

Plan Agregado de Producción Mediante el Uso de un Algoritmo de Programación Lineal: Un caso de Estudio para la Pequeña Industria

Reyes Vásquez John*; Molina Velis Carlos**

*Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial
e-mail: johnpreyes@uta.edu.ec

** Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial
e-mail: carlos_molina7@hotmail.es

Resumen: Las industrias de manufactura buscan la forma de planificar su producción eficientemente con la finalidad de optimizar sus recursos, para ello se cuenta con varias técnicas de planeación y herramientas informáticas, tanto con el método de solución tradicional, como con el de programación lineal. El estudio de caso presentado corresponde al tipo de empresas del sector curtidor de cuero, realizado en la empresa Ecuatoriana de Curtidos Salazar en la cual se aplicó una planeación agregada de producción comparando la solución de tres modelos de planes tradicionales con el modelo de programación lineal desarrollado por Hansmann, F. y Hess, y que se ha resuelto mediante la herramienta de optimización Lingo. Los resultados generan la conclusión que el método de programación lineal es más eficiente ya que optimiza los costos en relación a la solución tradicional de los modelos relacionados a la fuerza de trabajo, inventario y demanda, manteniendo un fuerza laboral constante, contrataciones, despidos eventuales y con variación de inventario en temporadas altas de demanda.

Palabras clave: Plan Agregado de Producción, Programación Lineal, Lingo, curtiembre.

Abstract: The manufacturing industries are seeking ways to efficiently plan their production in order to optimize their resources, for it has several planning techniques and tools, both traditional solution method, as the linear programming. The case study presented is the type of business the leather tanning industry, conducted in the Ecuadorian company Curtidos Salazar in which an aggregate production planning solution was applied comparing the three models of traditional plans with linear programming model developed by Hansmann, F. and Hess, which has been solved by the Lingo optimization tool. The results generate the conclusion that the linear programming method is more efficient because it optimizes the costs in relation to the traditional solution of the models related to the workforce, inventory and demand, maintaining a steady workforce, recruitment, temporary layoffs and with variation of inventory for peak periods of demand.

Keywords: Aggregate Production Plan, Linear Programming, Lingo, tannery.

1. INTRODUCCION

Desde la segunda guerra mundial, donde las empresas marcaron una notable revolución industrial[1], se desarrollaron diferentes técnicas con el objetivo de: disminuir costos de producción, mejorar el nivel de vida de los trabajadores y para continuar cada vez más con su respectivo mejoramiento continuo, para con esto apuntar a un considerable crecimiento económico; es ahí donde intervienen los padres de la Ingeniería Industrial Edward Deming, Henry Fayol, entre otros[2], quienes desarrollaron los primeros métodos que permitieron cumplir con las expectativas de cada empresa.

Las empresas ecuatorianas no son muy indiferentes a estas técnicas, pues desde un taller industrial hasta una curtiduría, necesitan métodos adecuados para optimizar la producción y mejorar al máximo su productividad, ya que en un mercado

tan competitivo como lo este, se tiene que renovar constantemente la oferta de productos y su respectiva forma de hacerlo.

La empresa Ecuatoriana de Curtidos Salazar S.A., con más de 30 años de funcionamiento, es una empresa dedicada a la elaboración de distintas clases de cueros a partir de la piel bovina; el cual cuenta también, con la capacidad suficiente de vender sus productos de óptima calidad en el mercado nacional e internacional. En los últimos años ha venido presentando un descenso económico, y por eso busca constantemente mejorar cada uno de sus procesos de producción, tal como se estipula, en las normas de gestión de calidad, donde la organización debe planificar y desarrollar los procesos necesarios para la realización del producto [3][4]. Considerando que esta empresa está ubicada en la zona central del Ecuador, donde existen más de 30 curtidurías, hace que esta se enfrente a un mercado competitivo, es por ello que tiene la necesidad de aplicar nuevas técnicas de producción, apoyándose de novedosas tecnologías, y así favorecer el crecimiento económico de la misma.

La producción se viene planificando de acuerdo a los pedidos, cuyo problema es la falta de tiempo para armar una

Artículo recibido el 12 de febrero, 2014; revisado 30 de agosto, 2014.

