

Aplicación de la teoría de restricciones (TOC) a los procesos de producción de la planta de fundición de Imusa*

Revista Soluciones de Postgrado EIA, Número 2. p. 121-133 Medellín, junio de 2008

Abraham José Abisambra Lemus** y Luis Andelfo Mantilla Cuadros***

* Artículo basado en el trabajo de grado exigido como requisito para obtener el título de Especialista en Gerencia de la Producción y el Servicio de la Escuela de Ingeniería de Antioquia. Director del proyecto: Andrés Zapata Correa, 2007.

** Ingeniero de Minas y Metalurgia, Especialista en Alta Gerencia, Especialista en Gerencia de Producción y Servicio de la Escuela de Ingeniería de Antioquia. aabisambra@imusa.com.co

*** Ingeniero Mecánico, Especialista en Gerencia de Producción y Servicio de la Escuela de Ingeniería de Antioquia. lmantilla@emma.com.co

APLICACIÓN DE LA TEORÍA DE RESTRICCIONES (TOC) A LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE LA PLANTA DE FUNDICIÓN DE IMUSA

Abraham José Abisambra Lemus y Luis Andelfo Mantilla Cuadros

Resumen

La planta de fundición de IMUSA S.A., al igual que muchas plantas productivas del sector metal-mecánico que exportan sus productos, cuenta con procesos complejos y cambiantes. Además de ser flexible a las diferentes exigencias del mercado, debe estar preparada para una demanda constantemente variable. En este artículo se describe la situación actual de la planta de fundición y se expone una aplicación práctica para la reducción de inventarios, el mejoramiento del flujo de caja y de capital con la metodología de Teoría de Restricciones (TOC, por su sigla en inglés). Este artículo se convierte en una guía para las posibles mejoras que se pueden obtener en una planta, siguiendo los pasos de TOC y utilizando los recursos en el momento correcto. Este trabajo se basa en una planta en particular, pero las mejoras y cambios se pueden aplicar a cualquier sector industrial o de servicio.

Palabras Clave: TOC, teoría de restricciones, inventarios, planta de fundición.

Abstract

The plant of smelting of IMUSA S.A., like many productive plants of the metal mechanics sector that export their products, has complex and changing processes that, in addition to being flexible to the different exigencies from the market, must be prepared for a constantly variable demand. In this paper the present situation of the smelting plant is described and a practical application for the reduction of inventories, the improvement of the cash flow and capital under the methodology is formulated by Theory of Constraints TOC. This paper becomes a guide for the possible improvements that can be obtained in a plant, following the stages of TOC and using the resources at the correct moment. This work is based on a particular plant, but the improvements and changes can be applied to any industrial or service sector.

Key words: TOC, theory of constraints, inventories, plant of smelting.

Aplicación de la teoría de restricciones (TOC) a los procesos de producción de la planta de fundición de Imusa

Abraham José Abisambra Lemus y Luis Andelfo Mantilla Cuadros

Revista Soluciones de Postgrado EIA, Número 2, p. 121-133. Medellín, junio de 2008

Introducción

Existen diferentes versiones que intentan establecer el origen de la teoría de restricciones (TOC, *theory of constraints*). La más conocida de ellas se atribuye a Eliyahu Goldratt y se basa en la creación de un algoritmo de programación en los años setenta. Otros autores afirman que en realidad TOC nace del trabajo de diversos investigadores de todo el mundo y como evidencia señalan algunas características de esta teoría que no fueron desarrolladas por Goldratt. Entre ellas se mencionan: la teoría de colas, el costeo directo, la simulación y el *throughput* (rendimiento, término que se podría considerar como la tasa a la que el sistema genera dinero por medio de las ventas). Lo que sí se puede

afirmar es que Goldratt tiene el mérito de haber encontrado una forma que permite a la mayoría de las personas el uso correcto de dichas herramientas con una alta probabilidad de conseguir mejores resultados.

