

Evaluación de la Aplicación de la Teoría de Restricciones (TOC) en un Proceso de Elaboración de Productos Plásticos Bajo Pedido

María Laura Retamales García, Héctor Cedeño Barreiro, Ing. Marcos Buestán B.
Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción
Escuela Superior Politécnica del Litoral
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral
Apartado 09-01-5863. Guayaquil, Ecuador
hegucede@espol.edu.ec, mretamal@espol.edu.ec, mbuestan@espol.edu.ec

Resumen

Plástica S.A., ha sido durante muchos años una compañía referente en la elaboración bajo pedido de fundas y rollos de plástico, productos reconocidos en el mercado por su alto nivel de calidad. Desde que fue fundada ha mantenido el mismo sistema de control, el cual en los últimos años ha demostrado deficiencias. Como consecuencia, la empresa ha sufrido una disminución en sus niveles de ventas, especialmente debido a que los tiempos de entrega que ofrece están por encima de los tiempos ofertados por sus competidores. Por esta razón, la compañía desea implementar un sistema de control que permita ofrecer tiempos de entrega iguales a los prometidos por el mercado y al mismo tiempo cumplir con más del 99% de las fechas ofrecidas a sus clientes. Para lograr el objetivo de la empresa se implementó mediante un modelo de simulación La Teoría de Restricciones (TOC,) filosofía creada por el Dr. Eliyahu M. Goldratt a principios de los 80. Mediante la implementación del sistema de control Tambor-Amortiguador-Cuerda Simplificado (S-DBR) y gerencia de amortiguadores, las cuales constituyen herramientas de TOC, se logró entregar el 100% de pedidos de los clientes a tiempo y se obtuvo una notoria disminución de los tiempos de producción y del inventario en proceso.

Palabras Clave: Teoría de Restricciones (TOC), Amortiguador, S-DBR.

Abstract

Plástica SA, has been for many years a make to order company of sleeves and rolls of plastic, known in the market for its high level of quality. Since its foundation, the company has worked under the same system control of production, which in recent years has shown weaknesses. As a result, the company has suffered a decline in sales levels, especially because of the delivery times offered which are above the times offered by its competitors. For this reason, the company wants to implement a control system that provides delivery times equal to those promised by the market, while complying with more than 99% of the dates offered to customers. To achieve the company's goal we implemented through a simulation model The Theory of Constraints (TOC) philosophy created by Dr. Eliyahu M. Goldratt in the early 80s. By implementing TOC tools such as: system control Simplified Drum-Buffer-Rope (S-DBR) and buffer management in the simulated process, it was managed to deliver 100% of customer orders on time obtaining a marked decrease production times and a considerable reduction on work in process.

1. Introducción

En este proyecto se evaluó mediante un modelo de simulación la aplicación de la filosofía TOC, implementando el sistema de control S-DBR (Tambor-Amortiguador-Cuerda Simplificado) y Gerencia de Amortiguadores en una planta destinada a la elaboración de fundas y rollos de plástico.

Dentro de un entorno competitivo donde las empresas prometen tiempos de entrega cada vez menores, la empresa Plástica S.A. ve en riesgo su liderazgo y espera encontrar la solución a sus

problemas de incumplimiento en los tiempos de entrega que ofrece.

Mediante este proyecto se analizó de qué manera las herramientas de TOC permitieron alcanzar un aumento en el nivel de servicio y una disminución en los tiempos de entrega, creando una ventaja competitiva y sustentable para la empresa.

2. Objetivos

El objetivo general de este proyecto fue evaluar mediante un modelo de simulación el sistema de

control S-DBR con gerencia de amortiguadores en un proceso de elaboración de productos plásticos. Para esto se desarrolló un modelo de simulación en el cual se evaluó el sistema de control inicial de la empresa y el sistema S-DBR., para posteriormente realizar una comparación entre ambos y determinar las mejoras dentro del proceso con el nuevo sistema.

3. Marco teórico

3.1 Teoría de las restricciones

La Teoría de las Restricciones, filosofía creada por el Dr. Eliyahu M. Goldratt a principios de los 80, consiste en una serie de técnicas cuya aplicación permite a las empresas dirigir y optimizar su actividad de negocio. Este conjunto de técnicas y principios está sustentado en el sentido común y orientado a la mejora continua.

