



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DE APLICACIÓN DE LA TEORÍA DE LAS
LIMITACIONES PARA GARANTIZAR LA MEJORA CONTINUA EN UN
PROCESO DE FABRICACIÓN DE POLIURETANO FLEXIBLE**

Oscar Ricardo Gamboa Pérez

Asesorado por la Ma. Inga. Jeniffer Mariví Santizo Álvarez

Guatemala, febrero de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DE APLICACIÓN DE LA TEORÍA DE LAS
LIMITACIONES PARA GARANTIZAR LA MEJORA CONTINUA EN UN
PROCESO DE FABRICACIÓN DE POLIURETANO FLEXIBLE**

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

OSCAR RICARDO GAMBOA PÉREZ

ASESORADO POR LA MA. INGA. JENIFFER MARIVÍ SANTIZO ÁLVAREZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO INDUSTRIAL

GUATEMALA, FEBRERO DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADORA	Inga. Norma Ileana Sarmiento Zeceña
EXAMINADOR	Ing. Byron Gerardo Chocooj Barrientos
EXAMINADOR	Ing. Leonel Estuardo Godínez Alquijay
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DE APLICACIÓN DE LA TEORÍA DE LAS LIMITACIONES PARA GARANTIZAR LA MEJORA CONTINUA EN UN PROCESO DE FABRICACIÓN DE POLIURETANO FLEXIBLE

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Posgrado, con fecha 5 de febrero del 2013.



Oscar Ricardo Gamboa Pérez

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Teléfono 2418-9142

AGS-MGIPP-0036-2013

Guatemala, 05 de febrero de 2013.

Director
César Ernesto Urquizú Rodas
Escuela de Ingeniería Industrial
Presente.

Estimado Director:

Reciba un atento y cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado los cursos aprobados del primer año y el Diseño de Investigación del estudiante **Oscar Ricardo Gamboa Pérez** con carné número **2002-12958**, quien optó la modalidad del **“PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO”**.

Y si habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Decimo, Inciso 10.2, del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Sin otro particular, atentamente,

“Id y enseñad a todos”

Ma. Inga. Jeniffer Mayra Santizo A.

Ing. Jeniffer Santizo
Ingeniera Industrial
Colegiado 11242

Asesor(a)

Msc. Ing. César Augusto Akú Castillo

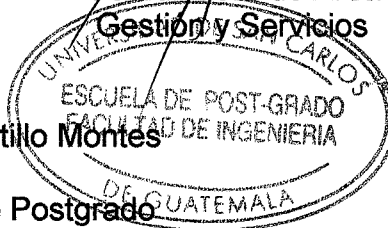
Coordinador de Área
Gestión y Servicios

César Akú Castillo MSc.
INGENIERO INDUSTRIAL
Colegiado No. 4,073

Dra. Mayra Virginia Castillo Montes

Directora

Escuela de Estudios de Postgrado



Cc: archivo
/la



REF.DIR.EMI.035.013

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación en la modalidad Estudios de Postgrado titulado **DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DE APLICACIÓN DE LA TEORÍA DE LAS LIMITACIONES PARA GARANTIZAR LA MEJORA CONTINUA EN UN PROCESO DE FABRICACIÓN DE POLIURETANO FLEXIBLE**, presentado por el estudiante universitario **Oscar Ricardo Gamboa Pérez**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


Ing. César Ernesto Urquiza Rodas
DIRECTOR

Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, febrero de 2013.

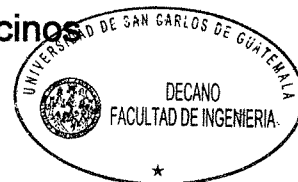
/mgp



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DE APLICACIÓN DE LA TEORÍA DE LAS LIMITACIONES PARA GARANTIZAR LA MEJORA CONTINUA EN UN PROCESO DE FABRICACIÓN DE POLIURETANO FLEXIBLE**, presentado por el estudiante universitario: Oscar Ricardo Gamboa Pérez, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano



Guatemala, febrero de 2013

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por ser mi luz y mi guía en cada día de mi vida
- Mi padre** Ricardo Gamboa Paniagua (q.e.p.d.), por su amor, su esfuerzo, su apoyo, su exigencia, por el apoyo incondicional que me brindó y por ser siempre el ejemplo de mi vida, te extraño bastante.
- Mi madre** Gloria Ninet Pérez de Gamboa, por ser el pilar fundamental, que siempre me ha brindado todo su amor, su comprensión, su cariño, su dedicación y apoyo incondicional.
- Mis abuelas** Zoila Arenales y Marta Paniagua (q.e.p.d.), por su paciencia e incentivarme a salir siempre adelante y por sus consejos.
- Mis hermanas** Nineth del Rocío y Martamaría Gamboa Pérez, gracias por brindarme su cariño y sus palabras de apoyo y comprensión.
- Mis sobrinos** Ximena del Rocío y Daniel Alejandro Méndez Gamboa, con mucho cariño les digo que ocupan un lugar en mi corazón.

Y a todas las personas que siempre me han demostrado su amistad, y que de alguna manera colaboraron en mi formación profesional.

AGRADECIMIENTOS A:

**La Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por abrirme las puertas para realizar mis estudios y por permitirme hacer realidad este sueño.

Facultad de Ingeniería

Por darme los conocimientos necesarios para formarme como profesional.

Mis grandes amigos

Por su comprensión, paciencia y consejos durante los años de convivencia en nuestra formación profesional.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	III
GLOSARIO	V
RESUMEN	VII
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES.....	3
3. OBJETIVOS.....	7
4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	9
5. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	11
6. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL.....	13
7. HIPÓTESIS.....	29
8. CONTENIDO.....	31
9. MÉTODOS Y TÉCNICAS.....	33
10. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	35

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Cronograma de actividades.....35

TABLAS

- I. Resumen de Matriz de Coherencia..... 8
- II. Símbolos y significado.....25
- III. Recursos físicos y financieros.....37

11.	RECURSOS NECESARIOS.....	37
12.	BIBLIOGRAFÍA.....	39

GLOSARIO

Aditivo	Sustancia que se agrega a otras para darles cualidades de que carecen o para mejorar las que poseen.
Agente de curado	Un agente catalizador o reactivo que, cuando se añade a una resina, las causas de polimerización. Este término es sinónimo de endurecedor.
Poliuretano	Resina sintética obtenida por condensación de poliésteres y caracterizada por su baja densidad.
TDI	Disocianato de Tolueno es un líquido incoloro, inflamable, olor a benceno. Soluble en alcohol, benceno y éter. Se obtiene generalmente de la destilación del petróleo y alquitrán.

