



Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

Centro Interdisciplinario de Posgrados e Investigación

Escuela de Ingeniería

Maestría en Logística y Dirección de la Cadena de Suministro

PLANIFICACIÓN DE PRODUCCIÓN EN LA EMPRESA TENNECO EN PUEBLA, A
TRAVES DE LA MODELACIÓN MATEMATICA

PRESENTA

TAKESHI ALEXANDER RIVERA GALINDO

DIRECTOR

DRA. PATRICIA CANO OLIVOS

Trabajo Terminal para obtener el Grado de Maestro el Logística y Dirección de la Cadena
de Suministro

Puebla, México

Diciembre 2017



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:

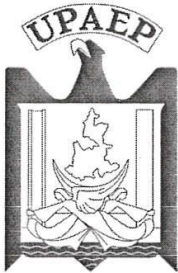
DERECHOS RESERVADOS ©

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.



Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

Centro Interdisciplinario de Posgrados

e Investigación

Escuela de Ingeniería

Maestría en Logística y Dirección de la Cadena de Suministro

Se aprueba el Trabajo Terminal llamado:

Planificación de producción en la empresa Tenneco en Puebla, a través de la
modelación matemática

Comité de Revisión

Dra. Patricia Cano Olivos

Director

Dra. Diana Sánchez Partida

Asesor

Dr. Santiago-Omar Caballero Morales

Asesor

Puebla, México.

Diciembre 2017



Puebla, Puebla a 3 de marzo de 2017

Dr. José Luis Martínez Flores
**Director Académico de la Maestría y Doctorado en Logística y
Dirección de la Cadena de suministro
UPAEP**

Por este conducto me permito informarle que **Takeshi Alexander Rivera Galindo** con ID 140764 y matrícula 19100193 realizó su estancia profesional en la empresa Tenneco Puebla I en el período¹ comprendido del día 25 de marzo de 2016 al 3 de marzo de 2017, durante la cual desarrollo el proyecto denominado: Inclusión de modelo matemático en LINGO para la planificación de producción en la empresa Tenneco, Puebla

Si hay inconveniente por parte de la empresa Tenneco Puebla de que el estudiante o cualquiera de los profesores involucrados den a conocer el contenido del proyecto desarrollado, así como también los resultados de la investigación por medio de la biblioteca digital, presencial o algún otro medio de difusión y publicación como conferencias, congresos, revistas o cualquier otro medio académico.

Los resultados de la empresa son confidenciales, los valores mostrados son porcentajes de los valores reales.

Firma

A handwritten signature in blue ink, consisting of a large, stylized 'E' followed by a smaller 'A'.

Edgardo Gonzalez Arana
Gerente de materiales
egonzalez3@tenneco.com
2222291653



RESUMEN

En el presente proyecto se aplicó un modelo matemático para optimizar la programación de la producción de la línea X de la empresa Tenneco, en este se consideran factores internos y externos como son: mano de obra, costos de inventario, almacenamiento, limitaciones de espacio y demanda.

Actualmente se hace la planeación de producción de manera empírica y sin ningún análisis de datos, por lo tanto, no se consideran todas las variables que afectan esta línea de producción.

A partir de esta problemática se realizó el análisis de la información disponible (recursos y restricciones) para crear el modelo matemático que optimizara los recursos asignados a producción de tal manera que permita disminuir los costos de operación y almacenamiento sin dejar de cumplir con las entregas programadas con los clientes en tiempo y forma.

ABSTRACT

This work has been developed with the purpose of share the application of optimization models to make a production schedule that considers internal and external factors like inventory, storage costs, space limitations and demands.

This project will focus on the production line X of the company Tenneco that is dedicated to the elaboration of exhaust systems in Puebla where at the moment the production planning is done arbitrarily and without any analysis of data. Now this analysis is with empirical knowledge of responsible of this activity without considering all variables that affect this production line. We are looking for make an analysis of the data that allows decreasing the costs of operation and storage to get to the company a greater utility while continuing to meet scheduled deliveries with customers in a proper way.

The goal of this work is to design a mathematical model that helps the company to minimize the operating costs derived from the production program. We will start with the pilot production line to evaluate results. The impact will be reflected directly in the operational costs of this production line where the optimization of the production program will reduce costs.

INDICE

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN	7
DATOS DE LA EMPRESA	7
GIRO DE LA EMPRESA	7
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	9
JUSTIFICACIÓN	10
OBJETIVO GENERAL	11
OBJETIVOS ESPECIFICOS	11
ALCANCES Y LIMITACIONES DEL PROYECTO	11
VIABILIDAD DEL TRABAJO	11
I. MARCO TEÓRICO.....	12
II. LITERATURA	13
III. CASO DE ESTUDIO.....	15
MODELACIÓN MATEMATICA	16
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	19
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	21
VI. REFERENCIAS	22
VII. ANEXOS	23

INDICE DE TABLAS, GRAFICAS & FIGURAS

FIGURA 1. DISTRIBUCIÓN GLOBAL DE TENNECO	7
GRAFICA 1. COSTOS DE OPERACIÓN POR PERIODO	10
FIGURA 2. ELEMENTOS PARA PLAN DE PRODUCCIÓN	16
TABLA 1. DEMANDA DE CADA ITEM POR SEMANA	18
TABLA 2. COMPONENTES USADOS POR NÚMERO DE PARTE.....	18
TABLA 3. COSTOS DE PRODUCIR POR SEMANA.....	18
TABLA 4. COSTO DE MANTENER INVENTARIO	19
TABLA 5. RESULTADO SEMANA 1	19
TABLA 6. RESULTADO SEMANA 2	20
TABLA 7. RESULTADO SEMANA 3	20
TABLA 8. RESULTADO SEMANA 4	20
GRAFICA 2. COMPARACIÓN ACTUAL VS MODELO	21

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN

DATOS DE LA EMPRESA

Nombre de la empresa: Tenneco México S. de R.L. de CV.

Fecha de inicio de Operaciones: enero de 1997

No. De empleados: 457 aprox.