La aplicación de esta metodología se basa bajo los tres siguientes supuestos [1], el primer supuesto asegura que cualquier sistema tiene una meta y un conjunto de condiciones necesarias que deben satisfacerse para lograr dicha meta. El segundo supuesto indica que cualquier sistema es más que solamente la suma de sus partes. Esto quiere decir que la suma de las partes no representa el éxito del sistema. La suma de óptimos locales no produce un sistema óptimo. Por último, el tercer supuesto afirma que muy pocas variables -tal vez solo una- limitan el rendimiento de un sistema en un momento dado. TOC se refiere a estas variables como restricciones.

3.2 Sistema DBR

La filosofía TOC se fundamenta en la aplicación del modelo DBR (Drum, Buffer, Rope) siguiendo cinco pasos que constituyen un ciclo continuo. El Dr. Goldratt describió los cinco pasos como una forma de asegurarse que la administración de una compañía no pierda de vista el objetivo y lo que es más importante para el éxito: la restricción. Estos cinco pasos son [2]:

PASO 1: Identificar el cuello de botella. El cuello de botella o restricción del sistema es un recurso restringido de capacidad, esto es, un recurso cuya capacidad es igual o menor a la demanda de éste.

PASO 2: Explotar el cuello de botella. Explotar se refiere a sacar el mayor provecho de la restricción sin ninguna inversión adicional. Si la demanda del mercado es la restricción del sistema, explotar la restricción implica abastecer al mercado con el propósito de ganar más ventas. Por otra parte, si la restricción es un recurso interno, explotar el cuello de botella equivale a utilizar este recurso de la mejor manera para maximizar su margen de contribución a las ganancias.

PASO 3: Subordinar todo a la decisión anterior. Este paso se refiere a disponer al cuello de botella como el tambor del proceso, haciendo que todos los otros recursos que no son cuellos de botella trabajen para el recurso restringido de capacidad.

PASO 4: Elevar la capacidad del cuello de botella. Existen varias formas de elevar la capacidad del cuello de botella tales como: realizar un mantenimiento preventivo total para prevenir que la máquina falle durante la producción, mantener un mejor control en la materia prima con el fin de evitar producto defectuoso y reproceso, etc.

PASO 5: Volver al paso 1. En este paso se busca el mejoramiento continuo a través de la identificación de la nueva restricción o verificar que esta no ha cambiado.

El sistema DBR es un método de planificación de la producción. La teoría de las restricciones creció por la aplicación de este método.

El tambor (Drum): es considerado como el recurso restringido de capacidad que limita la producción total de la compañía. La restricción se la asemeja a un tambor que establece el ritmo al cual toda la organización se sincroniza.

El amortiguador (Buffer): en DBR es un mecanismo de protección. El Dr. Goldratt reconoce que si un recurso de capacidad restringida determina el mejor rendimiento que se espera en una organización, la capacidad de este recurso no debe ser desperdiciada. Esto quiere decir que se tiene que asegurar el funcionamiento total del cuello de botella protegiéndolo de tiempos ociosos y perturbaciones. El amortiguador es de tiempo, mas no de producto. En vez de planificar para mantener producto en proceso (WIP) en frente del cuello de botella, se planifica el arribo de producto en proceso un periodo de tiempo antes que el cuello de botella esté planificado para empezar su trabajo.

La cuerda (Rope): es, en efecto, un dispositivo de comunicación que se extiende entre el recurso de capacidad restringida y la liberación inicial de material en el proceso productivo. La cuerda constituye un mecanismo que regula la liberación de material. Normalmente se planifica la liberación del material al ritmo del recurso de capacidad restringida para evitar mantener un excesivo producto en proceso. Mientras más elevada sea la cantidad de producto en proceso en el piso de producción, más largo es el tiempo de espera y es mayor la confusión del personal de producción, quien desconoce u olvida cuáles son las prioridades.

3.3. Sistema S-DBR

El sistema S-DBR es la nueva versión de DBR. Este sistema se percata de los beneficios del sistema tradicional DBR y al mismo tiempo soluciona algunos de los problemas sin crear nuevos.

Este sistema funciona de la misma manera que el tradicional pero con la ausencia de un recurso restringido de capacidad. Además de esta diferencia, en S-DBR existe un solo amortiguador: el amortiguador de embarque, y no se necesita una programación detallada para ningún centro de trabajo. También el S-DBR añade una nueva herramienta de control: planeación de la carga (WLC), para asegurar el rendimiento durante la operación [3].