Para algunos estudiosos de la administración de las empresas, la cada vez más empobrecida posición de competencia internacional se debe en gran parte a prácticas administrativas obsoletas y deficientes procedimientos contables. De ahí que se haya emprendido una búsqueda de nuevos métodos que puedan revertir esta situación. TOC ofrece un método no sólo para sincronizar la producción, sino también para mejorar continuamente mientras se trabaja. TOC postula que existen múltiples

restricciones identificables asociadas con la operación de cualquier empresa (restricciones físicas, de mercado y políticas) y la administración debe ser capaz de ejercer control de dichas operaciones, de forma tal que se puedan identificar estas restricciones, con la finalidad de que los recursos asociados a ellas puedan ser utilizados de la mejor manera posible. TOC es una forma de trabajo que enfoca todos sus esfuerzos en conseguir mejoras sustanciales en el flujo de caja, inventarios y capital de trabajo; además permite obtener mejoras sin mayor inversión.

Método

Planteamiento del problema

IMUSA S.A. es una empresa dedicada al diseño y fabricación de artículos para el hogar. Dentro de los procesos fundamentales de producción se encuentra la planta de fundición, en la cual se elaboran productos de alta demanda para la organización, como son los calderos y los sartenes de aluminio.

Los procesos en la planta de fundición son complejos y cambiantes, lo cual exige una planta altamente flexible que debe expandirse y contraerse según la demanda del momento, ya que la organización vende en todo el continente americano, desde el Canadá a la Argentina, y en cada uno de estos mercados se encuentra con distintas exigencias

de empaque y diseño de producto. Por tal motivo, es necesario saber, en todo momento, la capacidad de cada proceso para tomar decisiones concernientes a tiempos de entrega, tiempos de máquina y recursos de mano de obra. Adicionalmente, es necesario utilizar los recursos disponibles en forma eficiente para lograr elaborar productos con los costos estándares esperados o menores.

El problema de existencia de inventarios de producto en proceso en la planta de fundición demanda mayor capital de trabajo y, por ende, reduce su flujo de caja, haciéndola improductiva y poco competitiva. Este trabajo analiza las posibles causas de esta situación y presenta una propuesta para reducir dichos inventarios.

Situación actual

El proceso de fundición para la fabricación de un producto empieza con la selección de la chatarra y los diferentes lotes de materia prima suministrados por el proveedor. Para esto se utiliza un macro de Excel; el objetivo es combinar los lingotes disponibles y seleccionar los indicados con base en su aleación. Luego estos lingotes son cargados en el horno y llevados al estado líquido a una temperatura de trabajo de 780 °C. Una vez el material está en estado líquido se transvasa a las máquinas de moldeo que le dan al producto la forma correspondiente. Una vez el producto tiene la forma definitiva, pasa a las líneas de mecanizado donde

se quitan los vaciaderos de moldeo, se mecaniza, se limpia y se seca para su posterior empaque o para pasar al proceso de pintura. Si pasa al proceso de pintura, el artículo es decapado y luego se le aplica la pintura correspondiente. Finalmente, se hace un mecanizado final y se empaqueta (tabla 1).

Tabla 1: Líneas y procesos que componen la planta de fundición y su capacidad:

Línea / Proceso	Capacidad
Línea de moldeo	27%
Línea de mecanizado	16%
Línea de limpieza (brillado-secado)	13%
Empaque piezas individuales	94%
Línea de pintura	9%
Línea de mecanizado después de pintura	62%
Empaque juegos y piezas pintadas	226%

La planta de fundición tiene un historial de tiempo extra de 900 horas mensuales. Este tiempo extra se utiliza en las áreas donde la restricción las obliga a utilizar este tiempo de trabajo necesario para poder cumplir la demanda. Inicialmente se obtuvo la demanda mensual

de la planta, utilizando las 22 referencias que hacen el 80% de la facturación mensual. Siguiendo el método de trabajo y de mejoramiento de TOC, como se describe a continuación, se obtuvieron las capacidades de tiempo y mano de obra necesarias para suplir la demanda. El método utilizado es la siguiente:

- Identificar la restricción
- Explotar al máximo la restricción
- Subordinar los demás procesos a la restricción
- Mejorar la restricción
- Reiniciar el ciclo

La línea de empaque de juegos o piezas pintadas tiene un 226% de capacidad utilizada. De hecho, esta situación se ve reflejada en el tiempo extra de 900 horas que se están consumiendo en esa área. Este proceso de empaque trabaja tres turnos al mes de lunes a sábado. Cuenta con cuatro operarios por turno y es una línea que se dedica al empaque de juegos y baterías de la planta de fundición. Un juego está compuesto por más de una pieza individual y una batería es un conjunto de piezas individuales que forman un kit completo de cocina (figura 1).

