

PROCEDIMIENTO PARA LA PROGRAMACIÓN Y CONTROL DE LA PRODUCCIÓN DE UNA PEQUEÑA EMPRESA

PROCEDURE FOR THE SCHEDULING AND MANUFACTURING CONTROL OF A SMALL BUSINESS

Viviana K. Ortiz-Triana^{1,*}, Álvaro Jr. Caicedo-Rolón²

RESUMEN

El propósito del presente artículo fue diseñar un procedimiento para la programación y control de la producción de una pequeña empresa de calzado ubicada en la ciudad de San José de Cúcuta. Para realizar la programación de la producción se aplicó la teoría de restricciones en conjunto con la investigación de operaciones específicamente la técnica de programación lineal. Se identificaron las restricciones del sistema productivo para el desarrollo de un modelo matemático, que determinó las cantidades óptimas de fabricación, maximizando el throughput (utilidades, o precio de venta menos costo de materiales) para un período de tiempo dado. A partir del modelo matemático se plantea un procedimiento para la programación y control de la producción de una pequeña empresa de calzado, el cual se validó mediante pruebas de hipótesis, comparando los datos reales de la producción durante el periodo de estudio con el procedimiento actual y los datos planificados desde el procedimiento propuesto, obteniendo como resultado que el procedimiento diseñado permite alcanzar un mayor throughput, disminución en los costos de inventarios y tiempos de entrega, logrando satisfacer la demanda en su totalidad. Este procedimiento, puede implementarse en pequeñas empresas de calzado que presenten las mismas características del caso de estudio.

Palabras clave: Procedimiento, programación de la producción, optimización, teoría de restricciones (TOC), programación lineal, sector calzado.

ABSTRACT

The purpose of this paper was to design a procedure for the scheduling and manufacturing control of a small shoe business located in the city of San Jose de Cucuta. The scheduling was done applying the theory of constraints, together with the operations research, specifically the linear programming technique. The system constraints were identified to develop a mathematical model that determined the optimal quantities of manufacturing, maximizing the throughput (profits, or selling price minus cost of materials) for a certain period. From the mathematical model a procedure for the scheduling and manufacturing control of a small shoe business was made, which was validated by hypothesis testing, comparing real manufacturing data during the

¹Grupo de Investigación en Productividad y Competitividad (GIPyC), Departamento de procesos industriales, Plan de estudios de Ingeniería Industrial, Universidad Francisco de Paula Santander, San José de Cúcuta, Colombia.

²Grupo de Investigación en Productividad y Competitividad (GIPyC), Departamento de procesos industriales, Plan de estudios de Ingeniería Industrial, Universidad Francisco de Paula Santander, San José de Cúcuta, Colombia.

* Autor para correspondencia: vivianakarolinaot@ufps.edu.co

Recibido: 10.03.2014 Aceptado:30.12.2014

period of study with the actual procedure and the planning data from the proposed procedure, obtaining as a result that the procedure designed can achieve a higher throughput, reducing inventory costs and delivery times, managing to meet the demand in full. This procedure could be implemented in small shoe businesses that have the same characteristics of the case study.

Keywords: Procedure, scheduling, optimization, theory of constraints (TOC), linear programming, footwear sector.

INTRODUCCIÓN

La programación de la producción, o scheduling, es una respuesta operativa para optimizar la producción de un bien o servicio. Existen diversas técnicas de programación de la producción (Herrera, 2011). Muchos investigadores reconocen que los problemas de scheduling pueden ser resueltos óptimamente utilizando técnicas de programación matemática (Jain & Meeran, 1998). Hoy en día, la investigación de operaciones es una herramienta dominante e indispensable para tomar decisiones (Taha, 2004); la importancia de su aplicación radica en su fortaleza para modelar y resolver problemas complejos y de gran escala (Alvarado, 2011). La teoría de restricciones (TOC) se centra en administrar activamente las restricciones que impiden el progreso de la empresa hacia su meta; ganar dinero hoy y en el futuro (Krajewski et al., 2008). Las restricciones del sistema establecen su throughput, que se define como el dinero que entra a la empresa menos el que se paga a sus proveedores (Corbett, 2001).

Para programar la producción de marquillas estampados por transferencia térmica, se implementó un procedimiento basado en algoritmos evolutivos, obteniendo un mejoramiento considerable en los indicadores de desempeño de la línea de producción (Vargas & Montoya, 2008). Orejuela et al. (2010) han indicado a través de una propuesta metodológica para la programación de la producción en las PYMES del sector artes gráficas, que las estrategias direccionadas al desarrollo de las PYMES deben ser flexibles y de fácil implementación. Respecto a investigaciones apoyadas en modelos matemáticos, se encuentra el de una fábrica de calzado, donde se propuso un modelo de programación lineal entera para resolver un problema de planificación agregada de la producción, obteniendo una mejora de las utilidades en un 8% (Álvarez, 2009). En una empresa de calzado en Cúcuta, se realizó una programación de la producción por medio del modelo de la teoría de restricciones, obteniendo las cantidades óptimas a fabricar por semana, maximizando las utilidades (Parra, 2011).

El proceso de planificación y programación no está acompañado de herramientas que permitan eficiencia y eficacia en el desarrollo de sus operaciones; una errónea programación tiene efectos importantes en pérdida de eficiencia, productividad y aprovechamiento de la materia prima, incidiendo en los costos de producción (Romero et al., 2004). Es necesario que las empresas empiecen el camino de la mejora continua implantando un correcto sistema de programación de la producción (Álvarez et al., 2004). Herrmann (2007) manifiesta que “desafortunadamente, muchos productores tienen sistemas de programación de la producción inefectivos”. Herrera et al. (2007) evidenciaron que la empresa PYME del sector calzado presenta una producción del 95.79% de la capacidad disponible, identificando pérdidas de tiempo, productividad y competitividad.

