busca que ninguno de sus recursos tenga tiempo ocioso mediante la liberación de materia prima al inicio del proceso², es decir, la materia prima se libera a la velocidad de procesamiento de la primera máquina, ya que se pretende obtener la máxima eficiencia de cada centro de trabajo.

Hoy en día, con la creciente competencia en el medio manufacturero, se ha desarrollado entre los profesionales de la contabilidad la idea de que el SCE necesita una reconstrucción total. Este sistema tiene un buen número de defectos que entorpecen, en vez de ayudar, a la administración en su lucha por ser más competitiva. Uno de los principales problemas del SCE es que es de alcance local e incluye métodos para reducir, por separado, el costo de cada proceso y producto. Al tratar de alcanzar estos valores óptimos locales se obtiene un sistema muy alejado del óptimo global (Umble, 1995: 21, Srikanth, 1997: 27). Por esta razón, se infiere que esta forma de producir ocasiona grandes inventarios en proceso y por lo tanto mayor inversión para mantenerlos, asimismo, grandes problemas dentro del sistema, tal como el alargamiento de los tiempos de entrega, la mala calidad, apresuramientos, entre otros.

Enfoque del sistema logístico DBR

La TOC asume que para controlar la producción y por ende sincronizar las operaciones de manufactura es necesario identificar y controlar las restricciones que hay en la empresa (materiales, capacidad, personal, entre otras), las cuales afectan la meta de cualquier organización (ganar dinero). Para lograr la sincronización, la TOC propone su sistema logístico DBR; éste se basa en la definición de los parámetros tambor, amortiguador y cuerda.

El tambor se define como aquella máquina del sistema de producción que tiene la capacidad de producción más lenta, conocido también como cuello de botella o recurso con capacidad restringida (CCR, de las siglas en inglés de *Constraint Capacity Resource*).

El amortiguador se define como el inventario representativo del tiempo de respuesta de las operaciones anteriores al cuello de botella, que asegura que éste siempre tenga material para trabajar (Goldratt y Fox, 1992: 102).

La cuerda se define como el sistema o plan que se encarga de comunicar al cuello de botella con los recursos restantes, programando su carga de trabajo a la velocidad de trabajo de este cuello de botella.

² Sólo se logra la máxima utilización de las máquinas si la capacidad de producción de la máquina inicial (C_1) es mayor que la capacidad de producción de la máquina 2 (C_2), y así sucesivamente, es decir $C_1 > C_2 > \dots > C_n$.

Metodología de la investigación

Una vez conocidos los dos enfoques para el control de la producción, se realizaron las etapas siguientes, para obtener resultados de la comparación del funcionamiento de los dos modelos de simulación:

Etapa 1: Definición de las características de funcionamiento del sistema de manufactura

Las características contempladas para el desarrollo del sistema de manufactura se agruparon en características básicas y adicionales:

Características básicas:

- Cinco máquinas³ en línea, diferentes e independientes.
- Sólo se procesa un tipo de piezas.
- La máquina cuatro se predeterminó como un recurso con capacidad restringida (CCR), es decir, con una capacidad de producción menor al de las otras máquinas.
- La materia prima que entra al sistema de manufactura, se libera de acuerdo a los siguientes esquemas:
 - En SCE (figura 1), cuando la máquina inicial del proceso (máquina 1) necesite materia prima, con la finalidad de que no baje la eficiencia de ésta y por consiguiente, alimente, siempre, de materia prima a las máquinas posteriores. El número de unidades en cada liberación, será de acuerdo a un lote de transferencia previamente determinado.
 - En el sistema logístico DBR (figura 2), de acuerdo a la tasa de producción por hora del recurso CCR.
- El lote de transferencia debe entenderse como la cantidad de piezas que debe procesar una determinada máquina para poder enviarlas a la máquina siguiente.
- La materia prima que entra a la máquina uno, continuará su procesamiento por la máquinas 2, 3, 4 y 5.
- La materia prima llega tan pronto como se solicita (se supone que compras y proveedores son muy eficientes)
- Todas las piezas terminadas son entregadas al cliente inmediatamente.