Este artículo se ha redactado como producto de la tesis de Ingeniería Industrial titulada "Plan Agregado de Producción para el Mejoramiento de la Productividad de la Empresa Ecuatoriana de Curtidos S.A."

Autor para correspondencia: Naranjillas 0267 y Av. Guaytambos, Ambato. Teléfono (593)2461211.

estrategia adecuada que permita reducir los costos de fabricación; así como también la inadecuada preparación de un sistema de inventario, que permita saber la cantidad de veces que es favorable la adquisición de materia prima en el año para estar preparados ante pedidos intempestivos, lo que significa un gran incremento de los costos producción.

El presente trabajo pretende comparar el mejor método de planeación agregada de producción que optimice los recursos empresariales de una empresa del sector curtidor de cuero; para ello se utilizan tres modelos tradicionales de solución y el de programación lineal desarrollado por Hansmann, F. y Hess[5][6], apoyándose del software de optimización Lingo 10. Además de esto, se debe contar con la ayuda del pronóstico de la demanda y los costos de producción más importantes que intervienen directamente en la producción.

Este artículo presenta una revisión de la literatura más relevante relacionada a la planeación de producción y programación lineal, seguido se muestra la metodología que se utilizó en la empresa curtidora motivo del estudio para realizar la planeación de su producción y finalmente se desarrolla el modelo matemático, aplicado a la elaboración del cuero donde se presentan los resultados.

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA

Varias empresas a nivel mundial, han optado tomar la decisión de trabajar con nuevos métodos o técnicas de solución relacionadas a la planeación de producción, las cuales permiten dar una alternativa de solución para mejorar cada uno de los procesos y con esto aumentar cada vez más la productividad, esto a través de la reducción o minimización de cada uno de los costos de producción. Existen empresas que lo realizan con nuevas tecnologías apoyadas de maquinarias novedosas como los robots[7], sin embargo, otras ocupan otro tipo de tecnologías para aplicar nuevas técnicas que le permitan aumentar cada uno de los niveles de producción[8], y los rendimientos que posee cada proceso dentro de una empresa, y así planificar de forma adecuada la producción

La planeación agregada[4], permite minimizar cada uno de los recursos más importantes: producción, inventario y mano de obra, considerados factores importantes que intervienen en la producción. Dicha técnica permite calcular el plan de producción más adecuado o más conveniente, para un futuro determinado, y con la ayuda del pronóstico de la demanda.

Tal como señala Gonzales [9], el objetivo de la planeación agregada consiste en minimizar los costos para el periodo de planeación, mediante la combinación de los recursos adecuados en términos generales o globales.

La finalidad principal de la planificación agregada es determinar la combinación de ritmos de producción, mano de obra y niveles de existencia [10], que minimice costos y logre satisfacer la demanda prevista.

Existen varias formas de realizar un plan agregado de producción, utilizando el método tradicional o el método de programación lineal [11] El método tradicional consiste en armar una tabla que verticalmente muestre los cálculos de

trabajadores y costos de producción, y que horizontalmente enseñe el periodo de planeación a los que se ejecuta el plan.

Los tres métodos tradicionales que se ocuparon para compararlos con el método de programación lineal [4] [11] son: fuerza de trabajo constante con variación de inventario e inventario agotado, fuerza de trabajo variable y fuerza de trabajo constante con variación de inventario y horas extras.

La programación lineal, es una herramienta para resolver problemas de optimización, aplicada a la planeación de producción su objetivo es el de minimizar al máximo los costos que intervienen en la producción desde la publicidad, transporte, inventario y mano de obra, mediante la ayuda de software. En el caso de estudio se ha escogido Lingo 10 [12], ya que presenta una plataforma perfecta para resolver eficientemente problemas de optimización lineales, enteros y no lineales.

En casos del sector productor de madera se ha establecido al modelo de Fuerza laboral constante e inventario ajustado a la producción como el más óptimo [13], sin embargo no se ha comprado con algún algoritmo de optimización.