GIRO DE LA EMPRESA

Tenneco aprovecha sus asociaciones relacionadas con equipo original y sus centros de fabricación en todo el mundo para brindar el aspecto, el ajuste y la confiabilidad del equipo original. Su red mundial de centros de ingeniería y desarrollo de servicio completo abarca cinco continentes y permite a Tenneco sacar más rápidamente al mercado nuevos productos y las últimas tecnologías. Con su asistencia de clase mundial, Tenneco posee la excelencia técnica necesaria para responder a las necesidades de hoy en día, a la vez que se desarrolla soluciones para los retos de mañana.



Figura 1. Distribución global de Tenneco.

Desde 1888 el nombre Tenneco ha formado parte de la época automotriz de América. De los carruajes modelo A hasta los carros y las camionetas de hoy en día. Tenneco ha fabricado productos que han hecho el manejo del consumidor más seguro y más agradable. Hoy Tenneco es el productor más grande en el mundo de sistemas de escape automotrices para los mercados de reemplazo y equipo original. Lo cual consolida a Walker (Tenneco) como una de las marcas principales de Tenneco.

En el año 1888 en Racine, Wisconsin, en la orilla del lago Michigan. Una floreciente compañía abrió sus puertas. Una teja colgada en la vitrina del local, anunciaba la nueva empresa como la *Economy Spring Company*. En el interior cuatro empleados ensamblaban resortes para vehículos agrícolas.

En 1908 William A Walker y sus hijos gemelos adquirieron el control y se hicieron cargo de la operación Tenneco. Incluso entonces, pasarían varios años antes de que la compañía entrara en su línea actual de negocios.

En 1912 Willard Walker lanzó una nueva empresa en participación con John Dwight, a la que llamó Salvallantas. En aquella época, la gente guardaba los automóviles durante el invierno y los salvallantas elevaban el auto del piso, con lo que se retiraba peso de las frágiles llantas.

En 1916 para respaldar el nuevo negocio, se construyó una nueva instalación de producción en Racine, Wisconsin. Ese mismo año, el nombre se convirtió oficialmente en Walker Manufacturing Company.

En 1929, Walker adquirió Ajax Auto Parts Company y se convirtió en uno de los principales productores de gatos en los EUA.

En aquella época, los silenciadores eran poco más que latas de estaño. Ofrecían muy pocas ventajas reales para el conductor o los pasajeros. Walker vio una oportunidad de diseñar un producto mejor.

En 1932, Walker patentó la que sería la primera de una larga línea de innovaciones de ingeniería, el tubo apersianado. Fue el silenciador con tubo apersianado el que le dio a Walker su reputación como el líder de la industria.

A medida que el automóvil fue evolucionando, las necesidades de la industria cambiaron. Los motores se volvieron más refinados y los estándares aumentaron.

En 1941, los esfuerzos pioneros de Walker en la industria de productos de escape incluyeron el primer silenciador de acero inoxidable.

En 1953, Walker introdujo el primer silenciador de acero aluminizado. Walker también añadió cámaras especiales de control del sonido llamadas “de afinado individual” a sus silenciadores de equipo original. Walker introdujo más tarde el “afinado con precisión” que tenía en cuenta el aumento en caballos de fuerza, las transmisiones automáticas y las compresiones más altas. Con más y más autos en la carretera, la gente comenzó a preocuparse por preservar el aire limpio y limitar la cantidad de contaminantes.

En 1962 Walker introdujo dispositivos de cárter que fueron los antecedentes de los convertidores catalíticos de hoy en día. El éxito inicial de Walker al trabajar en colaboración con la Junta de Control de la Agencia de Contaminación de Vehículos a Motor de California le permitió avanzar con nuevas investigaciones.

En 1963 Walker introdujo su primer tubo compartimentado. Consistía en una serie de pequeñas cámaras de afinado separadas a intervalos selectos a lo largo del tubo, desde el múltiple hasta la salida de escape.

En 1964 Walker presentó su primer tubo tabicado. El cual consiste en una serie de pequeñas cámaras de reglaje separadas a determinados intervalos a lo largo del tubo, desde el colector a la salida de escape.

En 1967, Walker abrió un centro de investigación en Grass Lake, Michigan, equipado para finalizar pruebas acústicas y trabajo con sistemas de escape.

En 1969 Tenneco Inc. Compro a Walker Manufacturing Company.

A finales de 1970 la industria de productos de escape acudio a Tenneco para que se desarrollara un convertidor catalitico de montaje universal a bajo precio.

En 1978 trabajando en estrecha colaboracion con la Agencia de Proteccion Ambiental, Walker desarrollo el primer convertidor de mercado de accesorios.

En 1987 Walker lanzo su ahora famosa linea de productos de escape de alto rendimiento DyroMax, que consiste en una amplia variedad de sileciadores de acero inoxidable de ajuste directo y montaje universal.

En 1988 Walker lanzo su nuevo sileciador de alta calidad, llamado Walker Advantage, que contenia Absorbite. El absorbite actuaba como un agente secante dentro del sileciador. El Walker Advantage revoluciono el mercado de accesorios al establecer nuevos estandares de durabilidad. Walker fue el primer fabricante del mercado de accesorios que lanzo una garantia limitada de por vida para los miles de instaladores profesionales.

En la decada de 1990, Tenneco Inc. Compro dos compañías de convertidores cataliticos, llamdas Products for Power y Perfection.

En 1993 Tenneco Inc compro una compañía de colectores de escape y sileciadores llamada Performance Industries. Sus marcas son los productos de colectores de escape Cydone y Blackjack y los silenciadores Thrush. El silenciador Thrush es muy famoso por su cologido logotivo con un pajar carpintero.

En 1997 Walker demostro de nuevo por que es el lider tecnologico en la industria del mercado de accesorios, al lanzar su famoso silenciador de alta calidad Quiet Flow. Ademas de la garantia limitada de por vida en este silenciador de alta calidad. Walker estaba tan segura de que el consumidor quedaria satisfecho con su compra, que ofrecio un incentivo adicional consistente en la garantia de seguridad Safe & Sound. Esta garantia permite al consumidor devolver su compra de producto Walker en 90 dias si no esta 100% satisfecho. El 05 de Noviembre de 1999, Walker Autotive comenzo su primer día de cotización regular en la Bolsa como compañía independiente, tras completar su separación estratégica del negocio de embalaje de Walker, que ahora se llama Pactiv.