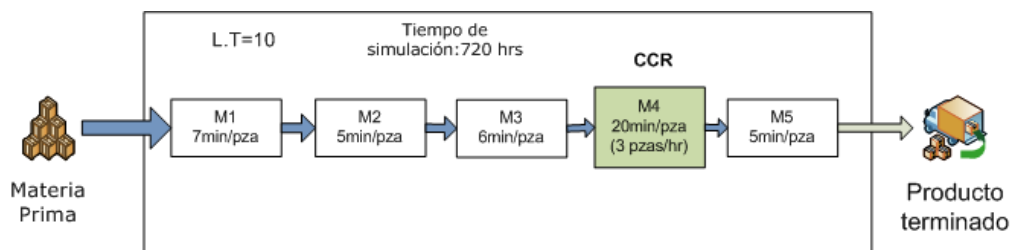


Figura 1. Características del sistema de manufactura bajo el enfoque del sistema de costos estándar

³ Dentro de la teoría de restricciones, generalmente se les llama recursos.

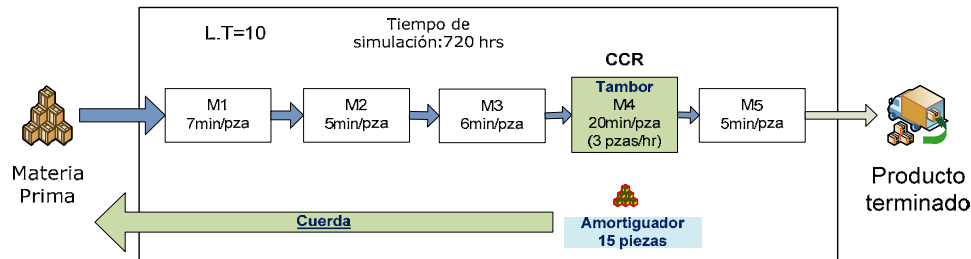


Figura 2. Características del sistema de manufactura bajo el enfoque del sistema logístico DBR

Características adicionales:

- La distribución de las máquinas será en forma de U^4 .
- Existe sólo una entrada de materia prima al sistema de manufactura y una sola salida de la misma.
- No existen tiempos de transporte entre máquina y máquina⁵.
- Descomposturas (*Downtimes*) de cada uno de los recursos, como hace referencia el artículo de Chakravorty y Atwater (1996:5)
 - Una distribución exponencial con media de 270 minutos para el tiempo entre falla y,
 - Una distribución Lognormal, con una media de 30 minutos y una desviación estándar de 9 minutos, para la reparación de la misma.
- Las máquinas no tienen tiempo de preparación debido a que se procesa un solo tipo de pieza.
- Cada máquina o estación de trabajo consta de un almacén con capacidad infinita antes y después, esto es porque trabaja con un lote de transferencia mayor de 1 (LT=10).
- Al momento de iniciar la simulación no existe inventario en proceso.
- Se mantendrá un amortiguador inicial para el modelo del sistema logístico DBR.
- Los valores esperados para las corridas de simulación se muestran en la tabla 1, e incluyen el tiempo de corrida de simulación (se supuso que el sistema trabaja 24 horas por día, durante 30 días para un total de 720 horas), el tamaño de los lotes de transferencia, los tiempos de procesamiento en cada una de las máquinas y el tamaño del amortiguador (para el enfoque del sistema logístico DBR).
- El número de piezas del amortiguador se estimó con base en el número de piezas que podía producir el recurso cuello de botella en el 90% del tiempo de producción de un lote de transferencia, tal como lo indica la ecuación 1:

$$Pzas = \frac{\left(\sum_{i=1}^n TP_i * LT \right) * 0.90}{TP_{cb}} = \frac{(70 + 20 + 60 + 200 + 50) * 0.9}{20} = 14.85 \approx 15 \quad .. (1)$$

⁴ Esta distribución permite minimizar las distancias entre una máquina y otra (*The Productivity*, 1999:14).

⁵ La distribución en forma de U considera que los transportes son reducidos, por tal motivo no son considerados para el modelo (*The Productivity*, 1999:14)

Donde:

$Pzas$	=	Número de piezas en el amortiguador
TP_i	=	Tiempo de producción del recurso i
LT	=	Tamaño del lote de transferencia
TP_{CB}	=	Tiempo de procesamiento del recurso cuello de botella

Etapa 2: Definición de medidas de desempeño

Para la comparación del funcionamiento total del sistema, de los dos enfoques para controlar el flujo de producción, en estudio, se definieron las siguientes medidas de desempeño:

- Inventario en proceso por máquina.
- Unidades producidas por máquina.
- Porcentaje de utilización por máquina.
- Tiempo promedio que las piezas pasan en el sistema.
- Tiempo promedio que las piezas pasan en operación.
- Tiempo promedio que las piezas esperan a que se acumule el lote de transferencia y sea pasado a la siguiente máquina.
- Tiempo promedio que las piezas esperan para ser atendidas por las máquinas.