3. METODOLOGÍA

3.1 Análisis del método actual

Actualmente la empresa Ecuatoriana de Curtidos Salazar S.A. viene trabajando con el modelo de producción bajo pedido, en donde la empresa elabora el producto cada vez que los clientes lo soliciten, lo que hace que no se planifique adecuadamente la producción y por ende que los costos de elaboración del producto sean elevados.

3.2 Propuesta del nuevo método

La empresa cuenta con cuatro procesos importantes para la elaboración del cuero: Pelambre, Curtido, Teñido y Acabado. Dicho lo anterior, debe considerarse a esta empresa como un caso especial, ya que para el estudio de un plan agregado de producción, se necesita conocer: el pronóstico de la demanda, estándar de mano de obra en que se realiza un producto y los costos básicos de producción; pero, el proceso de Pelambre y Curtido realiza productos para consumo interno y externo de la empresa, cuya unidad es la piel (piel bovina entera); mientras que el proceso de Teñido y Acabado, realiza solo producción para consumo interno de la empresa, donde su unidad es la banda (piel bovina dividida en dos partes). Una vez expuesta la forma en que trabajan estos cuatro procesos, en donde el proceso de Pelambre y Curtido produce casi el doble de lo que elabora el proceso de Teñido y Acabado además que ambos procesos trabajan con unidades distintas, se procede a dividir a la empresa en dos partes y a su vez realizar dos planes agregados de producción, uno para el proceso de pelambre y curtido, y otro para el proceso de teñido y acabado.

3.3 Implementación

3.3.1 Pronóstico de la demanda

Para obtener el pronóstico de la demanda de los 12 meses del año 2013, se utiliza como punto de partida la producción realizada en los años 2011 y 2012, a los cuales se les aplica el método de regresión lineal, dando como resultado una línea recta tendencia; además, se obtiene el índice de estacionalidad, el cual muestra las temporadas de altas y bajas que tiene la producción de pieles durante todo el año.

3.3.2 Pronóstico en Pelambre Curtido y en Teñido Acabado

La Tabla 1 y Tabla 2 muestran la producción de pieles para el proceso de pelambre y curtido y para el proceso de teñido y acabado de los años 2011 y 2012. Con esta información se calcula el índice de estacionalidad mensual en cada proceso, con los cuales se va a determinar el pronóstico estacional para el año 2013. Para realizar el pronóstico se utiliza el método por cálculo de mínimos cuadrados, debido a que este presenta una buena exactitud en relación a la tendencia y estaciones de demanda.

Tabla 1: Producción de Pieles y Cálculo del Índice de Estacionalidad en pelambre y curtido

MES/AÑO	2011 (pieles)	2012 (pieles)	TOTAL	PROMEDIO	INDICE DE ESTACIONALIDAD (Promedio / Total)
1	1.751	4.174	5.925	2.963	0,64
2	4.002	4.495	8.497	4.249	0,92
3	3.070	3.791	6.861	3.431	0,74
4	3.782	2.664	6.446	3.223	0,70
5	3.649	5.117	8.766	4.383	0,95
6	4.250	7.691	11.941	5.971	1,29
7	4.788	8.072	12.860	6.430	1,39
8	6.015	6.066	12.081	6.041	1,30
9	6.035	5.831	11.866	5.933	1,28
10	3.877	6.633	10.510	5.255	1,13
11	3.602	6.029	9.631	4.816	1,04
12	1.168	4.667	5.835	2.918	0,63
TOTAL				55.610	
PROMEDIO				4.634	

Tabla 2: Producción de Bandas y Cálculo del Índice de Estacionalidad en teñido y acabado

MES/AÑO	2011 (bandas)	2012 (bandas)	TOTAL	PROMEDIO	INDICE DE ESTACIONALIDAD (Promedio / Total)
1	3.502	2.912	6.414	3.207	0,53
2	8.004	4.331	12.335	6.168	1,01
3	6.139	5.894	12.033	6.017	0,99
4	7.563	4.878	12.441	6.221	1,02
5	7.297	3.596	10.893	5.447	0,90
6	8.500	3.424	11.924	5.962	0,98
7	9.575	3.624	13.199	6.600	1,08
8	12.029	4.229	16.258	8.129	1,34
9	12.070	4.573	16.643	8.322	1,37
10	7.753	7.245	14.998	7.499	1,23
11	7.204	6.262	13.466	6.733	1,11
12	2.335	3.104	5.439	2.720	0,45
TOTAL				73.025	
PROMEDIO				6.085	

Con la ayuda de las ecuaciones (1), (2) y (3), se multiplicó la producción de bandas con el índice de estacionalidad, para encontrar el correspondiente pronóstico de la demanda para el año 2013, ver Tabla 3.