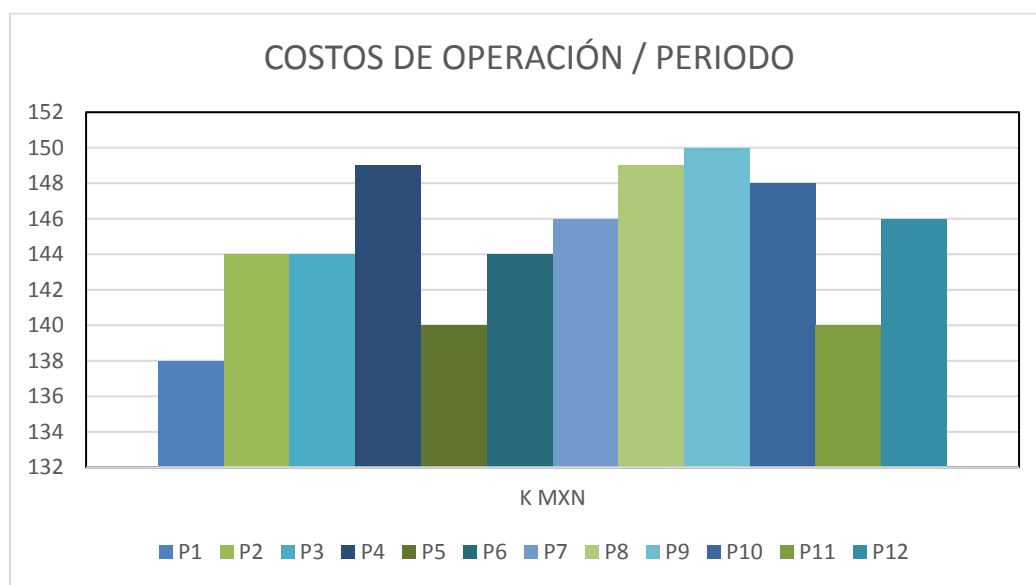
Enero de 2013 La planta Walker en Puebla cambia de nombre y pasa a ser Tenneco México S. de R.L. de CV.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente los planes de producción se generan de manera empírica, es decir, no se hacen análisis previos de las variables que afectan el proceso. Esto tiene como consecuencia la falta de control en la producción, problemas de espacio por corridas productivas largas que muchas veces implican almacenamiento por largos periodos sin tomar en cuenta los costos asociados, pero sin conocer las ventajas y desventajas que esto conlleva, esto incurre en altos costos de inventario, costos administrativos, faltantes en componentes compartidos con otros materiales, es decir, muchas veces por hacer una corrida larga no programada, algunos componentes que son utilizados en otros ensambles

se terminan en solo uno, lo cual implica re trabajos, cambios de programa e incluso expeditar materiales para poder completar los requerimientos totales.

Actualmente los costos de inventario están entre \$138 000 y \$150 000 MXN mensuales de acuerdo a los datos obtenidos por el área de finanzas de la empresa de los últimos 12 periodos.



Grafica 1. Costos de operación de los últimos 12 periodos.

De ahí el interés de disminuir estos costos a través de un modelo matemático el cual permitirá optimizar los recursos utilizados en el plan de producción.

JUSTIFICACIÓN

La planeación de producción contiene la relación de los recursos que se tienen para cumplir con la demanda de los clientes sobre un periodo de tiempo.

Hay muchas consideraciones que se deben tomar en cuenta para modelar un problema, un problema de planeación comienza con la demanda del cliente que debe ser cubierta por el plan de producción. En la mayoría de los casos, la demanda futura es incierta y solo es conocida parcialmente, para este caso en particular, se toma en cuenta la demanda pronosticada por el cliente como la base para la planeación, teniendo contractualmente que existe solo una variación en la cual pueden fluctuar las demandas a lo que los raleases muestran para cierto periodo de tiempo. Uno de los principales beneficios, como se mencionó anteriormente es el ahorro y disminución de algunos de los costos actuales, este proyecto quiere desarrollarse en otras líneas de producción una vez que se vean resultados

en la celda piloto, otro punto por el cual es importante este proyecto en esta empresa puesto que se busca estandarizar el método de la planeación de producción, esto con la finalidad de fortalecer este proceso, el cual en toda empresa es importante para no depender de los conocimientos empíricos que al final pueden no ser los más eficientes o de los cuales no se podrá contar todo el tiempo. También es importante para el personal desarrollar esta estandarización, ya que cualquier oportunidad de crecimiento dependerá de la solidez del departamento en la que se encuentren para poder ser removidos y que alguien más pueda desempeñar el puesto.

OBJETIVO GENERAL

Optimizar los recursos de la línea de producción de la empresa Tenneco, a través de un modelo matemático de programación lineal para reducir en un 10 % los costos de operación

OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Identificar las variables, parámetros y restricciones del problema que serán consideradas para la modelación del plan de producción
2. Diseñar el plan de producción en una hoja de cálculo de acuerdo a las variables y restricciones del problema
3. Modelar matemáticamente conforme a las variables y restricciones del problema el plan de producción

ALCANCES Y LIMITACIONES DEL PROYECTO

Las limitaciones del proyecto radican en el tiempo disponible para lograrlo, como en la mayoría de las empresas, primero se busca realizar pruebas cortas para verificar los resultados y así decidir si se hace la inversión.

El proyecto se realizará solo en la línea piloto de la empresa debido a los requerimientos de la empresa para poder observar los resultados obtenidos.

Una de las limitantes de modelar matemáticamente un problema es en muchas de las ocasiones la omisión de variables que vuelven complejo algún sistema real, el factor humano es un ejemplo de algunos casos de contingencia que originan variaciones.

VIABILIDAD DEL TRABAJO

El proyecto es viable porque la empresa está dispuesta a realizar mejoras que conlleven a mejores resultados. La inversión necesaria no es muy alta ya que, si se demuestra que la

disminución de costos es considerable, la empresa está dispuesta en capacitar al personal y adquirir algún software de optimización.

