

Teoría de restricciones y modelación PL como herramientas de decisión estratégica para el incremento de la productividad en la línea de toallas de una compañía del sector textil y de confecciones.

Theory of constraints and LP modeling as strategic decision tools for productivity increasing in the towel line of a textile-confection sector company

Miguel Angel Ortíz Barrios¹

¹Ingeniero Industrial Universidad de la Costa. Especialista (c) en Gerencia de producción y Operaciones, Universidad Autónoma del Caribe. Joven investigador Colciencias. Grupo de Investigación Producom. mangelo2008@gmail.com

Recibido 21/01/13, Aceptado 08/04/2013

RESUMEN

Día tras día, las empresas buscan aumentar los niveles de productividad de sus procesos y por ende, la consecución de mejores dividendos en proyección con el tiempo. Para ello, resulta fundamental, la efectiva gestión de las restricciones presentes en un sistema productivo. Hecho por el cual, se requiere direccionar estos recursos hacia la maximización de los niveles de ganancia de la organización. Cabe resaltar, que los fenómenos presentados en los mercados nacionales e internacionales impactan directamente sobre el sistema productivo de las empresas; por lo cual debe verificarse constantemente las distintas posibilidades de gestión operacional, táctica y estratégica que permitan hacerle frente a tales eventos. Por tal motivo, este artículo se ha enfocado en la aplicación de técnicas de optimización combinatoria como la programación lineal y teoría de restricciones para la gestión efectiva del subproceso de confección, recurso cuello de botella del sistema productivo de una empresa textil y de confecciones colombiana afectada por las relaciones aduaneras de nuestro país con la China. La aplicación del estudio genera como resultado la creación de una alianza con un proveedor de maquila nacional para la confección de las toallas "pequeñas" de la compañía; además de la generación de aportes académicos e investigativos.

Palabras clave: Ganancia, Teoría de restricciones, programación lineal, estrategia, cuello de botella, restricción.

ABSTRACT

Day after day, companies look for increasing productivity levels of its processes and hence, the attainment of better dividends in time progression. For this, it's essential to guarantee an effective management of the restrictions contained in a productive system. Act for which, it's required to lead these resources to a maximization of the organization gain levels. Significantly, the phenomena presented at the national and international markets impact as a direct way on the enterprises productive system; for which the various operational, tactic and strategic management possibilities must be explored constantly in order to cope with such events. For this reason, the article has been focused on combinatorial optimization technique application such as linear programming and theory of constraints for the effective management of the confection thread, bottleneck resource of a confection-textile and colombian enterprise productive system affected by the customs relations between our country and China. The application of this study generates as a result the creation of an alliance with a national maquila provider for the company "small" towels confection; besides to the generation of academic and research inputs.

Keywords: Gain, Theory of constraints, linear programming, strategy, bottleneck, restriction.

1. INTRODUCCION

La administración de las restricciones presentes en un sistema productivo trae consigo una directa incidencia sobre el nivel de ingresos de una compañía y su comportamiento en términos de costos y satisfacción del cliente. Lo anterior, requiere del apoyo de herramientas como la Teoría de restricciones (TOC) y la programación lineal (PL), técnicas que permiten gestionar de manera óptima y efectiva la utilización de los distintos recursos que se encuentran sujetos a condiciones de carácter restrictivo.

Tales herramientas, ofrecen soporte para la toma de decisiones multicriterio que se encuentran restringidas bajo condiciones de demanda y capacidad; y de las cuales se exige, como toda acción de mejora, una alineación directa con el crecimiento de la rentabilidad de las compañías.

Todo lo anterior, ha sido analizado a través de la realización de este artículo de investigación, basado en un estudio de caso que cita a una empresa del sector textil y de confecciones; líder en la fabricación de hamacas y también especialista en la fabricación de toallas la cual requiere maximizar su nivel de utilidades en la línea de toallas determinando de qué forma puede administrar su cuello de botella, el subproceso de confección, dado el incremento de la demanda interna de la línea de toallas a causa de las restricciones de entrada sobre productos textiles provenientes de la China, y el requerimiento natural de diferentes tipos de producto de su gama actual. Para ello, se diseñó un modelo PL con el objetivo de maximizar las utilidades bajo las diferentes restricciones del sistema paralelo a la determinación del throughput de productos, filosofía de la teoría de restricciones, en búsqueda de generar políticas de producción amigables para la compañía en términos de cumplimiento, facturación y disminución de costos.

Para el desarrollo de este artículo, es necesario introducir, de manera previa, algunos fundamentos teórico-aplicativos relacionados con la programación lineal (PL) y la teoría de restricciones (TOC). Posteriormente, se estudiará el caso puntual de la empresa textil y de confecciones sobre la cual se aplicaron los modelos anteriormente especificados, evidenciando tanto los resultados obtenidos como las políticas de producción adoptadas como consecuencia de su aplicación; incluyendo, en su contenido, una ambientación de la relación comercial actual entre China y Colombia con enfoque puntual sobre las importaciones de productos textiles generados desde el país oriental.

