



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA  
INGENIERÍA DE SISTEMAS – INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES

AUMENTO DE LA PRODUCCIÓN EN UNA EMPRESA LLANTERA MEDIANTE EL USO DE  
LA SIMULACIÓN

TESIS  
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
MAESTRA EN INGENIERÍA

PRESENTA:  
ING. LILITH AILEV MORENO GARZÓN

TUTORA PRINCIPAL:  
DRA. MAYRA ELIZONDO CORTÉS  
FACULTAD DE INGENIERÍA

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX. FEBRERO 2017



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

El uso de imágenes, 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 donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**JURADO ASIGNADO:**

Presidente: Dra. Flores De La Mota Idalia  
Secretario: Dra. Aguilar Juárez Isabel Patricia  
Vocal: Dra. Elizondo Cortés Mayra  
1<sup>er.</sup> Suplente: Dr. García Martínez Mariano Antonio  
2<sup>d o.</sup> Suplente: M.I. Manzanarez Gómez Nayelli

Lugar donde se realizó la tesis:

Universidad Nacional Autónoma de México  
Posgrado de Ingeniería  
Ciudad de México, México

**TUTOR DE TESIS:**

Dra. Elizondo Cortés Mayra

-----  
**FIRMA**

# Agradecimientos

A **DIOS**, por darme la oportunidad de llegar hasta este punto, por darle fortaleza a mi corazón y darme aliento cuando lo necesito.

A **mi madre**, por estar siempre ahí, porque no recuerdo un momento de soledad, porque sin merecerlo DIOS me dio a la mamá más paciente y amorosa, aún a estas alturas siempre consigues ayudarme, gracias por enseñarme a ser una mujer valiente, por ser mi motor y el amor de mi vida.

A **mi padre**, por cuidar siempre mis pasos, por ser mi ejemplo de perseverancia y enseñarme que siempre se puede, porque tú como yo te has esforzado mucho para que yo pueda estar donde estoy, por inculcarme el valor de la familia y tratarme siempre como tu princesa, te amo.

A **mi hermana**, por estar siempre conmigo, por ser mi compañera de vida y apoyarme en todo lo que hago, gracias amiga. Y gracias también por darme a mi primer hija, **Jaqueline**, a esa niña que alegra mis días y que sin saberlo es capaz de motivarme a ser una mejor persona, gracias princesa por dejarme ser tu amatxu y por enseñarme a ser más feliz.

A **Marianita**, gracias por querer seguir mis pasos porque eso me motiva a ser mejor, espero ser un buen ejemplo para ti. Sé que llegarás muy lejos y algún día yo estaré leyendo los agradecimientos de una de tus tesis, te quiero mucho mi niña.

A **Nayelli**, por ser mi guía en todo momento, agradezco a DIOS la maravillosa oportunidad que me dio de conocerte, gracias por ser mi amiga, mi cómplice y un ejemplo a seguir para mí, jamás podré pagarte lo mucho que me has ayudado.

A toda **mi familia**, tíos, primos, abuelitos y sobrinos, por brindarme su apoyo y amor.

A mis amigos de la maestría **Carina** y **Alan**. Gracias Carina por ser el enlace con la empresa para que esto pudiera realizarse, pero sobre todo gracias por tu amistad y por hacerme parte de una buena causa, eres la persona más generosa que conozco, espero seguir contigo haciendo felices a más niños.

A **Mayra**, mi tutora, por creer en mí y tenerme paciencia, por ser mi maestra y guía en este proceso, gracias por el arduo trabajo que hace por sus alumnos.

A **mis sinodales**, por tomarse el tiempo de revisar este trabajo, agradezco sus comentarios y sugerencias.

A la **Universidad**, por ser mi alma máter, estoy completamente orgullosa de ser parte de la UNAM.

A **CONACYT**, por brindarme el apoyo económico y hacer posible la realización de este trabajo.

# Índice general

Índice de Figuras .....	vii
Índice de Tablas .....	viii
Resumen.....	1
Introducción.....	2
<b>I. Planteamiento del problema.....</b>	<b>4</b>
1.1 Descripción de la empresa .....	4
1.1.1 La empresa, sistema objeto de estudio.....	4
1.1.2 Proceso productivo o de transformación .....	6
1.1.3 Clasificación .....	9
1.2 Problemas de la industria llantera y de la empresa.....	13
1.3 Diagnóstico.....	14
1.3.1 Investigación documental .....	14
1.3.2 Diseño y realización del Diagnóstico .....	17
1.3.3 Situación actual, resultados del diagnóstico .....	20
1.3.4 Problema concreto a resolver .....	21
<b>II. Marco de referencia .....</b>	<b>22</b>
2.1 Marco teórico .....	22
2.1.1 Introducción .....	22
2.1.2 Investigación documental .....	22
2.1.3 Justificación del uso de la simulación .....	31
2.2 Modelos y métodos .....	31
2.2.1 Definición de simulación .....	31
2.2.2 Clasificación de la simulación.....	32
2.2.3 Ventajas y desventajas del uso de la simulación.....	33
2.2.4 Metodología de la simulación .....	33
2.2.5 Campos de aplicación .....	37
2.3 Objetivos .....	38
2.4 Metodología propuesta.....	38