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

En las décadas pasadas ha habido cambios considerables en los métodos tradicionales de la post-guerra para la medición del desempeño (Kald y Nilsson, 2000), dichos cambios surgen en el quehacer diario del sector industrial debido a la creciente globalización y a la presión de la competencia a nivel regional, nacional e internacional (Molina Ruiz, 2012). El enfoque usual está basado principalmente en el cálculo de indicadores financieros como: ventas, beneficios (ganancias y utilidades), endeudamiento y retorno de inversión. Esta medición del desempeño estaba asentada en estándares determinados, con el objetivo de medir el rendimiento de cada proceso, fundamentalmente el desempeño individual y someramente en el desempeño de la organización en conjunto (Kanji, 2005: citado en De Waal et al., 2009). En los años 70's y 80's, transformaciones esenciales en los sistemas industriales crearon un estimulante ambiente de negocio, el cual provocó en las organizaciones, la búsqueda de herramientas que fueran capaces de proveer una mejor visión de las actividades de la empresa y el desempeño operacional. La creciente importancia de dichos cambios ha intensificado la necesidad de controles y mediciones alternativas del desempeño (Davis y Albright, 2004) esto debido al ambiente competitivo y cambiante al cual se enfrentan la organización en la actualidad y, muy probablemente, también al cual se seguirán enfrentando las empresas de bienes y servicios, en el mediano y largo plazo (Molina Ruiz, 2012).

Las empresas usan los sistemas de medición del desempeño para establecer sus metas, lograr sus objetivos financieros, ordenar el ambiente laboral en una sola dirección productiva. Además, las empresas también monitorean sus procesos, tanto internos como externos, y el impacto que las decisiones tomadas tienen sobre el desempeño de la compañía (Molina Ruiz, 2012). Los sistemas tradicionales de medición del desempeño se perciben cada vez menos satisfactorios, dado que sólo contienen información financiera (unidimensional) y carecen de un vínculo entre las competencias, fortalezas y debilidades, de la corporación y la dinámica del negocio. Dichos sistemas tradicionales conservan una visión retrospectiva y de corto plazo, por lo cual poseen un escaso contenido estratégico (Kald y Nilson, 2000). El desempeño de la organización es dinámico y cambiante. Consecuentemente, las interacciones del desempeño (internas y externas) deben ser cuantificadas (Najmi et al., 2005), esta medición permite a los implicados en la toma de decisiones, ejercer acciones correctivas cuando se considera necesario.

En la búsqueda constante por mejorar la rentabilidad y situación financiera de la entidad, los investigadores han encontrado que raramente se reconoce la interdependencia entre el flujo financiero y el operativo y que las decisiones son basadas en diferentes criterios (Protopappa-Sieke 2010). Así, mientras que la planeación de la operación se decide en función de niveles de inventario, niveles de servicio, dirigir el desempeño financiero en

términos de ganancia, necesidades de capital de trabajo y de retorno de inversión, los administradores financieros toman decisiones parcialmente arbitrarias enfocadas al rango deseado de desempeño financiero que en muchos casos se convierten en restricciones para la consecución de la planeación operativa. La incorporación de las decisiones financieras en la cadena de suministros y la revisión constante de los modelos de inventario desde el punto de vista de restricciones de capacidad, son temas que han sido abordados por varios investigadores como Shen 2005, Ettl et al., 2000, Sharma and Bhagwat 2007, Buzacott and Zhang 2004, por citar solo algunos. Sin embargo, ha crecido constantemente el reconocimiento de la importancia de conjuntar las decisiones financieras y operativas como un medio para incrementar las utilidades en la cadena de suministro. Las ganancias de los cargos financieros recibidas por la organización pueden ser utilizadas para cubrir el costo que implica el contrato inicial o el riesgo que la misma organización asume. Con ello se logra flexibilidad en el precio y, bajo condiciones de mercado competitivas, el cargo del financiamiento puede influir en la oferta de precios bajos a los futuros compradores (Smith, P. F., 1962). Por otra parte las empresas tienen que enfrentar los problemas que les plantea la incertidumbre en la demanda y cuyos factores impactan el desempeño financiero (Martín Arango et al. 2010), propone la modelización difusa como herramienta de apoyo para la toma de decisiones para la planeación la producción en donde se encuentran parámetros con incertidumbre precisamente en la demanda.

I. LITERATURA

De acuerdo con la revista digital Harvard Business Review, (Gianpaolo Callioni, Xavier de Montgros, 2005) a principios de los años 90's Hewlett-Packard logro mejorar sus precios en un 10% en 1991, 26% en 1992 & otro 22% en 1993. Estas mejoras en la empresa se debieron principalmente a mejoras en la cadena de suministro y a la reducción de los costos de inventario, esto se logró haciendo que la cadena de suministro se acercara en mayor medida a la demanda real.

HP trabajó en 4 áreas principales, la primera de ellas, en la devaluación de las materias primas, regularmente las empresas no tienen injerencia en el costo de los materiales que se almacenan, sin embargo, si en la cantidad. Reduciendo los nodos en la cadena de suministro, el almacenamiento disminuye, esto lo lograron con temas como la consolidación de la manufactura, recibos just in time y trabajo con proveedores

El segundo punto fue el costo por el precio de protección, el cual HP mejoró para no exceder los lotes de producción y evitar que algunos productos que se tienen en inventarios devaluaran antes de ser vendidos, la constante comunicación de forma vertical es importante puesto que en medida de la agilidad con la que se logre involucrar y notificar a todos los puntos de la cadena de suministro, más rápido se puede reaccionar a cualquier cambio.

El tercer punto de HP es el costo de retorno de producto, el cual implica en todos los gastos administrativos y operativos que esto conlleva además de los riesgos potenciales de

obsolescencia y costos financieros. En este punto, el acuerdo comercial con los distribuidores fue crucial para determinar la calidad en la entrega, mejorando esto, los inventarios pudieron ser reducidos y la satisfacción del cliente no verse afectada.

El último punto fue el costo de obsolescencia, el cual fue mejorado poniendo especial énfasis en el desarrollo de nuevos proyectos e introducirlos al mercado solo hasta que los modelos salientes fueran terminados. En todos estos casos, el plan de producción está fuertemente relacionado ya que la planeación en contra de las demandas reales vistas de forma directa desde el consumidor final a través de toda la cadena logística nos evita el efecto látigo, el cual incrementa en cada nodo el inventario de seguridad en forma exponencial.