2. PROGRAMACION LINEAL (PL)

La programación lineal es una de las técnicas más utilizadas en el campo de la investigación de operaciones con un campo aplicativo que se extiende desde las industrias

y fuerzas militares hasta la descripción de patrones de conducta social. Esta herramienta proporciona la optimización combinatoria de una serie de variables restrictivas que generan el mejor escenario de operación dada una función-objetivo establecida [1]. De ahí que el economista Frederick S. Hillier la considera como una técnica de soporte de decisión al expresar que "...trata la planeación de actividades para obtener un resultado óptimo, esto es, el resultado que mejor alcance la meta especificada (según el modelo matemático) entre todas las alternativas de solución" [2]. Por otro lado, otro economista, Richard, I. Levin habló de la optimalidad que se persigue en su aplicación al manifestar que "es una técnica matemática para encontrar los mejores usos de la organización". Además expresó que "el término programación se refiere al uso de ciertas técnicas matemáticas para obtener la mejor solución posible a un problema que involucra recursos limitados" [3]. De lo anterior, se puede precisar su amplio rango de acción a nivel operativo, táctico y estratégico de una organización; evento que se hace posible gracias a la adopción de un modelo matemático que incluye un conjunto de ecuaciones lineales que representan las condiciones reales del problema y una función lineal que expresa el propósito del mismo y que se denomina **función objetivo**.

Para la construcción del modelo de programación lineal (PL) es necesario seguir una serie de pasos que involucra la determinación de variables de decisión, definición de restricciones y formulación de la función objetivo tal como se explica a continuación[4]:

- **Determinación de las variables de decisión:** Las variables de decisión representan los elementos del sistema que pueden ser controlados por el ente decisor. En los modelos lineales continuos, estas variables toman valores reales y se representan por letras con subíndices y_1, y_2 , etc.
- **Determinación de las restricciones:** Las restricciones representan limitaciones en la disponibilidad de determinados recursos así como ciertas imposiciones físicas de la realidad. Se expresan como ecuaciones y/o inecuaciones lineales que se escriben en función de las variables de decisión. Matemáticamente, pueden ser definidas de las siguientes formas:

$$h_i(y) \leq d_i ; h_i(y) \geq d_i ; h_i(y) = d_i$$

Donde h_i es una función lineal en y

- **Formulación de la función objetivo:** Consiste en una función que mide la calidad de una solución que hay que optimizar a través de maximización o minimización según sea el caso.

$$Z (\text{máx}) = f(y) ; Z (\text{min}) = f(y)$$

Por todo lo anterior, la programación lineal tiende a proyectarse como una técnica de optimización utilizada para la resolución de problemas complejos, variables que interactúan entre sí, objetivos competitivos y criterios de efectividad; condiciones que rigen el mundo productivo actual.

3. TEORIA DE RESTRICCIONES (TOC)

La teoría de restricciones también conocida como TOC (Theory of constraints) es una herramienta que fue descrita por primera vez por el doctor en física Eliyahu Goldratt como resultado de la combinación de las técnicas de pensamiento sistémico, teoría de colas y simulación, a través de la cual se han generado mejoras sustanciales en la administración de los recursos restrictivos (cuellos de botella) de las organizaciones empresariales. Sin embargo, la aplicación de la teoría de restricciones involucra un cambio radical a nivel organizacional; de ahí que los ingenieros David Santos, Roberto Santana y Rafael Nuñez expresaran en su libro *Método de la Cadena crítica* que "TOC ofrece a las compañías manufactureras una mejora significativa en productividad de planta y entrega a tiempo." Además manifiesta que "Sin embargo, la obtención de tales ganancias requiere de entrenamiento de personal y cambio de políticas, tanto a nivel de la administración como en la planta" [7].

Esta herramienta tiene como principal foco la administración de los recursos restrictivos o cuellos de botella [8], centro de atención de los esfuerzos de optimización, y que se definen como operaciones que disminuyen la velocidad de los procesos, incrementan los tiempos de espera y reducen la productividad, trayendo como consecuencia final el aumento de costos. A su vez estos recursos generan caídas considerables en la eficiencia del sistema productivo; por lo cual, requieren de su primaria atención al momento de programar la producción de cualquier organización.

Como toda herramienta, TOC sigue una metodología compuesta por una serie de fases que conducen a la plena identificación y administración de los cuellos de botella por lo cual, en primera medida, se requiere identificar las restricciones del sistema (1); luego, es necesario explotar dichas restricciones (2) lo cual implica buscar la mejor forma de obtener la mayor producción posible de la restricción; como siguiente paso, se requiere que se subordine todo a la restricción anterior (3) lo que involucra que todo el esquema debe funcionar al ritmo que marca la restricción. Como cuarto

paso, se deben elevar las restricciones del sistema (4) lo cual hace constar un mejoramiento permanente en el nivel de actividad de la organización. Por último, si en las etapas previas se elimina una restricción, se debe volver al primer paso (5) [9].