RESUMEN

El presente trabajo de graduación se desarrollará en una empresa manufacturera de poliuretano flexible, el cual se enfocará específicamente en el área de producción y laboratorio. La realización del trabajo de graduación brindará información importante sobre la situación de la producción de la empresa manufacturera de poliuretano flexible, lo cual se desarrollará por medio de diagramas de operaciones, flujo, recorrido y FODA.

Se identificará y se describirá los problemas principales del proceso de fabricación del poliuretano flexible, aplicando la Teoría de las Limitaciones. Lo cual permitirá proponer soluciones por medio de la Teoría de las Limitaciones.

Se establecen los objetivos generales y específicos, los cuales son las metas que se quieren alcanzar con la realización del trabajo de graduación. Esta investigación se hace necesaria por el impacto que tendrá en la empresa a corto plazo y también para sentar las bases para una futura certificación bajo la Norma ISO 9000.

Se proponen hipótesis de investigación que permitirán establecer si es nula o no. Se describe en qué consisten los poliuretanos y usos que se le dan en la industria actualmente.

1. INTRODUCCIÓN

En los tiempos actuales, en donde la economía guatemalteca tiene más participación en el mercado internacional, los niveles de exigencia en tecnología e innovación se hacen cada vez más grandes. Por lo cual es preciso cumplir con los estándares de calidad deseados, el uso de materias primas y de los recursos adecuados, al más bajo costo. Ya que la competencia va aumentando debido a la globalización.

El presente trabajo está comprendido dentro de las líneas de investigación de la Maestría en Gestión Industrial de la Escuela de Posgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Se hará un estudio de eliminación de problemas (cuellos de botella), para la mejora continua de los estándares de producción que se realiza para el poliuretano flexible.

El poliuretano flexible se ha convertido con el tiempo en un producto cotidiano en las piezas de automóviles, maquinaria, electrodomésticos, etc. Se conocerán, las ventajas que tiene el poliuretano frente a otros materiales como lo son cualquier tipo de material metálico. La industria del poliuretano flexible en Guatemala es escasa, por lo cual todavía son pocas las empresas que cuentan con la tecnología adecuada, y las empresas que poseen la tecnología lo usan para su propio consumo.

Se plantea como objetivo de este trabajo de investigación analizar las mejoras que se pueden lograr con la aplicación de la Teoría de las Limitaciones en la mejora continua de un proceso de poliuretano flexible. El cual constituye

una herramienta valiosa en el área de producción, pues trae como beneficio la duplicación de operaciones, y eliminación de los tiempos muertos de operación.

CAPÍTULO I: en este capítulo se explicará la historia del poliuretano y cuál ha sido su evolución a través del tiempo. Cuáles son los beneficios del poliuretano, los tipos que hay y cuál es la importancia que tiene el poliuretano en la industria.

CAPÍTULO II: en este capítulo se explica en qué consiste la Teoría de las Limitaciones y su forma de aplicación.

CAPÍTULO III: en este capítulo se realizará el diagnóstico del proceso del poliuretano flexible usando diagramas de flujo y análisis FODA (Fortalezas, Objetivos, Debilidades y Amenazas).

CAPÍTULO IV: se desarrollará la propuesta con la Teoría de las Limitaciones, en donde se establecen los pasos a seguir para el desarrollo del mismo. Se usarán los diagramas de flujo mejorados en donde se espera observar las mejoras que tiene la herramienta de la Teoría de las Limitaciones.

CAPÍTULO V: se implementará la propuesta en la empresa de poliuretano flexible, en el cual se desarrollará el plan de seguimiento para lograr la mejora continua y así establecer las bases para la implementación de la ISO 9000 en un futuro.

2. ANTECEDENTES

Otto Bayer consiguió la primera síntesis de poliuretano en 1937 en los laboratorios de IG Farben, en Leverkusen (Alemania). La producción industrial empezó en 1940. Sin embargo, debido a la falta de recursos por la Segunda Guerra Mundial, la producción creció muy lentamente (S.A. 2012).

Los poliuretanos flexibles se emplean, sobre todo, en la fabricación de espumas blandas, de elastómeros y también de pinturas. Sus propiedades mecánicas pueden variar en gran medida por el empleo de diferentes isocianatos o dioles como, por ejemplo, el polietilenglicol. La adición de cantidades variables de agua provoca la generación de más o menos cantidad de dióxido de carbono, el cual aumenta el volumen del producto en forma de burbujas. A diferencia de las esponjas naturales, se suele tratar de materiales con poro algo más cerrado. En forma de copolímero, los poliuretanos también se encuentran en fibras como la lycra.

Los poliuretanos rígidos se usan en la industria de la refrigeración, aislamiento, mueble, etc. Algunos poliuretanos se emplean para confección de pinturas aislantes, recubrimientos aislantes del medio, etc.

La Teoría de las Limitaciones fue descrita por primera vez por Eli Goldratt al principio de los años 80's y desde entonces ha sido ampliamente utilizada en la industria. Es un conjunto de procesos de pensamiento que utiliza la lógica de la causa y efecto para entender lo que sucede y así encontrar maneras de mejorar. Está basada en el simple hecho de que los procesos multitarea, de cualquier ámbito, solo se mueven a la velocidad del paso más lento. La

manera de acelerar el proceso es utilizar un catalizador en el paso más lento y así lograr que trabaje hasta el límite de su capacidad. La teoría enfatiza la dilucidación, los hallazgos y apoyos del principal factor limitante. En la descripción de esta teoría estos factores limitantes se denominan restricciones o cuellos de botella.

El proceso productivo del poliuretano flexible en Guatemala se encuentra en una fase empírica en la mayoría de empresas de ese tipo, por lo cual se tienen deficiencias en cuanto a la optimización de sus procesos.

Díaz Vidal (2006, Guatemala), hace un análisis de buenas prácticas de manufactura en una planta de fabricación de esponja flexible de poliuretano. Se determinó la importancia la seguridad e higiene de la planta de fabricación de esponja flexible de poliuretano.