El plan de producción también se ve involucrada en el control de las cantidades programadas, las cuales tienen que ir directamente relacionadas a las demandas que existen por parte de los clientes.

En la Revista digital de INGENIERÍA **UC** (Rodríguez, M. Eliana, 2010) hace referencia a que la gestión de la planificación, programación y control de la producción puede dividirse en cuatro etapas (Rojas y Escudero, 2000). En una primera etapa se realiza la Planificación agregada de la producción, en la que se determina la cantidad de producción y su desarrollo en el tiempo a mediano plazo a través de familias de productos. Posteriormente, estos cálculos mensuales se disgregan semana a semana tomando en consideración las particularidades de cada producto, para así programar su elaboración. Esta información alimenta un sistema de planificación de materiales, equipos y otros recursos que deberá alinearse para cumplir con las metas establecidas en el plan. Definidas las rutas de fabricación, se pone en marcha un último eslabón en el que se coordina la labor productiva y se ejecutan los mecanismos para su control.

La programación de la producción permite disgregar la información mensual que proporciona la planificación agregada, semana a semana, ya no por familias, sino por productos. El objetivo debe estar orientado a establecer la mejor asignación y ordenamiento en el tiempo de los recursos compartidos, considerando restricciones del sistema y algún objetivo de fabricación (Acevedo y Mejía, 2006). Las técnicas comúnmente usadas son la Programación Reactiva, Redes de Petri, Algoritmos Genéticos y la Teoría de las Restricciones Programación Reactiva. La programación reactiva consiste en un esquema de programación en el que las interrupciones aleatorias que pueden efectuarse dentro de las líneas de producción son tomadas en cuenta para generar el plan de fabricación y sus derivaciones en caso de llegada de órdenes de trabajo imprevistas o fallas en los sistemas. Muchos han sido los enfoques utilizados para abordar esta clase de problemas.

Acevedo y Mejía (2006) señalan, por ejemplo, que Panamito y No (1985), Chang, y Hiel (1992), Rojas (1996) y Pan y Chan, (1997) han clasificado las interrupciones aleatorias

como aquellas que se llevan a cabo en tiempo real o fuera de línea, y basándose en ello han generado modelos reactivos que le hacen frente. En investigaciones como las de Sun, y Xue (2001) se introdujo un mecanismo de programación de producción reactivo y dinámico para resolver interrupciones por cambios de órdenes de producción y recursos de manufactura. El mecanismo propuesto modifica sólo la parte de los programas creados originalmente para mejorar la eficiencia de la programación reactiva, mientras mantiene la calidad de programación. Honghong y Zhiming (2003) estudiaron un ambiente de manufactura flexible con interrupciones y un requerimiento de respuesta con restricción de tiempo en la reprogramación. Su propuesta se basó en la utilización de una base de datos dinámica, la cual podía reformar el estado actual del sistema perturbado vía totalización de los recursos remanentes y trabajos en proceso. Hall y Potts (2004), consideraron los problemas de programación en los que unos conjuntos de trabajos originales ya se han programado para minimizar un determinado objetivo y un nuevo conjunto de trabajos llega de imprevisto y ocasiona una perturbación, en un ambiente de manufactura de una sola máquina. Para su solución, diseñaron dos modelos: el primero, para minimizar los costos de programación de todos los trabajos sujeto a un límite sobre la ruptura causada al programa original; y el segundo, para minimizar un objetivo de costo total en el que se incluye la medida del costo original y el costo por la ruptura

II. CASO DE ESTUDIO

El primer paso para este modelo es saber cuáles decisiones de planeación se tomarán en cuenta, existen decisiones como cantidad de producción y de inventario, pero además hay algunas otras como disponibilidad de máquinas y material disponible.

Para este modelo, se cuenta con múltiples ítems con demanda independiente, recursos compartidos y costos no lineales, esto se debe a que, en la mayoría de las veces, las economías de escala influyen en este tipo de contextos por el tema de los costos fijos.

Se realizará la planeación para un periodo semanal de la línea piloto en la que el cliente principal es VW México. Esto debido al poco espacio físico con el que cuenta, además de que los materiales son muy voluminosos, los racks utilizados son de 2.5 x 1.2 x 1 metros en donde caben 10 piezas por contenedor. En esta línea de producción se tienen 3 productos, con costos y rates diferentes debido a la diferencia en la elaboración y complejidad de cada producto A,B,C.

La demanda es semanal y se actualiza vía EDI, la cual se descarga con el sistema SAP y con base a eso se empieza a hacer la planeación.

Se consideran capacidades limitadas de almacenamiento, las cuales se definen en 60 piezas por periodo al igual que capacidad limitada de producción la cual es 130 por periodo de cualquier tipo de ítem.

Otro punto importante es que, por dirección de la empresa, es necesario tener un inventario de seguridad a final de cada periodo de al menos 5 piezas de cada modelo, esto incluyendo el último periodo con la finalidad de poder absorber cualquier tipo de cambio de mezcla del cliente.

A continuación, en la figura 2, se muestran los elementos a considerar dentro del plan de producción del modelo que se utilizara.