TOC enfatiza en el hecho de que el objetivo hoy y siempre de las empresas es: GANAR DINERO, por lo cual toda decisión debe ser evaluada en términos de indicadores de gestión que permitan evidenciar el impacto financiero de cada acción implementada. TOC asume tres indicadores llamados "parámetros de explotación" los cuales son: throughput (velocidad a la cual un sistema productivo genera dinero), inventario (dinero que ha invertido la organización en todas las cosas que pretende vender) y gastos operativos (dinero que invierte la organización en transformar el inventario en ingresos netos) [10]

Throughput = (Utilidad unitaria / tiempo procesamiento en recurso cuello de botella)

El throughput es uno de los principales conceptos que fundamentan la teoría de restricciones. Entre mayor sea su valor, el producto se vuelve más rentable para la compañía por lo cual los esfuerzos de la misma deben concentrarse en su producción [11]. Por el contrario, entre menor sea su valor, el producto alejará a la compañía de su principal meta: LA PRODUCCION CONSTANTE DE DINERO [12]; hecho por el cual debe evitarse su producción al menos que haya tiempo disponible para hacerlo. De aquí se desprende el RANKING POR THROUGHPUT, listado que permite evidenciar qué productos son más convenientes para la compañía además de que deben ser el No. 1 en la tabla de prioridades de fabricación en la misma.

4. CASO DE ESTUDIO

La Gerencia de la compañía mostró su preocupación ante la baja productividad del subproceso de confección (Ver tabla 1) reflejada negativamente en el aumento de pedidos pendientes de la línea de toallas (Ver tabla 2); situación que a su vez causó molestias en el grupo de ventas de la compañía al ver que las entregas eran tardías y los clientes emitían reclamaciones de manera cada vez más constante. Lo anterior, terminó por impactar el nivel de facturación de la organización ya que se afectaba la rotación del producto en el mercado y el nivel de satisfacción de los clientes se afectó hasta tal punto que algunos prefirieron cancelar sus pedidos y establecer negociaciones con otras empresas del sector.

Tabla 1. Comparativo de ritmos de producción en kg/día en el subproceso de confección.

Table 1. Production rhythm comparison at confection Subprocess

| Comparativo de ritmos de producción en kg/día en el subproceso de confección | | | |
|--|----------------|----------------|---------------|
| Mes | 2011 | 2012 | % Variación |
| Febrero | 1549.61 | 1354.56 | -12.59% |
| Marzo | 1953.92 | 2034.8 | 4.14% |
| Abril | 1947.4 | 1712 | -12.09% |
| Mayo | 1837.76 | 1737.02 | -5.48% |
| Junio | 1612.74 | 1907.5 | 18.28% |
| Julio | 1636.6 | 1793.44 | 9.58% |
| Agosto | 1394.6 | 2588.18 | 85.59% |
| Septiembre | 1799.38 | 1614.4 | -10.28% |
| Octubre | 2143.42 | 1232.58 | -42.49% |
| Noviembre | 2327.04 | 1806.28 | -22.38% |
| Diciembre | 1919.94 | 1499.38 | -21.90% |
| PROMEDIO | 1829.31 | 1752.74 | -4.19% |

Tabla 2. Comportamiento del indicador “No. de pedidos pendientes”.

Table 2. Behavior of “Number of backorders” indicator

| Comportamiento del indicador - No. de pedidos pendientes | | |
|--|-------------------|-------------|
| Mes | kg procesados/día | No. Pedidos |
| Agosto | 1793.44 | 176 |
| Septiembre | 2588.18 | 309 |
| Octubre | 1614.4 | 394 |
| Noviembre | 1232.58 | 539 |

Como puede observarse en la tabla 1, el año 2012 presentó una disminución promedio del 4,19% en los kg procesados por el subproceso de confección; situación que se evidenció en 7 de los 11 meses de estudio y que tienen su foco de comportamiento en el periodo Agosto - Noviembre del último año (2012). Precisamente, durante ese tiempo, el número de pedidos pendientes aumento progresivamente (*Ver tabla 2*). Por otro lado, cabe resaltar un evento adicional en este análisis: primero, el mes de agosto del año 2012 presentó un aumento en la productividad del 85,59%; en este mes el 81,32% de la producción total se concentró en la fabricación de toallas 80 x 160 cm, 60 x 120 cm, 50 x 90 cm y 40 x 80 cm representando un número menor de pedidos pendientes con respecto al foco de estudio.

Figura 1. Operaciones del subproceso de confección en la línea de toallas de la empresa en estudio
Figure 1. Operations of confection thread in towel line of the company in study.