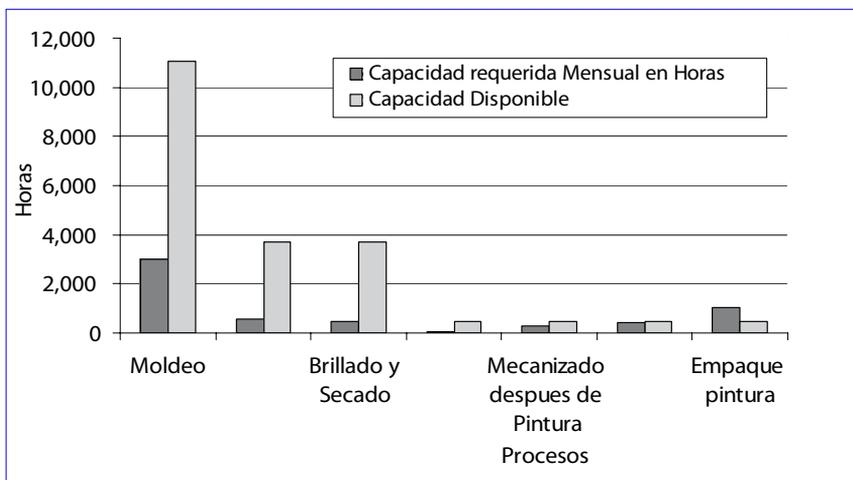


Figura 1. Comparación de capacidades

La línea de empaque tiene como función única empaquetar juegos y baterías. Sin embargo, a pesar de que esta línea tiene una capacidad de trabajo excesiva, a veces es programada también para empaquetar piezas individuales. Esto ocurre cuando se hace una mala programación durante la planeación de la línea de mecanizado.

En la planta de fundición se deben empaquetar las referencias individuales en línea con el mecanizado y la limpieza, lo cual es factible siempre y cuando se haga una programación adecuada de los procesos. Lamentablemente, esto no siempre ocurre. Si se pone atención a los demás procesos de la planta, se puede notar que el resto de líneas tiene una capacidad sobrante de producción entre el 13% y 60%, que se refleja en los inventarios en proceso que tiene la

planta. El inventario en proceso antes de la restricción (empaque pintura) aparece en la tabla 2.

Tabla 2. Inventario en proceso antes de empaque

Producto	Cantidad (unidades)	Valor Total
Total Inventarios en Proceso	42,701	\$311.115.843

El Área de Programación de la Compañía depende del Departamento de Logística y tiene como función la programación de las referencias demandadas en cada máquina y el análisis de las necesidades de recurso humano en cada uno de los procesos. Dicha programación debe tener en cuenta las restricciones del proceso y basar sus proyecciones de entrega y necesidades de recurso sobre esto.

Luego de este estudio y la realización de la matriz de capacidades es posible mejorar la situación de la planta de manera sustancial, sin hacer mayor inversión, aplicando las siguientes oportunidades de mejora:

- Eliminación de la restricción
- Reducción de inventarios
- Cambio del método de programación actual, basado en la restricción.

Propuesta de mejoramiento

De acuerdo con lo expresado y luego de identificar la restricción de empaque en pintura, se hizo una propuesta de implementación de programación Drum, Buffer, Rope (DBR, por sus siglas en inglés) en la restricción encontrada. Para ello se sugiere emplear el sistema de información que posee la organización, teniendo en cuenta que se debe hacer una programación finita hacia atrás y hacia delante respectivamente, y para ello es necesario definir el tiempo de procesamiento de cada pedido, antes de la restricción y posterior a ella, considerando:

- Eliminar la restricción trasladando el personal del área de moldeo hacia el proceso de empaque.
- Determinar los tiempos de preparación y operación para cada pedido en los procesos "aguas arriba" de la restricción, que para el caso son los procesos de moldeo, mecaniza-

do, brillado, pintura y mecanizado después de pintura, si lo requiere el producto en elaboración. A este valor se debe adicionar el valor que se desee en el amortiguador de la restricción.