El sector calzado es un sector industrial estratégico (Asociación Colombiana de Industriales de Calzado, el Cuero, y sus Manufacturas (ACICAM), 2000; Comisión Regional de Competitividad de Norte de Santander (CRCNS), 2010). De acuerdo a la Cámara de Comercio de Cúcuta (CCC), en el 2012 el eslabón de transformación de la cadena del calzado y marroquinería del Área Metropolitana de Cúcuta está compuesto por 359 empresas, de las cuales 42,62% corresponde a fabricantes de calzado de cuero, y 22,56% a los fabricantes de calzado de otros

tipos. Dentro de las necesidades del sector, se destaca la de capacitar al empresario de calzado (Estrada et al., 2006; Gobernación del Norte de Santander (GNS), 2010; GNS, 2011) en cuanto a habilidades técnicas de planificación, programación y control de la producción e inventarios, por medio de herramientas informáticas (Niño, 2011). El objetivo de esta investigación es diseñar un procedimiento para la programación y control de la producción de una pequeña empresa de calzado, que permita darle un uso adecuado de sus recursos productivos, disminuyendo los tiempos de entrega de sus productos, cumpliendo con los compromisos adquiridos con el cliente.

METODOLOGÍA

La unidad de estudio es una pequeña empresa de calzado adscrita a ACICAM, ubicada en la ciudad de San José de Cúcuta, Colombia. Su producción alcanza los 21.282 pares anuales distribuidas entre los 76 productos que allí se elaboran. La empresa cuenta con las siguientes características; las cuales comparte con 33 pequeñas empresas, también adscritas a ACICAM y que se encuentran ubicadas en el área metropolitana de Cúcuta (Rangel, 2013): 1) Busca otras alternativas de mercado. 2) Tiene una capacidad de producción superior a 2000 pares mensuales. 3) Genera más de 15 empleos directos. 4) Participa en ferias de calzado a nivel nacional. 5) Compite en el mercado a nivel nacional. 6) Maneja un proceso u operación con terceros. 7) Las operaciones del proceso son similares. 8) Cuenta con un promedio entre 11 y 50 trabajadores. 9) Producciones en 100% cuero y 100% sintético. 10) Mano de obra especializada. 11) Necesita una herramienta básica para la planeación, programación, y control de la producción.

Para desarrollar un programa óptimo de producción se aplicó TOC junto con la investigación de operaciones, específicamente la técnica de programación lineal. La TOC se centra en el papel que juegan las restricciones en los sistemas con el fin de mejorar el desempeño del mismo hacia la meta. Las restricciones pueden ser de recursos internos, de mercado y de políticas. Los pasos de la TOC son cinco (Goldratt & Cox, 2003): 1) Identificar los cuellos de botella del sistema. 2) Decidir cómo explotar los cuellos de botella. 3) Subordinar todo lo demás a la decisión anterior. 4) Elevar los cuellos de botella del sistema. 5) Si en uno de los pasos anteriores se ha roto un cuello de botella, regresar al paso 1 de nuevo. Mediante la aplicación de la investigación de operaciones se desarrolla el paso 1 de la TOC. Las fases principales de la implementación de la investigación de operaciones comprenden: la definición del problema, la construcción del modelo, la solución del modelo, la validación del modelo, y la implementación de la solución. En la investigación de operaciones no se tiene una sola técnica general con la que se resuelvan todos los modelos matemáticos que surgen en la práctica; sin embargo, en la opinión del autor la técnica más importante de investigación de operaciones es la programación lineal (Taha, 2004).

Luebbe y Finch (1992) en su estudio proponen aplicar el procedimiento de la Teoría de restricciones usando el enfoque de programación lineal. Asimismo, Balakrishnan & Cheng (2000) al hacer una revisión del tema, concluyeron que: "la programación lineal puede ser vista como una herramienta importante para asegurar que los principios de la Teoría de restricciones son aplicados correctamente e incrementan el throughput eficientemente"; el modelo de programación lineal, como en cualquier modelo de investigación de operaciones, tiene tres componentes básicos: las variables de decisión que se trata de determinar, el objetivo (la meta) que se trata de optimizar, y las restricciones que se deben satisfacer (Taha, 2004).

El sistema de programación desarrollado por TOC tiene su propio método específico; el método tambor, amortiguador, cuerda (TAC). Los principales pasos del método TAC (Chapman, 2006) son: 1) Identificar la restricción en la operación. 2) explotar la restricción. 3) desarrollar un

diagrama de Gantt para la operación de restricción. 4) calcular el tamaño apropiado de los amortiguadores. 5) desarrollar un programa de liberación de materia prima. 6) determinar la fecha de envío del producto. 7) en cuanto a los centros de trabajo que no han sido identificados como centro de control, el trabajo se puede volver a realizar tan pronto como haya disponibilidad.

La estructura del procedimiento se ajustó de acuerdo a la guía técnica colombiana GTC-ISO/TR10013 directrices para la documentación del sistema de gestión de calidad (Instituto Colombiano de Normas Técnicas, 2002), ya que la empresa se encuentra buscando nuevos mercados; especialmente en el exterior, y la gerencia podría estar interesada en adoptar algún sistema de gestión de calidad en el futuro.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Procedimiento para la programación y control de la producción

Objetivo: describir en forma precisa y ordenada las actividades requeridas para la programación y control de la producción de calzado.

Alcance: el procedimiento inicia con la identificación de los requerimientos de la demanda y termina con la entrega de productos a despachos, y el manejo de devoluciones.

Condiciones generales

1. Se debe conocer: los requerimientos de la demanda, la capacidad de producción y los tiempos de entrega de materiales y sus tasas de consumo.

2. En la ejecución del programa de producción se debe considerar: 1) Si es oportuno asignar una o varias órdenes de producción a un mismo operario. 2) No asignar órdenes de producción si se encuentra algún material o pieza faltante. 3) Determinar el tamaño de los lotes de proceso, y lotes de transferencia. Determinar el tamaño del amortiguador. 4) Si es pertinente dividir el lote de producción entre el número de operarios disponibles.

3. Si alguna máquina se descompone se debe: Asignar las órdenes de producción correspondientes a otra máquina, y/o distribuir las entre las máquinas que se encuentren disponibles.