Hay ciertos supuestos en los que S-DBR se fundamenta, siendo el primero y más importante: la demanda del mercado es siempre la restricción del sistema. La restricción de la demanda del mercado siempre está presente. El desafío al cual toda organización se enfrenta es incrementar la demanda del mercado al mismo nivel de capacidad de un recurso.

El segundo supuesto afirma que los recursos internos que son restricciones, a menudo tienen exceso de capacidad; esto si es que las restricciones internas son temporales.

En la figura 1 se ilustran los supuestos descritos. La línea punteada denota la capacidad del recurso más lento de la operación: el recurso restringido de capacidad. La línea sólida representa las fluctuaciones de la demanda del mercado del producto, tomando en cuenta un cierto periodo de tiempo, sea éste mensual o anual.

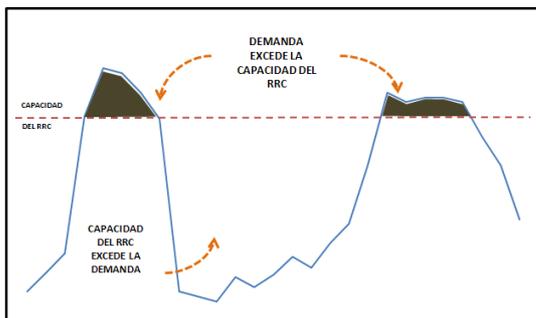


FIGURA 1. Capacidad de un RRC y fluctuación de la demanda

El sistema S-DBR utiliza un solo amortiguador: el amortiguador de embarque, también conocido como amortiguador de entrega. El amortiguador de embarque incluye el tiempo desde la liberación de la materia prima hasta el arribo del producto terminado a la bodega, como se muestra en la figura 2. Este tiempo incluye tiempos de preparación, movimiento, colas y variaciones a lo largo del proceso. A diversos productos se les pueden asignar diferentes tamaños de amortiguador, lo cual da la opción a la empresa de ofrecer diferentes plazos de entrega.

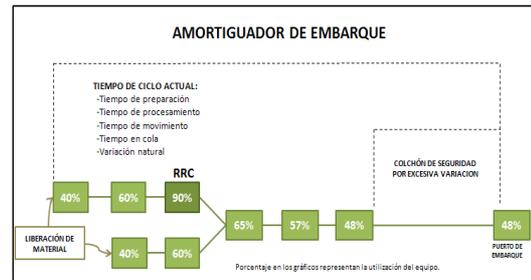


FIGURA 2. Amortiguador de embarque

3.4. Árbol de Estrategia y Táctica para Fabricar Bajo Pedido

Una herramienta práctica propuesta por el Dr. Goldratt para la implementación del sistema S-DBR es el Árbol de Estrategias y Tácticas para lograr la visión viable de una empresa, el cual tiene como objetivo crear una ventaja competitiva para abarcar mercados suficientemente grandes, sin agotar los recursos de la compañía y lograr una respuesta rápida confiable.

Una de las estrategias descritas en el árbol es crear confiabilidad en las entregas a tiempo, prometiendo fechas de entrega competitivas confiables y pagando multas si éstas no se cumplen. Para lograr tener entregas a tiempo, se deben seguir los siguientes pasos:

PASO 1: Ahogar la entrada. Implica limitar el piso de producción, manteniendo solamente las órdenes que necesitan ser realizadas para su entrega en un horizonte de tiempo determinado que dependerá del amortiguador de producción (amortiguador de embarque) que se establezca. Este amortiguador de producción inicialmente se establece igual al 50% del tiempo de producción actual (tiempo de ciclo) para productos con tiempos de producción similares.

PASO 2: Administrar Prioridades. La gerencia de amortiguadores (GA) consiste en priorizar las órdenes de trabajo de acuerdo al porcentaje de consumo de su amortiguador. La metodología recomienda utilizar un sistema de semáforos indicando qué tanto se ha consumido el amortiguador.

PASO 3: Administrar los recursos restringidos de capacidad (RRC). La mejor manera de explotar un RRC es asegurar que siempre esté en funcionamiento, sin descanso o paradas por cambios de turnos. Se recomienda utilizar técnicas de producción esbelta para la disminución de tiempos de preparación.