Palacios Alvarado (1984, Guatemala), hace un análisis del montaje de una fábrica para la empresa Esponjas de Guatemala, S.A. para la elaboración de esponja flexible de poliuretano en Guatemala. Se determinó el procedimiento estandarizado para la elaboración de esponja flexible de poliuretano, al no existir estudios previos realizados en Guatemala.

García Miranda (2009, Guatemala), hace un rediseño de la productividad del proceso de fabricación de suelas de poliuretano en la empresa TECNICALSA de Guatemala. Se optimizó la eficiencia de la producción de un 53% a un 75%, al identificar los factores que afectaban la productividad.

López Morales (2009, Guatemala), propone la realización de las operaciones en el área de producción de esponja de poliuretano en una fábrica de manufactura en Guatemala. Se diseñó el nuevo departamento de producción

logrando así una reducción en los costos de producción del producto terminado, mejorando la calidad del producto y aumentando la competitividad de la empresa a largo plazo.

García Tobar (2006, Guatemala), usa la Teoría de Restricciones en un proceso de producción de costura de pantalones en la empresa KORAMSA. Se logró una reducción del 80% del inventario en proceso y del 30% en el costo de la mano de obra.

3. OBJETIVOS

General

Implementar el estudio de Teoría de las Limitaciones para garantizar la Mejora Continua en un proceso de fabricación de poliuretano flexible.

Específicos

1. Identificar y describir los problemas principales del proceso de fabricación del poliuretano flexible aplicando la Teoría de Limitaciones.
2. Describir la relación entre la calidad del producto y su fabricación de poliuretano flexible y las quejas que tienen los clientes.
3. Determinar los costos de producción por medio de la disminución del uso de materiales, máquinas y mano de obra.
4. Estandarizar los procesos y procedimientos de la fabricación de poliuretano flexible con una reducción del 20% del tiempo de ocio en la fabricación de poliuretano flexible.
5. Mejorar y aumentar la seguridad industrial del área de producción de poliuretano flexible.

Tabla I. **Resumen de Matriz de Coherencia**

Preguntas	Objetivos
¿Qué problemas en el proceso de poliuretano flexible han afectado su fabricación?	Identificar y describir los problemas principales del proceso de fabricación del poliuretano flexible aplicando la Teoría de Limitaciones.
¿Cuál es la relación entre la calidad del producto y su fabricación de poliuretano flexible y las quejas que tienen los clientes?	Describir la relación entre la calidad del producto y su fabricación de poliuretano flexible y las quejas que tienen los clientes
¿Qué costos de producción se pueden disminuir en la fabricación de poliuretano flexible?	Determinar los costos de producción por medio de la disminución del uso de materiales, máquinas y mano de obra.
¿Cuáles serán las mejoras en el proceso productivo en la empresa al trabajar con la Teoría de las Limitaciones?	Estandarizar los procesos y procedimientos de la fabricación de poliuretano flexible con una reducción del 20% del tiempo de ocio en la fabricación de poliuretano flexible.
¿Qué área de producción del poliuretano flexible se puede mejorar?	Mejorar y aumentar la seguridad industrial del área de producción de poliuretano flexible.

Fuente: elaboración propia.

4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Consciente de la importancia que al día de hoy tiene el poliuretano flexible en la industria para afrontar los nuevos retos en los costos de mantenimiento de maquinaria, el presente estudio tiene una repercusión práctica sobre los procesos de fabricación, aportando información valiosa al aplicar la Teoría de las Limitaciones que sirve para tomar las mejores decisiones sobre la producción.

Se utilizará la Teoría de las Limitaciones para desarrollar un plan de Mejora Continua, debido a que tiene establecidos los pasos a seguir para la detección de problemas y es una de las técnicas aplicadas para este tipo de proceso de fabricación.

Esta investigación se hace necesaria por el impacto que tendrá en la empresa a corto plazo, el cual será la atención eficiente hacia los clientes. A mediano plazo, provocar ahorros en la fabricación de poliuretano flexible ya que se tendrá menos producto defectuoso. A largo plazo, los beneficios que tendrá la empresa será el tener un clima de mejora continua dentro de los procesos y que éste se expanda hacia los diferentes departamentos, para así iniciar con el proceso de certificación para una ISO 9000.

El principal motivo para realizar este estudio es para contribuir en la mejora continua de la empresa de poliuretano, en la proporción de un producto de calidad con mejores estándares en los procesos de fabricación y así lograr una mayor satisfacción de los clientes, que en este caso comprenden la industria manufacturera del país.

5. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En la fabricación del poliuretano flexible se encuentran serias deficiencias en su producción debido a las quejas de los clientes indicando que el producto no resiste las condiciones de trabajo para las cuales fueron creadas y no cumple con las tolerancias que soporta la maquinaria.

Para el desarrollo del trabajo se plantea el siguiente problema:

¿A qué se debe la deficiencia en la fabricación, y el consecuente aumento del retraso en la entrega del producto y número de quejas de los clientes?

Debido a eso se formulan las preguntas de investigación:

¿Qué problemas en el proceso de poliuretano flexible han afectado su fabricación?

¿Cuál es la relación entre la calidad del producto y su fabricación de poliuretano flexible y las quejas que tienen los clientes?

¿Qué costos de producción se pueden disminuir en la fabricación de poliuretano flexible?

¿Cuáles serán las mejoras en el proceso productivo en la empresa al trabajar con la Teoría de las Limitaciones?

¿Qué área de producción del poliuretano flexible se puede mejorar?

Este proyecto busca la aplicación de la Teoría de las Limitaciones en una empresa de fabricación de poliuretano flexible y su generalización hacia otras empresas del ramo de la manufactura que presenten características similares al que se aplicará en este trabajo de investigación.

Se busca establecer una guía de mejora para enfocar la aplicación no solo al cambio del área productiva sino que, lograr la integración del mismo como una filosofía laboral para facilitar la gestión del área productiva de la empresa.

Entre las limitaciones que se pueden encontrar durante la investigación, serán de tipo económica, por lo cual se presentará un análisis de lo que se realizará y los beneficios esperados por el desarrollo del plan de mejora continua.

Los alcances de la presente investigación están enfocados a una empresa de fabricación de poliuretano flexible ubicado en el municipio de Mixco, departamento de Guatemala. Durante el período de octubre de 2012 a marzo del 2013. La unidad de análisis va a ser la cantidad de kilos procesados de poliuretano flexible en el mes.

6. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

En la industria manufacturera guatemalteca, se utilizan insumos que son necesarios para el buen funcionamiento de la maquinaria. Los cuales se necesita que sean resistentes y duraderos para el mejor desempeño de la maquinaria. Por eso se hace necesario respaldar el marco teórico y conceptual de la mejora continua del proceso de poliuretano flexible.

CAPÍTULO I: en este capítulo se describe la historia del poliuretano, sus componentes, ventajas de su uso y la aplicación que se tiene en la industria.

Poliuretano

El poliuretano flexible toma las características de un metal y las de un caucho. Los poliuretanos pueden ser procesados de manera que se obtenga un compuesto tan suave como la goma de mascar. Por otro lado, puede ser tan duro como algún metal dúctil. El amplio rango de durezas, hace de estos, un material extremadamente versátil. Esto permite que sea útil en gran variedad de aplicaciones. Los compuestos típicos de hule no pueden superar el rango de dureza de los poliuretanos flexibles sin volverse quebradizos. El típico compuesto plástico, no puede proporcionar elasticidad sin rasgarse o romperse (HIMSA, 2012).

Técnicamente hablando, los materiales básicos utilizados para formar compuestos de poliuretano, son subproductos del proceso de refinación de petróleo. El producto terminado moldeado por el procesador, consta de dos ingredientes básicos; un prepolímero y un agente de curado.

Prepolímeros

Los prepolímeros son preparados por reacción de un isocianato y un poliol de varios tipos. Prácticamente, todos los grados comerciales de prepolímeros disponibles, se hacen a base de dos diferentes isocianatos; TDI (toluen-diisocianato) y MDI (metilen-bis-di-fenil-di-isocianato). Ambos isocianatos, confieren diferentes propiedades al prepolímero y emplean varios tipos de sistemas de procesamiento. El otro reactivo para el prepolímero: el poliol, está disponible en tres tipos básicos: PTMEG (politetrametilen éter glicol), PPG (polipropilen éter glicol) y poliéster. Existen otros isocianatos y polioles que pueden ser usados para fabricar prepolímeros. Esto nos da, los seis tipos básicos de prepolímeros con los cuales se procesa el poliuretano flexible (HIMSA, 2012).

Agente de curado

El prepolímero es mezclado con una diamina, diol, triol o mezcla de estos como agente de curado. Así como con los prepolímeros, el tipo de agente de curado usado influiría en las propiedades físicas del producto terminado. Las diaminas de curado más comúnmente usadas son: el metilen-bis-orto cloro anilina (MOCA); principalmente usada con prepolímeros base TDI. Los principales dioles para curado, 1,4 butanodiol (BDO) y la di-(beta-hidroxietil)-éter Hidroquinona (HQEE) son primordialmente usados en prepolímeros MDI. Los trioles pueden utilizarse en combinación con dioles en sistemas de MDI o TDI para ofrecer una amplia variedad de propiedades físicas (CHEMTURA, 2005).

Aditivos

Los aditivos, pueden ser incorporados en un compuesto por el procesador. El aditivo más comúnmente utilizado es, por supuesto, un pigmento. Otros aditivos pueden ser los plastificantes, cargas, estabilizadores UV y estabilizadores de hidrólisis.

Ventajas del poliuretano frente a otros materiales

Los poliuretanos flexibles se usan para dar un alto desempeño en propiedades, tales como: resistencia a la abrasión, resistencia al desgarre y capacidad para soportar cargas. Estas extraordinarias propiedades, proporcionan una alternativa efectiva de costo para muchas aplicaciones industriales disminuyendo el tiempo en operaciones de procesamiento. Los costos de las herramientas, son otro factor (HIMSA, 2012).

Dado que los poliuretanos son materiales flexibles, el herramental puede ser bastante económico comparado con las estructuras masivas necesarias para compresión de hules o moldeo por inyección de plásticos.

Ventajas contra el hule

La mayor ventaja de los poliuretanos flexibles sobre los hules, es la resistencia a la abrasión. La combinación de la alta resistencia al rasgado y un alto modulo da esta ventaja a los poliuretanos. Otras ventajas, incluyen la resistencia al ozono y un amplio rango de durezas.

Los poliuretanos pueden también pigmentarse con una gran variedad de colores. Esto le dará al usuario la ventaja de codificar por colores o igualar colores corporativos.

Una de las mayores ventajas de los poliuretanos sobre los hules, respecto al procesado, es el hecho de que los poliuretanos pueden vaciarse en lugar de ser moldeado por compresión. Esto elimina la necesidad de un equipo pesado como prensas y grandes moldes de acero (HIMSA, 2012).

Ventajas contra metal

La mayoría de los metales son más pesados que los poliuretanos. Esto hace a los poliuretanos mucho más fáciles de manejar y es más económico operar equipos. Los niveles de ruido se minimizan ya que los poliuretanos tienen la capacidad de absorberlos.

Los poliuretanos pueden durar más que los metales en muchas aplicaciones, especialmente donde las partes están expuestas a materiales abrasivos. Su resistencia a la corrosión, también los hace un reemplazo ideal para metales.

Probablemente la mayor ventaja que tienen los poliuretanos sobre los metales, su proceso de fabricación es más económica. Moldear piezas metálicas es un poco más caro que moldear poliuretanos. La soldadura y maquinado de partes metálicas también consume tiempo y es costoso (HIMSA,2012).

Ventajas contra plásticos

Así como con los materiales previamente mencionados, la mayor ventaja de los poliuretanos sobre los plásticos es su resistencia a la abrasión. Esto es debido al hecho de que los poliuretanos poseen propiedades elastoméricas, que los plásticos carecen. Esto nos lleva a mencionar otra ventaja que tienen los poliuretanos sobre los plásticos: memoria elastomérica. Los poliuretanos, en muchos de los casos, regresan a su forma original cuando son estirados. Ya que los poliuretanos son elastómeros, estos no son plásticos quebradizos. Aún en altos rangos de dureza permanece elástico.

Beneficios de los poliuretanos

Con la vasta cantidad de combinaciones y formulaciones de poliuretanos es comprensible que las propiedades para estos materiales son vastas también. En general, los poliuretanos pueden procesarse a varias durezas, desde 10 *shore A* hasta 85 *shore D* (HIMSA, 2012).