Tabla 3: Pronóstico en Pelambre Curtido y en Teñido Acabado

Meses/Procesos	Pronóstico Pelambre y Curtido-2013 (pieles)	Pronóstico teñido y Acabado-2013 (bandas)
1	3.821	2.069
2	5.591	3.766
3	4.577	3.519
4	4.405	3.449
5	6.080	2.886
6	8.394	2.973
7	9.194	3.088
8	8.738	3.598
9	8.741	3.441
10	7.838	2.875
11	7.325	2.401
12	4.505	895

Con los datos de producción de los años 2011 y 2012, se tiene como variable independiente (x) al número de los meses de los 2 años, y como variable dependiente (y) a la producción de pieles. Una vez realizado dicho cálculo se procede a utilizar las fórmulas de regresión lineal. Consulte "(1), (2) y (3)".

$$b = \frac{\sum x y - n \bar{x} \bar{y}}{\sum x^2 - n \bar{x}^2} \quad (1)$$

$$a = \bar{y} - b \bar{x} \quad (2)$$

$$y = a + b x \quad (3)$$

En la Figura 1, se tiene el resultado de la curva de producción en los procesos de pelambre curtido y de teñido acabado para el año 2013; además de sus temporadas altas y bajas de producción durante todo el año.

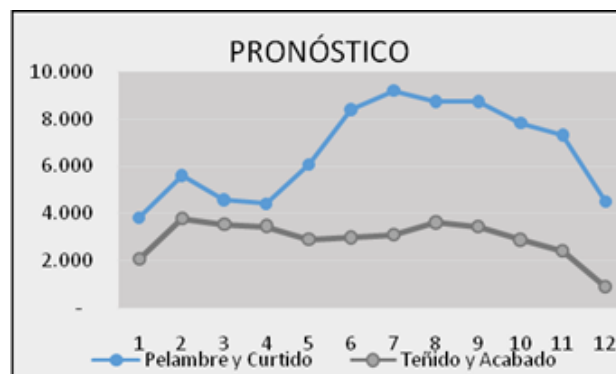


Figura 1. Pronóstico de Pieles y Bandas en Pelambre Curtido y Teñido Acabado

3.3.3 Estudio de tiempos

El tiempo promedio en que los trabajadores se demoran en realizar un producto con la mayor exactitud, viene calculado por la ecuación (4) de tiempo estándar (Ts), la cual está representada por el tiempo normal y la suma de suplementos (S) fijos, variables, por descanso y por contingencias personales que se le conceden a un trabajador para remediar alguna clase de retraso o demora en la elaboración del producto [11]. El tiempo normal es la multiplicación del promedio de tiempo observado (P) por el factor de valoración del trabajador (Fv) en relación porcentual.

$$Ts = \left(P * \left(\frac{Fv}{100} \right) \right) * (1 + S) \quad (4)$$

Realizadas las observaciones de los tiempos y calculados los suplementos que se le toman a un trabajador con experiencia realizando cada actividad, se tiene que en los procesos de pelambre y curtido el tiempo estándar es de 0,54horas/unidad y para teñido y acabado es de 0,64horas/unidad.

4. DESARROLLO DEL MODELO

4.1 Modelo matemático

La solución de un plan agregado por el método tradicional [4], muestra los diferentes planes que se ejecutan en la empresa: fuerza de trabajo constante con variación de inventariose inventario agotado (modelo 1), producción exacta con fuerza de trabajo variable (modelo 2) y fuerza de trabajo constante con variación de inventario y tiempo extra (modelo 3). Los resultados de los planes para el proceso de pelambre y curtido, y para el proceso de teñido y acabado detallan en la Tabla 9.