4. Se debe: 1) Tener proveedores confiables y/o ejecutar acciones que permitan garantizar la disponibilidad de los materiales. 2) Tener subcontratistas y/o satélites de producción confiables, y/o ejecutar acciones que permitan garantizar el cumplimiento de los compromisos adquiridos.

5. La programación de la producción considera: La implementación de turnos de trabajo flexibles.

6. Tenga en cuenta que: Para hacer un uso adecuado del documento de trabajo denominado modelo matemático, se recomienda tener conocimientos previos en Microsoft Excel y su complemento Solver. Además, manejar algún software de investigación de operaciones, como WinQSB o LINGO.

El procedimiento diseñado requiere de la ejecución de una serie de pasos que se observan en la figura 1, y se presentan detalladamente en la tabla 1.

Tabla 1. Procedimiento para la programación y control de la producción en una pequeña empresa

Paso No.	Breve descripción
1	<p>Se debe recolectar la siguiente información: requerimientos de la demanda, tiempos requeridos para la fabricación de los pedidos, tiempo disponible para la fabricación de los productos, disponibilidad y requerimiento de materiales y el throughput por producto (precio de venta – costo de materiales), ya que esta información es requerida por el modelo matemático para realizar la programación de la producción.</p>
2	<p>Se ingresan los datos correspondientes, y se procede a calcular las cantidades de productos que van a ser fabricadas. El modelo matemático se muestra a continuación:</p> <p>Definición de variables de decisión del programa óptimo de producción Donde: C_{ij} = Cantidad de pares de zapatos tipo i a fabricar en el periodo j i: Índice que identifica el tipo de calzado a fabricar, donde $i = 1, 2, \dots, M$ j: Índice que identifica el período de producción, donde $j = 1, 2, \dots, N$</p> <p>Definición de parámetros constantes del modelo Donde: U_i = Utilidad o throughput por par de zapatos tipo i fabricados, donde: $i = 1, 2, \dots, M$ D_{ij} = Demanda en pares de zapatos tipo i en el período j, donde: $i = 1, 2, \dots, M$ y $j = 1, 2, \dots, N$ P_{ij} = Cantidad mínima de pedido en pares de zapatos tipo i en el período j, donde: $i = 1, 2, \dots, M$ y $j = 1, 2, \dots, N$ T_{it} = Tiempo requerido (en minutos) por par de zapatos tipo i, para cada operación tipo t donde: $i = 1, 2, \dots, M$ y $t = 1, 2, \dots, T$ T_{tj} = Tiempo total disponible (en minutos), para cada operación tipo t en el período j, donde: $t = 1, 2, \dots, T$ y $j = 1, 2, \dots, N$ t: Índice que identifica el tipo de operación a realizar, donde $t = 1, 2, \dots, T$ Cp_{ij} = Cantidad de pares de producto tipo i que el subcontratista puede procesar en el período j, donde: $i = 1, 2, \dots, M$ y $j = 1, 2, \dots, N$ TM_{ki} = Consumo de cada material tipo k requerido, en sus respectivas unidades, por par de zapatos tipo i, donde: $k = 1, 2, \dots, K$ y $i = 1, 2, \dots, M$ k: Índice que identifica el tipo de material requerido, donde $k = 1, 2, \dots, K$ M_{kj} = Cantidad disponible de cada material tipo k, en sus respectivas unidades, para la fabricación de calzado en el período j, donde: $k = 1, 2, \dots, K$ y $j = 1, 2, \dots, N$</p> <p>Función objetivo Para el modelo matemático el objetivo propuesto es maximizar la utilidad o throughput, la cual viene dada por la expresión 1:</p> $\text{Max } Z = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N U_i * C_{ij} \quad (1)$

Paso No.	Breve descripción
	<p>Mientras que en el propuesto por Orejuela <i>et al.</i> (2010), consideraron el objetivo de minimizar la fecha de terminación del último trabajo (makespan o lapso), que permite definir las fechas de entrega de los pedidos.</p> <p>Restricciones del problema El modelo matemático tiene en cuenta las limitaciones de: demanda, cantidad mínimo de pedido, capacidad, disponibilidad de materiales, y la restricción de no negatividad.</p> <p>Restricción de demanda Los valores de la demanda fueron extraídos de las órdenes de pedido de la feria de calzado realizada en II semestre de 2011.</p> $C_{ij} \geq D_{ij} \quad i = 1,2,\dots,M; j = 1,2,\dots,N \quad (2)$ <p>Restricción de cantidad mínima de pedido Las cantidades mínimas de pedido fueron establecidas por política de la alta dirección, y representan el monto mínimo que debe recibirse de un producto para poder ser enviado a producción.</p> $C_{ij} \geq P_{ij} \quad i = 1,2,\dots,M; j = 1,2,\dots,N \quad (3)$ <p>Restricción de capacidad La restricción de capacidad para cada una de las operaciones tipo t se representa en la siguiente ecuación.</p> $\sum_{i=1}^N T_{it} * C_{ij} \leq T_{tj} \quad \forall t = 1,2,\dots,T; j = 1,2,\dots,N \quad (4)$ <p>Restricción de capacidad de tejido Esta operación es subcontratada, para determinar la capacidad de respuesta del subcontratista, se utilizaron los registros históricos de entrega, y los compromisos de cumplimiento.</p> $\sum_{i=1}^N C_{ij} \leq Cp_{ij} \quad \forall i = 1,2,\dots,M; j = 1,2,\dots,N \quad (5)$ <p>Restricción de disponibilidad de materiales Para determinar la disponibilidad de los materiales se utilizaron los registros de compras, el control de inventarios de materias primas, y la experiencia del personal con el fin de calcular la cantidad disponible de los materiales correspondientes y en sus respectivas unidades, para el período seleccionado.</p> $\sum_{i=1}^N TM_{ki} * C_{ij} \leq M_{kj} \quad \forall k = 1,2,\dots,K; j = 1,2,\dots,N \quad (6)$ <p>De la misma manera, se identificaron las tasas de consumo de los materiales correspondientes en sus respectivas unidades.</p> <p>Otros estudios, (Ortiz & Osorio (2010) y Parra (2011) han desarrollado modelos matemáticos apoyados en la teoría de restricciones y en la técnica de programación lineal para la programación de la producción, aunque estos no tienen en cuenta la restricción de materiales, aspecto en el que difiere con el presente estudio.</p>

