MODELO DE PROGRAMACIÓN EN LA MANUFACTURA DE PRODUCTOS DEPORTIVOS. CASO TERMINACIÓN DE BALONES.

Autor:
Clara Eugenia Segovia Borray

Autor:
Juan Sebastián Peláez Zúñiga

Autor:
Omar Arley Arenas Quimbayo

Resumen

El presente trabajo práctico pretende fortalecer los conocimientos adquiridos en el curso 'Modelos avanzados en programación y control de operaciones' impartido por el Doctor Fidel Torres, en la Maestría de Gestión Industrial, Cohorte III, de la Universidad de Ibagué. Por lo cual, como caso de estudio se tomará la manufactura de balones, en donde se aplicarán algunas de las herramientas vistas en el curso, se espera como resultado la planeación de la producción en un horizonte de un mes, teniendo como variable de decisión qué cantidad de los 4 tipos de balón se van a producir.

Palabras clave:

Operaciones, Logística Interna & Planificación de la producción.

Objetivos

Objetivo General

Aplicar las herramientas de un modelo de planeación y programación de la producción en la manufactura de balones.

Objetivos Específicos

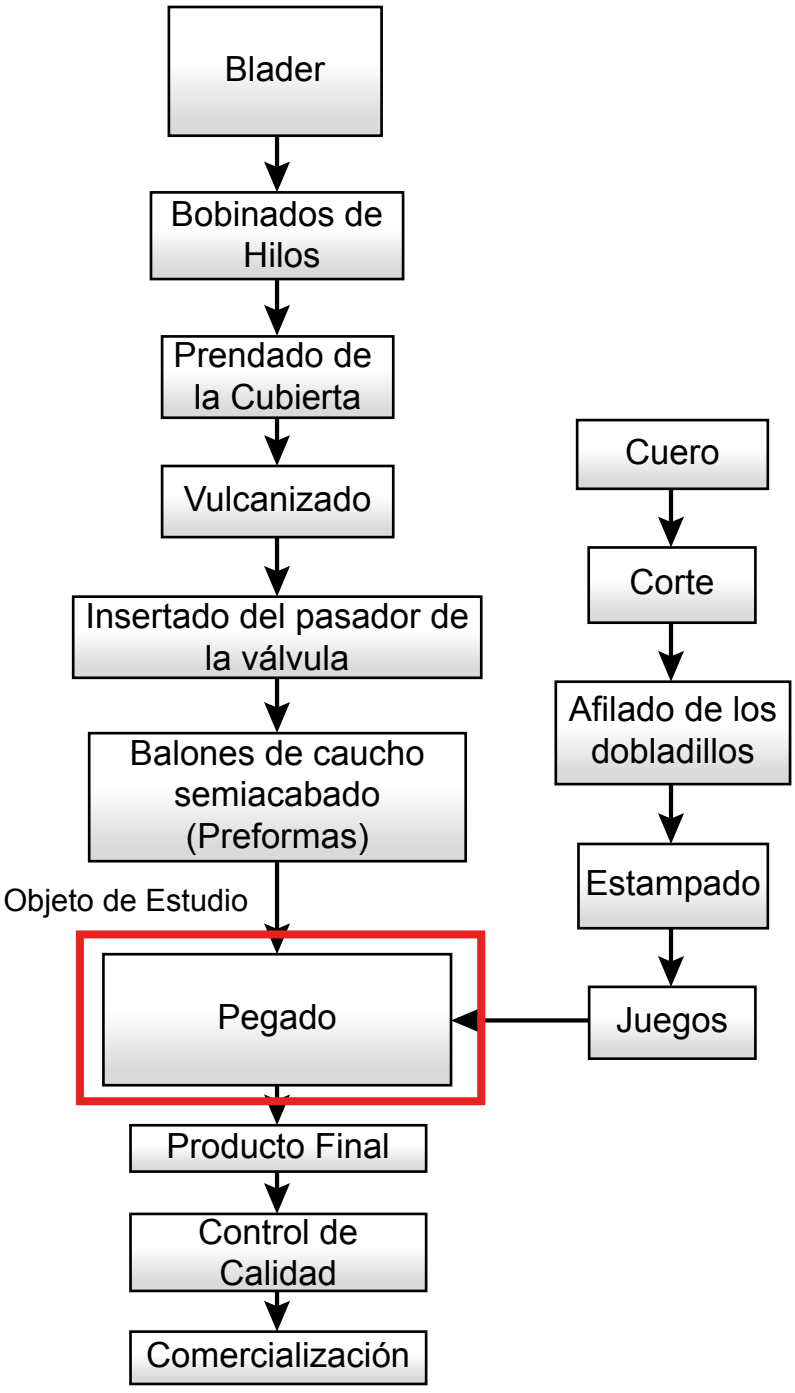
- Diseñar un modelo de planeación de la producción describiendo las variables de decisión, la función objetivo y las restricciones del mismo.
- Programar la producción por el método MRP.
- Analizar los resultados obtenidos del modelo.