PASO 4: Control de la carga y establecimiento de fechas de entrega. Consiste en un análisis de capacidad del cuello de botella. Si el objetivo es ofrecer tiempos de entrega confiables, en un aumento de la demanda estos tiempos van a tender a elevarse y la empresa no podrá prometer fechas de entrega confiables; por esta razón el control de la carga es indispensable para el funcionamiento correcto del sistema.

El control de la carga es una herramienta de planificación y control de la producción. Los departamentos de ventas y producción deben encaminarse hacia un flujo sincronizado para establecer fechas de entrega confiables y no desperdiciar las oportunidades para el RRC.

La fecha prometida es la fecha actual más el valor más largo entre: el tiempo estándar de respuesta (tiempo estándar de entrega ofrecido por el mercado) y el primer puesto disponible en el RRC más medio amortiguador de producción. En ciertos casos en los cuales el compromiso de la orden se definió según el tiempo estándar de respuesta y la orden podría ser entregada antes, el amortiguador de embarque se incrementa en un valor que es la diferencia entre el tiempo estándar de entrega y el tiempo de producción; a este tiempo se lo conoce como "slack". El proceso para establecer la fecha de entrega se ilustra de manera gráfica en la figura 3.

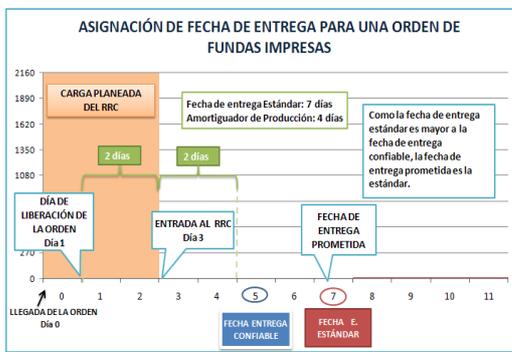


FIGURA 3. Control de la carga planeada

PASO 5: Mejorar el flujo sistemáticamente. Las perturbaciones dentro del sistema de producción son la causa del incumplimiento del objetivo de la empresa. Por esto, se debe llevar un control de las causas que provocan estas perturbaciones y crear grupos de mejora que lleven a cabo acciones correctivas.

4. Modelo de simulación

Plástica S.A. es una compañía dedicada a la elaboración de fundas y rollos de plástico con una gama de productos reconocidos por su nivel de calidad.

Plástica S.A. elabora 4 familias de productos las cuales son: fundas naturales, fundas impresas, rollos naturales y rollos impresos

Para la producción de cada familia de producto existen diferencias tanto en la secuencia del proceso como en los tiempos de procesamiento. A continuación se presenta el diagrama de rutas que sigue cada producto y diagramas de proceso de cada tipo de producto:

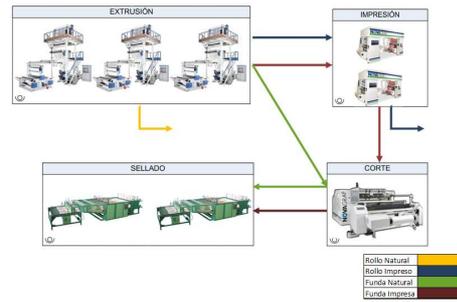


FIGURA 4. Diagrama de rutas por productos

4.1. Descripción del sistema de control actual

La compañía Plástica S.A. ha mantenido su sistema de control de producción (sistema PUSH) desde que fue fundada hace más de veinte años, sin haber considerado la necesidad de cambiarlo. El plazo de entrega actual ofrecido por la compañía es muy variable y en muchos casos es impuesto por el cliente. Estos tiempos de promesa oscilan entre 2 y 10 días, pero no siempre se cumplen. Los tiempos de entrega que promete el mercado actualmente son de 7 días para productos impresos y 5 días para productos naturales. El sistema de control actual se basa en lo siguiente:

La fecha de entrega se establece en conjunto con el cliente dependiendo de su necesidad y las capacidades de la máquina. En la mayoría de los casos se ofrecen plazos de entrega cortos cuando ventas no quiere perder un cliente. En promedio se prometen 6 días para productos impresos e igualmente 6 días para productos naturales.

Con el objetivo de que las máquinas nunca estén ociosas y siempre tengan órdenes para procesar, se liberan grandes lotes cada tres días.

Una vez liberadas las órdenes de trabajo al piso de producción, estas fluyen a lo largo del proceso. Cuando la orden llega a un determinado centro de trabajo, el criterio para la selección de las órdenes depende únicamente del operador.