Paso No.	Breve descripción
	<p>Restricción de no negatividad Esta restricción hace referencia a que la variable de decisión del modelo debe ser entera y no negativa.</p> $C_{ij} \in \mathbb{Z}^+ \quad \forall i = 1, 2, \dots, M; j = 1, 2, \dots, N \quad (7)$ <p>El modelo matemático para la programación óptima de la producción se muestra a continuación:</p> <p>Función objetivo, representada por la Ec. (1):</p> $\text{Max } Z = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N U_i * C_{ij} \quad (1)$ <p>Sujeto a Ec. (2), (3), (4), (5), (6) y (7)</p>
3	<p>Se pregunta si, ¿se satisface la demanda? Si, ir al paso No. 5 No, ir al paso No. 4</p>
4	<p>Se debe identificar el motivo por el cual no se satisface la demanda y se deben ejecutar las acciones pertinentes según sea el caso. En caso de requerir de capacidad adicional, se sugiere considerar las siguientes alternativas: contratar más personal, subcontratar algunas operaciones o pedidos, laborar días festivos, laborar horas extras, habilitar un segundo turno de producción, (implementando turnos flexibles), adquirir maquinaria adicional. En todo caso, se debe considerar los costos y ventajas de cada una de las alternativas mencionadas. La organización debe seleccionar la(s) que considere pertinente(s).</p>
5	<p>Se efectúan los pedidos de los materiales requeridos en un período previamente determinado por la organización. Tenga presente que se debe garantizar la disponibilidad de los mismos. Se registran las especificaciones de cada pedido. En caso de no ser requerido, continuar con el paso 6.</p>
6	<p>Se debe determinar la secuencia de producción, dando prioridad a los productos que tienen un mayor throughput por unidad de tiempo en la restricción o cuello de botella, y al mismo tiempo como segunda regla de prioridad, se tienen en cuenta los productos que usan el menor tiempo de procesamiento en la restricción.</p> <p>Mientras que en el trabajo propuesto por Orejuela <i>et al.</i> (2010), para secuenciar la producción se elige el trabajo disponible al que le falta más trabajo, y en caso de igualdad entre trabajos se escoge, aquel que tenga la fecha de entrega más cercana. A su vez el trabajo de Romero <i>et al.</i> (2004), establece un criterio de priorización de pedidos, basado en las holguras de tiempo del pedido, definida como la diferencia entre la fecha de entrega, el tiempo de proceso del pedido dentro del aserradero, el tiempo de elaboración restante y el tiempo de setup de la línea de producción. De este modo, se programan pedidos en función a las holguras disponibles por pedido, y la disponibilidad de trozos por clases diamétricas para su fabricación.</p>

Paso No.	Breve descripción
7	Se debe determinar el tamaño del amortiguador, de los lotes de proceso, y de los lotes de transferencia. El tamaño sugerido del amortiguador corresponde a $\frac{1}{4}$ o 25% del tiempo de entrega total real del sistema, considerando además, paradas no programadas antes del cuello de botella. El lote de proceso corresponde a la cantidad de pares de cada pedido consolidado.
8	Se realiza el diagrama de Gantt, en el cual se evidencia los tiempos de inicio y terminación de cada pedido, durante cada etapa del proceso.
9	Se entregan los materiales gradualmente según sus requerimientos y se controlan los inventarios de materias primas.
10	Se ejecuta el programa de producción. Se asignan las órdenes de producción y se envían los trabajos en el orden establecido. Se subcontratan y controlan las operaciones y/o actividades correspondientes. Si durante la ejecución del programa de producción recibió pedidos adicionales, ir al paso No. 1. Al llegar al paso No. 8, se debe tener en cuenta que los pedidos adicionales van de último en el programa, por tanto, son enviados a producción al terminar con lo que estaba inicialmente programado.
11	Se analiza el comportamiento del sistema productivo desde que se inicia la ejecución del programa de producción. Para esto, se utilizan indicadores como herramientas para la medición.
12	Se pregunta si, ¿se está cumpliendo con la programación? Si, ir al paso No. 11 No, ir al paso No. 13
13	Se identifican los pedidos atrasados y las causas de los atrasos. Una vez se identifican los pedidos y motivos de atraso, se deben plantear y ejecutar actividades que permitan terminar con la fabricación de dichos productos y dar cumplimiento a la programación realizada. Tan pronto se han ejecutado dichas acciones, se procede a actualizar el diagrama de Gantt. Para esto se debe reasignar el pedido correspondiente en el programa de producción.
14	Se debe realizar seguimiento a cada orden de producción durante todo el proceso productivo. Para esto, se efectúan controles de inventarios de producto en proceso y producto terminado. Tan pronto se tiene el producto terminado, se le entrega a despachos para que se programe su distribución a los clientes.
15	Se pregunta, ¿si hubo devoluciones? Si, ir al paso No. 16 No, Fin
16	Se debe contactar al cliente y establecer los motivos por el cual la mercancía fue devuelta. Además, se debe acordar con el cliente si el pedido será enviado nuevamente, o si por el contrario se cancela y se descuenta en la facturación. En caso de acordar nuevamente el envío del pedido, ir al paso No.1. Al llegar al paso No. 8, se debe tener en cuenta que las devoluciones pueden enviarse al final de la programación, aun así es preferible considerar adquirir capacidad adicional para darles tratamiento. En este caso, se debe establecer un tiempo de recepción (o espera) en el cual se acumulan devoluciones, para luego programar su envío a producción.