Descripción General

Descripción del proceso productivo

El proceso productivo de balones que se lleva a cabo en la planta principal se esquematiza en el siguiente diagrama de flujo, donde se resaltan las operaciones que se desarrollan en la empresa caso de estudio:

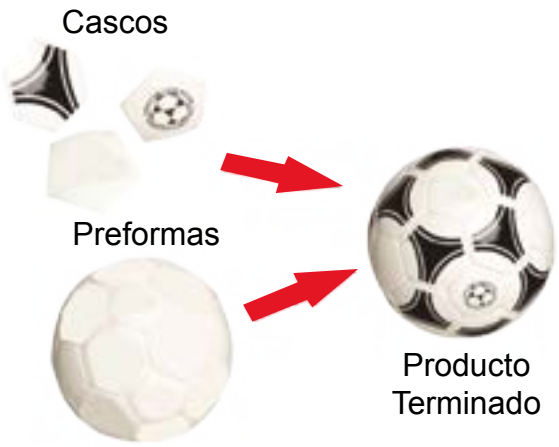
Ilustración 1. Proceso Productivo de Balones



Fuente: Adaptado de (Taiwan Turnkey Project Association, 2011)

En la manufactura de estudio se terceriza el proceso de Pegado, este consiste, en armar el balón a partir de dos sub-productos: preformas (balones de caucho semiacabados) y un juego de cascos, estos son suministrados por la planta principal donde el resultado es el balón terminado.

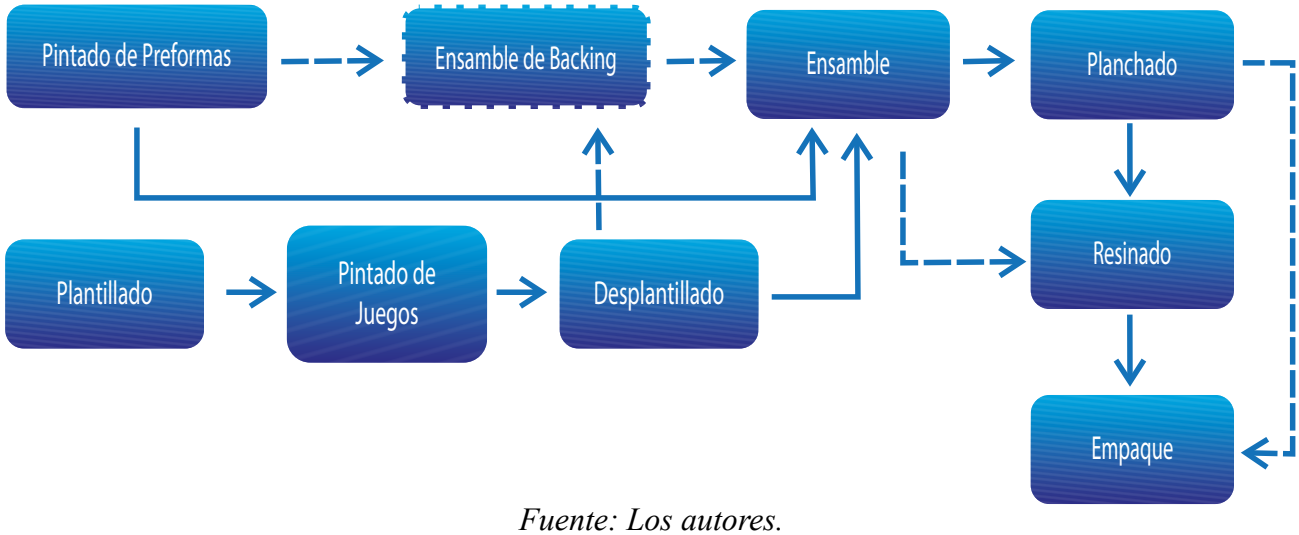
Ilustración 2. Esquema del Proceso de tercerización