Considerando que la cantidad de órdenes que deben pasar por impresión es mucho menor a la que tiene que pasar por extrusión, la compañía ha adoptado la política que establece que si las órdenes de producción son menores o iguales a 200 kilos, se debe esperar a que éstas hayan sido completamente extruidas para proceder a realizar el proceso de impresión. Del mismo modo, si una orden es mayor o igual a 200 kilos., la orden debe haber sido extruida en un 40% para que se pueda iniciar el proceso de impresión.

Las extrusoras son asignadas a cada orden dependiendo de las características del producto. La orden de producción incluye en su información la extrusora en la cual dicho trabajo debe ser desarrollado.

Las impresoras y selladoras por otro lado pueden ser consideradas como máquinas paralelas de modo que los trabajos pueden ser asignados a cualquiera de ellas de manera indistinta.

Cada vez que un trabajo es asignado a una máquina impresora o selladora, toda la orden debe ser concluida

en ésta, de modo que no es posible la división de una orden en 2 máquinas. Tampoco puede ingresar una orden a una de estas máquinas hasta que no se haya concluido toda la orden que ha ingresado previamente.

4.2. Descripción del modelo de simulación

Para elaborar el modelo de simulación en el software Promodel se utilizaron varias entidades, atributos, locaciones y variables.

Las entidades son todos los artículos que fluyen a lo largo del proceso simulado, tales como los rollos y las órdenes de producción.

Las locaciones representan puestos fijos en el sistema en los cuales las entidades son procesadas, forman colas o pasan por un proceso de decisión de alguna ruta a seguir. El modelo de simulación consta de varios tipos de locaciones que incluyen máquinas para el procesamiento de las entidades y colas de espera. También contiene locaciones ficticias necesarias para ejecutar ciertos artificios de tal manera que el modelo realice lo planteado en las políticas de producción de la empresa.

Los atributos guardan información sobre las órdenes y los rollos. Algunos de estos atributos son: el peso del rollo, número de orden, complejidad de impresión, etc.

En el modelo se emplearon además variables en diferentes etapas del proceso para almacenar valores enteros.

En la programación se detallan las operaciones que se realizan en cada locación, las rutas que siguen las entidades y todas las políticas de procesamiento actuales de la empresa.

La información de las órdenes de producción con todos sus atributos fue importada de un archivo de Excel.

Como ejemplo, en la figura 5 se presenta la programación desde la llegada de las órdenes de producción hasta que arriban a las locaciones donde esperan antes del proceso de extrusión. En esta etapa inicial del proceso llega la entidad ORDEN, la cual contiene el atributo donde se especifica el número de rollos que contiene dicha orden. Con el uso de este atributo y el comando CREATE, se crean las entidades ROLLO. Cada entidad ROLLO pasa a la extrusora indicada en el atributo EXTRUSORA que contiene esta entidad.

```

===== Processing =====
===== Routing =====
Entity Location Operation Blk Output Destination Rule Move Logic
-----
orden Arribo_ordenes BEGIN
if ext=1 then route 1
else if ext=2 then route 2
else route 3
END
1 orden Bodega1 FIRST 1
2 orden Bodega2 FIRST 1
3 orden Bodega3 FIRST 1
orden Bodega1 Explot1 EMPY 1
orden Bodega2 Explot2 EMPY 1
orden Bodega3 Explot3 EMPY 1
orden Explot1 CREATE (rollosorden) as rollo EXIT FIRST 1
orden Explot2 CREATE (rollosorden) as rollo EXIT FIRST 1
orden Explot3 CREATE (rollosorden) as rollo EXIT FIRST 1
rollo Explot1 1 rollo Wip_ext1 FIRST 1
rollo Wip_ext1 1 rollo Ext1 FIRST 1
rollo Explot2 1 rollo Wip_ext2 FIRST 1
rollo Wip_ext2 1 rollo Ext2 FIRST 1
rollo Explot3 1 rollo Wip_ext3 FIRST 1
rollo Wip_ext3 1 rollo Ext3 FIRST 1

```

FIGURA 5. Creación de las entidades "rollo"

5. Análisis de la situación actual de Plástica S.A.

Para obtener los indicadores, se tomó una muestra de 495 órdenes de trabajo. No se consideraron órdenes pertenecientes al tiempo de calentamiento de la línea y tampoco las últimas órdenes que se procesaron, ya que al final de la simulación solo quedan en proceso las últimas órdenes liberadas y los rollos fluyen a través de la línea más rápidamente, lo que ocasiona que los indicadores sean calculados con sesgo hacia abajo.