Existen varios modelos de programación lineal para resolver distintos problemas de plan agregado [4], [6], [14]; sin embargo el modelo seleccionado para este caso de estudio, es el de Hansmann, F. y Hess [5], [6], [9], creado en 1960, ya que es el que más se acopla al problema real y sistema productivo de esta empresa curtidora debido al sector productivo al que esta representa, cuyas variables para establecer las funciones se definen en la Tabla 4.

Tabla 4: Definición de Variables

$t =$	Indica el número de periodos, $t=1,2,\dots,T$
$C_t^W =$	Costo de un trabajador en el periodo t
$C_t^C =$	Costo de contratar un trabajador en el periodo t
$C_t^D =$	Costo de despedir a un trabajador en el periodo t
$C_t^I =$	Costo de mantener una unidad en inventario en el periodo t
$C_t^F =$	Costo del faltante de una unidad en el periodo t
$P_t =$	Número de unidades producidas en el periodo t
$W_t =$	Número de trabajadores en el periodo t
$C_t =$	Número de trabajadores contratados en el periodo t
$D_t =$	Pronóstico de la demanda en el periodo t
$I_t =$	Número de unidades en inventario en el periodo t
$F_t =$	Número de unidades faltantes en el periodo t
$n_t =$	Número de unidades que realiza un trabajador en el periodo t

Una vez definidas las variables, la función objetivo y restricciones del modelo de programación lineal a utilizar en Curtiduría Salazar se muestran en las ecuaciones (5), (6), (7) y (8).

Función Objetivo

$$\min = \sum_{t=1}^T (C_t^W * P_t + C_t^C * C_t + C_t^D * D_t + C_t^I * I_t + C_t^F * F_t) \quad (5)$$

Sujeta a:

Restricciones de producción

$$P_t \leq n_t * W_t ; \quad \forall 1 \leq t \leq T \quad (6)$$

Restricciones para trabajadores

$$W_t = W_{t-1} + C_t - D_t ; \quad \forall 1 \leq t \leq T \quad (7)$$

Restricciones de inventario

$$I_t - F_t = I_{t-1} - F_{t-1} + P_t - D_t ; \quad \forall 1 \leq t \leq T \quad (8)$$

4.2 Plan agregado en pelambre y curtido

El proceso de pelambre y curtido de la empresa Ecuatoriana de Curtidos Salazar, producen “wet blue” o piel bovina refinada, para consumo interno y consumo externo de la empresa, para ello se establece el tipo de producción apropiada para los 12 meses del año 2013 que optimice todos sus recursos y genere menos costos. Con una demanda con variación estacional, se establece trabajar inicialmente con 19 trabajadores, además se determina los costos de producción para el plan agregado, los que se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5: Costos de Producción en Pelambre y Curtido

Costo de contratación y capacitación	\$ 185,15 /trabajador
Costo de despido	\$ 111,27 /trabajador
Costo de un trabajador normal en el mes	\$ 475,94 /trabajador
Costo de mantenimiento del inventario	\$ 1,88 /piel
Costo marginal del inventario agotado	\$ 3,36 /piel

$$\min = 475.94 * \left(\sum_{t=1}^{12} W_t \right) + 185.15 * \left(\sum_{t=1}^{12} C_t \right) + 111.27 * \left(\sum_{t=1}^{12} D_t \right) + 1.88 * \left(\sum_{t=1}^{12} I_t \right) + 3.36 * \left(\sum_{t=1}^{12} F_t \right)$$

La función objetivo para el modelo de Pelambre y Curtido se la plantea a través de la ecuación (4) y utilizando para las constantes la información detallada en la Tabla 5.

Una vez planteada la función objetivo, se procede a diseñar cada una de las restricciones en base a las ecuaciones (6), (7) y (8), armadas dentro del programa Lingo 10.

En la Figura 2, se presenta la codificación del modelo matemático, donde primero se muestra la declaración de variables de tipo vectorial y matricial, posterior a ello se les

Para llegar a la solución del plan de producción de Teñido y Acabado, Lingo realiza 5051 interacciones y presenta un valor óptimo de \$ 74.796,61, ver Figura 3.