El rango de dureza típico para los sumamente durables y resistentes productos industriales, es un rango ligeramente angosto, aproximadamente entre 40 *shore A* y 75 *shore D*.

Los poliuretanos son evaluados en muchas propiedades físicas como la dureza, la resistencia a la tensión, módulo de tensión, elongación, resistencia al rasgado, deflexión por compresión y la resistencia a la abrasión, por mencionar algunas. El resultado final es que cuando se comparan con otros elastómeros como los hules y los metales como el acero y el aluminio, sobresalen los poliuretanos en varias áreas y pueden ser utilizados en lugar de o en conjunción

con otros materiales de ingeniería para conseguir la pieza perfecta para casi cualquier aplicación (HIMSA, 2012).

En el listado siguiente, se muestran sólo algunos de los beneficios y propiedades que hacen de los poliuretanos uno de los materiales más versátiles para casi cualquier aplicación (HIMSA, 2012).

- Amplio rango de dureza y módulo de tensión.
- Extremadamente durables y resistentes cuando son comparados con otros materiales de ingeniería.
- Excelente resistencia al impacto, abrasión, al corte y al desgarre.
- Se desempeña típicamente como acero templado arriba de 10x en aplicaciones con abrasión.
- Se desempeña típicamente como compuestos de hule arriba de 4x en aplicaciones con abrasión.
- Magnífica elasticidad con excepcional memoria elastomérica.
- No se despedaza como el hule.
- Tiene capacidad para soportar cargas muy grandes.
- Excelentes materiales para absorber sonidos y vibraciones.
- Excelente resistencia química a solventes, productos derivados del petróleo y otros materiales.
- Amplio rango de temperatura de trabajo (-30°C a 100°C, dependiendo de la formulación).
- Buena estabilidad térmica (dependiendo de la formulación).
- De buena a excelente estabilidad hidrolítica y al UV, (dependiendo de la formulación).
- Excelentes aislamiento eléctrico.
- Excelentes propiedades dinámicas para aplicaciones con severa fatiga por flexión.

- Elongación por encima del 650% de su longitud original previo a una fractura.
- Se une permanentemente al metal, madera, telas y otros elementos estructurales y sustratos.
- Es posible manufacturar casi cualquier figura o configuración que se imagine.
- Está disponible en una amplia serie de colores.
- Piezas con doble dureza, se hacen fácilmente para obtener diferentes propiedades dentro de la misma pieza.
- Relativamente baja deformación a compresión y tensión.
- Menores costos de vaciado que otros procesos de moldeo.
- Económico para prototipos y bajo volumen de producción.

CAPÍTULO 2: en este capítulo se desarrolla lo que es la Teoría de las Limitaciones, el cual es la herramienta a utilizar para la mejora continua del poliuretano flexible.

Teoría de las Limitaciones

También conocida como Teoría de Restricciones (TOC Theory of Constraints), ésta inició con la necesidad de conseguir más clientes ya que el proceso que se utilizaba era demasiado lento, en sus comienzos fue conocida como OPT; Teoría de Producción Optimizada y su aplicación se hacía por medio de un software desarrollado por el Dr. Goldratt de manera de caja negra. Los usuarios no sabían los detalles de los procesos internos del software.

Tiempo después la teoría fue evolucionando y ha sido publicado sus detalles en libros como: la meta, el síndrome del pajar, no fue la suerte, la cadena crítica, necesaria pero no suficiente. Actualmente el instituto Abraham y

Goldratt (en honor al padre del Dr. Eliyahu) se encarga del estudio, evolución y difusión de las ideas de la teoría de las restricciones (Goldratt, 2002).

La Teoría de las Limitaciones es una filosofía administrativa cuyo objetivo es hacer dinero, tanto en el presente como en el futuro. Su metodología sistémica de gestión y mejora de una empresa. Es decir que analiza a la empresa como un todo, y no a cada uno de sus sectores aisladamente.

En pocas palabras, la Teoría de las Limitaciones se basa en las siguientes ideas (Goldratt, 2002):

- La meta de cualquier empresa con fines de lucro es ganar dinero de forma sostenida, esto es, satisfaciendo las necesidades de los clientes, empleados y accionistas. Si no gana una cantidad ilimitada es porque algo se lo está impidiendo: sus restricciones.
- Contrariamente a lo que parece, en toda empresa existen sólo unas pocas restricciones que le impiden ganar más dinero.
- Restricción no es sinónimo de recurso escaso. Es imposible tener una cantidad infinita de recursos. Las restricciones, lo que le impide a una organización alcanzar su más alto desempeño en relación a su meta, son en general criterios de decisión erróneos.
- La única manera de mejorar es identificar y eliminar restricciones de forma sistemática

Goldratt desarrollo un software que programaba las tareas a través del proceso de fabricación, tomando en cuenta las restricciones en:

- Instalaciones
- Maquinaria
- Personal
- Herramientas
- Materiales

Las restricciones que podrían afectar la capacidad de producción. La esencia de la teoría de las limitaciones o restricciones se basa en cinco puntos correlativos de aplicación (Goldratt, 2002):

Paso a: identificar las restricciones del sistema.

Paso b: decidir cómo explotarlas.

Paso c: subordinar todo a la decisión anterior.

Paso d: superar la restricción del sistema (elevar su capacidad).

Paso e: si en los pasos anteriores se ha roto una restricción, regresa al paso (a) pero no permitirá la inercia.

Existen dos tipos de limitaciones (Goldratt, 2002):

- Limitaciones físicas: son equipos instalaciones o recursos humanos, etc., que evitan que el sistema cumpla con su meta de negocio. Existen dos modos de explotarlas:
 - Agregar capacidad (contratar personal, alquilar o comprar equipo).
 - Aprovechar al máximo la capacidad del sistema (gestión eficiente).

- Limitaciones de políticas: son todas las reglas que evitan que la empresa alcance su meta (por ejemplo: no hacer horas extras, trabajar en otros turnos, no vender a plazos, etc.).

CAPÍTULO III: en este capítulo se realizará el diagnóstico del proceso del poliuretano flexible usando diagramas de flujo y análisis FODA (Fortalezas, Objetivos, Debilidades y Amenazas).