Los indicadores obtenidos fueron: utilización de máquinas, tiempos de ciclo, cantidad de producto en proceso, tasas de producción y nivel de servicio.

El porcentaje de utilización de las máquinas se obtuvo a partir del reporte de resultados del modelo y representa el porcentaje de tiempo que las máquinas estuvieron ocupadas procesando un rollo. Las máquinas que presentaron una mayor utilización (90%) fueron las impresoras, las cuales representan los cuellos de botella de la planta.

Para determinar el tiempo que permanece un rollo u orden en el piso de producción (tiempo de ciclo), se registraron en un archivo plano los tiempos de ingreso y los tiempos de salida de las órdenes y rollos en cada locación.

Para obtener el tiempo promedio de un rollo u orden en el sistema, se promediaron los tiempos de ciclo de todos los rollos y órdenes respectivamente.

Tabla 1. Tiempo de Ciclo (CT) Promedio actual de una orden por tipo de producto

	Orden			
	Rollos Naturales	Rollos Impresos	Fundas Naturales	Fundas Impresas
CT (minutos)	2405.92	5069.27	4220.05	7787.62
CT (días)	1.67	3.52	2.93	5.41

El producto en proceso (WIP), representa el número de rollos que se encuentran en el piso de producción a lo largo del proceso.

El WIP promedio en el sistema y el WIP promedio en cada locación se obtuvieron de los resultados que presenta el simulador luego de ejecutar el modelo de simulación. En promedio se determinó que 108 rollos se encontraban en el sistema, acumulándose la mayor cantidad de rollos en el área de espera de impresión.

Para determinar la tasa de producción, se dividió la cantidad de kilos o rollos procesados en la simulación para el tiempo total en que se procesaron dichos kilos o rollos respectivamente.

El nivel de servicio se midió en relación a la cantidad de órdenes entregadas en el tiempo prometido al cliente. El 37.17% de las órdenes fueron entregadas con un tiempo de atraso en relación al tiempo

prometido a los clientes, presentándose la mayor cantidad de atrasos en órdenes de productos impresos.

6. Implementación de S-DBR y gerencia de amortiguadores. Análisis de resultados obtenidos.

6.1 Implementación de S-DBR y Gerencia de Amortiguadores

Con el fin de implementar S-DBR y Gerencia de Amortiguadores en el modelo de simulación, se realizaron cambios en cuanto a locaciones, entidades, variables y atributos del modelo de simulación.

Siguiendo los pasos que propone el árbol de estrategia y táctica descrito en el capítulo 2, para lograr un nivel de servicio del 100% de entregas a tiempo, se implementó lo siguiente:

Ahogar la entrada:

Para calcular el tamaño de los amortiguadores, primero se consideró el 50% de los tiempos máximos de ciclo actuales de cada tipo de producto. Estos valores se redujeron poco a poco realizando varias pruebas en el simulador y finalmente se establecieron los valores presentados en la tabla 2.

Tabla 2. Amortiguadores por tipo de producto

Tipo de Producto	Amortiguador definido (días)
Rollos Naturales	2
Rollos Impresos	3
Fundas Naturales	4
Fundas Impresas	4

La liberación de las órdenes se realizó según los amortiguadores definidos.

Administración de prioridades:

Para priorizar las órdenes de producción se implementó la gerencia de amortiguadores en el modelo de simulación, con el objetivo de asegurar que las órdenes ubicadas en la zona roja tengan mayor prioridad para ingresar a ser procesadas a la máquina.

Control de la carga y establecimiento de fechas de entrega:

Las impresoras, identificadas como los RRC en el modelo inicial, constituyen los elementos que deben marcar el ritmo de producción, es decir, son el tambor en el proceso. El control de la carga se realiza sobre estas máquinas.

Para determinar la capacidad diaria del área de impresión, se consideró la velocidad de la impresora 2 para un producto con complejidad de categoría 2 (45 Kilos/hora), valor que se duplicó debido a que existen dos impresoras. Por lo tanto, la capacidad diaria

considerada para el control de la carga es 2160 Kilos/día.

El control de la carga se realizó en Excel, siguiendo el procedimiento descrito en el árbol de estrategias y tácticas para calcular las fechas de entrega.