Tabla 1. Valores esperados para correr los modelos de simulación.

	Sistema de costos estándar	Sistema logístico DBR
Tiempo de simulación ⁶	720 horas	720 horas
Lote de transferencia	10 piezas	10 piezas
Tpo. de procesamiento en máq. 1	7 minutos	7 minutos
Tpo. de procesamiento en máq. 2	5 minutos	5 minutos
Tpo. de procesamiento en máq. 3	6 minutos	6 minutos
Tpo. de procesamiento en máq. 4	20 minutos (3 pzas/hr)	20 minutos (3 pzas/hr)
Tpo. de procesamiento en máq. 5	5 minutos	5 minutos
Amortiguador inicial	No se requiere	15 piezas ⁷

Etapa 4: Realización del modelo de simulación para el sistema de manufactura bajo el enfoque del SCE

En esta sección se describen los pasos que se siguieron al llevar a cabo la simulación. Se siguió el elegante método prescrito por Schriber (1991:11).

⁶ Estos tiempos deben ser los mismos para efectuar una comparación justa.

⁷ Dato calculado con la ecuación 1.

Etapa 4.1: Verificación del modelo conceptual

La verificación del modelo conceptual de simulación consistió en asegurarse de que las características de funcionamiento a emplear (Etapa 1) para construir el programa fueran correctas y que tuvieran el nivel de detalle necesario del sistema que se desea simular.

Una vez realizada esta verificación, se concluyó que el modelo conceptual si contaba con el nivel de detalle adecuado y por lo tanto se podía continuar con la aplicación de los pasos.

Etapa 4.2: Construcción del modelo de simulación

Una vez que el modelo conceptual fue verificado, se ingreso al programa ProModel para construir un modelo de simulación que imitara el comportamiento de un sistema de manufactura funcionando bajo el enfoque del sistema de costos estándar, asimismo, que proporcionara información de cómo se comporta cada una de las medidas de desempeño mencionados en la etapa 2. El *layout* de este sistema se presenta en la figura 3.

Etapa 4.3: Verificación del modelo de simulación

La etapa de verificación consistió en observar y analizar que el modelo de simulación construido corriera de acuerdo a la lógica de funcionamiento de un sistema de manufactura bajo el sistema de costos estándar, descrito previamente.

La verificación se realizó con el sistema de rastreo de ProModel llamado *Trace*. Esta opción permitió conocer como trabajó el modelo paso a paso cada una de las instrucciones y operaciones, y con esto comprobar que el modelo se comportó como se esperaba.



Figura 3. Representación del *layout* del sistema de manufactura, bajo estudio, funcionando bajo el enfoque del SCE.

Etapa 4.4: Corridas pilotos y diseño de experimentos

Después de haber verificado el modelo, fue necesario obtener una muestra de 10 corridas piloto independientes para determinar el número de corridas óptimo. Las 10 corridas piloto fueron arbitrarias, basándose en lo que menciona Law y Kelton (2000).

Una vez realizadas las corridas piloto, se determinó el número de corridas o replicaciones óptimas requeridas para estimar la media $\mu = E(x)$ con la ecuación 2 (Law y Kelton, 2000:501).

$$n^*(\beta) = \min \left\{ i \geq n : t_{i-1, 1-\alpha/2} \sqrt{\frac{s_n^2}{i}} \leq \beta \right\} \dots\dots\dots (2)$$

Donde:

- i = Número óptimo de corridas
- β = Error máximo permitido
- $1-\alpha$ = Nivel de confianza
- s_n^2 = Varianza de la medida de interés (obtenida de las corridas piloto)
- t = Valor de la tabla t de *student*
- n = Número de corridas piloto
- n^* = Número óptimo de corridas

Para la utilización de la ecuación 2 se utilizó la varianza de la medida de desempeño *tiempo promedio que las piezas pasan en el sistema* porque es una medida de la cual se buscará destacar diferencias entre el enfoque del sistema de costos estándar y el enfoque del sistema logístico DBR.