<b>III. Desarrollo de la metodología de simulación.....</b>	<b>42</b>
3.1 Determinación del problema a resolver con el modelo de simulación .....	42
3.1.1 Problema de la empresa a resolver.....	42
3.1.2 Objetivo de la simulación .....	43
3.2 Conceptualización del sistema.....	43
3.3 Recolección de información y datos.....	50
3.3.1 Generalidades.....	50
3.3.2 Descripción de los datos .....	51
3.4 Validación del modelo conceptual.....	54
3.5 Desarrollo y verificación del programa de cómputo .....	55
3.5.1 Información para la construcción del modelo programado.....	55
3.5.2 Desarrollo del modelo programado.....	59
3.5.3 Verificación.....	65
3.6 Validación del modelo programado .....	66
3.7 Diseño y tamaño de las diferentes corridas del modelo .....	70
3.8 Resultados de la simulación .....	72
<b>IV. Análisis de resultados y experimentación.....</b>	<b>74</b>
4.1 Análisis de resultados del escenario 1 .....	74
4.2 Detección y tratamiento del cuello de botella.....	76
4.3 Capacidad instalada de la planta .....	78
4.4 Utilización de máquinas o estaciones de trabajo y orden de las actividades .....	80
4.5 Planteamiento de nuevos escenarios.....	82
4.6 Análisis de los nuevos escenarios .....	84
Recomendaciones.....	90
Conclusiones .....	94
Referencias.....	97
Apéndice A .....	100

# Índice de Figuras

Figura 1.1 "Elementos que constituyen un sistema" .....	4
Figura 1.2 "Partes de una llanta" .....	7
Figura 1.3 "Proceso de renovado" .....	8
Figura 1.4 "Porcentaje de personas ocupadas. Comparativo censos económicos 2004, 2009 y 2014" .....	11
Figura 1.5 "Personas ocupadas por estrato" .....	11
Figura 1.6 "Producción bruta total por estratos (porcentajes)" .....	12
Figura 1.7 "Personal ocupado y valor agregado por actividad económica" .....	12
Figura 1.8 "Llantas renovadas al año por Llantera S. A. de C. V." .....	13
Figura 1.9 "Metodología del Diagnóstico aplicado a Llantera S. A. de C. V." .....	19
Figura 2.1 "Clasificación de las técnicas para mejorar la productividad de Prokopenko" .....	22
Figura 2.2 "Clasificación de los modelos de simulación" .....	32
Figura 2.3 "Metodología de la simulación" .....	34
Figura 2.4 "Metodología propuesta" .....	39
Figura 3.1 "Proceso productivo 1" .....	44
Figura 3.2 "Proceso productivo 2" .....	45
Figura 3.3 "Proceso productivo 3" .....	46
Figura 3.4 "Proceso productivo 4" .....	47
Figura 3.5 "Modelo conceptual del proceso de renovación" .....	48
Figura 3.6 "Objetos en librería estándar" .....	60
Figura 3.7 "Entity - Llanta" .....	61
Figura 3.8 "Source - Almacén" .....	61
Figura 3.9 "Server - Actividades" .....	62
Figura 3.10 "Path - Camino" .....	62
Figura 3.11 "Sink – Salidas del proceso" .....	63



Figura 3.12 "Creación de listas" .....	64
Figura 3.13 "Uso de listas" .....	65
Figura 3.14 "Corridas – escenario 1" .....	71
Figura 4.1 "Cuello de botella" .....	77
Figura 4.2 "Problema con operarios, encamisado y vulcanizado" .....	82
Figura A1 "Pasos para la obtención del tamaño de muestra" .....	100