Diagrama de flujo

El diagrama de flujo es la representación gráfica del algoritmo o proceso. Se utiliza en disciplinas como programación, economía, procesos industriales y psicología cognitiva. Estos diagramas utilizan símbolos con significados definidos que representan los pasos del algoritmo, y representan el flujo de ejecución mediante flechas que conectan los puntos de inicio y de fin de proceso.

Características

Un diagrama de flujo siempre tiene un único punto de inicio y un único punto de término.

Las siguientes son acciones previas a la realización del diagrama de flujo:

- Identificar las ideas principales a ser incluidas en el diagrama de flujo. Deben estar presentes el autor o responsable del proceso, los autores o responsables del proceso anterior y posterior y de otros procesos interrelacionados, así como las terceras partes interesadas.
- Definir qué se espera obtener del diagrama de flujo.

- Identificar quién lo empleará y cómo.
- Establecer el nivel de detalle requerido.
- Determinar los límites del proceso a describir.
- Los pasos a seguir para construir el diagrama de flujo son:
 - Establecer el alcance del proceso a describir. De esta manera quedará fijado el comienzo y el final del diagrama. Frecuentemente el comienzo es la salida del proceso previo y el final la entrada al proceso siguiente.
 - Identificar y listar las principales actividades/subprocesos que están incluidos en el proceso a describir y su orden cronológico.
 - Si el nivel de detalle definido incluye actividades menores, listarlas también.
 - Identificar y listar los puntos de decisión.
 - Construir el diagrama respetando la secuencia cronológica y asignando los correspondientes símbolos.
 - Asignar un título al diagrama y verificar que esté completo y describa con exactitud el proceso elegido.

Ventajas de los diagramas de flujo

- Favorecen la comprensión del proceso al mostrarlo como un dibujo. El cerebro humano reconoce muy fácilmente los dibujos. Un buen diagrama de flujo reemplaza varias páginas de texto.
- Permiten identificar los problemas y las oportunidades de mejora del proceso. Se identifican los pasos, los flujos de los re-procesos, los conflictos de autoridad, las responsabilidades, los cuellos de botella, y los puntos de decisión.
- Muestran las interfaces cliente-proveedor y las transacciones que en ellas se realizan, facilitando a los empleados el análisis de las mismas.

- Son una excelente herramienta para capacitar a los nuevos empleados y también a los que desarrollan la tarea, cuando se realizan mejoras en el proceso.

Tipos de diagramas de flujo

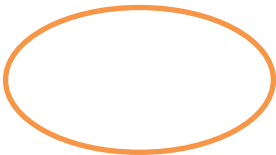

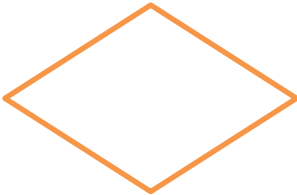
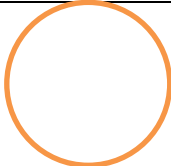
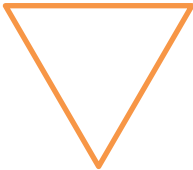
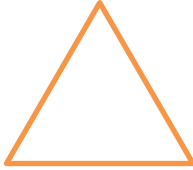
Formato vertical: en él, el flujo o la secuencia de las operaciones, va de arriba hacia abajo. Es una lista ordenada de las operaciones de un proceso con toda la información que se considere necesaria, según su propósito.

Formato horizontal: en él, el flujo o la secuencia de las operaciones, va de izquierda a derecha.

Formato panorámico: el proceso entero está representado en una sola carta y puede apreciarse de una sola mirada mucho más rápido que leyendo el texto, lo que facilita su comprensión, aún para personas no familiarizadas. Registra no solo en línea vertical, sino también horizontal, distintas acciones simultáneas y la participación de más de un puesto o departamento que el formato vertical no registra.

Formato Arquitectónico: describe el itinerario de ruta de una forma o persona sobre el plano arquitectónico del área de trabajo. El primero de los flujogramas es eminentemente descriptivo, mientras que los utilizados son fundamentalmente representativos.

Tabla II. **Símbolos y significado**

Nombre	Símbolo	Significado
Óvalo o Elipse		Inicio y término (Abre y/o cierra el diagrama)
Rectángulo		Actividad (Representa la ejecución de una o más actividades o procedimientos)
Rombo		Decisión (Formula una pregunta o cuestión)
Círculo		Conector (Representa el enlace de actividades con otra dentro de un procedimiento)
Triángulo boca abajo		Archivo definitivo (Guarda un documento en forma permanente)
Triángulo boca arriba		Archivo temporal (Proporciona un tiempo para el almacenamiento del documento)

Fuente: elaboración propia

Análisis FODA

En el proceso de planificación estratégica, se utilizan diversas herramientas de análisis para obtener información que permita tomar decisiones acertadas al trazar la trayectoria futura de las organizaciones. Una de las herramientas más utilizadas, por su sencillez y gran utilidad, es el análisis FODA (Orlich).

El resultado inmediato del análisis FODA (SWOT en inglés; DOFA, FOCA, DAFO, etc. en español, según la traducción y el orden de los elementos que le componen) es un diagnóstico bastante preciso de la situación actual del entorno interno y externo de la organización. Es de gran ayuda para los gerentes a la hora de tomar decisiones estratégicas y tácticas.

FODA es una sigla que resume cuatro conceptos: fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas. Los criterios para ubicar un dato o hecho en una de estas cuatro categorías son básicamente dos:

Criterio 1: si son internos o externos a la organización

Criterio 2: si son convenientes o inconvenientes para la organización

Las oportunidades y las amenazas son elementos externos a la organización que esta no puede controlar ni modificar pero sí aprovechar o manejar. Las fortalezas y las debilidades son factores internos que la organización sí controla, que dependen de esta.

Es fácil derivar que las oportunidades y las fortalezas son factores favorables para la organización y las debilidades y las amenazas son desfavorables.

Dado lo anterior, se pueden plantear las siguientes definiciones:

Fortalezas: son las características y capacidades internas de la organización que le han permitido llegar al nivel actual de éxito y lo que le distingue de la competencia (ventaja competitiva). La organización tiene control sobre ellas y son relevantes. Algunos ejemplos son el posicionamiento en el mercado, la porción de mercado, exclusividad de un producto de punta, recursos humanos leales y motivados, salarios competitivos, estilo gerencial exitoso, proceso muy eficiente de producción, capital de trabajo adecuado y otros.