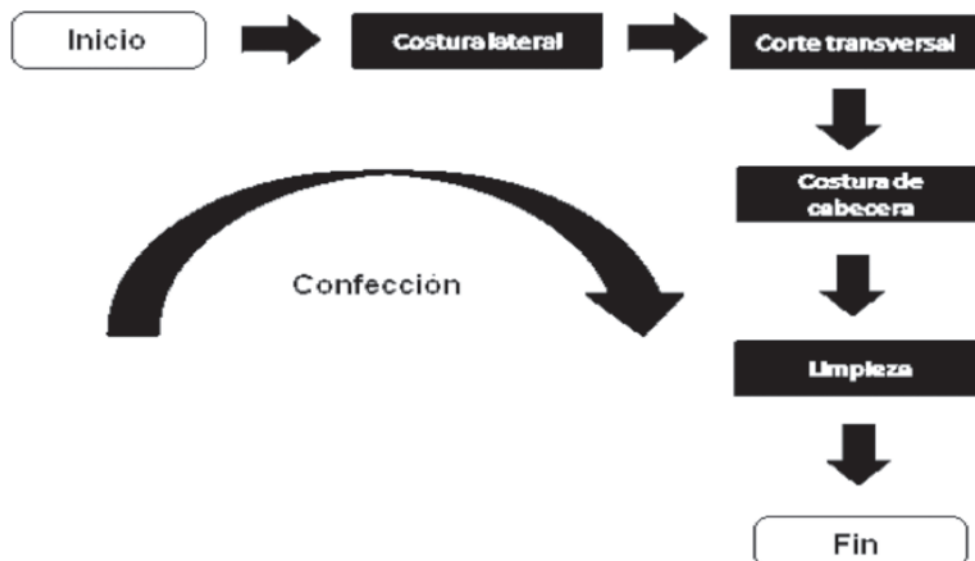


Tabla 3. Ritmo de producción para cada operación de confección según tipo de producto
Table 3. Production rythm for each confection operation according to the type of product

| No. | Referencia | Tp (Min/und-operario) | | | |
|-----|--------------------|-----------------------|-------------------|---------------------|----------|
| | | Costura lateral | Corte transversal | Costura de cabecera | Limpieza |
| 1 | Toalla 40 x 80 cm | 0.43 | 0.059 | 0.75 | 0.67 |
| 2 | Toalla 25 x 50 cm | 0.33 | 0.041 | 0.67 | 0.6 |
| 3 | Toalla 23 x 46 cm | 0.33 | 0.039 | 0.67 | 0.6 |
| 4 | Toalla 55 x 95 cm | 0.6 | 0.071 | 0.79 | 0.5 |
| 5 | Toalla 20 x 20 cm | 0.24 | 0.035 | 0.6 | 0.6 |
| 6 | Toalla 65 x 125 cm | 1 | 0.083 | 1.2 | 0.67 |
| 7 | Toalla 80 x 160 cm | 1 | 0.107 | 1.2 | 0.67 |

Al analizar el subproceso de confección, se aprecia la existencia de un conjunto de operaciones (*Ver figura 2*) guiadas bajo un sistema de producción job-shop flexible que procesa diferentes tipos de producto bajo características de dimensión específica, variables que influyen de manera directa en el tiempo de fabricación de cada una de las estaciones de trabajo mostradas en la figura. Por otro lado, en la tabla 3, se han descrito todos los productos que conforman el portafolio de productos de la organización además de los tiempos de de procesamiento *tp* para cada una de las operaciones de confección anteriormente mencionadas. Con base en esta información recolectada y dada la necesidad de aumentar el nivel de ingresos percibidos por la compañía, se diseñó un modelo de programación lineal (PL) piloto que buscaba maximizar la facturación para un periodo de 5 días de producción con los cuales se finalizaba el mes de mayo 2012. Dicho modelo, se sujetó a restricciones de demanda y capacidad (confección) bajo las cuales se pretendía determinar qué pedidos debían ser fabricados en orden a lograr el objetivo de maximización. Para ello, el subproceso de confección disponía de la siguiente distribución de operarios:

Tabla 4. Distribución de operarios según tarea
Table 4. Operator distribution according to the type of task

| Tipo de operación | No. Operarios |
|---------------------|---------------|
| Costura lateral | 4 |
| Corte transversal | 2 |
| Costura de cabecera | 7 |
| Limpieza | 8 |

En ese momento, se disponía del material necesario para la confección de una serie de pedidos (*Ver tabla 5*) entre los cuales se destaca también la presencia de otros productos denotados como prenda de vestir tipo 1 y prenda de vestir tipo 2 las cuales son procesados en la misma línea de producción. Cabe mencionar que cada prenda de vestir tipo 1 requiere 0,86 min/und en la célula de costura lateral, 1,2

Tabla 5. Listado de pedidos con material disponible para confección
Table 5. List of available material orders for confection

| No. pedido | Descripción | Cantidad (unds) | Precio (\$/und) | Valor total del pedido (\$) |
|------------|------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------------------|
| 1 | Prenda de vestir tipo 1 | 2650 | \$ 3,675.00 | \$ 9,738,750.00 |
| 2 | Toalla 65 x 125 cm | 1500 | \$ 9,956.90 | \$ 14,935,342.50 |
| 3 | Toalla 40 x 80 cm | 30000 | \$ 2,125.01 | \$ 63,750,150.00 |
| 4 | Prenda de vestir tipo 2 | 2512 | \$ 6,675.00 | \$ 16,767,600.00 |
| 5 | Toalla 23 x 46 cm | 19200 | \$ 1,353.00 | \$ 25,977,600.00 |
| 6 | Toalla 65 x 125 cm estampada | 2000 | \$17,850.00 | \$ 35,700,000.00 |
| 7 | Toalla 20 x 20 cm | 11502 | \$ 1,605.00 | \$ 18,460,710.00 |

min/und en costura de cuello (elaborada por la célula de costura de cabecera) y 0.67 min/und en limpieza. Por su parte, las prendas de vestir tipo 2 requieren sólo 0.82 min/und en costura lateral y 0,67 min/und en limpieza.