# Índice de Tablas

Tabla 1.1 "Estratificación de empresas" .....	9
Tabla 1.2 "Investigación documental para el desarrollo del diagnóstico" .....	16
Tabla 2.1 "Marco teórico" .....	30
Tabla 3.1 "Recursos disponibles" .....	49
Tabla 3.2 "Recolección de información" .....	51
Tabla 3.3 "Valoración para el cálculo de tamaño de muestra" .....	53
Tabla 3.4 "Estadísticas 2015" .....	54
Tabla 3.5 "Ajuste de distribuciones" .....	56
Tabla 3.6 "Llantas que llegan al mes" .....	57
Tabla 3.7 "Llantas que llegan al día" .....	58
Tabla 3.8 "Llantas que llegan por hora" .....	58
Tabla 3.9 "Cada cuántos minutos llega una llanta" .....	59
Tabla 3.10 "Proporción en horas para la llegada de llantas" .....	59
Tabla 3.11 "Recursos escenario 1" .....	67
Tabla 3.12 "Distribución esperada – producción real" .....	68
Tabla 3.13 "Distribución esperada (producción) y observada (simulación)" .....	68
Tabla 3.14 "Distribución esperada y observada ajustada" .....	69

Tabla 3.15 "Cálculo del estadístico de prueba" .....	70
Tabla 3.16 "Resultados-escenario1" .....	73
Tabla 4.1 "Producción por actividad – escenario 1" .....	74
Tabla 4.2 "Disminución de la producción 1" .....	75
Tabla 4.3 "Disminución de la producción 2" .....	76
Tabla 4.4 "Capacidad instalada" .....	80
Tabla 4.5 "Utilización de las máquinas" .....	81
Tabla 4.6 "Nuevos escenarios" .....	84
Tabla 4.7 "Resultado escenario A" .....	85
Tabla 4.8 "Resultado escenario B" .....	86
Tabla 4.9 "Resultado escenario C" .....	87
Tabla 4.10 "Resultado escenario D" .....	88
Tabla 4.11 "Ahorro horas hombre D" .....	88
Tabla 4.12 "Resultado escenario E" .....	89
Tabla 4.13 "Ahorro horas hombre E" .....	89
Tabla 5.1 "Condiciones política 1 – Escenario C" .....	90
Tabla 5.2 "Condiciones política 2.1 – Escenario D" .....	92
Tabla 5.3 "Condiciones política 2.2 – Escenario E" .....	92
Tabla 5.4 "Condiciones política 3 – Escenario B" .....	93
Tabla A1 "Valores para el cálculo del tamaño de muestra" .....	103

# Resumen

En la presente tesis se propone una manera de administrar los recursos (maquinaria y operarios) de una empresa mexicana dedicada al recubrimiento de llantas, de tal forma que se logre aumentar la producción, al mismo tiempo que se analice el proceso productivo para conocer la capacidad instalada de la planta y ubicar el cuello de botella en la misma. El problema de investigación a resolver en la tesis se obtuvo a partir del diseño y aplicación de un diagnóstico empresarial para la empresa bajo estudio, mediante el uso de la “Metodología de Sistemas Suaves” del Dr. Peter Checkland (1990).

Para dar solución al problema de investigación se hizo uso de la simulación. Dentro de las herramientas de la investigación de operaciones, la simulación ofrece la ventaja de poder experimentar con el modelo en lugar de experimentar con el proceso productivo real de la empresa, permitiendo probar, manejar y evaluar el sistema sin afectar de manera directa la producción de la empresa. Por ello y en colaboración con el personal de la empresa se realizó un modelo de simulación basado en el proceso de recubrimiento o renovado de llantas, tomando en cuenta los tiempos de trabajo para cada una de las 11 actividades dentro del proceso y siguiendo la metodología de simulación de Flores y Elizondo (2006).

La creación de un modelo de simulación basado en el proceso productivo de la empresa, permitió probar el sistema para distintos escenarios, dando como resultado la propuesta de políticas operativas para el uso del personal y la maquinaria, que trajo consigo un aumento en la producción de un 11.15% a un 35.86%. Durante el desarrollo de todo el trabajo, también se pudo conocer la capacidad instalada de la planta, así como identificar el cuello de botella en el proceso y realizar un análisis de cómo hacer frente a esta actividad limitante con ayuda de la “Teoría de las limitaciones” de E. Goldratt (1993).

# Introducción

Llantera S. A. de C. V. es una empresa familiar consolidada desde 1983. Se inició en la fabricación de hule y posteriormente se constituye como una empresa renovadora, dedicada al recubrimiento y venta de llantas. El proceso productivo principal de la empresa es el recubrimiento de llantas, también llamado renovado de llantas, que es el proceso mediante el cual la banda de rodamiento de una llanta se sustituye por otra.

La intervención a la empresa se dio principalmente porque la empresa reportaba diversos problemas, algunos derivados de la situación económica del país y, por otro lado, el personal de la empresa percibía muchos problemas internos derivados de la mala planeación de su proceso productivo. Junto con el personal de la empresa se decidió en primer lugar realizar un diagnóstico como medio para conocer la problemática real de la empresa.