La Tabla 2 muestra los resultados estadísticos de ProModel, de la sección *entity*, de las 10 corridas pilotos independientes que se obtuvieron al correr el modelo de simulación, del sistema de manufactura bajo estudio, con todas las características descritas en la etapa 1.

Con base en los resultados de la Tabla 2 se propuso realizar el estudio para asegurar que el tiempo promedio que las piezas pasaran en el sistema tuvieran a lo sumo 150 minutos de error absoluto ($\beta = 150$) porque este valor representa menos del 1% del valor de la media de las diez corridas piloto (Ejemplo: $\beta = \bar{x} * 1\% = 15110.51 * 1\% = 151.10$). Asimismo, se decidió manejar un nivel de confianza del 95% ($1 - \alpha = 0.95$).

Con los datos de $\bar{x} = 5763.45$ y $s^2 = 1424.42$ los cuales fueron obtenidos de la Tabla 2 y de las decisiones expresadas en el párrafo anterior: $\beta = 50$, $1 - \alpha = 0.05$ y $\alpha = 0.95$; se utilizó la ecuación 2.

La Tabla 3 muestra los cálculos obtenidos al aplicar la ecuación 2 hasta que el intervalo obtenido fuera menor o igual que β . Como se puede observar en estos cálculos, el intervalo encontrado con la réplica 10 ya es menor que β , y por esta razón se concluye que el número de replicaciones óptimas es 10 y que no es necesario realizar corridas adicionales.

Tabla 2. Reporte de resultados de la sección *entity* de ProModel para el sistema de manufactura bajo el enfoque del SCE.

<i>réplica</i>	<i>Nombre de la entidad</i>	<i>Total de salidas</i>	<i>Cantidad actual en el sistema</i>	<i>Tiempo promedio en el sistema</i>	<i>Tiempo promedio en espera para formar el LT</i>	<i>Tiempo promedio en operación</i>	<i>Tiempo promedio en espera para ser atendidas por las máquinas</i>
	<i>Entity Name</i>	<i>Total Exits</i>	<i>Current Quantity In System</i>	<i>Average Minutes In System</i>	<i>Average Minutes Wait For Res etc.</i>	<i>Average Minutes In Operation</i>	<i>Average Minutes Blocked</i>
1	Pieza	1920	4261	15094.93	215.68	43	14836.25
2	Pieza	1930	4251	14931.78	214.88	43	14673.9
3	Pieza	1920	4261	15104.43	215.25	43	14846.17
4	Pieza	1930	4251	15138.55	214.26	43	14881.28
5	Pieza	1930	4251	15256.16	213.89	43	14999.27
6	Pieza	1910	4271	15075.59	215.01	43	14817.58
7	Pieza	1950	4231	15219.64	213.4	43	14963.24
8	Pieza	1930	4251	15276.75	217.07	43	15016.68
9	Pieza	1910	4271	15075.65	214.48	43	14818.17
10	Pieza	1940	4241	14931.64	217.71	43	14670.92
\bar{x}	Pieza	1927	4254	15110.51	215.16	43	14852.35
s	Pieza	12.51	12.51	119.35	1.35	0	119.79

Tabla 3. Cálculo del número de replicaciones óptimas.

i	$\min \left\{ i \geq 10 : t_{i-1, (1-0.99)/2=0.025} \sqrt{\frac{14244.4225}{i}} \leq 150 \right\}$
$i = 10$	$2.262 \sqrt{\frac{14244.4225}{10}} = 87.935 < 150$

Etapa 5. Realización del modelo de simulación del sistema de manufactura bajo el sistema logístico DBR

Para el desarrollo del modelo de simulación del sistema de manufactura bajo el sistema logístico DBR se tomó como base el modelo de simulación del sistema de manufactura bajo el enfoque del sistema de costos estándar, es decir, sólo se modificó su lógica de procesamiento para que representara lo estipulado por la teoría del sistema logístico DBR (figura 2) y, para que considerará las características generales y particulares, estipuladas en la etapa 1, tal y como se expresa en la figura 4.

Las medidas de desempeño, dado que se quiere hacer una comparación entre ambos modelos de simulación, fueron las acordadas en la etapa 2.

Durante el desarrollo del modelo también se consideró lo definido en la etapa de verificación del modelo conceptual, construcción del modelo de simulación y verificación del modelo conceptual.

