



Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla
Centro Interdisciplinario de Posgrados
Investigación y Consultoría
Escuela de Ingeniería

Maestría en Logística y Dirección de la Cadena de Suministro

PROGRAMACIÓN DE LOTE ECONOMICO EN LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ

Tesina para obtener el grado de
Maestría en Logística y Dirección de la Cadena de Suministro

Presenta
Ailed Espinoza Guillén

Director de Tesina
Dra. Diana Sánchez Partida

Puebla, México

Agosto 2016



UPAEP – Secretaría General

Dirección General de Apoyos Académicos

Dirección del Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación.

Biblioteca Central - **Karol Wojtyla**

Tesis Digitales Restricciones de uso:

DERECHOS RESERVADOS ©

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de textos, imágenes, gráficas, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente de donde la obtuvo mencionando el autor o autores involucrados en el documento.

Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

1. AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla por la oportunidad para estudiar la maestría en Logística y Dirección de la Cadena de Suministro y poderme desarrollar a nivel personal y profesional.

Al director de Posgrado, el Dr. José Luis Martínez Flores por su guía e impulso durante este tiempo.

A la Dra. Diana Sánchez Partida por su dedicación, consejos y conocimientos para el desarrollo de este proyecto.

Un especial agradecimiento al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por haberme otorgado una beca durante dos años, por la cual fue posible realizar esta maestría.

A mi familia por su valioso apoyo y motivación en todo momento desde el inicio de mis estudios de maestría que me impulsaron a seguir adelante.

A mis compañeros, maestros y amigos por creer en mí y la motivación constante.

A la empresa Technical Plastics Systems por la apertura y disposición para el desarrollo de este trabajo.

2. INTRODUCCIÓN

Es por todos conocidos que las empresas productivas realizan la programación de la producción tomando como base la demanda del mercado. La política de producción, el plan maestro de producción, planeación de los requerimientos de materiales, manejo de inventarios son parte de dicho proceso (Bañol et al 2010). Con el objetivo de reducir los costos logísticos totales es necesario ajustar la producción a la demanda del mercado lo que permitirá tener un nivel de inventarios óptimos. Es por ello que el dimensionamiento de lotes juega un papel importante dentro del proceso.

Desde la década de los 60's se inició la investigación del problema de dimensionamiento de lotes con el objetivo de conocer los lotes óptimos de producción que permitan cumplir con la demanda y reducir los costos logísticos. Rogers (1958), Hsu(1983), Soman et al (2004), Elmaghraby (1978), Giri et al (2003), Maxwell (1964) son solo algunos de los autores que han estudiado el tema desde diferentes métodos y restricciones.

El modelo ELSP, por sus siglas en inglés, consiste en la programación de la producción de varios artículos en una sola máquina, para ello se debe producir en lotes que se repiten cada cierto tiempo. Para el desarrollo del modelo es necesario se cumplan con las siguientes características: la capacidad productiva es suficiente para alcanzar la demanda total requerida, los tiempos de preparación no son dependientes de la secuencia de producción y los costos de preparación son constantes.

Derivado de lo anterior el caso de estudio presentado se desarrolló en una empresa del sector automotriz ya que se considera que sigue los planteamientos del modelo ELSP y cuyo objetivo fue la obtención del lote óptimo de producción para tres máquinas que producen tres artículos diferentes cada una.

3. ARTICULO ENVIADO A: Ier CONGRESO INTERNACIONAL EN SUPPLY CHAIN MANAGEMENT EN UNA ECONOMÍA GLOBAL: LOGÍSTICA COMO ESTRATEGIA FINANCIERA, RETO PARA LATINOAMÉRICA 2016

PROGRAMACIÓN DE LOTE ECONOMICO EN LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ

Espinoza-Guillén Ailed¹, Sánchez-Partida, Diana², Martínez-Flores, José Luis³.

^{1, 2, 3}Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, UPAEP.

ailed.espinoza@upaep.edu.mx,

diana.sanchez@upaep.mx;

jose Luis.martinez01@upaep.mx

Resumen

Este documento considera la aplicación del problema de programación de Lote Económico, ELSP por sus siglas en inglés, para tres máquinas de inyección que producen tres artículos diferentes cada una. El modelo permite conocer los lotes óptimos de producción que aseguren el cumplimiento de la demanda con el menor costo logístico, considerando que se tiene una demanda determinística bajo una producción finita, que la capacidad productiva es suficiente para alcanzar dicha demanda, los tiempos de preparación no son dependientes de la secuencia de producción y los costos de preparación son constantes. El modelo permite desarrollar una política de programación cíclica de varios artículos en una sola máquina. Durante la planeación de la producción es necesario conocer los lotes óptimos de producción que aseguren niveles óptimos de inventario y servicio al cliente, no se permiten retrasos en las entregas ni *stockouts*. El modelo se aplicó en una empresa del sector automotriz que inyecta componentes plásticos con insertos metálicos para la fabricación de frenos ABS. La empresa cuenta con 9 máquinas de inyección de plástico donde se procesan 15 números de parte; sin embargo durante este año en una de las máquinas se incrementó la producción de artículos de uno a tres por la entrada de nuevos proyectos lo que significó incrementar considerablemente la capacidad de la máquina del 20% al 100%. El alcance del proyecto contempla la determinación de lotes óptimos de producción y determinación de los turnos. Actualmente se determinan los turnos en base a las entregas programadas por semana para cumplir con el esquema Justo a Tiempo (JIT) de uno de sus clientes.

Palabras Clave

Dimensionamiento de lotes, Programación de la producción, Modelo determinístico, Método ELSP.

Abstract

The following document considers the application of Economic Lot Scheduling Problem (ELSP) used in three injection-molding machines that produces three different items each one. The purposed model allow us to know the optimal production lots for ensure the requirement compliance demand with the lowest logistical cost, considering a deterministic demand under a finite production; the production capacity is enough to reach the customers demand with a set up times independents from the production sequence and consider constant set up costs. The model allow us to develop a cyclical programming policy for several items in one machine at the time. During the production planning it is necessary know the optimal production lots which will ensure the optimal inventory levels and on time deliveries to the customers, but it does not allows late deliveries neither stock outs. The model has been applied in a company from the automotive industry dedicated to the plastic components injection with metallic inserts for ABS brakes production. This company owns 9 machines for plastic injections where are processed 15 part numbers; however during this year (2016) one of the machines the parts productions increased from one to three, due to the entry of new projects; this means increase considerably the machine capacity from 20% to 100%. The scope of this project consider the set of optimal production lots and shifts determination. Now a day the shifts are established based in the weekly deliveries for being aligned with the Just in Time frame from one of his customers.

Keywords

1. INTRODUCCIÓN Y REVISIÓN DE LITERATURA

La industria de autopartes en México es una de las más desarrolladas en el país y representa una inmensa red de proveeduría de las principales plantas armadoras a nivel mundial cumpliendo con los altos estándares de sus clientes bajo las normas internacionales; para ser competitivo en el sector es necesario enfrentar los grandes retos en áreas como producción, enfocados en cumplir con la demanda, mantener un nivel óptimo de inventarios y entregas justo a tiempo, bajo la premisa de reducción de costos logísticos.

El problema de dimensionamiento de lotes ha sido un tema muy estudiado por diversos investigadores desde diferentes perspectivas, métodos y restricciones que añaden complejidad al problema. Bomberger (1966) define el problema como la programación de la producción de productos diferentes en una sola máquina bajo una base repetitiva, con las siguientes características: solo un ítem puede ser producido en determinado tiempo, existen costos de arranque y tiempo de preparación la demanda es conocida y constante y se puede cumplir.

Doll & Whybark (1973) definen límites inferiores y superiores para el desarrollo de programaciones óptimas de producción. En el marco del ELSP, Glass (1992), plantea el problema de viabilidad mediante un algoritmo para las aproximaciones de programas de producción viables.