Fuente: Adaptado del caso de estudio.

En la Ilustración 3 se muestra con mayor detalle el proceso productivo, que se describirá a continuación:

Ilustración 3. Flujograma del Proceso



Fuente: Los autores.

En el primer sub-producto, la preforma se lleva al proceso de pintado de preformas, este consiste en aplicar aditivo (Boxer) de acuerdo a las normas estandarizadas, posteriormente a la preforma se le pegarán los juegos de cascos, pero estos juegos tienen una serie de procesos que van en paralelo. Ademas, a cada preforma le corresponde un tipo de juegos de cascos, ya que se manejan 4 referencias de balones, los cuales son: publicitario, MK, Dynamic y fútbol No. 5.

El proceso de plantillado, consiste en colocar los juegos de cascos boca abajo en una tabla, con el fin de que quede expuesta la parte interna de los juegos y llevar a cabo el proceso con mayor facilidad; paso seguido, se trasladan las tablas con los juegos al proceso de pintado de juegos, en el cual se aplica el aditivo (Boxer) y se deja secar

los juegos en un tiempo de 2 horas y 30 minutos para las preformas en lotes de 100 balones; los tiempos de secado se incluyen dentro de esta operación.

En la operación de desplantillado se toman los juegos pintados y se limpian los bordes retirando el adhesivo restante; Estos sub-procesos se unen en una sola línea ingresando al proceso de Ensamble, en el cual se pegan los cascos a la preforma de acuerdo al diseño y las normas de producción; seguido a esto, se procede al proceso de Planchado, el cual requiere de 1,5 minutos por unidad para lograr la compactación total de los juegos a la preforma y de una superficie uniforme, pasando luego a la operación de Resinado, en el cual entre los canales de cada casco se le aplica resina acorde al diseño y a la norma de producción, con el fin de evitar el levantamiento de las puntas de los juegos y la penetracion de agua al interior de éstos al momento del uso del producto. Por último, se encuentra la operación de Empaque, en el cual se empacan los balones según diseño y referencia para su entrega.

Dentro del proceso productivo, algunas referencias siguen flujos diferentes a los ya descritos, los cuales, en la Ilustración 3, se denotan con líneas discontinuas, y un proceso denominado como Ensamble de Backing, en el cual se pegan a las preformas Backing con el fin de dar una característica de suavidad al producto final.

Descripción de los supuestos del modelo

Se fabrican actualmente cuatro productos: balón publicitario, balón MK, balón Dynamic y balón fútbol No. 5, y el sistema de producción está conformado por 9 centros de trabajo: Pintado de preformas, plantillado, pintado de juegos, desplantillado, ensamble de backing, ensamble de juegos, planchado, resinado y empaque; el número de operarios y los minutos de producción disponibles para cada centro de trabajo se observa en la Tabla 1.

Tabla 1. Número de operarios por operación

Operación	No. operarios	Minutos de Producción disponibles en el mes
Pintado de Preforma	1	9.600
Plantillado y Desplantillado	8	76.800
Pintado de Juegos	3	28.800
Ensamble de Backing	1	9.600
Ensamble de Juegos	6	57.600
Planchado	4	38.400
Resinado	8	76.800
Empaque	2	19.200
TOTAL	31	297.600

Fuente: Adaptado de caso de estudio.