6.2 Análisis de resultados obtenidos

Para el análisis de los resultados de la implementación de S-DBR con gerencia de amortiguadores, se calcularon los mismos indicadores descritos en el análisis del modelo de simulación del estado actual de Plástica S.A.

La utilización de las impresoras llegó a un valor del 88% aproximadamente en cada máquina.

Los tiempos de ciclo redujeron debido a la implementación del control de la carga, lo cual limitó el piso de producción con las órdenes que debían ser entregadas con mayor prontitud. Esto ocasionó que los tiempos de espera en colas sean menores y las órdenes sean terminadas en menor tiempo. De igual manera se redujo el inventario en proceso notablemente y el 100% de las órdenes fueron entregadas puntualmente.

7. Análisis comparativo entre el sistema de control inicial y S-DBR con gerencia de amortiguadores

7.1 Porcentajes de disminución de tiempos de ciclo

En la tabla 3 se presentan los tiempos de ciclo por tipo de producto en el sistema de control inicial y con S-DBR y gerencia de amortiguadores. Como se observa en la tabla 3, los tiempos de ciclo con S-DBR y GA disminuyeron más del 60% en todos los tipos de producto.

Tabla 3. Comparación de tiempos de ciclo en días

Tipo de Producto	Tiempos de Ciclo (Días)		Porcentaje de disminución con S-DBR Y GA
	Sistema de Control Inicial	S-DBR y GA	
Rollos Naturales	1.67	0.37	78%
Rollos Impresos	3.52	1.35	62%
Fundas Naturales	2.93	1.13	62%
Fundas Impresas	5.41	1.47	73%

En la tabla 4 se detallan los tiempos máximos de ciclo alcanzados con el sistema de control inicial y con S-DBR y GA:

Tabla 4. Comparación de tiempos de ciclo máximos

Tipo de Producto	Tiempos de Ciclo Máximos (Días)	
	Sistema de Control Inicial	S-DBR y GA
Rollos Naturales	11.06	1.57
Rollos Impresos	11.14	2.92
Fundas Naturales	7.32	3.15
Fundas Impresas	13.75	3.49

7.2 Porcentajes de disminución de producto en proceso

Al igual que los tiempos de ciclo, el inventario en proceso con el sistema S-DBR se redujo notablemente, como se muestra en la tabla 5:

Tabla 5. Comparación del inventario en proceso

Área	WIP (Rollos)		Porcentaje de disminución de WIP con S-DBR Y GA
	Sistema de Control Inicial	S-DBR y GA	
Extrusión	1.96	2.10	78%
Impresión	63.49	11.68	
Corte	4.12	7.81	
Sellado	38.40	2.33	
TOTAL	107.97	23.91	

7.3 Aumento del nivel de servicio

Con S-DBR y gerencia de amortiguadores se logró entregar el 100% de las órdenes en el tiempo prometido al cliente.

Tabla 6. Comparación del nivel de servicio

	Nivel de Servicio	
	Sistema de Control Inicial	S-DBR y GA
Porcentaje de Ordenes Atrasadas	37.17%	0%
Porcentaje de Ordenes Entregadas a tiempo	62.83%	100%

8. Conclusiones

- El sistema de control inicial de la empresa Plástica S.A. (el cual está basado en una estrategia de tipo Push) presenta una serie de deficiencias que fueron identificadas a través de los resultados del modelo de simulación inicial. Con un 37.17% de incumplimiento en las fechas de entrega, altos tiempos de ciclo y un

escaso control del inventario en proceso, se concluye que Plástica S.A. debe optar por la implementación de otro sistema de control que le permita mejorar sus procesos.

- Con la aplicación del sistema de control S-DBR y gerencia de amortiguadores en el proceso simulado, se logró un nivel de servicio del 100%, es decir, todas las órdenes fueron entregadas en el tiempo prometido a los clientes. Además de estos resultados, se obtuvo una reducción mayor al 60% de los tiempos de ciclo de cada producto. El inventario en proceso se redujo en un 78% en comparación con el inventario manejado con el sistema de control inicial de Plástica S.A.
- El sistema S-DBR es aplicable para cualquier tipo de empresa que fabrica bajo pedido, ya que está diseñado para generar disponibilidad y confiabilidad. Este sistema es capaz de soportar la variabilidad del entorno y al mismo tiempo proteger al piso de producción de los problemas inesperados, mediante un adecuado control de la carga y el uso de amortiguadores.
- En industrias ecuatorianas, las cuales están inmersas en un entorno variante y la competencia en muchos casos se basa solamente en precios y no en la calidad de servicio, aplicar S-DBR es una alternativa que las puede conducir a alcanzar una ventaja competitiva sustentable e incrementar sus ventas exponencialmente, satisfaciendo las necesidades de los clientes mediante un excelente servicio basado en la confiabilidad y disponibilidad.