Elmaghraby (1978) menciona que al integrar la planeación de los materiales con las nuevas tecnologías de la información, se procesan de manera más eficiente los datos que dan lugar al planteamiento del problema ELSP el cual se enfoca en los patrones de producción para la distribución cíclica de diferentes productos en una sola unidad de procesamiento de materiales. Este problema ha sido estudiado desde 1915 y se deriva de la cantidad económica de manufactura, EMQ por sus siglas en inglés, que considera el cálculo para ítems individuales en un complejo productivo. Con la implementación de las variantes a través de las aportaciones de diferentes autores, se pueden clasificar 2 categorías, la primera se basa en una aproximación analítica que obtiene el óptimo de una versión original del problema; y la segunda se trata de una aproximación heurística “buena” (en algunas ocasiones “muy buena”) solución del problema original (Elmaghraby, 1978). En donde se paga una penalización por derivado de la definición de la optimización verdadera.

En el estudio de Vidal et al. (2006), se realiza una clasificación del problema; Según el modo del cálculo del lote, la tipología del método de resolución, el objeto del problema, el tipo de estudio abordado en el problema, por la realización de aplicaciones numéricas en el desarrollo de la argumentación, la evaluación de diversas heurísticas mediante simulación y la modificación de parámetros dados. En donde se puede apreciar que el método que aproxima los resultados al óptimo es según el cálculo de lote. Eilon (1957), Rogers (1958), Mallya (1992) proponen la solución independiente donde se calcula el tamaño con base a la fórmula del tamaño de lote económica, EOQ por sus siglas en inglés, pero ignora que varios productos sean procesados en la misma máquina; Hanssman (1962) detalla el método del ciclo común basada en determinar la longitud suficiente para acomodar la producción y que sean procesados todos los productos. El periodo básico es introducido por Khouja et al. (1998), el cual admite diferentes ciclos para cada producto, con la condición de que el vuelta sea múltiplo entero del periodo con una longitud suficiente. Haessler (1979) comienza a trabajar con el periodo básico extendido, que toma en cuenta 2 periodos básicos consecutivos. Dobson (1987) trata el método de modificación de los tamaños de lote durante un programa cíclico, el cual permite distintos tamaños de lote para la programación de un ciclo. Eynan (2003) estudia el enfoque de producción flexible mediante la alteración de las tasas de producción durante un ciclo de producción con el que se obtienen ahorros en los costos de producción.

Para dar solución a un problema de ELSP se pueden polarizar los modelos en dos extremos: uno incluye las revisiones simplificadas con múltiples omisiones para hacer posible una solución y el otro en el que se investiga a fondo el problema y se incluyen modelos matemáticos complejos para encontrar una solución óptima. Siguiendo la línea que marca la literatura, podemos encontrar tres políticas principales de planificación se han desarrollado para el ELSP llamados enfoque de Ciclo Común, enfoque de Periodo Básico y enfoque de lotes de tamaño variable (Chan et al, 2012).

Para este proyecto se utilizó el primer enfoque, de Ciclo Común que restringe todos los tiempos de ciclo de los productos a uno igual para todos (Khoury et al, 2001). Una manera compleja de proponer cambios y llegar a establecerlos en una empresa para la solución de un modelo ELSP con restricciones es posible mediante el Ciclo Común. Este supuesto simplifica el esfuerzo de modelado de manera que la implementación es viable y la solución al problema siempre es factible (Torabi et al, 2005).

Una vez definido el enfoque a utilizar, lo siguiente es la obtención de la información. En la recopilación de los datos del área de producción, se puede resaltar que en la empresa no existe una tasa variable de producción. En los procesos de producción con máquinas que utilizan dispositivos para la fabricación de piezas y otros componentes, la variación de la tasa de producción en la mayoría de los casos está relacionada con la calidad que se tenga en la salida de los procesos operativos (Ma et al, 2010).

En el proyecto de Chan et al (2012), se elimina la variable de que una máquina está sujeta a fallas aleatorias que pueden afectar el resultado final. En su estudio, hace uso de la distribución exponencial para ayudarse a modelar la tasa de fallo de las máquinas y así estudiar el impacto de dicho fallo en la solución óptima. Con lo que se concluye que con un enfoque de Ciclo Común se puede desarrollar una solución independiente muy similar al óptimo de los otros dos enfoques previamente mencionados. El presente estudio plantea el problema de programación de lote económico aplicado a tres máquinas de inyección de plástico, el cual nos arrojará el tamaño óptimo de producción.

2. DESCRIPCION DEL PROBLEMA

Mediante un acercamiento con una empresa del ramo automotriz de la ciudad de Puebla en México, dedicada a la fabricación de partes plásticas con componentes metálicos para la fabricación de frenos ABS. Se determinó plantear el problema de programación de lote económico porque tiene una demanda determinística pues trabajan mediante proyectos con todos sus clientes donde se fijan las entregas por día o por semana, es decir, se conoce con certeza la demanda por periodo. Se aceptan variaciones en las entregas de un máximo de +/- 1.5%. La política del corporativo tiene como objetivo para sus clientes, tener por contrato un mínimo 1.5 semanas de stock dependiendo del volumen anual requerido. La empresa cuenta con 9 máquinas, 3 de ellas solo inyectan plástico y las otras 6 tienen un sistema de automatización para la integración de pines (partes metálicas). La empresa produce en total 15 números de parte para 3 clientes a nivel nacional los cuales deben cumplir estándares finales de calidad para exportación. Su capacidad de producción actual es suficiente para alcanzar la demanda total.

Este año entró en vigor un proyecto donde se inicia la fabricación de 2 nuevos números de parte en la máquina 5 (M5); hasta el año pasado solo se inyectaba un producto en esta línea. La capacidad de producción de esta máquina aumento del 20% al 80% sin embargo los tiempos de preparación no dependen de la secuencia de producción ya que para el cambio de parte solo se necesita un cambio de molde. Adicionalmente, se resuelve el problema de lote económico para la maquina 1 (M1) y 6 (M6) donde también se producen 3 números de parte en cada una.

Los productos obtenidos de la maquina 5 y 6 son piezas plásticas mediante el proceso de moldeo por inyección. En el proceso es necesario un operador que introduce la resina a las máquinas y que posteriormente separa las piezas ya inyectadas y las introduce a los contenedores finales que se entregarán al cliente. En los cambios de versión es necesario una persona para el cambio de molde y toma un total de 2 horas por cambio de molde, por lo que los tiempos son bajos en comparación con otras máquinas. En el caso de la máquina 1, además del proceso de moldeo por inyección se introducen unos pines a las piezas plásticas pero todo el procesos de producción es 100% automatizado. Para el cambio de versión se necesitan dos técnicos, uno que realiza el cambio de molde y otro que realiza la programación en el molde para la introducción de los pines de forma automática, los cambios de versión toman en promedio 6 horas.

Se desea conocer el lote óptimo de producción para cada uno de los artículos por máquina con el fin de determinar si los lotes de fabricación son los adecuados para asegurar niveles óptimos de producción que eviten el desabasto o la sobreproducción y apegarse más a una política de Justo a Tiempo ya que actualmente tienen un promedio de 30 días de inventario por artículo. Las entregas se realizan de forma diaria y semanal, dependiendo del cliente, los artículos con menor demanda se producen solo 3 veces por año, lo que involucra tener un mayor número de piezas la mayor parte del tiempo.