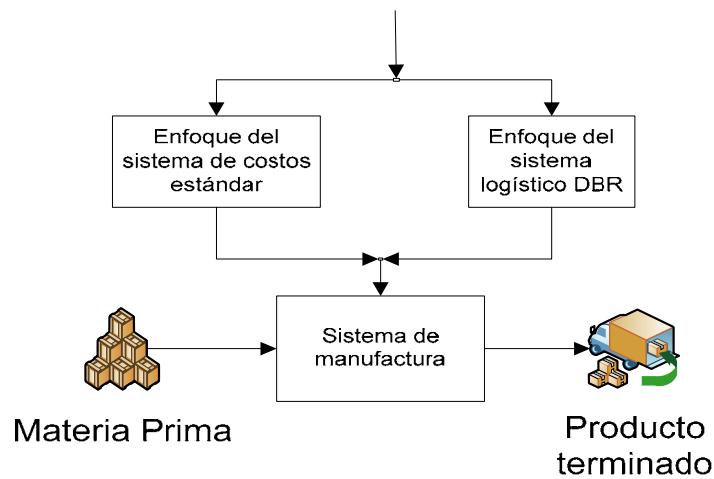


Figura 4. Modelo general del sistema de manufactura bajo estudio.

La etapa de corridas pilotos y el diseño de experimentos, no fue necesario realizarla, ya que los ajustes al modelo parten del modelo del sistema de manufactura bajo el sistema de costos estándar, es decir, el modelo ajustado también se corrió 10 veces para realizar la comparación del sistema. Los resultados se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Reporte de resultados de la sección *entity* de ProModel para el sistema de manufactura bajo el enfoque logístico DBR.

<i>Réplica</i>	<i>Nombre de la entidades</i>	<i>Total de salidas</i>	<i>Cantidad actual en el sistema</i>	<i>Tiempo promedio en el sistema</i>	<i>Tiempo promedio en espera para formar el LT</i>	<i>Tiempo promedio en operación</i>	<i>Tiempo promedio en espera para ser atendidas por las máquinas</i>
	<i>Entity Name</i>	<i>Total Exits</i>	<i>Current Quantity In System</i>	<i>Average Minutes In System</i>	<i>Average Minutes Wait For Res etc.</i>	<i>Average Minutes In Operation</i>	<i>Average Minutes Blocked</i>
1	Pieza	1950	54	853.24	269.11	42.86	541.27
2	Pieza	1940	40	840.80	279.03	42.86	518.91
3	Pieza	1930	35	848.62	275.39	42.86	530.36
4	Pieza	1930	38	847.41	275.98	42.86	528.57
5	Pieza	1930	38	853.95	273.85	42.86	537.24
6	Pieza	1960	44	835.14	273.62	42.86	518.65
7	Pieza	1940	43	848.82	282.25	42.86	523.70
8	Pieza	1970	31	847.82	271.30	42.86	533.66
9	Pieza	1980	45	841.18	269.30	42.86	529.01
10	Pieza	1950	39	853.82	276.62	42.86	534.34
\bar{x}	Pieza	1948	40.7	847.08	274.64	42.86	529.57
<i>s</i>	Pieza	17.51	6.29	6.26	4.15	0	7.48

Etapa 6: Comparación de los resultados de los modelos de simulación de los sistemas de manufactura bajo el enfoque del SCE y del sistema logístico DBR

Los resultados promedio, de las 10 corridas de ambos modelos, proporcionados por el reporte estadístico de ProModel, se analizaron, para recopilar la información relacionada con las medidas de desempeño definidas previamente.

Inventario en proceso por máquina

El inventario en proceso en cada una de las máquinas se obtuvo sumando el número de piezas que se localizaban en el almacén de entrada a la máquina, lo que estaba en proceso en la máquina y lo que estaba en el almacén de salida de la máquina. La información se obtuvo de la sección *location* localizada en la columna *current contents*. La figura 5, muestra esta información.

Unidades producidas en cada máquina

Las unidades producidas indican el número de piezas que han sido procesadas, por cada una de las máquinas, al final del tiempo de simulación. Las unidades producidas en cada una de las máquinas se obtuvo restando del número de entradas en cada máquina (*total entries*) el número de piezas que estaba procesando (*current content*). La información se ilustra en la figura 6.