- Programar la restricción (tabla 4). Para ello se debe tener en cuenta:

a) La liberación de materiales se realiza según la programación finita hacia atrás, contando con los tiempos de proceso antes de la restricción, los tiempos de la restricción y el *buffer* dado a la restricción.

b) Los tamaños de los *buffers* se determinarán empíricamente; para el ejemplo se tomaron 12 horas, que es el tiempo máximo que se ha demorado históricamente la reparación de los equipos de mecanizado antes de la restricción; si hay continuos huecos en el amortiguador, esto indicará que el valor del amortiguador es bajo. Si es totalmente estable, se debe buscar una posible reducción.

c) Realizar la programación de la restricción, partiendo de los pedidos de los clientes y calculando los *buffers* reales. Si existen pedidos con *buffers* negativos o inferiores al valor deseado, se debe buscar la forma de dar prioridad a la utilización de la restricción, atendiendo los pedidos que generen mayor *throughputs* por minuto de operación.

Tabla 3. Algunos tiempos de proceso antes de la restricción y después de la restricción, en minutos.

Producto	Cantidad Pedido (unidades)	Antes de la restricción			Restricción		
		Tiempo de preparación	Tiempo de producción	Tiempo total	Tiempo de preparación	Tiempo de producción	Tiempo total
Caldero 24 cm natural	1,304	160	7,434	7,594	0	3,261	3,261
Caldero 22 cm natural	895	160	5,372	5,532	0	2,238	2,238
Caldero 20 cm natural	989	160	5,865	6,025	0	0	0
Caldero 26 cm natural	1,232	160	6,510	6,670	0	3,081	3,081
Caldero 18 cm natural	1,211	160	6,399	6,559	0	0	0
Caldero 30 cm natural	378	260	2,730	2,990	0	630	630
Caldero 14 cm natural	462	260	3,276	3,536	0	0	0
Caldero 20 cm pintado	199	160	7,940	8,100	0	398	398

El *throughput* de la restricción (empaque) mejoró un 100% con respecto a su estado inicial. Lo que se hizo fue aumentar la capacidad de empaque al doble, llevando la restricción de una capacidad usada de 226% a 100%. De esta forma se eliminaron los tiempos extras y se duplicó la velocidad de empaque. Como el proceso de moldeo tiene una capacidad ociosa del 40%, se escogió personal de esta área y se pusieron cuatro operarios por turno en empaque. Como son dos áreas distintas, el personal de moldeo debe ser entrenado durante un mes, y solo en ese término se pueden obtener los resultados de *throughput* mejorado aquí expuestos.

Como se muestra en la tabla 3, luego de nivelar los procesos y realizar la programación semanal de la planta usando la teoría de DBR, pueden determinarse los inventarios que deberían estar en proceso sin afectar las entregas. Es importante recordar que la pretensión es hallar el estado de los inventarios que la planta debe tener, considerando un método específico. De acuerdo con TOC, no se trata de eliminar los inventarios totalmente, sino de tener un estado de inventario acertado. Para esto se deben obtener unos amortiguadores o *buffers*, para que la planta no pierda reacción ante un pedido urgente o no sufra daños en la máquina. Los amortiguadores que se utilizarán son de tiempo

y estandarizados o escogidos con base en la experiencia. Algunos técnicos designan los amortiguadores como el 30% de la producción semanal o mensual, dependiendo del sistema de programación de la planta; en este caso se ha decidido

recurrir a la experiencia y al conocimiento que se tiene de la planta para designar el amortiguador necesario, que puede ser ajustado en el tiempo, dependiendo de los resultados que se obtengan después de su implementación.

Tabla 4. Programación maestra en la restricción para una semana tipo de Fundición IMUSA

Producto	Cantidad (unidades)	Fecha comienzo	Drum			Buffer	Tiempo aguas arriba de la restricción (horas)	Rope
			Preparación (horas)	Proceso (horas)	Fecha fin	Buffer de la restricción (horas)		
Caldero 24 cm natural	1.304	2007/11/19 00:00	0:00	27,17	2007/11/20 03:10	12	126,57	17/11 00:46
Caldero 22 cm natural	895	2007/11/20 03:10	0:00	18,65	2007/11/20 21:49	12	92,19	15/11 18:58
Caldero 26 cm natural	1.232	2007/11/20 21:49	0:00	25,67	2007/11/21 23:29	12	111,17	15/11 18:39
Caldero 30 cm natural	378	2007/11/21 23:29	0:00	5,25	2007/11/22 04:44	12	49,84	19/11 09:39
Caldero 20 cm pintado	199	2007/11/22 04:44	0:00	3,32	2007/11/22 08:04	12	135,00	16/11 01:44
Caldero 24 cm pintado	291	2007/11/22 08:04	0:00	4,52	2007/11/22 12:35	12	35,05	20/11 09:01
Caldero 36 cm natural	904	2007/11/22 12:35	0:00	19,59	2007/11/23 08:10	12	67,96	19/11 04:37
Caldero 22 cm pintado	262	2007/11/23 08:10	0:00	3,63	2007/11/23 11:48	12	35,23	21/11 08:56
Set de 7 piezas (4 cuerpos y 3 tapas)	137	2007/11/23 11:48	0:00	1,66	2007/11/23 13:28	12	22,07	22/11 01:44
Caldero 26 cm pintado	103	2007/11/23 13:28	0:00	1,24	2007/11/23 14:43	12	17,19	22/11 08:17
Caldero 18 cm pintado	184	2007/11/23 14:43	0:00	2,56	2007/11/23 17:17	12	27,20	21/11 23:31