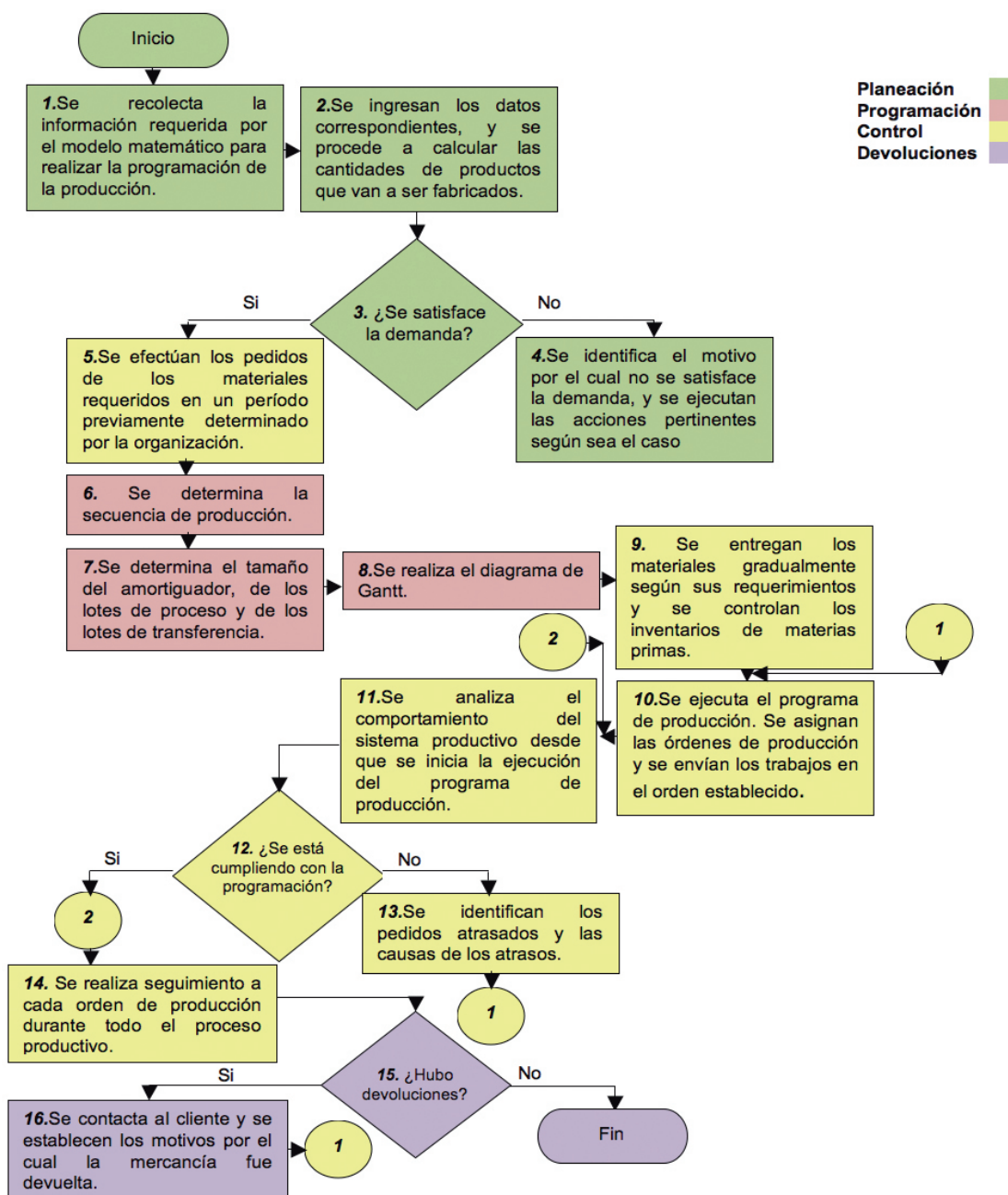


Figura 1. Flujograma del procedimiento para la programación y control de la producción en una pequeña empresa

De acuerdo con la tabla 1 y figura 1, los pasos seguidos para dar solución a la problemática identificada representan un acercamiento novedoso para abordar este tipo de problemas. Además, el tener en cuenta las características y funcionamiento del sector permite ofrecer una solución óptima y real para las pequeñas empresas que deseen aplicarlo.

El procedimiento desarrollado se asemeja al propuesto por Torres (2001), al considerar factores como: materiales, capacidad, y fuerza de trabajo. Por otro lado, Torres no considera la teoría de restricciones, aspecto en el que difiere del presente estudio. Con relación al trabajo realizado por

Orejuela *et al.* (2010), éste se asemeja con la investigación presente, ya que ambas propuestas consideraron al cuello de botella del sistema productivo para la programación de producción. Sin embargo, difieren ya que el presente trabajo tuvo en cuenta los indicadores operacionales de la TOC (maximizar el throughput, minimizar los inventarios y los gastos operacionales).

Validación

Para validar el procedimiento, se aplicó el procedimiento estadístico de prueba de hipótesis, mediante el cual se quiere identificar que procedimiento (actual o propuesto), permite obtener los mejores resultados, de acuerdo a los indicadores operacionales de la TOC: inventarios, throughput, y gastos operacionales.

Hipótesis

1. El procedimiento propuesto disminuye los costos de inventarios de producto en proceso (\$), salvo en los casos en que se incumplan parcial o totalmente sus pautas de ejecución.
2. El procedimiento propuesto incrementa el throughput (\$) de la empresa en un período 8 semanas, salvo en los casos en que se incumplan parcial o totalmente sus pautas de ejecución.
3. El procedimiento propuesto disminuye los gastos operacionales (\$), salvo en los casos en que se incumplan parcial o totalmente sus pautas de ejecución.