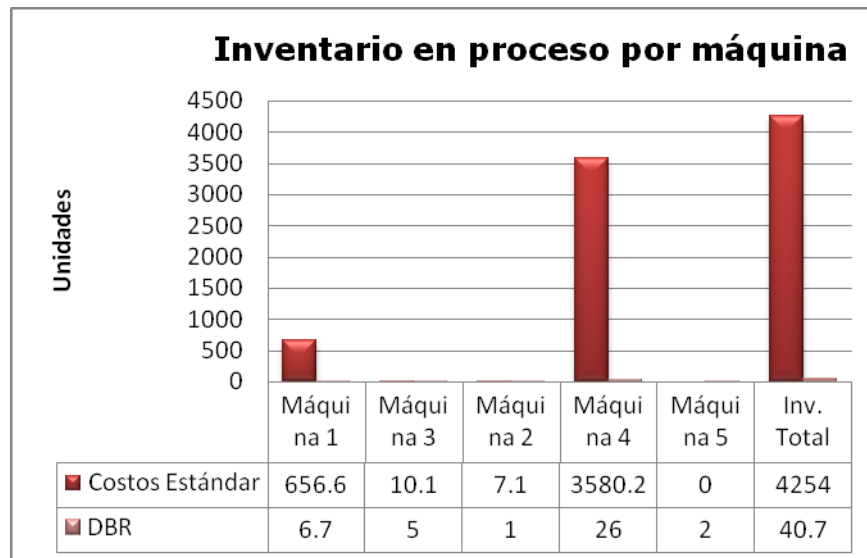


Figura 5. Inventario en proceso por cada máquina.

Porcentaje de utilización por máquina

El porcentaje de utilización está directamente relacionado con el número de piezas que fabrica cada una de las máquinas. Esta información se obtuvo directamente de la sección *location states by percentage* de la columna *% de operation*. El resultado se ilustra en la figura 7.

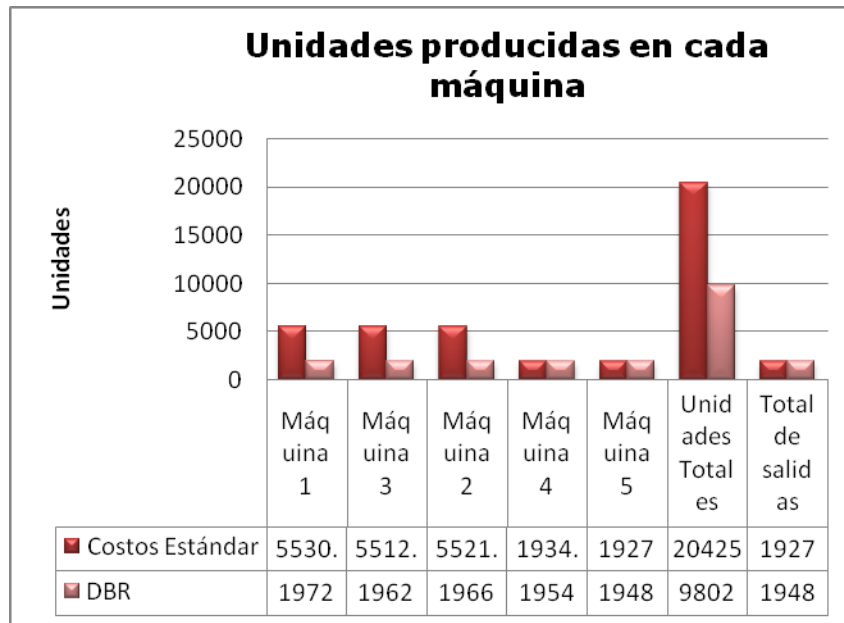


Figura 6. Unidades producidas en cada máquina.

Tiempos promedios

Los tiempos promedios, que tienen relación directa con las piezas, se obtuvieron de la sección *entitiy activities* del reporte de resultados que proporciona ProModel, mostradas previamente en las tablas 2 y 4. El reporte gráfico se muestra en la figura 8.