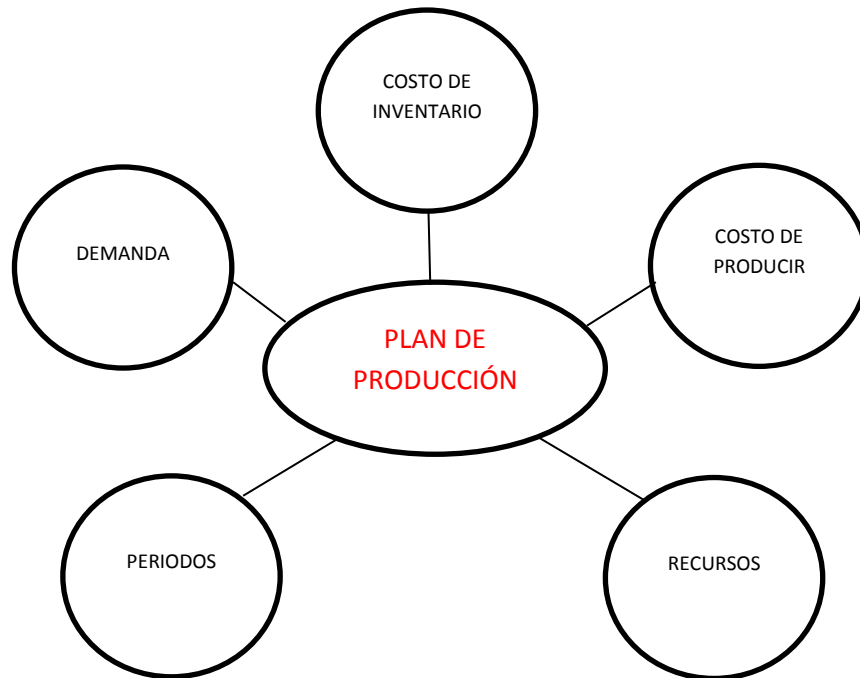


Figura 2. Elementos para plan de producción

MODELACIÓN MATEMATICA

Para el modelo se utiliza como referencia, el artículo Manufacturing Planning and Control (Stephen C. Graves Massachusetts Institute of Technology November 1999).

Variables:

p_{it} = Producción del ítem i durante el periodo t

q_{it} = Inventario del ítem i al final del periodo t

Parámetros a utilizar:

t = Número de periodos

i = Números de parte

k = Recursos

a_{ik} = Cantidad de recurso K requerido para producir el ítem i

b_{ik} = Cantidad de recurso K disponible en periodo t

d_{it} = Demanda de ítem i en periodo t

cp_{it} = Costo de producir ítem i en el periodo t

cq_{it} = Costo de mantener inventario i en periodo t

$$\text{MIN } \sum_{i=1}^T cp_{it} p_{it} + cq_{it} q_{it} \quad (1)$$

s.a

$$q_{it-1} + p_{it} - q_{it} = d_{it} \quad \forall i, t \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^T a_{ik} p_{it} \leq b_{kt} \quad \forall k, t \quad (3)$$

$$q_{it} \geq 5 \quad \forall i, t \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^T q_{it} \leq \text{Cap almacén} \quad \forall t \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^T p_{it} \leq \text{Cap producción} \quad \forall t \quad (6)$$

$$p_{it} q_{it} \geq 0 \quad \forall i, t \quad (7)$$

La función objetivo (1), minimiza la variable de costo de producción más el inventario de mantener para todos los ítems en un periodo T

La ecuación (2) indica la restricción del balance de inventario, el cual debe ser igual a la demanda o uso. Esta restricción asegura que en cada periodo se surta el material demandado.

En la ecuación (3) se limitan las cantidades a producir dependiendo de los recursos disponibles para cada elemento incluyendo recursos compartidos.

En la ecuación (4), se restringe el inventario final a 5 piezas para cada modelo ya que es directriz de la empresa tener esas cantidades mínimas como stock de seguridad.

La ecuación (5 y 6), son las restricciones que tenemos de capacidad de producción por periodo y capacidad de almacenamiento. Las cuales no se deben exceder por la capacidad instalada en la empresa que se está trabajando.

La ecuación (7) sirve para que la producción y el inventario no puedan tomar números negativos

Demanda	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
Item 1	38	30	30	40
Item 2	20	40	60	10
Item 3	30	39	39	49

Tabla 1. Demanda de cada ítem por semana.

Los ensambles finales usan como materia prima la siguiente cantidad por semana, en este caso, las materias primas son independientes y de uso único, también la cantidad utilizada es la misma independientemente de la semana. Para los cuales se muestra como son utilizados por cada número de parte.

USO MATERIA PRIMA	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
Item 1	3	3	3	3
Item 2	2	2	2	2
Item 3	2	2	2	2

Tabla 2. Componentes usados por número de parte

En la siguiente tabla se muestra el costo de producir cada uno de los modelos, estos costos varían debido a los ensambles que cada uno utiliza y el tiempo ciclo que cada uno de ellos tiene, ya que algunos se procesan más lento por la complejidad del ensamble. Para la última semana de cada mes el costo incrementa ya que se destina el personal para partes de servicio de otras áreas, esto implica que podría gestionarse con tiempo extraordinario y aumentar algunos costos fijos que se muestran en la siguiente tabla.

Costo de producir	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
Item 1	200	200	200	600
Item 2	180	180	180	540
Item 3	205	205	205	615

Tabla 3. Costos de producir por semana

El costo de mantener inventario se muestra en la tabla 8, este costo va en función del costo de cada pieza y el precio de venta.

Costo de mantener	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
Item 1	50	50	50	50
Item 2	45	45	45	45
Item 3	51	51	51	51

Tabla 4. Costo de mantener inventario

Se procede a programar en Lingo el modelo para obtener una optimización de este proceso. Existen variables que se consideraron una vez corriendo el modelo como son inventarios de seguridad, restricción de almacenamiento y restricción de producción por periodo. Esta última variable es considerada puesto que en la misma línea de producción se corren los mismos modelos obteniendo los siguientes resultados.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados para este caso se muestran a continuación. Se tiene un costo de operación de 121033 MXN en el periodo de prueba correspondiente a un mes donde se explica a continuación el resultado que nos arrojó Lingo. El cuál muestra un ahorro del 12 % contra los resultados históricos que fueron mencionados previamente

En la semana 1, se producirán 44 piezas del ítem 1, contra la demanda de 38 piezas, se guardarán 6 piezas para el siguiente periodo.

Para el ítem 2, se producirán 48 pieza contra las 20 que tenemos en demanda, lo que nos da un inventario final disponible para el siguiente periodo de 28 piezas

En el ítem 3, en la semana 1, se producirán 35, con una demanda de 5 piezas obtenemos 5 piezas de inventario final.