- Implementar S-DBR no requiere de un software muy sofisticado y costoso. El verdadero reto para la aplicación de este sistema radica en una alta atención gerencial. Los modos más comunes de operar se basan en pronósticos, mediciones de eficiencias locales y manejo de altos inventarios como un modo de protección frente a la variabilidad del entorno. Cambiar estos paradigmas sin enfrentar una resistencia por parte de los miembros de una compañía es una tarea costosa que requiere de líderes capaces de transmitir la estrategia de la empresa y lograr que todos los involucrados la comprendan y conozcan cual debe ser su contribución.

9. Recomendaciones

- Uno de los factores más críticos para una implementación exitosa de S-DBR es el respeto del programa de liberación de las órdenes al piso de producción. Cuando el personal encargado de esta tarea sigue el programa, los resultados se alcanzan rápidamente.
- El monitoreo constante de los porcentajes de consumo de los amortiguadores de las órdenes de producción es fundamental para la aplicación del sistema S-DBR. Su importancia radica en que el único criterio para la

selección de una orden es el porcentaje de consumo de su amortiguador.

- Una vez implementado el sistema S-SBR junto con gerencia de amortiguadores es importante proceder a trabajar por un mejoramiento continuo. Es recomendable formar un equipo de mejora capaz de identificar cualquier perturbación o acontecimiento que ocasione algún retraso en el flujo, con la finalidad de detectar las causas de todos estos problemas que pueden poner en peligro las entregas a tiempo.
- Otro aspecto que se debe considerar cuando se maneja un sistema S-DBR es el aseguramiento del buen estado de los equipos mediante un mantenimiento preventivo, el cual consiste en la aplicación de un plan de trabajo conformado por actividades de limpieza, lubricación, inspección, ajustes y calibraciones que permiten incrementar la disponibilidad de un equipo a través de la reducción en la necesidad de reparar por emergencia, evitar largas paradas por daños en las máquinas y reducir los costos totales de mantenimiento.
- Es imprescindible que toda compañía que trabaja bajo un sistema S-DBR busque la manera de integrar las áreas de producción y ventas. Es fundamental que el departamento de ventas conozca el sistema y prometa fechas de entrega confiables, basándose en la oferta de confiabilidad para incrementar sus ventas.
- El sistema S-DBR puede complementarse con técnicas de calidad y manufactura esbelta tales como: Seis Sigma, sistema 5S, SMED (reducción de tiempos de preparación de máquinas), KAIZEN; estas herramientas permiten reducir todo tipo de desperdicio y contribuyen con la eliminación de las perturbaciones en el proceso.

[9] Umble, M., & Srikanth, M. L. (1995). *Synchronous Manufacturing: Principles for World-Class Excellence*. Wallingford, CT 06492: Spectrum Publishing.

10. Referencias

- [1] Goldratt, E. M. (2006). *Árbol de Estrategias y Tácticas*.
- [2] Goldratt, E. M. (2008). *De pie sobre los hombros de gigantes: Los conceptos de producción frente a las aplicaciones de producción*. Goldratt Schools.
- [3] Goldratt, E. M. (2009). *Now and into the future*. Conferencia TOCICO. Guayaquil.
- [4] Goldratt, E. M., & Cox, J. (1987). *La Meta*. Croton-On-Hudson: North River Press.
- [5] McMullen, T. (1998). *Introduction to the Theory of Constraints Management System*. Boca Ratón, FL: St. Lucie Press.
- [6] Schragenheim, E., & Dettmer, H. W. (2001). *Manufacturing at Warp Speed*. Florida: Taylor & Francis Group.
- [7] Schragenheim, E., & Dettmer, W. (2000). *Simplified Drum-Buffer-Rope A Whole System Approach to High Velocity Manufacturing*. GSI.
- [8] Schragenheim, E., Weisenstern, A., & Schragenheim, A. (2006). *What's really new in Simplified DBR*. TOC ICO Conference.