Diseño del modelo de programación lineal – Subproceso de confección en empresa textil y de confecciones

1. Definición de variables de decisión

X1: No. de muleras a confeccionar en los últimos 5 días del mes de junio – 2012

X2: No. de toallas semiplayera 310 (75 x 150 cm) a confeccionar en los últimos 5 días del mes de junio – 2012

X3: No de toallas de mano 33 x 56 – 310 a confeccionar en los últimos 5 días del mes de junio – 2012

X4: No. de ponchos a confeccionar en los últimos 5 días del mes de junio – 2012

X5: No. de toallas 30 x 50 – 310 a confeccionar en los últimos 5 días del mes de junio – 2012

X6: No. de toallas semiplayera a confeccionar en los últimos 5 días del mes de junio – 2012

X7: No. de toallas faciales 30 x 30 – 450 a confeccionar en los últimos 5 días del mes de junio – 2012

2. Definición de la función objetivo

Cada producto aporta unitariamente el valor de su precio (Ver Tabla 5) a la función de maximización descrita para la facturación de los últimos 5 días del mes de junio:

$$Z (\text{máx}) = 2450 X1 + 6637,93 X2 + 1416,67 X3 + 4450 X4 + 902 X5 + 11900 X6 + 1070 X7$$

3. Definición de restricciones estructurales

Demanda:

Las restricciones de demanda están limitadas por la cantidad pedida por los clientes según lo descrito en la Tabla 5 y la aceptación de despachos parciales:

$$X1 \leq 2650 \text{ unidades de mulera}$$

$$X2 \leq 1500 \text{ unidades de toalla semiplayera 310 (75 x 150 cm)}$$

$$X3 \leq 30000 \text{ unidades de toalla de mano 33 x 56 - 310}$$

$$X4 \leq 2512 \text{ unidades de poncho}$$

$$X5 \leq 19200 \text{ unidades de toalla 30 x 50 - 310}$$

$$X6 \leq 2000 \text{ unidades de toalla semiplayera}$$

$$X7 \leq 11502 \text{ unidades de toalla facial 30 x 30 – 450}$$

Capacidad productiva en el subproceso de confección

Las restricciones de capacidad para cada una de las operaciones del subproceso de confección están descritas de tal manera que cada unidad de producto involucrado tiene un consumo de tiempo unitario dado por la división entre el tiempo de pro-

cesamiento unitario/operario (Ver Tabla 3) y el número de operarios disponibles en cada operación (Ver Tabla 4) sujetos a la disponibilidad de 3450 min de operación dada por una jornada laboral de 11,5 h que se extiende por los 5 días de estudio.

Capacidad en costura lateral:

$$0.21 X1 + 0.25 X2 + 0.08 X3 + 0.12 X4 + 0.08 X5 + 0.25 X6 + 0.06 X7 \leq 3450 \text{ min}$$

Capacidad en corte transversal:

$$0.0415 X2 + 0.0205 X3 + 0.0195 X5 + 0.0415 X6 + 0.0175 X7 \leq 3450 \text{ min}$$

Capacidad en costura de cabecera:

$$0.17 X2 + 0.1 X3 + 0.17 X4 + 0.095 X5 + 0.17 X6 + 0.08 X7 \leq 3450 \text{ min}$$

Capacidad en limpieza:

$$0.041 X1 + 0.083 X2 + 0.0375 X3 + 0.041 X4 + 0.0375 X5 + 0.083 X6 + 0.0375 X7 \leq 3450 \text{ min}$$

4. Definición de la restricción de no negatividad

$$X1, X2, X3, X4, X5, X6, X7 \geq 0$$

5. RESULTADOS

Al desarrollar el modelo de programación lineal diseñado para maximizar la facturación de los últimos 5 días del mes de mayo (2012) en el subproceso de confección de la empresa estudiada, se evidencia que el programa recomienda no procesar los pedidos No. 5 y 7 (La cantidad a producir dictada por el programa se considera despreciable para un envío parcial). Además, sugiere hacer envío parcial de los pedidos No. 3 y 1 correspondiente a 24278 unds (80.92%) y 1577 unds (59.5%). Al analizar estos resultados, resulta interesante encontrar que los pedidos descartados por el programa corresponden a las toallas pequeñas (20 x 20 cm, 23 x 46 cm) consignadas en el portafolio de productos de la compañía. Esto, adicional al hecho, de que el pedido recomendado para despacho parcial también corresponde a este tipo de productos (40 x 80 cm); lo cual lleva a concluir que para maximizar la facturación de la compañía en su recurso cuello de botella, resulta atractivo enfocarse en toallas de mayor tamaño (65 x 125 cm).