3. DESARROLLO DEL MODELO

El propósito del modelo ELSP es determinar un patrón cíclico de producción basado en una demanda determinística donde en cada máquina se producirán tres artículos y que la secuencia de producción no depende del tipo de artículo está determinado por las siguientes variables:

d_j = demanda determinística

q_j = lote económico

r_j = tasa de producción (unidades/periodo)

s_j = tiempo de preparación (horas)

k_j = costo de operador, costo de arranque

h_j = costo de sostenimiento de inventario

T = tiempo de ciclo económico

T_{min} = tiempo de ciclo factible

El tiempo de preparación esta dado en horas y no depende de la secuencia de producción.

La variable k_j se determinó basándonos en el costo de los operadores y el personal de mantenimiento responsable del cambio y preparación de los moldes. Para el costo de sostenimiento de inventario h_j se tomaron en cuenta los costos de seguro, renta, personal y equipo necesario para la administración del inventario en relación al total del inventario en un periodo, el cual es de 5%. El tiempo de ciclo económico determina el tiempo de ciclo para cada producto teniendo en cuenta los costos de arranque y sostenimiento de inventario determinados por la demanda y la factibilidad de producción en base a la tasa de producción. El tiempo de ciclo económico está determinado por la ecuación (1)

$$T^* = \sqrt{\frac{2 \sum_{j=1}^n k_j}{\sum_{j=1}^n h_j d_j \left(1 - \frac{d_j}{r_j}\right)}} \quad (1)$$

El tiempo de ciclo factible es necesario para conocer tiempo de preparación entre el tiempo disponible por arranque o setup y está determinado por la ecuación (2)

$$T_{min} = \frac{\sum_{j=1}^n s_j}{1 - \sum_{j=1}^n (d_j / r_j)} \quad (2)$$

T_{min} no se puede rebasar sin comprometer la factibilidad, la solución óptima es elegir el tiempo de ciclo T igual al valor mayor de entre T^* y T_{min} . (Nahmias, 2007)

Por lo anterior el lote económico de pedido está determinado por la demanda y el tiempo de ciclo, determinado por la ecuación (3)

$$q_j = d_j T \quad (3)$$

El modelo nos pide se cumpla la condición de la ecuación (4) para asegurar que la máquina tiene la capacidad suficiente para satisfacer la demanda de todos los productos, y que se asegure la demanda para el periodo. Para este modelo se consideró tener al menos el 80% de la capacidad para tener un mejor margen de holgura en caso de que la maquina pueda presentar fallos. En el caso de la maquina 1 no se cumple esta condición debido a que la capacidad no es suficiente para cubrir la demanda del producto M1.2 y actualmente ese

producto se debe producir en 2 máquinas. Para el caso de este estudio se consideró la capacidad de producción de las dos máquinas.

(4)

$$\sum dj/rj \leq 1$$

Se crearon escenarios en base a diferentes periodos de tiempo para evaluar el comportamiento y determinar la solución óptima. Los escenarios se determinaron en base a periodos de la demanda en uno, seis y doce meses, los resultados los podemos observar en las Tablas 1, 2 y 3.

La empresa opera bajo el esquema *Make to Order (MTO)* por lo que produce los artículos bajo pedido. Los pedidos se fijan por contrato previo; a principios de año se determina la cantidad del proyecto y piezas que deben surtir cada semana con entregas programadas por día o semana dependiendo del cliente. Por lo anterior, se concluye que la demanda es determinística, de esta manera fue posible determinar los escenarios de demanda para el cálculo de lote.

Los tiempos de preparación de las máquinas 5 y 6 son más bajos que el de la máquina 1 ya que para el cambio de versión solo se necesita realizara un cambio de molde e involucra solo a un técnico. Para el cambio de versión de los modelos de la máquina 1 se necesita un promedio de 6hrs e involucra dos técnicos ya que se debe realizar un cambio de molde, insertos y programación de la automatización para la introducción de los pines.

La empresa opera bajo un esquema de tres turnos por día. Para las máquinas 1 y 5 fue necesario utilizar el máximo número de turnos por semana para lograr satisfacer la demanda, en el caso de la máquina 6 con un esquema de 12 turnos por semana es suficiente con lo que la capacidad de máquina esta sobrada. De los productos que actualmente se fabrican no es posible producirlos en una maquina diferente a la asignada por lo que el que caso de que se aumente la demanda no será posible cubrirla.

Tabla 1: Lote económico según demanda mensual

# MAQ	Modelo	Demanda (u/mes) d	Tasa de producción (u/mes) r	Lote economico q_j
M1	M1.1	42,300	161,196	9,617
M1	M1.2	180,600	322,392	41,057
M1	M1.3	9,603	161,196	2,184
M5	M5.1	51,840	293,244	7,007
M5	M5.2	14,198	130,704	1,920
M5	M5.3	209,100	369,600	28,263
M6	M6.1	18,360	70,656	4,239
M6	M6.2	14,388	73,728	3,322
M6	M6.3	14,464	91,200	3,339

Tabla 2: Lote económico según demanda semestral

# MAQ	Modelo	Demanda (u/semestre) d	Tasa de producción (u/semestre) r	Lote economico q_j
M1	M1.1	240,503	1,047,774	12,156
M1	M1.2	1,117,216	2,095,548	56,466
M1	M1.3	56,557	1,047,774	2,859
M5	M5.1	311,040	1,906,086	16,648
M5	M5.2	90,040	849,576	4,820
M5	M5.3	1,254,600	2,402,400	67,149
M6	M6.1	110,160	459,264	10,240.00
M6	M6.2	88,000	479,232	8,180.00
M6	M6.3	87,814	592,800	8,163.00

Tabla 3: Lote económico según demanda anual.

# MAQ	Modelo	Demanda (u/año) d	Tasa de producción (u/año) r	Lote economico q_j
M1	M1.1	481,006	2,095,548	17,191.00
M1	M1.2	2,234,432	4,191,096	79,854.00
M1	M1.3	113,115	2,095,548	4,043.00
M5	M5.1	622,080	3,812,172	23,605
M5	M5.2	173,760	1,699,152	6,594
M5	M5.3	2,509,200	4,804,800	95,212
M6	M6.1	220,320	918,528	14,526.00
M6	M6.2	172,656	958,464	11,384.00
M6	M6.3	173,760	1,185,600	11,457.00

4. RESULTADOS

En las Tablas 1,2 y 3 se desarrollaron tres periodos de tiempo para la determinación del lote con la finalidad de analizar el comportamiento del modelo a corto y mediano plazo en la variación del tamaño de lote. En caso de una variación en la demanda, problemas de calidad o cambios de producción resulta conveniente trabajar con lotes más pequeños que permitan tomar acciones de forma inmediata sin que grandes lotes se vean afectados, para lograr esto se requiere minimizar los tiempos de set up, tener personal correctamente capacitado para los cambios de versión y tener un programa de mantenimientos preventivos que aseguren una correcta implementación. Los costos logísticos obtenidos de los tres escenarios representan una variación de menos del 1% sin embargo se deben tomar en cuenta las implicaciones mencionadas en la planeación de la producción.

La Tabla 4 muestra el resumen de los tres escenarios propuestos para la aplicación del modelo ELSP haciendo una comparación del estado actual. La determinación del tamaño de lote contemplando una demanda anual resulta ser la más apta pues genera una corrida más amplia lo que permite mayor tiempo de holgura para los mantenimientos preventivos y evitar hacer los cambios de versión de forma repetitiva ya que actualmente la empresa no cuenta con el personal suficiente para dichos cambios.

En el caso de la máquina 5 no se pudo realizar una revisión en relación al estado actual ya que este año entraron en vigor los proyectos para los modelos 1 y 3 por lo que el cálculo servirá de base para la determinación del tamaño de lote.