Cada mes el gerente de operaciones debe de decidir cuántos balones producir de las diferentes referencias, teniendo en cuenta que aunque el proceso productivo se comporta como una línea de producción, hay algunas referencias que no pasan por algunos procesos, esto se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Secuencia de operaciones según tipo de balón

Proceso / Producto	Pintado de Preformas	Plantillado	Pintado de Juegos	Desplantillado	Ensamble de Backing	Ensamble de Juegos	Planchado	Resinado	Empaque
Balón Publicitario	0 →	0 →	0 →	0 →		0 →		0 →	0
Balón MK	0 →	0 →	0 →	0 →		0 →	0 →		0
Balón Dynamic	0 →	0 →	0 →	0 →	0 →	0 →	0	0 →	0
Balón Futbol No. 5	0 →	0 →	0 →	0 →		0 →	0	0 →	0

Fuente: Adaptado de caso de estudio.

La Tabla 3 muestra los tiempos de operación de cada proceso requerido por cada tipo de balón y el tiempo disponible de la planta en el mes, con operación de 20 días al mes y con un turno de 8 horas al día, la disponibilidad de tiempo en el mes depende del número de operarios en cada centro de trabajo.

Tabla 3. Tasas de producción en minutos por unidad

Operaciones	Balón publicitario	Balón MK	Balón Dynamic	Balón Fútbol No. 5	Minutos de Producción disponibles en el mes
Pintado de preformas	0.3	0.3	0.3	0.3	9.600
Plantillado	1	1	1	1	38.400
Pintado de juegos	1.2	1.2	1.2	1.2	28.800
Desplantillado	1.5	1.5	1.5	1.5	38.400
Ensamble de backing	-	-	1.3	-	9.600
Ensamble de juegos	1,5	1,5	1,5	1,5	57.600
Planchado	-	1,5	1,5	1,5	38.400
Resinado	3	-	3	3	76.800
Empaque	0.3	0.3	0.3	0.3	19.200

Fuente: Adaptado de caso de estudio.

La Tabla 4 muestra de las diferentes referencias a producir; el precio de venta es un supuesto desarrollado por los autores con el objetivo de desarrollar el modelo, al igual que los costos unitarios, el modelo integra unos lotes mínimos y máximos de producción.

Tabla 4. Datos de los productos

Producto	Precio de Venta ($/und.) (ri)	Costo Unitario ($/und.) (ci)	Potencial de ventas (Unds.)	
			Mínima (Li)	Máxima (Ui)
Balón publicitario	$5.000	$1.900	3.000	6.000
Balón MK	$7.500	$2.200	2.500	5.500
Balón Dynamic	$8.000	$2.500	2.000	5.500
Balón Fútbol No. 5	$10.000	$3.000	16.000	20.000

Fuente: Adaptado de caso de estudio.

Otra cuestión a tener en cuenta es que se cuenta con tan sólo 5.175 galones disponibles de resina para la producción mensual de los balones publicitarios, Dynamic y Futbol No. 5; esto debido a que la resina es transportada en un camión con esta capacidad y tan solo se realiza un viaje al mes. El balón publicitario requiere 0,1 gl/und, el Dynamic 0,3 gl/und y el Futbol No. 5 0.2 gl/und.

Descripción de los supuestos del modelo

Los problemas de Mix de producto son modelados naturalmente como un problema de programación lineal (Johnson & Montgomery, 1974), por ello, a continuación se define cada una de sus variables:

Xi= Cantidad de balones i, i= 1: Publicitario, 2: MK, 3: Dynamic, 4: No. 5, producidos en un periodo.

bk= Cantidad de recursos k, k= 1, 2, …, k, disponible durante el periodo.

aik= Número de unidades de recursos k requerido para producir una unidad del producto i.

Ui= Potencial de ventas máximas del producto i en el periodo.

Li= Mínimo nivel de producción requerida del producto i en el periodo.

ri= Ingresos por venta de una unidad del producto i.