Como complemento al modelo de programación lineal desarrollado, se decidió la implementación de una nueva herramienta, la teoría de restricciones (TOC), en la búsqueda de establecer conclusiones más acertadas sobre el comportamiento descrito en la utilización de la estrategia anterior. Para ello, se obtuvo el throughput de cada uno de los productos mencionados en la tabla 6 obteniéndose los siguientes datos enlistados en la tabla 6 donde se evidencia además el ranking de throughput obtenido.

Tabla 6. Ranking de productos por throughput
Table 6. Product ranking by throughput

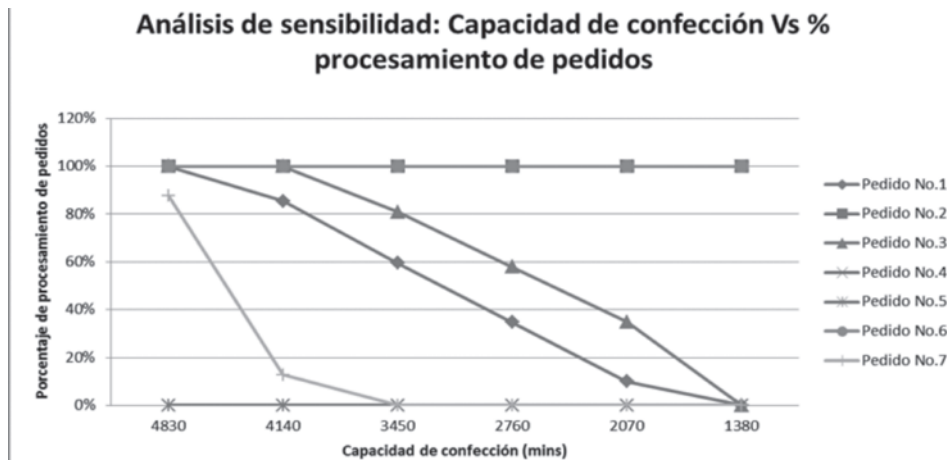
| No. pedido | Descripción | Cantidad (unds) | Tiempo de fabricación (min/und) | | | | Precio (\$/und) | Throughput (\$/min) | Ranking |
|----------------------------------|------------------------------|-----------------|---------------------------------|-------------------|---------------------|----------|-----------------|---------------------|---------|
| | | | Costura lateral | Corte transversal | Costura de cabecera | Limpieza | | | |
| 1 | Prenda de vestir tipo 1 | 2650 | 0.21 | | | 0.041 | \$ 3,675.00 | \$17,500.00 | 6 |
| 2 | Toalla 65 x 125 cm | 1500 | 0.25 | 0.0415 | 0.17 | 0.083 | \$ 9,956.90 | \$39,827.60 | 2 |
| 3 | Toalla 40 x 80 cm | 30000 | 0.08 | 0.0205 | 0.1 | 0.0375 | \$ 2,125.01 | \$21,250.10 | 4 |
| 4 | Prenda de vestir tipo 2 | 2512 | 0.12 | | | 0.17 | \$ 6,675.00 | \$39,264.71 | 3 |
| 5 | Toalla 23 x 46 cm | 19200 | 0.08 | 0.0195 | 0.1 | 0.0375 | \$ 1,353.00 | \$13,530.00 | 7 |
| 6 | Toalla 65 x 125 cm estampada | 2000 | 0.25 | 0.0415 | 0.17 | 0.083 | \$17,850.00 | \$71,400.00 | 1 |
| 7 | Toalla 20 x 20 cm | 11502 | 0.06 | 0.0175 | 0.08 | 0.0375 | \$ 1,605.00 | \$20,062.50 | 5 |
| Capacidad total requerida | | | 6453.2 | 2778.4 | 6642.78 | 2778.4 | | | |

De la tabla 6, se infiere que los productos con mayor throughput (Pedidos No. 6, 2 y 4) habían sido recomendados por el programa para su procesamiento y entrega completa. Por otro lado, los puestos 4 y 5 en el ranking throughput correspondientes a los pedidos No. 3 y 1 fueron sugeridos para su procesamiento y entrega parcial con mayor porcentaje de cumplimiento en el pedido con mayor posicionamiento en el ranking.