Tabla 4 Comparativo estado actual vs propuesta

Maquina 1	Tamaño de Lote			
	Mensual	Semestral	Anual	Lote actual
M1.1	9,617	12,156	17,191	58,000
M1.2	41,057	56,466	79,854	87,000
M1.3	2,184	2,859	4,043	25,000

Maquina 5	Mensual	Semestral	Anual	Lote actual
M5.1	7,007	16,648	23,605	40,000
M5.2	1,920	4,820	6,594	15,800
M5.3	28,263	67,149	95,212	126,000

Maquina 6	Mensual	Semestral	Anual	Lote actual
M6.1	4,239	10,240	14,526	15,000
M6.2	3,322	8,180	11,384	17,600
M6.3	3,339	8,163	11,457	21,000

La Tabla 5 muestra los resultados en relación al tiempo de ciclo económico (T^*) y factible (T_{min}) considerando demandas anuales. En todos los casos se utiliza el tiempo de ciclo económico, mismas que están dados en años. Podemos observar que el ciclo de rotación debe repetirse cada 18, 19 y 34 días respectivamente.

Tabla 5: Tiempos de ciclo por máquina

# MAQUINA	T^*	T_{min}
M1	18.447	4.102
M5	19.587	1.181
M6	34.033	1.012

5. CONCLUSIONES

Si bien en la actualidad la empresa no determina las corridas de producción mediante modelos matemáticos podemos observar que la experiencia les permitió en algunos artículos tener decisiones acertadas sin embargo para otros, los lotes son más grandes de lo necesario, provocando un sobre inventario que a su vez eleva los gastos de almacenamiento. En el presente estos gastos no significan un foco rojo pues mantienen un nivel relativamente bajo para este concepto, sin embargo lo óptimo es mantener los niveles de inventario mínimos suficientes para la continuidad productiva y operando bajo la metodología de justo a tiempo. Los proyectos por venir e introducción de nueva líneas de producción y números de parte irán haciendo un tanto más compleja la producción y se requiere tener buenas bases en prácticas de manufactura que aseguren una mayor rentabilidad, presencia en el mercado y servicio al cliente.

En el modelo presentado se evaluaron 3 posibles escenarios, en todos ellos y para la mayor parte de los artículos son necesarias corridas de producción más cortas que permitan disminuir los costos de inventario pero que involucren personal mejor capacitado y suficiente, mejora en los tiempos de cambios de versión y un plan adecuado de mantenimientos preventivos.

6. AGRADECIMIENTOS

Para la realización de este documento, los autores de este trabajo desean agradecer a la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, la empresa del sector automotriz de la ciudad de Puebla y estudiante Ailed Espinoza Guillén #CVU de CONAcYT 616422

7. REFERENCIAS

- Bomberger, Earl E. (1966). "A Dynamic Programming Approach to a Lot Size Scheduling Problem". *Management Science*. Vol.12, No.11, pp.778-784. U.S.A.
- Chan, Hing Kai; Ho Chung, Sai; Lim, Ming K.; (2013),"Recent research trend of economic-lot scheduling problems", *Journal of Manufacturing Technology Management*, Vol. 24 Iss 3 pp. 465 – 482.
- Dobson, G. (1987). The Economic Lot-Scheduling Problem - Achieving Feasibility Using Time-Varying Lot Sizes. *Operations Research*, Vol. 35, No. 5, pp. 764-771.
- Doll, C. Loren; Whybark, D. Clay. (1973). "An Iterative Procedure for the Single Machine Multi-Product Lot Scheduling Problem". *Management Science*. Vol.20, No. 1, pp.50-55. U.S.A.
- Eilon, S. (1957). Scheduling for batch production. *Journal of Institute of Production Engineering*, Vol. 36, pp. 549-579.
- Elmaghraby, Salah E. (1978), "The Economic Lot Scheduling Problem (ESLP): review and extensions", *Management Science*, Vol. 24, No.6
- Eynan Amit (2003), "The benefits of flexible production rates in the economic lot scheduling problem", *IIE Transactions*, Vol.35, pp1057-1064
- Haessler, R. W.; Hogue S.L (1976). A note on the single-machine multi-product lotscheduling problem. *Management Science*, Vol. 22, No. 8, pp. 909-912.
- Hanssman, F. 1962. *Operations-Research in Production and Inventory Control*. New York. Hsu, W. L. (1983). On the General Feasibility Test of Scheduling Lot Sizes for Several Products on One Machine. *Management Science*, Vol. 29, No. 1, pp. 93-105.
- Khouja, M.; Michalewicz, Z.; Wilmot, M. (1998). The use of genetic algorithms to solve the economic lot size scheduling problem. *European Journal of Operational Research*, Vol. 110, No. 3, pp. 509-524.
- Khoury, B.N., Abboud, N.E. and Tannous, M.M. (2001), "The common cycle approach to the ELSP problem with insufficient capacity", *International Journal of Production Economics*, Vol. 73 No. 2, pp. 189-99.
- Mallya, R. (1992). Multiproduct Scheduling on A Single-Machine - A Case-Study. *MegaInternational Journal of Management Science*, Vol. 20, No. 4, pp. 529-534.
- Ma, W.-N., Gong, D.-C. and Lin, G.C. (2010), "An optimal common production cycle time for imperfect production processes with scrap", *Mathematical and Computer Modelling*, Vol. 52 No 5/6, pp. 724-37.
- Nahmias, Steven; (1997). *Análisis de la producción y las operaciones*. México. Quinta Edición. McGraw-Hill. México
- Rogers, J. (1958). A Computational Approach to the Economic Lot Scheduling Problem. *Management Science*, Vol. 4, No. 3, pp. 264-291.
- Sock Hwa Chung Charles A. Snyder, (2000),"ERP adoption: a technological evolution approach", *International Journal of Agile Management Systems*, Vol. 2 Iss 1 pp. 24 - 32.

- Torabi, S.A., Karimi, B. and Fatemi Ghomi, S.M.T. (2005), "The common cycle economic lot scheduling in flexible job shops: the finite horizon case", *International Journal of Production Economics*, Vol. 97 No. 1, pp. 52-65.
- Vidal Carreras, Pilar Isabel; García Sabater, José Pedro; (2006), "El Problema de la Programación del Lote Económico (ESLP): Una revisión de la literatura.", X Congreso de Ingeniería de Organización, 7 y 8 de septiembre.

4. CONCLUSIONES

Gracias a la apertura en la empresa se pudo recabar toda la información necesaria para el análisis y desarrollo de este proyecto si bien el modelo aún no es aplicado en la empresa debido a que se encuentran en proceso de cambio de domicilio y entrada de nuevos proyectos, el presente servirá de análisis para la toma de decisiones y revisión del plan actual de producción además de sentar el antecedente para replicarlo a otras máquinas.

La aplicación de modelos matemáticos nos permite sentar las bases para la toma de decisiones pues permite un mejor análisis de la situación y el resultado que será alcanzado en caso de seguir la indicación.

Después de la revisión de la situación actual de la empresa se decidió abarcar el tema de dimensionamiento de lote que permitiera aportar una mejora dentro de su plan de producción, el modelo a utilizar fue el ELSP ya que se cumplen con las suposiciones del mismo. En este caso los resultados del modelo arrojaron lotes de producción más cortos con lo que se logra una producción más dinámica y así dar lugar a nuevos negocios que generalmente empiezan con corridas de prueba que ocupan tiempo de máquina.

Los resultados del modelo nos permitieron hacer un análisis de la situación actual contra la propuesta, para algunos modelos los lotes de fabricación eran los óptimos para otros se necesita reducir el tamaño del lote y para otros artículos sentó la base para la implementación del plan de producción pues eran artículos nuevos.

La implementación de este modelo debe considerar que las máquinas se encuentren en situaciones óptimas que permitan menos paros de máquina y mantenimientos correctivos. Que la demanda se mantenga constante y que se cuente con las materias primas y herramientas para asegurar la continuidad de la producción.

Futuras investigaciones se podrían basar en el análisis de los niveles de inventario y revisión de las cantidades óptimas de materia prima.