continúa...

Tabla 4. Continuación

Producto	Cantidad (unidades)	Drum				Buffer	Tiempo aguas arriba de la restricción (horas)	Rope
		Fecha comienzo	Preparación (horas)	Proceso (horas)	Fecha fin	Buffer de la restricción (horas)		Fecha de recibo
Caldero 50 cm natural	86	2007/11/23 17:17	0.00	1,20	2007/11/23 18:29	12	14,84	22/11 14:27
Caldero ovalado pintado	88	2007/11/23 18:29	0:00	1,06	2007/11/23 19:33	12	17,50	22-11 12:59
Caldero 30 cm pintado	42	2007/11/23 19:33	0:00	0,69	2007/11/23 20:15	12	30,33	22-11 01:13
Sartén recto 18 cm Luxury	149	2007/11/23 20:15	0:00	2,07	2007/11/23 21:20	12	20,46	22-11 11:47
Sartén cuadrado Luxury	470	2007/11/23 21:20	0:00	9,79	2007/11/24 07:07	12	28,76	22-11 04:34
Juego de caldero con dos sartenes	56	2007/11/24 07:07	0:00	1,17	2007/11/24 08:17	12	9,42	23-11 09:42
Batería de 8 piezas Luxury	50	2007/11/24 08:17	0:00	1,04	2007/11/24 09:20	12	8,85	23-11 11:26

Con base en la tabla de inventarios después de aplicar DBR, utilizando un tiempo de amortiguador de 12 horas en la restricción y suministrando la materia prima de acuerdo con los tiempos de proceso, antes de la restricción, se obtuvo una reducción de inventario de \$261.356.106 (tabla 5). Esta reducción de inventario mejora sustancialmente el capital de trabajo de la organización, porque dicho capital está definido de acuerdo con la siguiente fórmula:

Capital de trabajo = (Cuentas por cobrar + Inventario) - Cuentas por pagar

Como se deduce de la fórmula, una reducción de inventarios es directamente proporcional a una reducción de capital de trabajo. Para efectos de flujo de caja, este también mejora si se utiliza la siguiente definición:

Flujo de caja = Ebitda - Capital de trabajo - Activos fijos

El flujo de caja se mejora en la misma proporción en que se reducen los inventarios en proceso. Es decir en \$261.356.106.

Tabla 5. Comparativo productos en proceso antes y después de aplicar TOC y programación DBR

Producto	Valor unitario de materia prima	Canti-dad actual (unida-des)	Cantidad proyectada (unidades)	Incremento o reducción en unidades	Incremento (-reducción) valor inventario en proceso
Caldero 24 cm natural	7.286	525	1.304	779	\$5.677.616
Caldero 22 cm natural	7.286	488	895	408	\$2.970.867
Caldero 26 cm natural	7.286	375	1.232	857	\$6.245.924
Caldero 30 cm natural	7.286	338	378	41	\$295.083
Caldero 20 cm pintado	7.286	7.838	199	-7.639	(\$55.654.111)
Caldero 24 cm pintado	7.286	10.350	291	-10.059	(\$73.291.696)
Caldero 36 cm natural	7.286	3.113	904	-2.209	(\$16.091.131)
Caldero 22 cm pintado	7.286	5.075	262	-4.814	(\$35.071.161)
Set de 7 piezas (4 cuerpos y 3 tapas)	7.286	75	137	62	\$453.554
Caldero 26 cm pintado	7.286	7.575	103	-7.472	(\$54.442.814)
Caldero 18 cm pintado	7.286	3.737	184	-3.553	(\$25.887.158)
Caldero 50 cm natural	7.286	38	86	49	\$355.193
Caldero ovalado pintado	7.286	438	88	-350	(\$2.546.457)
Caldero 30 cm pintado	7.286	1.488	42	-1.446	(\$10.535.556)
Sartén recto 18 Cm Luxury	7.286	438	149	-289	(\$2.103.833)
Sartén cuadrado Luxury	7.286	438	470	32	\$234.974
Juego de caldero con dos sartenes	7.286	76	56	-20	(\$143.899)
Batería de 8 piezas Luxury	7.286	300	50	-250	(\$1.821.500)
Total		42.701	6.830	-35.871	(\$261.356.106)