Debilidades: son las características y capacidades internas de la organización que no están en el punto que debieran para contribuir al éxito y más bien provocan situaciones desfavorables.

Al igual que las fortalezas, la organización tiene control sobre ellas y son relevantes. Las fortalezas pueden convertirse en debilidades, por ejemplo, si cambia la estructura salarial y deja de ser competitiva, si ocurre algo que provoque desmotivación importante en los empleados, si se pierde la exclusividad de un producto de punta, si se reduce sustancialmente el posicionamiento en el mercado y así sucesivamente.

Oportunidades: son aquellos factores externos a la organización que esta puede aprovechar para obtener ventajas competitivas. La organización no los controla y no dependen de esta, pero puede obtener ventajas de tales hechos relevantes. Algunos ejemplos son una ley que esté por aprobarse, un nuevo esquema tributario, la caída del competidor principal, la producción de empleados calificados en las universidades, el crecimiento acelerado del cliente principal, la apertura de un mercado, etc.

Amenazas: son aquellas situaciones que presenta el entorno externo a la organización, que no puede controlar pero le pueden afectar desfavorablemente y en forma relevante. Los mismos ejemplos citados como oportunidades pueden convertirse en amenazas si su efecto es negativo: una ley puede perjudicar; un mercado importante puede cerrarse; el principal cliente puede elegir otro proveedor competidor; las universidades pueden dejar de producir el recurso humano que la organización necesita y así sucesivamente.

La utilidad del FODA radica en diseñar las estrategias para utilizar las fortalezas en forma tal que la organización pueda aprovechar las oportunidades, enfrentar las amenazas y superar las debilidades. De un buen análisis FODA surge toda una gama de planes de acción estratégicos y proyectos para lograr el éxito.

CAPÍTULO IV: se desarrollará la propuesta con la Teoría de las Limitaciones, en donde se establecen los pasos a seguir para el desarrollo del mismo. Se usarán los diagramas de flujo mejorados en donde se espera observar las mejoras que tiene la herramienta de la Teoría de las Limitaciones.

CAPÍTULO V: se implementará la propuesta en la empresa de poliuretano flexible, en el cual se desarrollará el plan de seguimiento para lograr la mejora continua y así establecer las bases para la implementación de la ISO 9000:2000 en un futuro.

7. HIPÓTESIS

Hi: si la aplicación de la Teoría de las Limitaciones reduce costos y aumenta la producción de poliuretano flexible.

Ho: la no aplicación de la Teoría de las Limitaciones reduce costos y aumenta la producción de poliuretano flexible.

Variable independiente

Mejora Continua, Teoría de las Limitaciones

Indicadores

- Calidad (cualitativo)
- Defectos (cuantitativo)
- Problemas (cuantitativo)

Variable dependiente

Proceso productivo de poliuretano flexible

Indicadores

- Aumento de la comunicación entre departamentos (cualitativo)
- Reducción de retrasos (cuantitativo)
- Aumento de kilos procesados (cuantitativo)

8. CONTENIDO

El contenido del trabajo de graduación que se realizará es el siguiente:

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

OBJETIVOS

INTRODUCCIÓN

1. CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES
 - 1.1. Historia del poliuretano
 - 1.2. Tipos de poliuretano
 - 1.3. Usos del poliuretano
 - 1.4. Componentes del poliuretano
 - 1.4.1. Isocianato
 - 1.4.2. Polioliol
 - 1.5. Maquinaria utilizada
 - 1.6. Mercado del poliuretano flexible

2. CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO
 - 2.1. Teoría de las limitaciones
 - 2.1.1. Origen
 - 2.1.2. Limitaciones
 - 2.1.3. Indicadores
 - 2.1.4. Mejora continua

- 2.1.5. Proceso
 - 2.1.6. Aplicaciones
 - 2.2. Diagrama de Flujo
 - 2.3. Análisis FODA

- 3. CAPITULO 3: SITUACIÓN ACTUAL
 - 3.1. Descripción del proceso
 - 3.2. Determinación de las restricciones(cuellos de botella)
 - 3.3. Medidas de seguridad
 - 3.4. Maquinaria y equipo

- 4. CAPITULO 4: PROPUESTA DEL MODELO A IMPLEMENTAR
 - 4.1. Control de restricciones
 - 4.2. Control de procedimientos
 - 4.3. Medidas de seguridad
 - 4.4. Evaluaciones
 - 4.5. Seguimiento de las mejoras

- 5. CAPITULO 5: IMPLEMENTACIÓN DE LA TEORÍA DE LAS LIMITACIONES EN LA CADENA PRODUCTIVA
 - 5.1. Administración de restricciones
 - 5.2. Escenario general de la implementación
 - 5.3. El plan de implementación
 - 5.4. Evaluaciones

CONCLUSIONES

RECOMENTACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

9. MÉTODO Y TÉCNICAS

El trabajo de investigación tendrá un enfoque cuantitativo debido a que se planteará una hipótesis utilizando el método estadístico del cual se tendrá la variable de kilos producidos en el mes de poliuretano flexible, los datos serán recogidos por medio de entrevistas y por observación. La investigación sigue un patrón predecible y estructurado con lo cual se pretende generalizar los resultados encontrados así como explicar y predecir los fenómenos investigados utilizando el razonamiento deductivo.

Se utilizarán las técnicas de investigación documental y de campo para analizar el problema investigado:

- Observación y recopilación de información: se observará el proceso de fabricación de poliuretano flexible actual, para determinar las restricciones existentes en ellas y registrarla para su posterior análisis. La observación será de tipo estructurada ya que permite realizar un estudio preciso de los patrones que quieren medirse y observarse.
- Investigación Documental: se consultarán los documentos existentes para obtener información referente al tema de investigación.
- Se formularán una serie de preguntas que nos permitirán medir una o más variables de las restricciones que se tienen en el proceso de producción de poliuretano flexible tales como ¿Qué retrasos existen en el proceso de fabricación del poliuretano flexible? ¿Cuál es el tiempo promedio de

fabricación de poliuretano flexible? ¿Qué procesos se pueden optimizar? y éstas servirán en la entrevista.