5. ANEXOS

- Aceptación de el abstract.
- Carta de inicio-término del proyecto.



Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla
Centro Interdisciplinario de Posgrados
Investigación y Consultoría
Escuela de Ingeniería

Maestría en Logística y Dirección de la Cadena de Suministro

PROGRAMACIÓN DE LOTE ECONOMICO EN LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ

Tesina para obtener el grado de
Maestría en Logística y Dirección de la Cadena de Suministro

Presenta
Ailed Espinoza Guillén

Director de Tesina
Dra. Diana Sánchez Partida

Puebla, México

Agosto 2016

1. AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla por la oportunidad para estudiar la maestría en Logística y Dirección de la Cadena de Suministro y poderme desarrollar a nivel personal y profesional.

Al director de Posgrado, el Dr. José Luis Martínez Flores por su guía e impulso durante este tiempo.

A la Dra. Diana Sánchez Partida por su dedicación, consejos y conocimientos para el desarrollo de este proyecto.

Un especial agradecimiento al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por haberme otorgado una beca durante dos años, por la cual fue posible realizar esta maestría.

A mi familia por su valioso apoyo y motivación en todo momento desde el inicio de mis estudios de maestría que me impulsaron a seguir adelante.

A mis compañeros, maestros y amigos por creer en mí y la motivación constante.

A la empresa Technical Plastics Systems por la apertura y disposición para el desarrollo de este trabajo.

2. INTRODUCCIÓN

Es por todos conocidos que las empresas productivas realizan la programación de la producción tomando como base la demanda del mercado. La política de producción, el plan maestro de producción, planeación de los requerimientos de materiales, manejo de inventarios son parte de dicho proceso (Bañol et al 2010). Con el objetivo de reducir los costos logísticos totales es necesario ajustar la producción a la demanda del mercado lo que permitirá tener un nivel de inventarios óptimos. Es por ello que el dimensionamiento de lotes juega un papel importante dentro del proceso.

Desde la década de los 60's se inició la investigación del problema de dimensionamiento de lotes con el objetivo de conocer los lotes óptimos de producción que permitan cumplir con la demanda y reducir los costos logísticos. Rogers (1958), Hsu(1983), Soman et al (2004), Elmaghraby (1978), Giri et al (2003), Maxwell (1964) son solo algunos de los autores que han estudiado el tema desde diferentes métodos y restricciones.

El modelo ELSP, por sus siglas en inglés, consiste en la programación de la producción de varios artículos en una sola máquina, para ello se debe producir en lotes que se repiten cada cierto tiempo. Para el desarrollo del modelo es necesario se cumplan con las siguientes características: la capacidad productiva es suficiente para alcanzar la demanda total requerida, los tiempos de preparación no son dependientes de la secuencia de producción y los costos de preparación son constantes.

Derivado de lo anterior el caso de estudio presentado se desarrolló en una empresa del sector automotriz ya que se considera que sigue los planteamientos del modelo ELSP y cuyo objetivo fue la obtención del lote óptimo de producción para tres máquinas que producen tres artículos diferentes cada una.

3. ARTICULO ENVIADO A: Ier CONGRESO INTERNACIONAL EN SUPPLY CHAIN MANAGEMENT EN UNA ECONOMÍA GLOBAL: LOGÍSTICA COMO ESTRATEGIA FINANCIERA, RETO PARA LATINOAMÉRICA 2016

PROGRAMACIÓN DE LOTE ECONOMICO EN LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ

Espinoza-Guillén Ailed¹, Sánchez-Partida, Diana², Martínez-Flores, José Luis³.

^{1, 2, 3}Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, UPAEP.

ailed.espinoza@upaep.edu.mx,

diana.sanchez@upaep.mx;

jose Luis.martinez01@upaep.mx

Resumen

Este documento considera la aplicación del problema de programación de Lote Económico, ELSP por sus siglas en inglés, para tres máquinas de inyección que producen tres artículos diferentes cada una. El modelo permite conocer los lotes óptimos de producción que aseguren el cumplimiento de la demanda con el menor costo logístico, considerando que se tiene una demanda determinística bajo una producción finita, que la capacidad productiva es suficiente para alcanzar dicha demanda, los tiempos de preparación no son dependientes de la secuencia de producción y los costos de preparación son constantes. El modelo permite desarrollar una política de programación cíclica de varios artículos en una sola máquina. Durante la planeación de la producción es necesario conocer los lotes óptimos de producción que aseguren niveles óptimos de inventario y servicio al cliente, no se permiten retrasos en las entregas ni *stockouts*. El modelo se aplicó en una empresa del sector automotriz que inyecta componentes plásticos con insertos metálicos para la fabricación de frenos ABS. La empresa cuenta con 9 máquinas de inyección de plástico donde se procesan 15 números de parte; sin embargo durante este año en una de las máquinas se incrementó la producción de artículos de uno a tres por la entrada de nuevos proyectos lo que significó incrementar considerablemente la capacidad de la máquina del 20% al 100%. El alcance del proyecto contempla la determinación de lotes óptimos de producción y determinación de los turnos. Actualmente se determinan los turnos en base a las entregas programadas por semana para cumplir con el esquema Justo a Tiempo (JIT) de uno de sus clientes.

Palabras Clave

Dimensionamiento de lotes, Programación de la producción, Modelo determinístico, Método ELSP.

Abstract

The following document considers the application of Economic Lot Scheduling Problem (ELSP) used in three injection-molding machines that produces three different items each one. The purposed model allow us to know the optimal production lots for ensure the requirement compliance demand with the lowest logistical cost, considering a deterministic demand under a finite production; the production capacity is enough to reach the customers demand with a set up times independents from the production sequence and consider constant set up costs. The model allow us to develop a cyclical programming policy for several items in one machine at the time. During the production planning it is necessary know the optimal production lots which will ensure the optimal inventory levels and on time deliveries to the customers, but it does not allows late deliveries neither stock outs. The model has been applied in a company from the automotive industry dedicated to the plastic components injection with metallic inserts for ABS brakes production. This company owns 9 machines for plastic injections where are processed 15 part numbers; however during this year (2016) one of the machines the parts productions increased from one to three, due to the entry of new projects; this means increase considerably the machine capacity from 20% to 100%. The scope of this project consider the set of optimal production lots and shifts determination. Now a day the shifts are established based in the weekly deliveries for being aligned with the Just in Time frame from one of his customers.

Keywords

1. INTRODUCCIÓN Y REVISIÓN DE LITERATURA

La industria de autopartes en México es una de las más desarrolladas en el país y representa una inmensa red de proveeduría de las principales plantas armadoras a nivel mundial cumpliendo con los altos estándares de sus clientes bajo las normas internacionales; para ser competitivo en el sector es necesario enfrentar los grandes retos en áreas como producción, enfocados en cumplir con la demanda, mantener un nivel óptimo de inventarios y entregas justo a tiempo, bajo la premisa de reducción de costos logísticos.

El problema de dimensionamiento de lotes ha sido un tema muy estudiado por diversos investigadores desde diferentes perspectivas, métodos y restricciones que añaden complejidad al problema. Bomberger (1966) define el problema como la programación de la producción de productos diferentes en una sola máquina bajo una base repetitiva, con las siguientes características: solo un ítem puede ser producido en determinado tiempo, existen costos de arranque y tiempo de preparación la demanda es conocida y constante y se puede cumplir.

Doll & Whybark (1973) definen límites inferiores y superiores para el desarrollo de programaciones óptimas de producción. En el marco del ELSP, Glass (1992), plantea el problema de viabilidad mediante un algoritmo para las aproximaciones de programas de producción viables.