Conclusiones

Los resultados muestran que hay un desequilibrio en los procesos de la planta de fundición, según la capacidad utilizada en cada uno de ellos. Para balancear los distintos procesos, se debe reducir el personal de aquellos procesos donde la capacidad instalada o disponible es mucho mayor que la capacidad restrictiva y, a su vez, aumentar la capacidad de la restricción hasta la necesidad de la demanda actual. Para hacer esto sin aumentar el costo variable de fabricación, se recomienda pasar el personal de moldeo hacia las líneas de empaque de pintura. Las personas que se necesitarían para eliminar la restricción serían cuatro por turno, en total 12 personas. Después de este cambio, la capacidad utilizada de los procesos la ilustra la tabla 6.

Tabla 6. Capacidad utilizada de los procesos después de los cambios

Línea / Proceso	Capacidad
Línea de moldeo	35%
Línea de mecanizado	16%
Línea de limpieza (brillado-secado)	13%
Empaque piezas individuales	94%
Línea de pintura	9%
Línea de mecanizado después de pintura	62%
Empaque juegos y piezas pintadas	100%

La segunda recomendación es entregar los recursos de materiales en el momen-

to adecuado, cuando en verdad se necesitan, ya que en la actualidad se pueden encontrar en la planta inventarios de empaques y accesorios de ensamble esperando su utilización. Este tiempo de espera equivale en promedio a cinco días, lo que afecta el flujo de caja de la planta. Para eliminar ese problema o ineficiencia financiera, se recomienda utilizar la teoría de programación de DBR para obtener un mejoramiento en capital de trabajo, reduciendo inventarios y mejorando el flujo de caja. Este efecto se respalda en los resultados obtenidos en la simulación de la tabla 5.

Los inventarios en proceso resultantes de la simulación utilizada deben ser \$49.737.000, obteniendo una reducción del 84%. Esto ayudará a mantener la planta bajo control. Se puede utilizar este resultado como control dentro de la planta, control que es válido siempre y cuando se mantengan las condiciones de trabajo actuales. Si la restricción dentro de la planta cambia, se debe calcular de nuevo el estado del inventario.

El flujo de caja en la planta se disminuye en \$261.356.106. Es importante tener en cuenta que además de mejorar el flujo de caja utilizando TOC, los inventarios de materia prima se verán reducidos, efecto que no se estudia aquí. Esto se basa en la hipótesis de que cuando se restringe la entrega de inventario con base en la programación DBR, se ocasiona un retraso en el tiempo de compra, disminuyendo los inventarios de mate-

ria prima durante un tiempo y mejorando el flujo de caja de la compañía.

Se recomienda a la empresa invertir inicialmente en los procesos donde la

capacidad utilizada sea mayor. Esos procesos en orden de prioridad son: 1) empaque de pintura, 2) mecanizado después de pintura y 3) moldeo.

Bibliografía

CORBETT, Thomas. *Throughput accounting: TOC's management accounting system*. New York: The North River, 1998. 175p.

GOLDRATT, Eliyahu y Jeff Cox. *La Meta*. Monterrey: El Castillo, 1998. 404 p.

------. *El Síndrome del pajar*. Madrid: Díaz de Santos, 1994. 248 p.

------. *The Production TOC Way*. New York: The North River, 2003. 305 p.

PÉREZ, ARROYAVE, Hernán. Aspectos tácticos en la integración de un sistema híbrido en dirección de operaciones. Escuela de Ingeniería de Antioquia, 2000.

SIPPER, Daniel y Robert Bulfin. *Production: Planning, control and integration*. Florida: McGraw-Hill, 1997. 630 p.