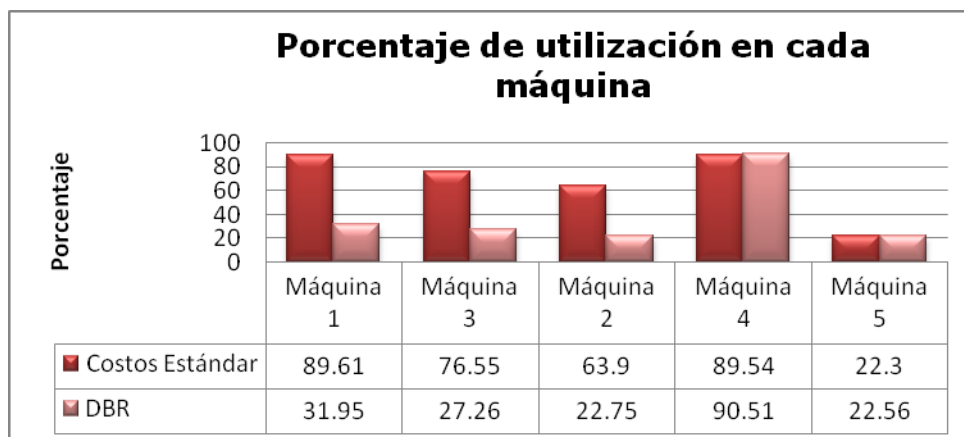


Figura 7. Porcentaje de utilización por cada máquina.

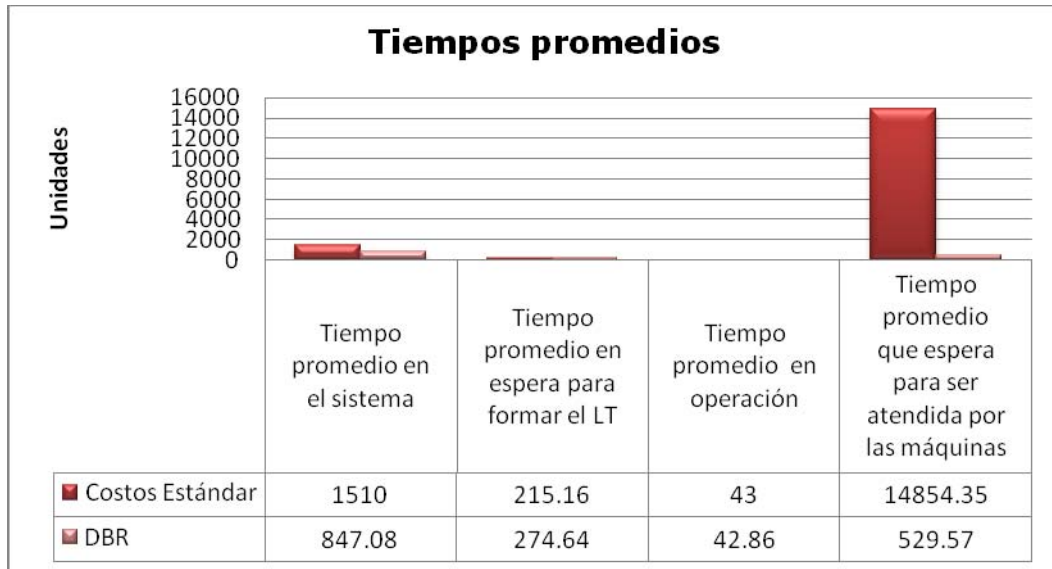


Figura 8. Tiempos promedios relacionados con las piezas.

Resumen de Resultados y Conclusiones

La figura 5 ilustra que en el sistema funcionando bajo el sistema de costos estándar existen, en promedio, 4254 piezas de inventario en proceso en todo el sistema y, bajo el enfoque logístico de sincronización sólo 41. Esto indica una gran ventaja competitiva del sistema logístico DBR: disminución del inventario en proceso.

La figura 6 ilustra que en el sistema de manufactura bajo el SCE estándar que cada una de las tres primeras máquinas produjeron en promedio más del 250% que cada una de las tres primeras máquinas del sistema de manufactura bajo el sistema logístico DBR, sin embargo, no se ve una diferencia sustancial en el número de piezas que realmente salieron del sistema como producto terminado: 1927 y 1948. Es más, las 21 piezas adicionales del sistema DBR son ocasionadas por el amortiguador inicial. Aquí, la diferencia principal y gran ventaja del sistema DBR, se ve en que no existe mucho inventario en proceso.