	Semana 1		
-	<u>Producción</u>	<u>Demanda</u>	<u>Inventario final</u>
Item 1	44	38	6
Item 2	48	20	28
Item 3	35	30	5

Tabla 5. Resultados semana 1

En cada una de las semanas, el inventario inicial es el inventario final del periodo anterior, como ejemplo para el ítem 1, tenemos de inventario final de la semana 1, 6 piezas, estas piezas más las 33 por producir en la semana 2 nos da un inventario de 39 piezas, las cuales, contra las 30 piezas en demanda en este periodo, obtenemos un inventario final para la semana 2 de 9 piezas.

	Semana 2		
-	<u>Producción</u>	<u>Demanda</u>	<u>Inventario final</u>
Item 1	33	30	9
Item 2	27	40	15
Item 3	70	39	36

Tabla 6. Resultados semana 2

Para la semana 3, tenemos el mismo caso que en el periodo anterior, se obtiene como inventario inicial, el inventario final del periodo anterior.

	Semana 3		
-	<u>Producción</u>	<u>Demanda</u>	<u>Inventario final</u>
Item 1	40	30	19
Item 2	50	60	5
Item 3	25	39	22

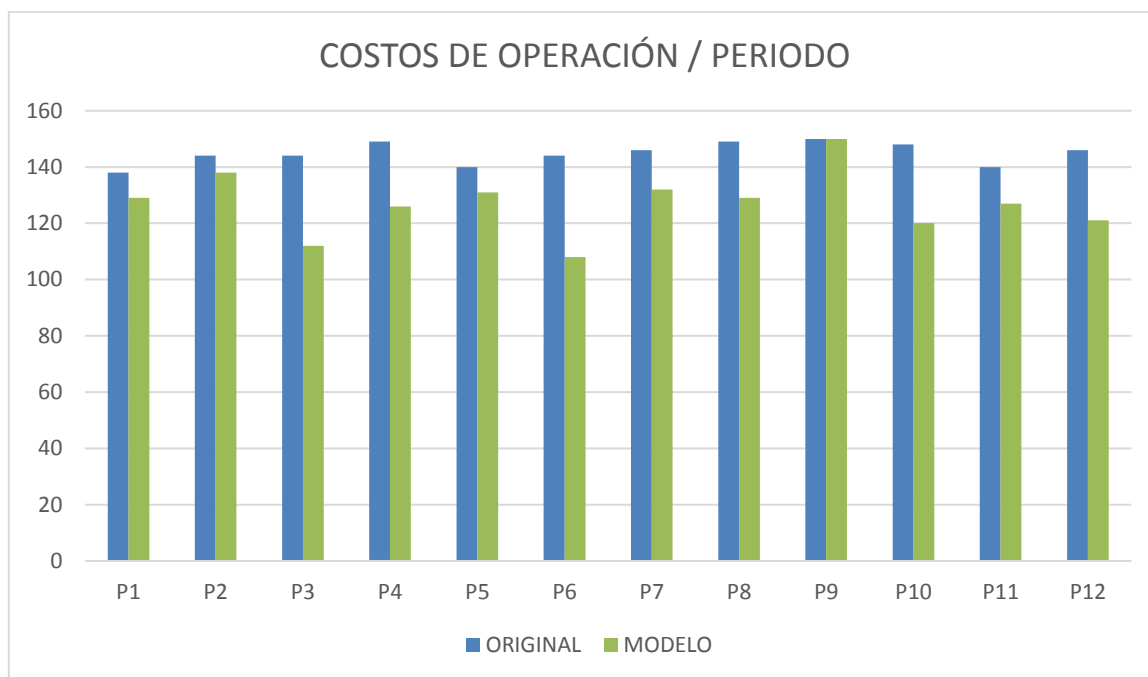
Tabla 7. Resultados semana 3

En la última semana, se obtiene un inventario final de 5 piezas de cada modelo, las cuales fueron definidas en la ecuación 4 del modelo matemático como inventario de seguridad definido por la alta dirección dentro de la empresa

	Semana 4		
-	<u>Producción</u>	<u>Demanda</u>	<u>Inventario final</u>
Item 1	26	40	5
Item 2	10	10	5
Item 3	32	49	5

Tabla 8. Resultados semana 4

Se hizo este análisis contra los 12 periodos previos teniendo como resultado un promedio de reducción de costos del 12 %, con lo cual se cumple con el requerimiento de la empresa. Este análisis se muestra en la gráfica 2. Donde las diferencias son variables puesto que, al ser previamente un análisis empírico, este podría resultar mejor para algunas ocasiones que otras.



Grafica 2, Comparación Actual vs Modelo

Global optimal solution found.

Objective value: 121033.0

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El proyecto es una propuesta de mejora a la programación de la producción para la empresa. Es importante considerar que existen algunos aspectos externos al proceso para la empresa que podrían afectar los resultados de una planeación a largo plazo. Como ejemplos tenemos eventos mientras se realizó el trabajo como son problemas de mantenimiento, falta de componentes para fabricar ciertas versiones por atrasos en los

tránsitos, cambios de mezcla de los clientes, etc. Los cuales modifican constantemente la planeación. Aún con estas variables se tienen resultados satisfactorios, ya que se tiene una visión más amplia de lo que se quiere lograr en cada periodo de planificación y una reducción considerable de costos.

Se pueden agregar más variables al modelo de tal manera que sea más semejante a la realidad, como son probabilidades de demandas, problemas de mantenimiento, etc.

Es recomendable adquirir el software más adecuado para la organización para poder realizar este proyecto en otras áreas de la empresa que cuentan con más variables como son números de parte, componentes, maquinas, etc., esto con la finalidad de optimizar cada uno de los planes de producción con base en datos que nos arrojaran sin duda un análisis más concreto y detallado de la realidad que nos llevan a obtener resultados más económicos y sustentados por modelos matemáticos.

V. REFERENCIAS

-Winston W.L. (2005). Investigación de Operaciones: Aplicaciones y Algoritmos. Ed. Thompson.

-Ballou R. H. (2004). Logística/ Administración de la cadena de suministro. Pearson-Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, USA.

-Steven Nahmias (2007). Análisis de la producción y las operaciones. McGraw-Hill Interamericana, México DF.