Ci= Costo variable unitario de producir una unidad del producto i.

Por lo cual, se desea maximizar los ingresos por maquila de X_i unidades del producto i. De esta forma, la función objetivo se formula como sigue:

$$\boldsymbol{Z=\sum_{i=1}^{n}(r_i - C_i)X_i}$$

$$Z= 3.100\,X_1 + 5.300X_2 + 5.500X_3 + 7.000\,X_4$$

Sujeto a las siguientes restricciones:

1. Restricción del tiempo de producción:

- **Pintado de Preforma**

  $0.3X_1 + 0.3X_2 + 0.3X_3 + 0.3\,X_4 \leq 9.600$

- **Plantillado**

  $X_1 + X_2 + X_3 + X_4 \leq 38.400$

- **Pintado de Juegos**

  $1.2X_1 + 1.2X_2 + 1.2\,X_3 + 1.2X_4 \leq 28.800$

- **Desplantillado**

  $1.5\,X_1 + 1.5X_2 + 1.5X_3 + 1.5\,X_4 \leq 38.400$

- **Ensamble de Backing**

  $1{,}3X_3 \leq 9.600$

- **Ensamble de Juegos**

  $1{,}5X_1 + 1{,}5X_2 + 1{,}5X_3 + 1{,}5X_4 \leq 57600$

- **Planchado**

  $1{,}5X_2 + 1{,}5X_3 + 1{,}5X_4 \leq 38.400$

- **Resinado**

  $3X_1 + 3X_3 + 3X_4 \leq 76.800$

- **Empaque**

  $0{,}3X_1 + 0{,}3X_2 + 0{,}3X_3 + 0{,}3X_4 \leq 19.200$

2. Restricción de la disponibilidad de recursos

- **Disponibilidad de Resina:**

  $0{,}1X_1 + 0{,}3X_3 + 0{,}2X_4 \leq 5.175$

3. Restricción de la mínima producción requerida y la máxima venta:

- **Balón Publicitario**

  $3.000 \leq X_1 \leq 6.000$

- **Balón MK**

  $2.500 \leq X_2 \leq 5.500$

- **Balón Dynamic**

  $2.000 \leq X_3 \leq 5.500$

- **Balón Futbol No. 5**

  $16.000 \leq X_4 \leq 20.000$

4. Restricción de no negatividad:

- Balón Publicitario $X_1 \leq 0$
- Balón MK $X_2 \leq 0$
- Balón Dynamic $X_3 \leq 0$
- Balón Futbol No. 5 $X_4 \leq 0$

El modelo se formuló en el Software WinQSB, tal y como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5. Formulación en el Software WinQSB

Variable -->	Balón Publicitario	Balón MK	Balón Dynamic	Balón Fútbol 5	Direction	R. H. S.
Pintado de Preforma	0.3	0.3	0.3	0.3	<=	9600
Plantillado	1	1	1	1	<=	38400
Pintado de Juegos	1.2	1.2	1.2	1.2	<=	28800
Desplantillado	1.5	1.5	1.5	1.5	<=	38400
Ensamble de Baking			1.3		<=	9600
Ensamble de Juegos	1.5	1.5	1.5	1.5	<=	57600
Planchado		1.5	1.5	1.5	<=	38400
Resinado	3		3	3	<=	76800
Empaque	0.3	0.3	0.3	0.3	<=	19200
Disponibilidad de resina	0.1		0.3	0.2	<=	5175
Mínima Producción Balón Publicitario	1				>=	3000
Máxima Venta Balón Publicitario	1				<=	6000
Mínima Producción Balón MK		1			>=	2500
Máxima Venta Balón MK		1			<=	5500
Mínima Producción Balón Dynamic			1		>=	2000
Máxima Venta Balón Dynamic			1		<=	5500
Mínima Producción Balón Futbol No. 5				1	>=	16000
Máxima Venta Balón Futbol No. 5				1	<=	20000
LowerBound	0	0	0	0		
UpperBound	M	M	M	M		
VariableType	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous		