La Tabla 8 resume los resultados entregados por el modelo matemático y Lingo 10, en la cual se tiene el número de unidades a producir en cada mes del año 2013, número de trabajadores necesarios a contratar, despedir y el nivel de inventario proyectado de existencias e inexistencias que la empresa puede tener durante todo el año.

Tabla 8. Respuesta Lingo 10 en Teñido y Acabado

Mes	Producción	Trabajadores	Contratación	Despido	Inventario	Faltantes
Enero	2.520	10	0	3	451	0
Febrero	3.315	15	5	0	0	0
Marzo	3.510	15	0	0	0	9
Abril	3.458	14	0	1	0	0
Mayo	3.120	12	0	2	234	0
Junio	2.652	12	0	0	0	87
Julio	3.120	12	0	0	0	55
Agosto	3.653	15	3	0	0	0
Septiembre	3.456	15	0	0	15	0
Octubre	2.860	11	0	4	0	0
Noviembre	2.340	10	0	1	0	61
Diciembre	968	4	0	6	0	0

5. RESULTADOS

En este proyecto se analizan dos pronósticos de la demanda, resueltos con el método de regresión lineal con índice de estacionalidad. Se enseña a detalle el costo de los planes agregados de producción para el proceso de pelambre y curtido, como también para el proceso de teñido y acabado, resueltos con el método de programación lineal, los cuales expresan como se debe administrar los recursos importantes que intervienen en dicha producción como el: número de trabajadores que se debe utilizar y el número de unidades que se deben producir con su respectivo inventario para almacenar.

Tabla 9: Costos totales de producción en cada plan agregado

Planes/Procesos		Proceso de Pelambre y Curtido	Proceso de Teñido y Acabado	Costo Total (USD)
PLANES TRADICIONALES	Plan Agregado de Producción: Modelo 1	\$ 151.106,60	\$ 77.595,47	\$ 228.702,07
	Plan Agregado de Producción: Modelo 2	\$ 141.341,07	\$ 81.426,49	\$ 222.767,56
	Plan Agregado de Producción: Modelo 3	\$ 144.116,24	\$ 74.349,60	\$ 218.465,84
PLAN CON PROGRAMACIÓN LINEAL	Plan Agregado de Producción: Modelo 4	\$ 143.609,60	\$ 74.796,61	\$ 218.406,21

En la Tabla 9, se enseñan los resultados finales, de los cuatro modelos de planes de producción conocidos como: fuerza de trabajo constante con variación de inventarios e inventario agotado con un valor de \$228.702,07, producción exacta con fuerza de trabajo variable con un precio de \$ 222.767,56 y fuerza de trabajo constante con variación de inventario y tiempo extra con un costo de \$ 218.465,84, en donde se comparan con el modelo 4 de programación lineal, el cual ha sido motivo de este estudio ya que da como resultado el valor económico más bajo con un valor de 218.406,21 USD ya que optimiza cada uno de los recursos que intervienen en la producción.

Se determina una fuerza laboral constante de 10 trabajadores, contrataciones y despidos eventuales entre 1 y 5 trabajadores, así como una variación de inventario en temporadas altas de demanda.

Los cálculos de cada uno de los diferentes modelos de planes de producción, en comparación con el método tradicional y con de programación lineal, permiten conocer cada una de las alternativas que la empresa puede utilizar para cumplir con determinada producción, en donde se puede comprobar la efectividad que tiene el emplear el modelo de programación lineal, el cual es una técnica sistemática e innovadora que mezcla cada una de las variables que intervienen en la producción, y que además optimiza a detalle cada uno de los recursos que utiliza la empresa para elaborar un producto, para con esto reducir los costos que se tiene por cumplir con la producción.