Elmaghraby (1978) menciona que al integrar la planeación de los materiales con las nuevas tecnologías de la información, se procesan de manera más eficiente los datos que dan lugar al planteamiento del problema ELSP el cual se enfoca en los patrones de producción para la distribución cíclica de diferentes productos en una sola unidad de procesamiento de materiales. Este problema ha sido estudiado desde 1915 y se deriva de la cantidad económica de manufactura, EMQ por sus siglas en inglés, que considera el cálculo para ítems individuales en un complejo productivo. Con la implementación de las variantes a través de las aportaciones de diferentes autores, se pueden clasificar 2 categorías, la primera se basa en una aproximación analítica que obtiene el óptimo de una versión original del problema; y la segunda se trata de una aproximación heurística “buena” (en algunas ocasiones “muy buena”) solución del problema original (Elmaghraby, 1978). En donde se paga una penalización por derivado de la definición de la optimización verdadera.

En el estudio de Vidal et al. (2006), se realiza una clasificación del problema; Según el modo del cálculo del lote, la tipología del método de resolución, el objeto del problema, el tipo de estudio abordado en el problema, por la realización de aplicaciones numéricas en el desarrollo de la argumentación, la evaluación de diversas heurísticas mediante simulación y la modificación de parámetros dados. En donde se puede apreciar que el método que aproxima los resultados al óptimo es según el cálculo de lote. Eilon (1957), Rogers (1958), Mallya (1992) proponen la solución independiente donde se calcula el tamaño con base a la fórmula del tamaño de lote económica, EOQ por sus siglas en inglés, pero ignora que varios productos sean procesados en la misma máquina; Hanssman (1962) detalla el método del ciclo común basada en determinar la longitud suficiente para acomodar la producción y que sean procesados todos los productos. El periodo básico es introducido por Khouja et al. (1998), el cual admite diferentes ciclos para cada producto, con la condición de que el vuelta sea múltiplo entero del periodo con una longitud suficiente. Haessler (1979) comienza a trabajar con el periodo básico extendido, que toma en cuenta 2 periodos básicos consecutivos. Dobson (1987) trata el método de modificación de los tamaños de lote durante un programa cíclico, el cual permite distintos tamaños de lote para la programación de un ciclo. Eynan (2003) estudia el enfoque de producción flexible mediante la alteración de las tasas de producción durante un ciclo de producción con el que se obtienen ahorros en los costos de producción.

Para dar solución a un problema de ELSP se pueden polarizar los modelos en dos extremos: uno incluye las revisiones simplificadas con múltiples omisiones para hacer posible una solución y el otro en el que se investiga a fondo el problema y se incluyen modelos matemáticos complejos para encontrar una solución óptima. Siguiendo la línea que marca la literatura, podemos encontrar tres políticas principales de planificación se han desarrollado para el ELSP llamados enfoque de Ciclo Común, enfoque de Periodo Básico y enfoque de lotes de tamaño variable (Chan et al, 2012).

Para este proyecto se utilizó el primer enfoque, de Ciclo Común que restringe todos los tiempos de ciclo de los productos a uno igual para todos (Khoury et al, 2001). Una manera compleja de proponer cambios y llegar a establecerlos en una empresa para la solución de un modelo ELSP con restricciones es posible mediante el Ciclo Común. Este supuesto simplifica el esfuerzo de modelado de manera que la implementación es viable y la solución al problema siempre es factible (Torabi et al, 2005).

Una vez definido el enfoque a utilizar, lo siguiente es la obtención de la información. En la recopilación de los datos del área de producción, se puede resaltar que en la empresa no existe una tasa variable de producción. En los procesos de producción con máquinas que utilizan dispositivos para la fabricación de piezas y otros componentes, la variación de la tasa de producción en la mayoría de los casos está relacionada con la calidad que se tenga en la salida de los procesos operativos (Ma et al, 2010).

En el proyecto de Chan et al (2012), se elimina la variable de que una máquina está sujeta a fallas aleatorias que pueden afectar el resultado final. En su estudio, hace uso de la distribución exponencial para ayudarse a modelar la tasa de fallo de las máquinas y así estudiar el impacto de dicho fallo en la solución óptima. Con lo que se concluye que con un enfoque de Ciclo Común se puede desarrollar una solución independiente muy similar al óptimo de los otros dos enfoques previamente mencionados. El presente estudio plantea el problema de programación de lote económico aplicado a tres máquinas de inyección de plástico, el cual nos arrojará el tamaño óptimo de producción.

2. DESCRIPCION DEL PROBLEMA

Mediante un acercamiento con una empresa del ramo automotriz de la ciudad de Puebla en México, dedicada a la fabricación de partes plásticas con componentes metálicos para la fabricación de frenos ABS. Se determinó plantear el problema de programación de lote económico porque tiene una demanda determinística pues trabajan mediante proyectos con todos sus clientes donde se fijan las entregas por día o por semana, es decir, se conoce con certeza la demanda por periodo. Se aceptan variaciones en las entregas de un máximo de $\pm 1.5\%$. La política del corporativo tiene como objetivo para sus clientes, tener por contrato un mínimo 1.5 semanas de stock dependiendo del volumen anual requerido. La empresa cuenta con 9 máquinas, 3 de ellas solo inyectan plástico y las otras 6 tienen un sistema de automatización para la integración de pines (partes metálicas). La empresa produce en total 15 números de parte para 3 clientes a nivel nacional los cuales deben cumplir estándares finales de calidad para exportación. Su capacidad de producción actual es suficiente para alcanzar la demanda total.

Este año entró en vigor un proyecto donde se inicia la fabricación de 2 nuevos números de parte en la máquina 5 (M5); hasta el año pasado solo se inyectaba un producto en esta línea. La capacidad de producción de esta máquina aumento del 20% al 80% sin embargo los tiempos de preparación no dependen de la secuencia de producción ya que para el cambio de parte solo se necesita un cambio de molde. Adicionalmente, se resuelve el problema de lote económico para la maquina 1 (M1) y 6 (M6) donde también se producen 3 números de parte en cada una.

Los productos obtenidos de la maquina 5 y 6 son piezas plásticas mediante el proceso de moldeo por inyección. En el proceso es necesario un operador que introduce la resina a las máquinas y que posteriormente separa las piezas ya inyectadas y las introduce a los contenedores finales que se entregarán al cliente. En los cambios de versión es necesario una persona para el cambio de molde y toma un total de 2 horas por cambio de molde, por lo que los tiempos son bajos en comparación con otras máquinas. En el caso de la máquina 1, además del proceso de moldeo por inyección se introducen unos pines a las piezas plásticas pero todo el procesos de producción es 100% automatizado. Para el cambio de versión se necesitan dos técnicos, uno que realiza el cambio de molde y otro que realiza la programación en el molde para la introducción de los pines de forma automática, los cambios de versión toman en promedio 6 horas.

Se desea conocer el lote óptimo de producción para cada uno de los artículos por máquina con el fin de determinar si los lotes de fabricación son los adecuados para asegurar niveles óptimos de producción que eviten el desabasto o la sobreproducción y apegarse más a una política de Justo a Tiempo ya que actualmente tienen un promedio de 30 días de inventario por artículo. Las entregas se realizan de forma diaria y semanal, dependiendo del cliente, los artículos con menor demanda se producen solo 3 veces por año, lo que involucra tener un mayor número de piezas la mayor parte del tiempo.

3. DESARROLLO DEL MODELO

El propósito del modelo ELSP es determinar un patrón cíclico de producción basado en una demanda determinística donde en cada máquina se producirán tres artículos y que la secuencia de producción no depende del tipo de artículo está determinado por las siguientes variables:

d_j = demanda determinística

q_j = lote económico

r_j = tasa de producción (unidades/periodo)

s_j = tiempo de preparación (horas)

k_j = costo de operador, costo de arranque

h_j = costo de sostenimiento de inventario

T = tiempo de ciclo económico

T_{min} = tiempo de ciclo factible

El tiempo de preparación esta dado en horas y no depende de la secuencia de producción.