Fuente: WinQSB

De acuerdo a ello, los resultados arrojados por el software se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 6. Resultados arrojados del modelo

	08:33:48		Thursday	March	06	2014		
	Decision Variable	Solution Value	Unit Cost or Profit c[j]	Total Contribution	Reduced Cost	Basis Status	Allowable Min. c[j]	Allowable Max. c[j]
1	Balón Publicitario	3.000,0000	3.100,0000	9.300.000,0000	0	basic	-M	7.000,0000
2	Balón MK	2.500,0000	5.300,0000	13.250.000,0000	0	basic	-M	7.000,0000
3	Balón Dynamic	2.000,0000	5.500,0000	11.000.000,0000	0	basic	-M	7.000,0000
4	Balón Fútbol 5	16.500,0000	7.000,0000	115.500.000,0000	0	basic	5.500,0000	M
	Objective	Function	(Max.) =	149.050.000,0000				
	Constraint	Left Hand Side	Direction	Right Hand Side	Slack or Surplus	Shadow Price	Allowable Min. RHS	Allowable Max. RHS
1	Pintado de Preforma	7.200,0010	<=	9.600,0000	2.400,0000	0	7.200,0000	M
2	Plantillado	24.000,0000	<=	38.400,0000	14.400,0000	0	24.000,0000	M
3	Pintado de Juegos	28.800,0000	<=	28.800,0000	0	5.833,3330	28.200,0000	30.720,0000
4	Desplantillado	36.000,0000	<=	38.400,0000	2.400,0020	0	36.000,0000	M
5	Ensamble de Baking	2.600,0000	<=	9.600,0000	7.000,0000	0	2.600,0000	M
6	Ensamble de Juegos	36.000,0000	<=	57.600,0000	21.600,0000	0	36.000,0000	M
7	Planchado	31.500,0000	<=	38.400,0000	6.900,0020	0	31.500,0000	M
8	Resinado	64.500,0000	<=	76.800,0000	12.300,0000	0	64.500,0000	M
9	Empaque	7.200,0010	<=	19.200,0000	12.000,0000	0	7.200,0000	M
10	Disponibilidad de resina	4.200,0000	<=	5.175,0000	975,0001	0	4.200,0000	M
11	Mínima Producción Balón Publicitario	3.000,0000	>=	3.000,0000	0	-3.900,0000	0	3.499,9990
12	Máxima Venta Balón Publicitario	3.000,0000	<=	6.000,0000	3.000,0000	0	3.000,0000	M
13	Mínima Producción Balón MK	2.500,0000	>=	2.500,0000	0	-1.700,0000	0	2.999,9990
14	Máxima Venta Balón MK	2.500,0000	<=	5.500,0000	3.000,0000	0	2.500,0000	M
15	Mínima Producción Balón Dynamic	2.000,0000	>=	2.000,0000	0	-1.500,0000	0	2.499,9990
16	Máxima Venta Balón Dynamic	2.000,0000	<=	5.500,0000	3.500,0000	0	2.000,0000	M
17	Mínima Producción Balón Futbol No. 5	16.500,0000	>=	16.000,0000	499,9991	0	-M	16.500,0000
18	Máxima Venta Balón Futbol No. 5	16.500,0000	<=	20.000,0000	3.500,0010	0	16.500,0000	M

Fuente: WinQSB

Resultados y análisis del modelo

De acuerdo a los resultados arrojados por el WinQSB, la óptima programación de la producción es X_1= 3.000 unidades (Balón Publicitario), X_2=2.500 unidades (Balón MK), X_3=2.000 unidades (Balón Dynamic) y X_4=16.500 unidades (Balón Fútbol 5), obteniendo con ello una utilidad de $149'050.000. En la operación de Pintado de juegos, se está consumiendo el recurso total existente, en donde el incremento del recurso para la producción por unidad, conlleva a generar un ingreso de $5.833,33 por unidad; las demás operaciones, no consumen la totalidad de los recursos disponibles, por lo tanto, se recomienda la revisión de la línea de producción para realizar ajustes en el balanceo de línea.