Los costos de inventarios de producto en proceso obtenidos, al aplicar el procedimiento actual y el propuesto se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Costos de inventarios de producto en proceso en una pequeña empresa de calzado

Fecha (inicio-fin)	Semana	Procedimiento actual		Procedimiento propuesto	
		Producto en proceso (en pares)	Costo de inventario del producto en proceso (US\$)	Producto en proceso (en pares)	Costo de inventario del producto en proceso (US\$)
22-27 de agosto	1	0	0	168	1143
29-3 de septiembre	2	72	389	0	0
5-10 de septiembre	3	72	389	0	0
12-17 de septiembre	4	0	0	0	0
19-24 de septiembre	5	2	10	0	0
26-1 de octubre	6	246	1066	0	0
3-8 de octubre	7	311	1516	40	275
10-15 de octubre	8	246	1177	0	0
17-22 de octubre	9	174	880	0	0
24-29 de octubre	10	53	302	0	0
31-5 de noviembre	11	225	1211	0	0
7-12 de noviembre	12	225	1211	0	0
14-19 de noviembre	13	215	1152	0	0
21-26 de noviembre	14	172	984	0	0
28-3 de diciembre	15	144	869	0	0
5-10 de diciembre	16	144	917	0	0
12-17 de diciembre	17	0	0	0	0
Total	17	2301	12076	208	1418

De acuerdo con los resultados obtenidos en la tabla 2, el procedimiento propuesto disminuye los costos de inventarios de producto en proceso (US\$), salvo en los casos en que se incumplan parcial o totalmente sus pautas de ejecución. Se comprueba mediante:

Hipótesis 1. Se realizó la prueba t-student asumiendo que las poblaciones son aproximadamente normales y que sus varianzas poblacionales son iguales. Se registraron datos de la producción durante 17 semanas, correspondiendo a una muestra de ese tamaño, utilizando un nivel de confianza del 95%. Donde: μ_1 = Media de costo de inventario obtenido al aplicar el procedimiento actual, y μ_2 = Media de costo de inventario obtenido al aplicar el procedimiento propuesto.

Hipótesis nula, H_0 = la media del costo de inventario obtenido con el procedimiento actual es igual a la media del costo de inventario obtenido con el procedimiento propuesto ($H_0 : \mu_1 = \mu_2$).

Hipótesis alternativa, H_1 = la media del costo de inventario obtenido con el procedimiento actual es mayor que la media del costo de inventario obtenida con el procedimiento propuesto ($H_1 : \mu_1 > \mu_2$)

Los resultados obtenidos al realizar la prueba de hipótesis se muestran a continuación:

$N_1 = 17$	$N_2 = 17$	$\alpha = 0.05$
$\bar{X}_1 = 754,09$	$\bar{X}_2 = 83,44$	G.L. = 32
$S_1 = 499289,91$	$S_2 = 2726969,27$	t (valor crítico) = 1,6872
$S_P = 402277,28$	t (valor obtenido) = 4,5433	

Como t (valor obtenido) > valor crítico t; $4,5433 > 1,6872$: "Por tanto, La hipótesis nula se rechaza por el t valor obtenido." Se concluye que la media de los costos de inventarios al aplicar el procedimiento actual, es mayor que la media de costos de inventarios al aplicar el procedimiento propuesto. Por lo que, disminuyen los costos de inventarios de producto en proceso al emplear el procedimiento propuesto. En la tabla3 se muestra el throughput obtenido, al aplicar el procedimiento actual y el propuesto.

Tabla 3. Throughput obtenido en una pequeña empresa de calzado

Fecha (inicio-fin)	Semana	Procedimiento actual		Procedimiento propuesto	
		Producto terminado (en pares)	Throughput (US\$)	Producto terminado (en pares)	Throughput (US\$)
22-27 de agosto	1	0	0	84	711,60
29-3 de septiembre	2	0	0	168	1423,20
5-10 de septiembre	3	0	0	0	0
12-17 de septiembre	4	72	609,94	0	0
19-24 de septiembre	5	0	0	0	0
26-1 de octubre	6	2	29,17	0	0
3-8 de octubre	7	28	408,41	443	5766,88
10-15 de octubre	8	65	850,33	40	583,44
17-22 de octubre	9	72	898,69	0	0
24-29 de octubre	10	121	1558,85	0	0
31-5 de noviembre	11	0	0	0	0
7-12 de noviembre	12	0	0	0	0
14-19 de noviembre	13	10	14,59	0	0
21-26 de noviembre	14	43	407,07	0	0
28-3 de diciembre	15	28	348,71	0	0
5-10 de diciembre	16	0	0	0	0
12-17 de diciembre	17	144	1219,88	0	0
Total	17	585	6345,64	735	8485,11

De acuerdo con los resultados de la tabla 3, se observa que se obtuvo mayor throughput con el procedimiento propuesto, bajo el supuesto, que la producción de cada semana se entregó a los clientes y se obtuvo el ingreso por dicho concepto, el cual se representa en throughput, una vez se deduzcan los costos de los materiales. Se comprueba mediante:

Hipótesis 2. Se realizó la prueba t-student asumiendo que las poblaciones son aproximadamente normales y que sus varianzas poblacionales son iguales. Se registraron datos de producción durante 8 semanas, correspondiendo a una muestra de ese tamaño, utilizando un nivel de confianza del 95%. Donde: μ_a = Media del throughput obtenido al aplicar con el procedimiento actual, y μ_p = Media del throughput obtenido al aplicar el procedimiento propuesto.

Hipótesis nula, H_0 = la media del throughput obtenido con el procedimiento propuesto es igual a la media del throughput obtenido con el procedimiento actual ($H_0 : \mu_p = \mu_a$).

Hipótesis alternativa, H_1 = la media del throughput obtenido con el procedimiento propuesto es mayor que la media del throughput obtenido con el procedimiento actual ($H_1 : \mu_p > \mu_a$).