Universidad Oberta de Catalunya (2012). APLICACIONES DE LA PROGRAMACIÓN LINEAL . Recuperado de http://www.uoc.edu/in3/emath/docs/Aplicaciones_PL.pdf

http://www.magisteriolalineal.com/carpeta/pdf/MANUAL_APA_ULACIT_actualizado_2012.pdf

http://www.diku.dk/hjemmesider/ansatte/pisinger/production/Graves_ProductionPlanningChapter.pdf

http://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/5577/1_politicas_optimas.pdf

https://feb.kuleuven.be/rebel/jaargangen/1991-2000/1994/TEM1994-4/TEM1994-4_353-380p.pdf

VI. ANEXOS

MODEL:

SETS:

item / 1..3 /:

l;

recursos / 1..3 /;

necesidad (item, recursos);

semana / 1..4 / ;

x;

disponibilidad(recursos,semana);;

matriz(item, semana):

CP,

CQ,

QQ,

QP,

B,

D,

A ;!Cantidad de recurso k necesario para construir item i;

END SETS

DATA:

CP=

200	200	200	600
180	180	180	540
205	205	205	615

;

CQ=

50	50	50	50
45	45	45	45
51	51	51	51

;

A = 3 3 3 3

2 2 2 2

2 2 2 2;

b =

200 100 120 80
 310 140 100 90
 180 190 50 80;

D =
 38 30 30 40
 20 40 60 10
 30 39 39 49;

ENDDATA

! funcion objetivo;

MIN= @SUM(matriz(i, s) : CP*QP + CQ * QQ);

! Ecuación para calcular cantidad a producir el primer periodo;

@FOR (matriz(i,s)| s #le# 1:@SUM(matriz(i,s):QP(i,s))>=d(i,s)) ;

@FOR (matriz(i,s)| s #le# 1:@SUM(matriz(i,s):QQ(i,s))= -d(i,s)+QP(i,s)) ;

! restricción para cubrir demanda con inventario de periodo anterior más producción y decisión para inventario siguiente;

@FOR (matriz(i, s)| s #GT# 1 :@SUM(matriz(i,s) :

QQ(i,s-1)+QP(i,s)-QQ(i,s))>=D) ;

!Restricción de inventario de seguridad;

@FOR (matriz(i,s):QQ(i,s)>=5) ;

!Restricción de recursos por periodo;

@FOR (matriz(i,s):@SUM(matriz(i,s):A*QP)<=B) ;

!Restricción de capacidad de almacenamiento;

@FOR (semana(s):@SUM(matriz(u,s):QQ)<=60) ;

!Restricción de capacidad de producción;

@FOR (semana(s):@SUM(matriz(u,s):QP)<=130) ;

!Restricción para hacer números positivos;

@FOR(matriz(i,z):QP*QQ>=0);

!Restricción para que las variables tomen números enteros;

@FOR(necesidad: @GIN (QQ));

@FOR(necesidad: @GIN (QP));

END

Objective bound: 121033.0
Infeasibilities: 0.000000
Extended solver steps: 0
Total solver iterations: 9
Elapsed runtime seconds: 0.07
Model is a second-order cone

Model Class: MICONE

Total variables: 27
Nonlinear variables: 24
Integer variables: 18

Total constraints: 60
Nonlinear constraints: 12

Total nonzeros: 132
Nonlinear nonzeros: 12

Variable	Value
L(1)	1.234568
L(2)	1.234568
L(3)	1.234568
CP(1, 1)	200.0000
CP(1, 2)	200.0000
CP(1, 3)	200.0000
CP(1, 4)	600.0000
CP(2, 1)	180.0000
CP(2, 2)	180.0000
CP(2, 3)	180.0000
CP(2, 4)	540.0000
CP(3, 1)	205.0000

CP(3, 2)	205.0000
CP(3, 3)	205.0000
CP(3, 4)	615.0000
CQ(1, 1)	50.00000
CQ(1, 2)	50.00000
CQ(1, 3)	50.00000
CQ(1, 4)	50.00000
CQ(2, 1)	45.00000
CQ(2, 2)	45.00000
CQ(2, 3)	45.00000
CQ(2, 4)	45.00000
CQ(3, 1)	51.00000
CQ(3, 2)	51.00000
CQ(3, 3)	51.00000
CQ(3, 4)	51.00000
QQ(1, 1)	6.000000
QQ(1, 2)	9.000000
QQ(1, 3)	19.00000
QQ(1, 4)	5.000000
QQ(2, 1)	28.00000
QQ(2, 2)	15.00000
QQ(2, 3)	5.000000
QQ(2, 4)	5.000000
QQ(3, 1)	5.000000
QQ(3, 2)	36.00000
QQ(3, 3)	22.00000
QQ(3, 4)	5.000000
QP(1, 1)	44.00000
QP(1, 2)	33.00000
QP(1, 3)	40.00000
QP(1, 4)	26.00000
QP(2, 1)	48.00000
QP(2, 2)	27.00000
QP(2, 3)	50.00000
QP(2, 4)	10.00000
QP(3, 1)	35.00000
QP(3, 2)	70.00000
QP(3, 3)	25.00000
QP(3, 4)	32.00000
B(1, 1)	200.0000
B(1, 2)	100.0000
B(1, 3)	120.0000
B(1, 4)	80.00000
B(2, 1)	310.0000

B(2, 2)	140.0000
B(2, 3)	100.0000
B(2, 4)	90.00000
B(3, 1)	180.0000
B(3, 2)	190.0000
B(3, 3)	50.00000
B(3, 4)	80.00000
D(1, 1)	38.00000
D(1, 2)	30.00000
D(1, 3)	30.00000
D(1, 4)	40.00000
D(2, 1)	20.00000
D(2, 2)	40.00000
D(2, 3)	60.00000
D(2, 4)	10.00000
D(3, 1)	30.00000
D(3, 2)	39.00000
D(3, 3)	39.00000
D(3, 4)	49.00000
A(1, 1)	3.000000
A(1, 2)	3.000000
A(1, 3)	3.000000
A(1, 4)	3.000000
A(2, 1)	2.000000
A(2, 2)	2.000000
A(2, 3)	2.000000
A(2, 4)	2.000000
A(3, 1)	2.000000
A(3, 2)	2.000000
A(3, 3)	2.000000
A(3, 4)	2.000000