En el cumplimiento de las unidades mínimas de producción de los balones Publicitarios, MK y Dynamic, ocasiona lo que se conoce como costo de oportunidad, siendo este de $3.900, $1.700 y $1.500 por unidad producida respectivamente, debido a que el producto que tiene más utilidad, el balón de Futbol No. 5 ($7.000) no se produce en mayor cantidad debido a producir las otras referencias que tienen que cumplir con un nivel mínimo de producción dejando de ganar un valor mayor de la utilidad.

Una vez que se tienen las unidades a producir en el mes de marzo de cada referencia de acuerdo al modelo de optimización descrito anteriormente, se llevará a cabo la aplicación de la herramienta administrativa de producción "Planeación de los requerimientos de materiales" (MRP) (Heizer, 2009) como sigue:

Como se mencionó anteriormente, la producción es maquilada, por lo cual no será necesario tener inventario de seguridad de balones terminados.

De acuerdo a las normas de producción se sabe que se requiere de 1 galón de bóxer para producir

16 balones, es decir 0.0625 galones de bóxer por balón, de igual manera el consumo de resina para el balón publicitario es 0,1 gl/und, para el Dynamic 0,3 gl/und y para el Futbol No. 5 0.2 gl/und. A continuación en las Tabla 7. y 8 se muestra en detalle el consumo de cada insumo y materia prima por producto:

Tabla 7. Consumo de materias primas e insumos por referencia.

Productos	Cascos (Und)	Preforma (Und)	Backing (Und)	Boxer (Galón)	Resina (Galón)
Balón Publicitario	42	1	-	0,0625	0,1
Balón MK	42	1	-	0,0625	
Balón Dynamic	24	1	42	0,0625	0,3
Balón futbol 5	42	1	-	0,0625	0,2

Tabla 8. Consumo total mensual de materias primas e insumos requeridos por referencia.

Productos	Producción	Cascos	Preforma	Backing	Bóxer	Resina
Balón Publicitario	3.000	126.000	3.000	-	188	51
Balón MK	2.500	105.000	2.500	-	156	-
Balón Dynamic	2.000	48.000	2.000	84.000	125	34
Balón futbol No. 5	16.500	693.000	16.500	-	1.031	281
	24.000	972.000	24.000	84.000	1.500	366

Tabla 9. Recepciones Programadas

Partes	Disponible	Semanas de Espera	Recepciones Programadas
Piezas (Und)	250.000	1	Sem. 2 (250.000)
Preforma (Und)	6.000	1	Sem. 2 (6.000)
Backing (Und)	30.000	1	Sem. 2 (30.000)
Boxer (gl)	400	1	Sem. 2 (400)
Resina (gl)	5.175		

Tabla 10. MRP nivel O – Balones

Nivel (0) Balones					
Semana	0	1	2	3	4
Demanda Bruta		6.000	6.000	6.000	6.000
Inventario		0	0	0	0
Recep. Programada		0	0	0	0
Demanda Neta		6.000	6.000	6.000	6.000
Orden lanzada	6.000	6.000	6.000	6.000	

Tabla 11. Programación MRP nivel 1 – Cascos

Nivel (1) Piezas (cascos o juegos)					
Semana	0	1	2	3	4
Demanda Bruta		243.000	243.000	243.000	243.000
Inventario	250.000	7.000	14.000	0	0
Recep. Programada		0	250.000	0	0
Demanda Neta		0	0	229.000	243.000
Orden lanzada		0	229.000	243.000	

Tabla 12. Programación MRP nivel 1 – Preformas

Nivel (1) Preforma					
Semana	0	1	2	3	4
Demanda Bruta		6.000	6.000	6.000	6.000
Inventario	6.000	0	0	0	0
Recep Programada		0	6.000	0	0
Demanda Neta		0	0	6.000	6.000
Orden lanzada		0	6.000	6.000	