6. CONCLUSIONES

Utilizando planeación agregada, se pudo conocer los beneficios de trabajar con técnicas científicas de optimización, que permiten predecir a detalle, la forma más adecuada con la que se debe trabajar dentro de una unidad productiva, ya que según el modelo utilizado de programación lineal desarrollado por Hansmann, F. y Hess[5], a diferencia de los otros modelos tradicionales, resultó el plan de producción más adecuado que la empresa debe utilizar para el año 2013, cuyo valor es de 218.406,21, el cual sirve para disminuir costos producción y así aumentar cada vez más su productividad, manteniendo una fuerza laboral permanente como parte de su política interna de responsabilidad empresarial, con contratación y despidos eventuales y con una variación de inventario en temporadas altas.

Finalmente, se pudo constatar a través en el caso de estudio, que el método de programación lineal, es una técnica sistemática e innovadora aplicable a curtiembres, la cual permite combinar y minimizar al máximo, cada uno de los recursos más importantes que tiene la empresa objeto de estudio. De esta manera tomar la decisión más adecuada, en que se puede llevar a cabo la producción dentro de las empresas enfocadas a la industria curtidora de cuero en general, se recomienda que se considere el modelo aplicado en este trabajo ya que brinda una optimización de recursos sistemática superior a otros métodos de solución.

Se presenta una oportunidad de estudios posteriores sobre implementación y experimentación del modelo establecido en otras empresas del sector curtidor, con el objetivo generar mayores ventajas y ahorros económicos.

REFERENCIAS

- [1] A. Chandler, «Escala y diversificación,» *Revista de Economía Aplicada*, vol. 4, n° 12, pp. 167-170, 1996.
- [2] H. Pérez Rabionet, O. García Expósito, Y. Monteagudo y M. Caballero Lima, «Historia de la Ingeniería Industrial. Un acercamiento panorámico al tema en el mundo y en Cuba,» *Revista Estudiantil Nacional de Ingeniería y Arquitectura*, vol. 1, n° 2, p. 18, 2010.
- [3] Organización Internacional de normalización (ISO) 9001, «Requisitos

- para un Sistema de Gestión de la Calidad», Suiza, 2008.
- [4] C. Molina, «Plan Agregado de Producción para el mejoramiento de la productividad de la Empresa Ecuatoriana de Curtidos S.A.» Tesis Ingeniería. Ambato, Universidad Técnica de Ambato, 2013.
- [5] F. Hanssmann y S. W. Hess, «A Linear Programming Approach to Production and Employment Scheduling,» *Management Science*, vol. 1, n° 1, pp. 46-51, 1960.
- [6] S. C. Graves, «Manufacturing Planning and Control,» *Massachusetts Institute of Technology*, pp. 9-11, November 1999.
- [7] L. Labourdette, «Más productividad, menos polución,» *Revista ABB*, vol. 2, n° 1, pp. 58-61, 2007.
- [8] M. Morris y H. Salazar, «Investigación De Operaciones Como Herramienta En Las Empresas Financieras Frente A La Complejidad,» *Revista Evaluación e Investigación*, vol. 7, n° 1, p. 71.82, 2013.
- [9] C. Guendez Fernandez, «Programación lineal e Ingeniería Industrial: una aproximación al estado del arte,» *Ingeniería Industrial, actualizad y nuevas tendencias*, vol. 2, n° 6, pp. 61-78, 2011.
- [10] M. D. Arango Serna, C. Vergara Rodríguez y H. Gaviria Montoya, «Modelización Difusa Para La Planificación Agregada De La Producción En Ambientes De Incertidumbre,» *Dyna*, vol. 77, n° 162, pp. 397-409, 2010.
- [11] R. Chase, F. R. Jacobs, N. J. Aquilano y R. T. Matus, Administración de operaciones: producción y cadena de suministros, México: McGraw-Hill, 2009..
- [12] LINDO Systems, Inc, Optimization Modeling with LINGO, Chicago, 2006.
- [13] R. del Solar, I. Chacón y M. Ponce, «Plan agregado de producción en barracas madereras,» *Maderas. Ciencia y tecnología*, vol. 10, n° 2, pp. 77-92, 2008.
- [14] A. C. A. L. Orlando Dante Boiteux, «La Planificación Agregada como Instrumento Integrador de las Áreas Funcionales de la Empresa: Estado del Arte y Perspectivas,» de *XI Congreso de Ingeniería de Organización*, Madrid, 2007.