Los resultados obtenidos al realizar la prueba de hipótesis semuestran a continuación:

$$N_p = 8$$

$$N_a = 8$$

$$\alpha = 0.05$$

$$\overline{X}_p = 1060,64$$

$$\overline{X}_a = 237,23$$

$$G.L. = 14$$

$$S_{p_p} = 679,64$$

$$S_{p_a} = 318,69$$

$$t \text{ (valor crítico)} = 1,761$$

$$S_p = 530,79$$

$$t \text{ (valor obtenido)} = 3,1025$$

Como t (valor obtenido) > valor crítico, debido a que $3,1025 > 1,761$: “La hipótesis nula se rechaza por el t valor obtenido”. Se evidencia que la media del throughput obtenido con el procedimiento propuesto, es mayor que la media del throughput obtenido con el procedimiento actual. Por lo que, el procedimiento propuesto permite obtener un mayor throughput, en menor tiempo, cumpliendo con los requerimientos de la demanda en un período de 8 semanas, mientras que con el procedimiento actual, la empresa tarda 17 semanas en terminar su producción, obteniendo una mejora significativa en el tiempo de entrega, con el procedimiento propuesto. En la tabla 4, se pueden observar los gastos operacionales al aplicar el procedimiento actual y el propuesto.

Tabla 4. Gastos operacionales generados en una pequeña empresa de calzado

Fecha (inicio-fin)	Semana	Procedimiento actual Gastos operacionales (\$US)	Procedimiento propuesto Gastos operacionales (\$US)
22-27 de agosto	1	0	631,80
29-3 de septiembre	2	21,22	695,78
5-10 de septiembre	3	21,22	0
12-17 de septiembre	4	298,19	0
19-24 de septiembre	5	0,66	0
26-1 de octubre	6	100,38	0
3-8 de octubre	7	335,19	1761,12
10-15 de octubre	8	392,70	166,13
17-22 de octubre	9	831,97	0
24-29 de octubre	10	491,76	0
31-5 de noviembre	11	101	0
7-12 de noviembre	12	101	0
14-19 de noviembre	13	131,53	0
21-26 de noviembre	14	317,06	0
28-3 de diciembre	15	235,53	0
5-10 de diciembre	16	180,15	0
12-17 de diciembre	17	596,38	0
Total	17	4156,01	3254,84

De acuerdo con los resultados obtenidos en la tabla 4, el procedimiento propuesto disminuye los gastos operacionales (\$), salvo en los casos en que se incumplan parcial o totalmente sus pautas de ejecución. Se comprueba mediante:

Hipótesis 3. Se realizó la prueba t -student asumiendo que las poblaciones son aproximadamente normales y que sus varianzas poblacionales son iguales. Se registraron datos de producción durante 17 semanas, correspondiendo a una muestra de ese tamaño, utilizando un nivel de confianza del 95%. Donde: μ_1 = Media de gasto operacional al aplicar el procedimiento actual, y μ_2 = Media de gasto operacional al aplicar el procedimiento propuesto.

Hipótesis nula, H_0 = la media del gasto operacional obtenido con el procedimiento actual es igual a la media del gasto operacional obtenido con el procedimiento propuesto ($H_0: \mu_1 = \mu_2$).

Hipótesis alternativa, H_1 = la media del gasto operacional obtenido con el procedimiento actual es mayor que la media del gasto operacional obtenido con el procedimiento propuesto ($H_1: \mu_1 > \mu_2$).

Los resultados obtenidos al realizar la prueba de hipótesis se muestran a continuación:

$N_1 = 17$	$N_2 = 17$	$\alpha = 0.05$
$\bar{X}_1 = 244,47$	$\bar{X}_2 = 191,46$	G.L. = 32
$S_1 = 225,74$	$S_2 = 446,51$	t (valor crítico) = 1,6872
$S_p = 339,79$	t (valor obtenido) = 0,4548	

t (valor obtenido) < valor crítico t, ya que $0,4548 < 1,6872$; por tanto, la hipótesis nula se acepta por el t valor obtenido. Se concluye que la media del gasto operacional obtenido con el procedimiento actual es igual a la media del gasto operacional obtenido con el procedimiento propuesto. Sin embargo, con el procedimiento propuesto hay una reducción del gasto operacional de \$2.292.964 en un período de 17 semanas estudiadas y se fabrican 150 pares adicionales; cumpliendo con los requerimientos de la demanda en su totalidad.

SUGERENCIAS

Se pretende continuar con la validación del procedimiento, implementándola en otras empresas de las mismas características, en este caso cualquiera de las 33 pequeñas empresas que se encuentran en la ciudad de Cúcuta y que están registradas en ACICAM. De esta manera, el procedimiento contribuiría al mejoramiento de la gestión de la producción de una parte representativa del sector calzado en la región.

CONCLUSIONES

El procedimiento para la programación y control de la producción propuesto puede ser utilizado como herramienta gerencial por cualquier pequeña empresa.

El modelo matemático desarrollado representa el programa óptimo de producción para un período específico de tiempo, el cual constituye una herramienta con la que el empresario puede generar una ventaja frente a la competencia y ser más productivo, mientras maximiza sus utilidades o *throughput*.

La validación del procedimiento propuesto evidenció resultados favorables en la empresa de estudio, cumpliendo los requerimientos de la demanda en el menor tiempo posible, aumentando la confiabilidad en la entrega de los productos, usando adecuadamente los recursos productivos, obteniendo mejoras en los indicadores de la TOC: inventarios, *throughput* e incluso la reducción de los gastos operacionales.