Tabla 13. Programación MRP nivel 1 – Backing

Nivel (1) Backing					
Semana	0	1	2	3	4
Demanda Bruta		21.000	21.000	21.000	21.000
Inventario	30.000	9.000	18.000	0	0
Recep Programada		0	30.000	0	0
Demanda Neta		0	0	3.000	21.000
Orden lanzada		0	3.000	21.000	

Tabla 14. Programación MRP nivel 1 – Boxer

Nivel (1) Boxer					
Semana	0	1	2	3	4
Demanda Bruta		375	375	375	375
Inventario	400	25	50	0	0
Recep Programada		0	400	0	0
Demanda Neta		0	0	325	375
Orden lanzada		0	325	375	

Tabla 15. Programación MRP nivel 1 - Resina

Nivel (1) Resina					
Semana	0	1	2	3	4
Demanda Bruta		1.050	1.050	1.050	1.050
Inventario	5175	4.125	3.075	2.025	975
Recep Programada		0	0	0	0
Demanda Neta		0	0	0	0
Orden lanzada		0	0	0	

Recomendaciones sobre la aplicabilidad práctica de las soluciones obtenidas.

Los resultados del modelo de optimización, son cantidades de producción que obtiene el mayor nivel de utilidad y también de acuerdo a los recursos que tiene la planta. Las unidades de balón publicitario son 3.000, balón MK 2.500, Balón Dynamic 2.000 y Balón de Fútbol No.5 16.500, obteniéndose una utilidad de $149’050.000.

Es muy importante tener en cuenta que el caso de análisis, es una empresa que se dedica a maquilar, por tanto, el único recurso que tiene es la mano de obra, que de por sí hace que los terminados del balón sean de alta calidad debido a la experiencia del personal. Debido a la relación comercial que las empresas tienen, las empresas se comportan como cliente y proveedor, por un lado le exige unas cantidades de producto

terminado en fechas especificadas y por otro lado le debe de suministrar la materia prima las cuales son las preformas, cascos y los backing del balón Dynamic e insumos como la resina y el bóxer.

Por tanto, para poder cumplir con la terminación de productos, el cliente exige producción y a la vez tiene que cumplir con el suministro de materias primas e insumos correspondientes a los requerimientos de producción, y cumplir con las fechas que se definen en la aplicación del MRP.

Una vez analizados los requerimientos por medio del MRP, es de gran importancia identificar cuáles son los niveles de inventario que minimicen los costos de suministro de los requerimientos de la programación de la producción, por tanto, se recomienda para una futura aplicación, un modelo que considere las capacidades de almacenamiento, la capacidad de transporte del proveedor y la disponibilidad de tiempo del proveedor para suministrar, con el objetivo de que estas variables sean tenidas en cuenta para que el modelo abarque un mayor nivel de complejidad teniendo en cuenta el comportamiento real de los recursos que influyen en la producción en este eslabón de la cadena de suministro.

Bibliografía

Campos Martínez, A. A. (2004). El sector industrial del Tolima: Aproximación histórica, estructura y dinámica. Ibagué: Banco de la República.

Heizer, J. &. (2009). Principios de adminsitración de operaciones (7 ed., Vol. 7). México: Pearson.

Johnson, L., & Montgomery, D. (1974). Operations Researsh in Production Planning, Scheduling, and Inventory Control. USA.

Taiwan Turnkey Project Association. (2011). Planta de Producción de pelotas deportivas de Bladder Butilo. Recuperado el 6 de Marzo de 2014, de urnkey Project Association: http://turnkey.taiwantrade.com.tw/

Autores :
Msc © Ing. Clara Eugenia Segovia Borray
Msc © Ing. Juan Sebastián Peláez Zúñiga
Msc © Ing. Omar Arley Arenas Quimbayo

Grupo de investigación
GESICOM – Centro de Comercio y Servicios
GINNOVA – Universidad de Ibague

Centro de Comercio y Servicios
SENA – Tolima
Universidad de Ibague
Ibagué, Colombia
csegoviaborray@gmail.com
juansebas_006@hotmail.edu.co
omaley48@htomail.com
Maestría en Gestión Industrial, Universidad de Ibagué
Modelos avanzados en programación y control de operaciones