Tabla 7. Análisis de sensibilidad: Capacidad de confección Vs % procesamiento de pedidos
Table 7. Sensitivity Analysis: Confection capacity Vs Percentage of order processing

| Capacidad de confección (min) | Pedido No. 1 | Pedido No. 2 | Pedido No. 3 | Pedido No. 4 | Pedido No. 5 | Pedido No. 6 | Pedido No. 7 |
|-------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 4830 | 100% | 100% | 100% | 100% | 0% | 100% | 87.80% |
| 4140 | 85.40% | 100% | 100% | 100% | 0% | 100% | 12.80% |
| 3450 | 59.51% | 100% | 80.93% | 100% | 0% | 100% | 0.02% |
| 2760 | 34.72% | 100% | 57.93% | 100% | 0% | 100% | 0% |
| 2070 | 9.92% | 100% | 34.93% | 100% | 0% | 100% | 0% |
| 1380 | 0% | 100% | 0% | 100% | 0% | 100% | 0% |
| Ranking throughput | 5 | 2 | 4 | 3 | 7 | 1 | 6 |

Figura 2. Análisis de sensibilidad: Capacidad de confección Vs % procesamiento de pedidos
Figure 2. Sensitivity Analysis: Confection capacity Vs Percentage of order processing

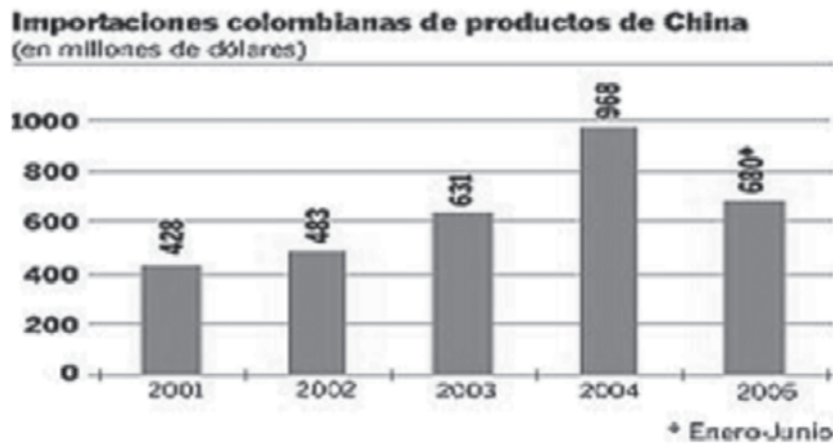


Por otro lado, se quiso establecer cuál sería el comportamiento de la variable “porcentaje de procesamiento de pedidos” con respecto a los diferentes cambios que pudiera experimentar la variable restrictiva “capacidad de confección” bajo la presencia de los mismos pedidos. Lo anterior, condujo a la elaboración de un análisis de sensibilidad derivado del modelo de programación lineal (PL) diseñado, el cual presenta sus resultados en la Tabla 7, a partir de la cual se infiere que a medida que el valor de la restricción disminuye, la solución óptima tenderá a recomendar la elaboración, en mayor porcentaje, de productos con una mejor posición en el ranking de throughput; hecho que se evidencia al analizar el comportamiento del pedido No. 7, el cual no es recomendado por el modelo si la disponibilidad en confección es igual o menor a 2760 min (4 días). Mientras tanto, el pedido No. 3 va disminuyendo en su porcentaje de procesamiento a medida que decrece la disponibilidad de capacidad en confección; caso contrario ocurre con los productos con mayor posición en el ranking (6, 2 y 4) los cuales serán los últimos en ser descartados por el modelo en caso que la condición restrictiva de capacidad siga disminuyendo.

6. IMPORTACIONES DE PRODUCTOS TEXTILES DESDE LA CHINA HACIA COLOMBIA

Los resultados arrojados tanto por el modelo de programación lineal y la teoría de restricciones (TOC) coinciden en el hecho de que el procesamiento de toallas “pequeñas” en el subproceso de confección afecta negativamente el nivel de facturación caso contrario a las toallas “grandes” cuyo efecto es ampliamente beneficioso. Sin embargo, en los últimos dos años, las toallas pequeñas han tenido un aumento exponencial en su demanda (aprox. un 300%) convirtiéndose en el producto de mayor requerimiento actual en la compañía. Dicho fenómeno tuvo su origen en una serie de restricciones aduaneras impuestas por el gobierno nacional desde el año 2004 la cual según el diario *El país* “...consiste en aplicar un impuesto adicional de hasta un 87%, a las importaciones de un grupo de productos chinos.” [13]. En otro de sus apartes también manifiesta que “las importaciones de telas chinas pasaron de US\$16 millones a \$400 millones” hecho que también se ve reflejado en la figura 5 con el aumento alarmante de las exportaciones desde China del año 2002 en comparación con el año 2003 y el ritmo que venía registrando en el 2005.

Figura 3. Importaciones colombianas de productos de China
Figure 3. Colombian imports of chinese products



Fuente: El País (2006)

7. CONCLUSIONES

- La aplicación de metodologías de optimización combinatoria tales como la Teoría de Restricciones (TOC) y la programación lineal (PL) permite la detección de ineficiencias en la gestión de los recursos restrictivos presentes en los sistemas productivos, garantizando la toma efectiva de decisiones estratégicas, tácticas y operativas guiadas bajo condiciones óptimas de operación. Estas técnicas evitan la adopción de prácticas inadecuadas en el manejo

de las operaciones de una compañía, razón por la cual muchas de estas organizaciones ven reducido su nivel de utilidades dada la disminución de los ingresos y/o aumento de los costos operacionales correspondientes.