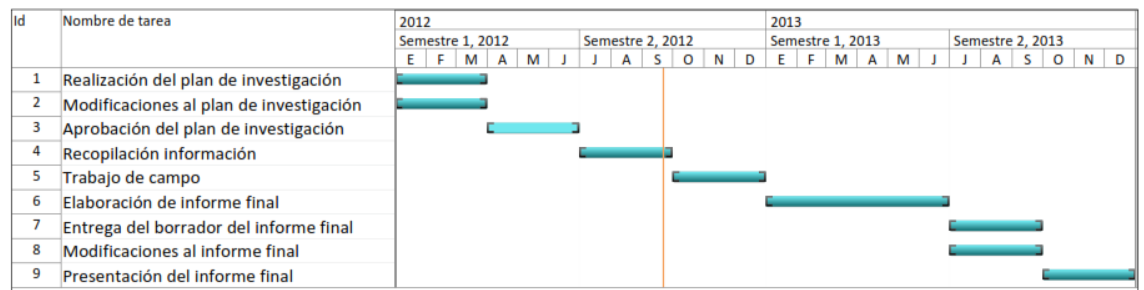
- Tabulación de la información: este proceso implica que se ordene toda la información recopilada en forma de tablas y se usará el programa de Microsoft Excel 2012 con sus herramientas estadísticas para realizar un mejor análisis de la información. Y así estructurar los capítulos que formarán parte de la investigación; en este caso, según el bosquejo preliminar de temas.

Se utilizará la técnica documental para la recopilación de la información más importante sobre el poliuretano flexible y para analizar otros tipos de estudios que se han desarrollado. Se utilizará el método estadístico de Medidas de Dispersión, siendo el método más adecuado para el análisis de los kilos de producción del poliuretano flexible como un indicador, el cual permitirá conocer el aumento o descenso de la producción.

10. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Para la realización del trabajo de graduación a continuación se presenta el cronograma de actividades para la elaboración del mismo.

Figura 1. Cronograma de actividades



Fuente: elaboración propia

11. RECURSOS NECESARIOS

Recursos Humanos

El recurso humano es la parte esencial de todo trabajo de investigación. Se contará con la colaboración de las siguientes personas:

- Operarios de laboratorio para que brinden la información del procesamiento de la materia prima.
- Torneros para que brinden información sobre el maquinado de las piezas de poliuretano.
- Supervisor de calidad para que explique los defectos y problemas que se encuentran en el proceso.

Tabla III. Recursos físicos y financieros

Descripción	Costo
Gasolina para vehículo	Q. 450.00
2 Resmas de Hojas Carta	Q. 70.00
Lapiceros	Q. 30.00
Laptop	Q.3,500.00
Escritorio	Q. 600.00
Asesor de trabajo de investigación	Q.2,500.00
TOTAL	Q.7,150.00

Fuente: elaboración propia.

12. BIBLIOGRAFÍA

1. Aplicaciones del Poliuretano. Consultado en Agosto, 2012. Disponible en <http://www.himsa.com.mx/pdf/beneficios%20de%20los%20poliuretanos.pdf>
2. Arana, David y López, Elizabeth. (2008). Desarrollo de una formulación para la elaboración de Bloques de Resinas de Poliuretano para maquinado de prototipos. Universidad EAFIT. Colombia.
3. BASF The Chemical Company. Elastoskin® El poliuretano. Consultado en Agosto, 2012. Disponible en www.basf.com/urethanechemicals/elastoskin/index2.html
4. Bayer MaterialScience (2007). BaySystems customized polyurethanes. Leverkusen, Alemania.
5. Cannon Afros Company. Espuma de poliuretano. Consultado en Agosto, 2012. Disponible en www.afros.it/com/videos/videos.php
6. Cannon Afros Company. Tecnología del poliuretano. Consultado en Agosto de 2012. Disponible en www.afros.it/index.php
7. Chemtura Adiprene® Vibrathane® Duracast®. Consultado en Agosto, 2012. Disponible en <http://es.nla.adiprene.com>

8. Chemtura (2005). Adiprene® Duracast™ Easy To Process Two Component Urethane System. Middlebury, CT, Estados Unidos.
9. Díaz, Iván (2006). Implementación de buenas prácticas de manufactura en una planta de fabricación de esponja flexible de poliuretano. USAC. Guatemala.
10. Gaither, Norman, y Grez Frazier (2000). Administración de producción y operaciones. 8ª edición. México: Internacional Thomson Editores.
11. García, Edna (2009). Propuesta de rediseño de la productividad del proceso de Fabricación de suelas de poliuretano. USAC. Guatemala.
12. García, Nora (2006). El uso de teoría de restricciones en un proceso de producción de costura de pantalones. USAC. Guatemala.
13. Goldratt, Eliyahu (2003) El Síndrome del Pajar. Quinta Edición en Español, México: Editorial Castillo.
14. Goldratt, Eliyahu (2003) La meta, México.: Ediciones Granica, S.A.
15. Goldratt, Eliyahu (2003) Necesario más No Suficiente. Primera Edición. México: Editorial Castillo.
16. Goldratt, Eliyahu (2002) No fue la Suerte. Cuarta Edición en Español, México: Editorial Castillo.
17. IMIQ (1979). La industria del Poliuretano. Instituto mexicano de Ingenieros Químicos. México D.F, México.

18. James, Mark. (1993) Physical properties of polymers. Washington, D.C.: American Chemical Society.
19. López, Carlos (2009). Planificación de la ampliación de operaciones en el área de producción de esponja de poliuretano. USAC. Guatemala.
20. Martínez Jesus (2001). Riesgos por exposición a isocianatos. Valencia, España.
21. Munier, Norberto (1973). Planeamiento y control de la producción. Técnicas modernas Editorial Astre.
22. Palacios, Rosa (1984). Montaje de una fábrica para la elaboración de esponja flexible de poliuretano en Guatemala. USAC. Guatemala.
23. Riggs, James(1998). Planificación, análisis y control. Editores Sistemas de producción.
24. Universidad para la Cooperación Internacional. El análisis FODA. Consultado en Noviembre de 2012. Disponible en <http://www.bibliocomunidad.com/web/libros/AnalisisFODA.pdf>
25. Urban, Marek. (1993) Structure-property relations in polymers: spectroscopy and performance. Washington, D.C.: American Chemical Society.
26. Velásquez, Gustavo (2007). Administración de los sistemas de producción. Sexta Edición. México: Noriega Editores.