La figura 7, describe que a pesar de que existe mayor utilización de máquinas en el sistema bajo el SCE, este sistema no produjo mayor producto terminado. Es importante mencionar que este indicador puede ser una ilusión, ya que a mayor utilización de las máquinas, si existe una máquina intermedia dentro del sistema de manufactura, que limite la capacidad de generación producto terminado, existirá mayor inventario en proceso y, por consiguiente, a mayor inventario en proceso mayores gastos de operación, y por lo tanto menor liquidez de la empresa. Con estos resultados, se ve nuevamente una ventaja en el sistema logístico DBR.

La figura 8 muestra que cada pieza pasa menos tiempo en el sistema bajo el enfoque logístico DBR (847 min), lo mismo pasa en el tiempo que una pieza espera para ser atendida por una máquina (530 min). Por otro lado, las piezas esperan más tiempo para que se junte el lote de transferencia en el enfoque DRB (275) que en el enfoque del SCE (215), debido a que el plan de producción (*cuierda*) hace que las piezas se liberen al

sistema a la velocidad del cuello botella (*tambor*). Sin embargo, también se puede concluir que el sistema logístico DBR, aun muestra ventajas sobre el SCE

Con estos resultados, y bajo las características definidas para el sistema de manufactura en estudio, se puede concluir que el control del flujo de Materia Prima (MP) bajo el sistema logístico DBR es mucho más eficiente.

Adicionalmente a estos resultados, se hace mención que se probaron diferentes tiempos de simulación para los modelos de simulación y se observó que a mayor tiempo de simulación las diferencias entre el enfoque logístico DBR y el del sistema de costos estándar crecen, mostrándose muy superior el primero.

Finalmente, debido a estos resultados, también se puede concluir que si existe un área de oportunidad para el desarrollo de algunos trabajos de investigación, tal como el desarrollo de un procedimiento matemático básico, para determinar el número de unidades que debe tener el amortiguador y para identificar el CCR en un sistema de manufactura.

Bibliografía

- Castro, S.R.I, "Desarrollo de una metodología para implantar TOC en una célula de manufactura a través de un modelo de simulación.", Asesor. M.C. Fernando Ortiz Flores, *Tesis de Maestría*, Instituto Tecnológico de Orizaba, 2005.
- Chakravorty, S.S. y Atwater, J. B., "A comparative study of line design approaches for serial production systems", *International Journal of Operations & Production Management*, Volume 16 Number 6, pp 246-259, 1996.
- González, M.M.R., "*Simulación y animación de un sistema O.P.T. usando GPSSH*", Tesis de Maestría, Asesor. MC. Fernando Ortiz Flores. Instituto Tecnológico de Orizaba, 1997
- Goldratt, E.M., "Theory of Constraints and how should it be implemented", *North River Press*, 1990
- Goldratt, E.M. y Fox, R.E., "*La carrera*", *Ediciones Castillo*, Segunda Edición, 1992
- Goldratt, E.M., "El síndrome del pajar: cómo extraer información del océano de datos", *Ediciones Castillo*, Primera Edición, 1992
- Goldratt, E.M., y Jeff C., "*La meta*", *Ediciones Castillo*, 1994
- Goldratt, E.M., "Producción: Como mejorar con TOC; guía del instructor", *Avraham Y. Goldratt*, 1996
- Law, A.M. y Kelton, W.D., "Simulation Modeling and analysis", *Editorial Mc Graw-Hill*, Book company, 3a. Edición, 2000.
- López V.C., "Metodología para implantar la técnica O.P.T.", *Tesis de Maestría*, Asesor. MC. Fernando Ortiz Flores. Instituto Tecnológico de Orizaba, 1997.
- McMullen, T.B. Jr. "Introduction to the Theory of Constraints (TOC) Management System", *The St. Lucie Press/APICS Series on Constraints Management*, 1998.
- Srikanth, M.L. y Umble, M.M, "Synchronous management: profit-based manufacturing for the 21st century; volumen 1", *the spectrum publishing company*, 1997.
- Schriber, T.J., "An Introducción to Simulación using GPSS/H", *Editorial John Wiley & Sons*, U.S.A., 1991.
- The Productivity Development Team, "*Cellular Manufacturing*", *Editorial Productivity, Inc.*, U.S.A., 1999.
- Umble, M.M. y Srikanth M.L., "*Manufactura Sincrónica, principios para lograr la excelencia de categoría mundial*", *Edit. CECSA*, 1995.

- Umble, M.M. y Srikanth, M.L., "Synchronous management: profit-based manufacturing for the 21st century; Volumen 2", *Edit. The Spectrum publishing Company, USA, 1997.*