- El artículo explora como la compañía logra diseñar estrategias de optimización multicriterio a través de los resultados arrojados por los análisis de restricción y sensibilidad que a su vez se tradujeron en la maximización de beneficios financieros para la organiza-

ción, tal como se evaluó en el modelo de programación lineal.

- Además de los anteriores resultados, se lograron establecer las siguientes conclusiones:
- Los resultados arrojados por las herramientas de optimización combinatoria utilizadas en este estudio (programación lineal y teoría de restricciones) permitieron evidenciar el impacto negativo generado por la fabricación de toallas pequeñas caso contrario al gran beneficio generado por el procesamiento de toallas de mayor dimensión, teniendo en cuenta al subproceso de confección como el recurso cuello de botella del sistema productivo; el cual deberá maximizarse en su aprovechamiento para garantizar la consecución de las mejores utilidades posibles. De ahí que las cantidades de un pedido serán significativas siempre y cuando el producto sea significativo para la compañía.
- Como aporte investigativo, se demostró que la programación lineal (maximización) y la teoría de restricciones resultan en el mismo punto de convergencia dada su naturaleza de optimización combinatoria; hecho por el cual, siempre buscarán las condiciones restrictivas que permitan el logro del pico máximo en generación de dinero para las compañías.
- Se evidenció también, que la solución óptima del modelo de programación lineal siempre tenderá a la elaboración, en mayor porcentaje, de los pedidos cuyos productos estén en las posiciones más altas del ranking de throughput. Hecho por el cual, a medida que la disponibilidad de capacidad en confección disminuya, el modelo preferirá descartar la utilización de recursos (tiempo de confección) en el procesamiento de productos con poca velocidad en la generación de dinero para la compañía.
- Finalmente, es importante destacar que si bien este estudio generó grandes aportes para la toma de decisiones estratégicas en la compañía, aún existen oportunidades de mejora en los niveles táctico y operativo de la organización, situación que permitirá la creación de nuevos proyectos de mejora y por ende, la generación de nuevos beneficios económicos.

REFERENCIAS

- [1] Maroto C., Alcaraz J., Ruiz R., Investigación Operativa, modelos y técnicas de optimización, Editorial Universidad Politécnica de Valencia., Valencia, 2002.
- [2] Hillier F., Hillier M., Métodos Cuantitativos para Administración 3ª edición. McGraw-Hill, México D.F., 2008.
- [3] Levin R., Estadística para administración y economía 7ª edición. Editorial Prentice Hall, México D.F., 2004.
- [4] Ruz J.J. (2012) Tema1: Modelos lineales de optimización con variables continuas [Internet], Universidad Complutense Madrid. Disponible desde: <<http://www.fdi.ucm.es/profesor/jjruz/MasterUned/Documentos%20en%20aLF/Tema%201.pdf>> [Acceso 3 de enero de 2013]
- [5] Taha A., Investigación de Operaciones, Editorial Prentice Hall., Bogotá, 2004
- [6] Arreola J., Arreola A., Programación lineal: Una introducción a la toma de decisiones cuantitativa, Editorial Thomson., Mexico D.F., 2003.
- [7] Santos D., Santana R., Nuñez, R., Método de la Cadena Crítica aplicado a Construcciones Civiles 1ª edición. Editorial Intec. Santo Domingo, 2012
- [8] Trujillo, F. (2004) Propuesta de un modelo financiero, basado en la teoría de restricciones (TOC) y el throughput accounting, para la pequeña y mediana industria. Tesis de Maestría, Universidad de Oriente, 2004.
- [9] Silva Cortés, N. (2012) Aproximación a la optimización en la planeación y gestión en organizaciones públicas bajo la Teoría de restricciones (TOC) – Caso de Estudio CRC. Tesis de Maestría. Universidad del Rosario, 2012.
- [10] Cabarcas Reyes J., Ardila F y Mejía M. T., Mejoramiento del flujo y aumento de la capacidad de prestación de servicios de un taller de reparación y mantenimiento automotriz, a través de estrategias basadas en los principios de la teoría de restricciones., Prospectiva, 8 (2), 45-54, 2010.
- [11] Gonzáles P., Escobar J.W., Teoría de las restricciones (TOC) y la mecánica Throughput Accounting (TA). Una aproximación a un modelo gerencial para toma de decisiones: Caso Compañía de Cementos Andinos S.A. Cuad. contab, 7(24), 209-228, 2008
- [12] Daza F.J., Salcedo R.H., González M. (2008). Diseño de un modelo de cotización basado en la teoría de restricciones para la empresa Calidad Gráfica LTDA ubicada en la ciudad de Barranquilla (Colombia). Tesis de Maestría. Universidad del Norte, 2008
- [13] Diario El país. (2005) Freno a la avalancha de textiles chinos [Internet], Cali. Redacción y agencias. Disponible desde: <<http://historico.elpais.com.co/paionline/notas/Agosto202005/A620N1.html#>> [Acceso 3 de enero de 2013].