La variable k_j se determinó basándonos en el costo de los operadores y el personal de mantenimiento responsable del cambio y preparación de los moldes. Para el costo de sostenimiento de inventario h_j se tomaron en cuenta los costos de seguro, renta, personal y equipo necesario para la administración del inventario en relación al total del inventario en un periodo, el cual es de 5%. El tiempo de ciclo económico determina el tiempo de ciclo para cada producto teniendo en cuenta los costos de arranque y sostenimiento de inventario determinados por la demanda y la factibilidad de producción en base a la tasa de producción. El tiempo de ciclo económico está determinado por la ecuación (1)

$$T^* = \sqrt{\frac{2 \sum_{j=1}^n k_j}{\sum_{j=1}^n h_j d_j \left(1 - \frac{d_j}{r_j}\right)}} \quad (1)$$

El tiempo de ciclo factible es necesario para conocer tiempo de preparación entre el tiempo disponible por arranque o setup y está determinado por la ecuación (2)

$$T_{min} = \frac{\sum_{j=1}^n s_j}{1 - \sum_{j=1}^n (d_j / r_j)} \quad (2)$$

T_{min} no se puede rebasar sin comprometer la factibilidad, la solución óptima es elegir el tiempo de ciclo T igual al valor mayor de entre T^* y T_{min} . (Nahmias, 2007)

Por lo anterior el lote económico de pedido está determinado por la demanda y el tiempo de ciclo, determinado por la ecuación (3)

$$q_j = d_j T \quad (3)$$

El modelo nos pide se cumpla la condición de la ecuación (4) para asegurar que la máquina tiene la capacidad suficiente para satisfacer la demanda de todos los productos, y que se asegure la demanda para el periodo. Para este modelo se consideró tener al menos el 80% de la capacidad para tener un mejor margen de holgura en caso de que la maquina pueda presentar fallos. En el caso de la maquina 1 no se cumple esta condición debido a que la capacidad no es suficiente para cubrir la demanda del producto M1.2 y actualmente ese

producto se debe producir en 2 máquinas. Para el caso de este estudio se consideró la capacidad de producción de las dos máquinas.

(4)

$$\sum dj/rj \leq 1$$

Se crearon escenarios en base a diferentes periodos de tiempo para evaluar el comportamiento y determinar la solución óptima. Los escenarios se determinaron en base a periodos de la demanda en uno, seis y doce meses, los resultados los podemos observar en las Tablas 1, 2 y 3.

La empresa opera bajo el esquema *Make to Order (MTO)* por lo que produce los artículos bajo pedido. Los pedidos se fijan por contrato previo; a principios de año se determina la cantidad del proyecto y piezas que deben surtir cada semana con entregas programadas por día o semana dependiendo del cliente. Por lo anterior, se concluye que la demanda es determinística, de esta manera fue posible determinar los escenarios de demanda para el cálculo de lote.

Los tiempos de preparación de las máquinas 5 y 6 son más bajos que el de la máquina 1 ya que para el cambio de versión solo se necesita realizara un cambio de molde e involucra solo a un técnico. Para el cambio de versión de los modelos de la máquina 1 se necesita un promedio de 6hrs e involucra dos técnicos ya que se debe realizar un cambio de molde, insertos y programación de la automatización para la introducción de los pines.

La empresa opera bajo un esquema de tres turnos por día. Para las máquinas 1 y 5 fue necesario utilizar el máximo número de turnos por semana para lograr satisfacer la demanda, en el caso de la máquina 6 con un esquema de 12 turnos por semana es suficiente con lo que la capacidad de máquina esta sobrada. De los productos que actualmente se fabrican no es posible producirlos en una maquina diferente a la asignada por lo que el que caso de que se aumente la demanda no será posible cubrirla.

Tabla 1: Lote económico según demanda mensual

# MAQ	Modelo	Demanda (u/mes) d	Tasa de producción (u/mes) r	Lote economico q_j
M1	M1.1	42,300	161,196	9,617
M1	M1.2	180,600	322,392	41,057
M1	M1.3	9,603	161,196	2,184
M5	M5.1	51,840	293,244	7,007
M5	M5.2	14,198	130,704	1,920
M5	M5.3	209,100	369,600	28,263
M6	M6.1	18,360	70,656	4,239
M6	M6.2	14,388	73,728	3,322
M6	M6.3	14,464	91,200	3,339

Tabla 2: Lote económico según demanda semestral

# MAQ	Modelo	Demanda (u/semestre) d	Tasa de producción (u/semestre) r	Lote economico q_j
M1	M1.1	240,503	1,047,774	12,156
M1	M1.2	1,117,216	2,095,548	56,466
M1	M1.3	56,557	1,047,774	2,859
M5	M5.1	311,040	1,906,086	16,648
M5	M5.2	90,040	849,576	4,820
M5	M5.3	1,254,600	2,402,400	67,149
M6	M6.1	110,160	459,264	10,240.00
M6	M6.2	88,000	479,232	8,180.00
M6	M6.3	87,814	592,800	8,163.00

Tabla 3: Lote económico según demanda anual.

# MAQ	Modelo	Demanda (u/año) d	Tasa de producción (u/año) r	Lote economico q_j
M1	M1.1	481,006	2,095,548	17,191.00
M1	M1.2	2,234,432	4,191,096	79,854.00
M1	M1.3	113,115	2,095,548	4,043.00
M5	M5.1	622,080	3,812,172	23,605
M5	M5.2	173,760	1,699,152	6,594
M5	M5.3	2,509,200	4,804,800	95,212
M6	M6.1	220,320	918,528	14,526.00
M6	M6.2	172,656	958,464	11,384.00
M6	M6.3	173,760	1,185,600	11,457.00

4. RESULTADOS

En las Tablas 1,2 y 3 se desarrollaron tres periodos de tiempo para la determinación del lote con la finalidad de analizar el comportamiento del modelo a corto y mediano plazo en la variación del tamaño de lote. En caso de una variación en la demanda, problemas de calidad o cambios de producción resulta conveniente trabajar con lotes más pequeños que permitan tomar acciones de forma inmediata sin que grandes lotes se vean afectados, para lograr esto se requiere minimizar los tiempos de set up, tener personal correctamente capacitado para los cambios de versión y tener un programa de mantenimientos preventivos que aseguren una correcta implementación. Los costos logísticos obtenidos de los tres escenarios representan una variación de menos del 1% sin embargo se deben tomar en cuenta las implicaciones mencionadas en la planeación de la producción.

La Tabla 4 muestra el resumen de los tres escenarios propuestos para la aplicación del modelo ELSP haciendo una comparación del estado actual. La determinación del tamaño de lote contemplando una demanda anual resulta ser la más apta pues genera una corrida más amplia lo que permite mayor tiempo de holgura para los mantenimientos preventivos y evitar hacer los cambios de versión de forma repetitiva ya que actualmente la empresa no cuenta con el personal suficiente para dichos cambios.

En el caso de la máquina 5 no se pudo realizar una revisión en relación al estado actual ya que este año entraron en vigor los proyectos para los modelos 1 y 3 por lo que el cálculo servirá de base para la determinación del tamaño de lote.