AGRADECIMIENTOS

A todo el personal de la empresa de calzado, por su colaboración, apoyo y asesoría para el desarrollo de dicho estudio. Resultado del proyecto: propuesta de un procedimiento para la programación y control de la producción en una pequeña empresa de calzado, realizado en el 2012, identificado con el registro no. 60530 en la Universidad Francisco de Paula Santander, y financiado con recursos propios de los investigadores.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVARADO, J. El análisis post-optimal en programación lineal aplicada a la agricultura. *Reflexiones*, 2011, vol. 90, no1, p.161-173.
- ÁLVAREZ, F.A. Un modelo de planificación de la producción en una fábrica de calzados. Universidad de Concepción. Tesis de maestría, 2009.
- ÁLVAREZ, J., INCHE, J., and SALVADOR, G. Programación de operaciones mediante la teoría de restricciones. *Industrial data*, 2004, vol. 7, no1, p. 12-19.
- ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INDUSTRIALES DE CALZADO, EL CUERO, Y SUS MANUFACTURAS. *Plan de mejoramiento de la cadena productiva del calzado, el cuero y sus manufacturas*. Bogotá, 2000.
- BALAKRISHNAN, J. and CHENG, C. Theory of constraints and linear programming: reexamination. *International Journal of Production Research*, 2000, vol. 38, no6, p. 1459-1463.
- CHAPMAN, S. *Planificación y Control de la Producción*. 1ra ed. México: Pearson education, 2006. 288 p.
- COMISIÓN REGIONAL DE COMPETITIVIDAD DE NORTE DE SANTANDER. *Avances del Plan Regional de Competitividad a Diciembre de 2009. Plan de Acción 2010*. San José de Cúcuta: Gobernación del Norte de Santander, 2010. 44 p.
- CORBETT, T. *La Contabilidad del Tráput. El sistema de Contabilidad gerencial de TOC*. Colombia: Piénsalo, 2001. p. 29-40.
- ESTRADA, S., PAYAN, A.F. and PATIÑO, H.F. El sector calzado del área metropolitana centro occidente. Rumbo a la productividad y competitividad con ingenio e innovación. *Scientia Et Technica*, 2006, vol. 12, no31, p. 189-194.
- GOBERNACIÓN DEL NORTE DE SANTANDER. *Análisis comparativo de los sistemas productivos de las Mipymes del sector calzado, y marroquinería del área metropolitana de Cúcuta*. Edison Guerrero Sánchez. San José de Cúcuta: Gobernación del Norte de Santander, 2010. 146 p.
- GOBERNACIÓN DEL NORTE DE SANTANDER. *Establecer estrategias que permitan el fortalecimiento de las exportaciones de las Mipymes de sector calzado y marroquinería del área metropolitana de Cúcuta a los países de Chile, Argentina, Ecuador, Perú, para la consecución del plan regional de competitividad de Norte de Santander*. Leydi Katherine Toloza Rojas. San José de Cúcuta: Gobernación del Norte de Santander, 2011. 184 p.
- GOLDRATT, E., and COX, J. *La meta*. Buenos Aires: Ediciones Granica S.A., 2008. 531 p.
- HERRERA, M.M. Programación de la producción. Una perspectiva de productividad y competitividad. *Revista Virtual Pro* [Disponible en línea]. 2011, no111 [citado 2013-02-02]. <http://www.revistavirtualpro.com/files/ed_201104.pdf. ISSN 1900-6241>
- HERRERA, O.J., RAMÍREZ, L.N., and MAYORGA, O. Aplicación del modelo de planeación de las capacidades productivas en empresas manufactureras en una PYME del sector calzado, *Memorias* [Disponible en línea]. 2007, vol. 5, no. 9 [citado 2013-02-14]. <<http://www.revistamemorias.com/articulos9/calzado.pdf>. ISSN 0124-4361.>

HERRMANN, J.W. The legacy of Taylor, Gantt, and Johnson. How to Improve Production Scheduling, *ISR Technical Report* [Disponible en línea]. 2007 [citado 23-06-2013]. <<http://drum.lib.umd.edu/handle/1903/7488>>

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. *GTC-ISO/TR10013 Directrices para la documentación del Sistema de Gestión de la Calidad*. Bogotá, 2002.

JAIN, A.S., and MEERAN, S.A state of the art review of job shop scheduling techniques, *Technical Report* [Disponible en línea]. 1998 [citado 15-05-2013] <ftp://ftp.dca.fee.unicamp.br/pub/docs/vonzuben/ia707_1s04/textos/jain98stateart.pdf>

KRAJEWSKI, L.J., RITZMAN, L.P., and MALHOTRA, M.K. *Administración de operaciones*. 8va ed. Traducido del Inglés por M.D.P. Carril Villareal. México: Prentice Hall. 2008. 752 p.

LUEBBE, R., and FINCH, B. Theory of Constraints and Linear Programming. *International Journal of Production Research*, 1992, vol. 30, no6, p. 1471-1478.

NIÑO, J.V. Plan de capacitación en habilidades gerenciales para los gerentes de producción del sector industrial del calzado, cuero y sus manufacturas en el área metropolitana de Cúcuta. Universidad Francisco de Paula Santander. Tesis de pregrado, 2011.

OREJUELA, J.P., OCAMPO, J.J. and MICÁN, C.A. Propuesta metodológica para la programación en las PYMES del sector artes gráficas. Área publi-comercial. *Estudios Gerenciales*, 2010, vol. 26, no. 114, p. 97-118.

ORTIZ, Y.Y., and OSORIO, E. Propuesta de programación de la producción de la empresa confecciones Y7 en la ciudad de Cúcuta por medio de la teoría de restricciones. Universidad Francisco de Paula Santander. Tesis de pregrado, 2010.

PARRA, J.W. Programación de la producción por medio del modelo de teoría de restricciones para la empresa de Calzado Mountain Power de la ciudad de Cúcuta. Universidad Francisco de Paula Santander. Tesis de pregrado, 2011.

RANGEL, J.G. *Características de las pequeñas empresas de calzado del área metropolitana de Cúcuta*. [carta]. 2013 (Comunicación personal, 18-09-2013).

ROMERO, R., POBLETE, M., and BAESLER, F. Modelo de programación de la producción para la industria del aserrío, *Revista Ingeniería Industrial* [Disponible en]. 2004 [citado 28-05-2013]. <<http://revistas.ubiobio.cl/index.php/RI/article/view/140/131>>.

TAHA, H. *Investigación de operaciones*. 7ma. ed. Traducido del Inglés por V. González Pozo. México: Pearson Education. 2004. 830 p.

TORRES, J.H. Procedimiento para la planeación agregada en la pequeña y mediana industria manufacturera. Aplicación al sector industrial colombiano. Planeación agregada de producción. *Ingeniería*, 2001, vol. 6, no1, p. 23-29.

VARGAS, F., and MONTOYA, J. R. Implementación de un procedimiento basado en algoritmos evolutivos para programar la producción de marquillas estampadas por transferencia térmica. *Ingeniería y Universidad*, 2008, vol. 12, no2, p. 269-299.