Tabla 4 Comparativo estado actual vs propuesta

	Tamaño de Lote			
Maquina 1	Mensual	Semestral	Anual	Lote actual
M1.1	9,617	12,156	17,191	58,000
M1.2	41,057	56,466	79,854	87,000
M1.3	2,184	2,859	4,043	25,000

Maquina 5	Mensual	Semestral	Anual	Lote actual
M5.1	7,007	16,648	23,605	40,000
M5.2	1,920	4,820	6,594	15,800
M5.3	28,263	67,149	95,212	126,000

Maquina 6	Mensual	Semestral	Anual	Lote actual
M6.1	4,239	10,240	14,526	15,000
M6.2	3,322	8,180	11,384	17,600
M6.3	3,339	8,163	11,457	21,000

La Tabla 5 muestra los resultados en relación al tiempo de ciclo económico (T^*) y factible (T_{min}) considerando demandas anuales. En todos los casos se utiliza el tiempo de ciclo económico, mismas que están dados en años. Podemos observar que el ciclo de rotación debe repetirse cada 18, 19 y 34 días respectivamente.

Tabla 5: Tiempos de ciclo por máquina

# MAQUINA	T^*	T_{min}
M1	18.447	4.102
M5	19.587	1.181
M6	34.033	1.012

5. CONCLUSIONES

Si bien en la actualidad la empresa no determina las corridas de producción mediante modelos matemáticos podemos observar que la experiencia les permitió en algunos artículos tener decisiones acertadas sin embargo para otros, los lotes son más grandes de lo necesario, provocando un sobre inventario que a su vez eleva los gastos de almacenamiento. En el presente estos gastos no significan un foco rojo pues mantienen un nivel relativamente bajo para este concepto, sin embargo lo óptimo es mantener los niveles de inventario mínimos suficientes para la continuidad productiva y operando bajo la metodología de justo a tiempo. Los proyectos por venir e introducción de nueva líneas de producción y números de parte irán haciendo un tanto más compleja la producción y se requiere tener buenas bases en prácticas de manufactura que aseguren una mayor rentabilidad, presencia en el mercado y servicio al cliente.

En el modelo presentado se evaluaron 3 posibles escenarios, en todos ellos y para la mayor parte de los artículos son necesarias corridas de producción más cortas que permitan disminuir los costos de inventario pero que involucren personal mejor capacitado y suficiente, mejora en los tiempos de cambios de versión y un plan adecuado de mantenimientos preventivos.

6. AGRADECIMIENTOS

Para la realización de este documento, los autores de este trabajo desean agradecer a la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, la empresa del sector automotriz de la ciudad de Puebla y estudiante Ailed Espinoza Guillén #CVU de CONAcYT 616422

7. REFERENCIAS

- Bomberger, Earl E. (1966). "A Dynamic Programming Approach to a Lot Size Scheduling Problem". *Management Science*. Vol.12, No.11, pp.778-784. U.S.A.
- Chan, Hing Kai; Ho Chung, Sai; Lim, Ming K.; (2013),"Recent research trend of economic-lot scheduling problems", *Journal of Manufacturing Technology Management*, Vol. 24 Iss 3 pp. 465 – 482.
- Dobson, G. (1987). The Economic Lot-Scheduling Problem - Achieving Feasibility Using Time-Varying Lot Sizes. *Operations Research*, Vol. 35, No. 5, pp. 764-771.
- Doll, C. Loren; Whybark, D. Clay. (1973). "An Iterative Procedure for the Single Machine Multi-Product Lot Scheduling Problem". *Management Science*. Vol.20, No. 1, pp.50-55. U.S.A.
- Eilon, S. (1957). Scheduling for batch production. *Journal of Institute of Production Engineering*, Vol. 36, pp. 549-579.
- Elmaghraby, Salah E. (1978), "The Economic Lot Scheduling Problem (ESLP): review and extensions", *Management Science*, Vol. 24, No.6
- Eynan Amit (2003), "The benefits of flexible production rates in the economic lot scheduling problem", *IIE Transactions*, Vol.35, pp1057-1064
- Haessler, R. W.; Hogue S.L (1976). A note on the single-machine multi-product lotscheduling problem. *Management Science*, Vol. 22, No. 8, pp. 909-912.
- Hanssman, F. 1962. *Operations-Research in Production and Inventory Control*. New York. Hsu, W. L. (1983). On the General Feasibility Test of Scheduling Lot Sizes for Several Products on One Machine. *Management Science*, Vol. 29, No. 1, pp. 93-105.
- Khouja, M.; Michalewicz, Z.; Wilmot, M. (1998). The use of genetic algorithms to solve the economic lot size scheduling problem. *European Journal of Operational Research*, Vol. 110, No. 3, pp. 509-524.
- Khoury, B.N., Abboud, N.E. and Tannous, M.M. (2001), "The common cycle approach to the ELSP problem with insufficient capacity", *International Journal of Production Economics*, Vol. 73 No. 2, pp. 189-99.
- Mallya, R. (1992). Multiproduct Scheduling on A Single-Machine - A Case-Study. *MegaInternational Journal of Management Science*, Vol. 20, No. 4, pp. 529-534.
- Ma, W.-N., Gong, D.-C. and Lin, G.C. (2010), "An optimal common production cycle time for imperfect production processes with scrap", *Mathematical and Computer Modelling*, Vol. 52 No 5/6, pp. 724-37.
- Nahmias, Steven; (1997). *Análisis de la producción y las operaciones*. México. Quinta Edición. McGraw-Hill. México
- Rogers, J. (1958). A Computational Approach to the Economic Lot Scheduling Problem. *Management Science*, Vol. 4, No. 3, pp. 264-291.
- Sock Hwa Chung Charles A. Snyder, (2000),"ERP adoption: a technological evolution approach", *International Journal of Agile Management Systems*, Vol. 2 Iss 1 pp. 24 - 32.

- Torabi, S.A., Karimi, B. and Fatemi Ghomi, S.M.T. (2005), "The common cycle economic lot scheduling in flexible job shops: the finite horizon case", *International Journal of Production Economics*, Vol. 97 No. 1, pp. 52-65.
- Vidal Carreras, Pilar Isabel; García Sabater, José Pedro; (2006), "El Problema de la Programación del Lote Económico (ESLP): Una revisión de la literatura.", *X Congreso de Ingeniería de Organización*, 7 y 8 de septiembre.

4. CONCLUSIONES

Gracias a la apertura en la empresa se pudo recabar toda la información necesaria para el análisis y desarrollo de este proyecto si bien el modelo aún no es aplicado en la empresa debido a que se encuentran en proceso de cambio de domicilio y entrada de nuevos proyectos, el presente servirá de análisis para la toma de decisiones y revisión del plan actual de producción además de sentar el antecedente para replicarlo a otras máquinas.

La aplicación de modelos matemáticos nos permite sentar las bases para la toma de decisiones pues permite un mejor análisis de la situación y el resultado que será alcanzado en caso de seguir la indicación.

Después de la revisión de la situación actual de la empresa se decidió abarcar el tema de dimensionamiento de lote que permitiera aportar una mejora dentro de su plan de producción, el modelo a utilizar fue el ELSP ya que se cumplen con las suposiciones del mismo. En este caso los resultados del modelo arrojaron lotes de producción más cortos con lo que se logra una producción más dinámica y así dar lugar a nuevos negocios que generalmente empiezan con corridas de prueba que ocupan tiempo de máquina.

Los resultados del modelo nos permitieron hacer un análisis de la situación actual contra la propuesta, para algunos modelos los lotes de fabricación eran los óptimos para otros se necesita reducir el tamaño del lote y para otros artículos sentó la base para la implementación del plan de producción pues eran artículos nuevos.

La implementación de este modelo debe considerar que las máquinas se encuentren en situaciones óptimas que permitan menos paros de máquina y mantenimientos correctivos. Que la demanda se mantenga constante y que se cuente con las materias primas y herramientas para asegurar la continuidad de la producción.

Futuras investigaciones se podrían basar en el análisis de los niveles de inventario y revisión de las cantidades óptimas de materia prima.

5. ANEXOS

- Aceptación Abstract.
- Carta de inicio-término del proyecto.
- Carta aceptación Full Paper
- Carta aceptación Tesina