Una vez conocida la problemática de la empresa y estudiado las alternativas para resolver el problema, se planteó como objetivo general para la presente tesis el siguiente:

Analizar el proceso productivo de la empresa Llantera S. A. de C. V. para conocer la capacidad instalada de la planta, identificar el cuello de botella en el proceso y proponer políticas basadas en la experimentación de escenarios; esto mediante el uso de la simulación y con el fin de aumentar la producción de la empresa.

Para poder cumplir con el objetivo, se propuso una metodología basada en la metodología de simulación de Flores y Elizondo (2006).

El desarrollo de esta tesis se llevó a cabo en 4 capítulos, a continuación se detallará lo que se realizó en cada uno de ellos.

En el primer capítulo, se presenta el planteamiento del problema; en primer lugar, se muestra a la empresa bajo estudio, dando una breve descripción de la misma, así como su clasificación e importancia en la economía; en segundo lugar, se incluye el diseño de un diagnóstico empresarial y su aplicación a la empresa, dando como resultado la situación actual de la misma y finalmente estableciendo el problema concreto a resolver en la tesis.

En el segundo capítulo, se detalla el marco de referencia; se realiza una investigación de las alternativas existentes para dar solución al problema de investigación y se sustenta de manera formal el uso de la herramienta elegida para resolver el problema planteado (la simulación); una vez elegida, se abordan los tópicos necesarios para introducir la simulación como herramienta a usar en el desarrollo del trabajo y finalmente, se plantea el objetivo general de la tesis y la metodología propuesta.

En el tercer capítulo, se muestra el desarrollo de la metodología de simulación, detallando cada punto de la misma, desde la determinación del problema a resolver con el modelo de simulación, hasta la presentación de los resultados obtenidos.

En el cuarto capítulo, se lleva a cabo el análisis de resultados y la experimentación; en primer lugar se analizan los resultados obtenidos de la simulación, para conocer la capacidad instalada de la planta, el porcentaje de utilización de las máquinas y ubicar el cuello de botella en el proceso, al mismo tiempo que se hace un análisis de cómo dar tratamiento al mismo; en segundo lugar y con ayuda del análisis anterior, se plantean nuevos escenarios y se realiza su correspondiente análisis.

Derivado del análisis del cuarto capítulo, se establecen como recomendaciones, políticas operativas que ayuden a la administración de los recursos en la empresa (maquinaria y operarios), al mismo tiempo que se logre aumentar la producción con los recursos disponibles.

Finalmente, se presentan las conclusiones de la tesis, demostrando el cumplimiento del objetivo planteado y mostrando las aportaciones más relevantes del trabajo, junto con las limitaciones presentadas y el trabajo futuro sugerido.

# I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En este capítulo se presentará a la empresa objeto de estudio, dando una breve descripción de la misma, así como de su proceso productivo, su clasificación e importancia en la economía. También se incluirá el diagnóstico realizado a la empresa, su situación actual y por último el problema concreto a resolver.

## *1.1. Descripción de la empresa*

Por acuerdo de confidencialidad, a la empresa objeto de estudio del presente trabajo, se le llamará “Llantera S. A. de C. V.”.

Llantera S. A. de C. V. es una empresa familiar, originada en Tula, Hidalgo. Se inició en la fabricación de hule y posteriormente se constituye como una empresa renovadora. Está consolidada desde 1983 como Sociedad Anónima de Capital Variable, como una empresa de producción dedicada al recubrimiento y venta de llantas. Cuenta con una planta de producción ubicada en Ocoyoacac, Edo. de México, así como dos distribuidoras en el área metropolitana y una en Querétaro, Querétaro.

El proceso productivo principal de la empresa es el recubrimiento de llantas, también llamado renovado de llantas, que es el proceso mediante el cual la banda de rodadura de una llanta se sustituye por otra. En el apartado 1.1.2 se hablará más a fondo del proceso productivo o de transformación de la empresa.

### *1.1.1. La empresa, sistema objeto de estudio*

Tomando como base el enfoque de sistemas, puede verse a la empresa como un sistema (de acuerdo a Koontz, 2012), ya que ésta cuenta con elementos que mantienen relaciones entre sí, donde dichas relaciones producen propiedades emergentes, que considerando a las áreas de la empresa por separado, no se presentan.

El enfoque de sistemas permite visualizar a las organizaciones como un todo integral, analizando las relaciones que se desarrollan dentro de ellas. Visualizando a las organizaciones de esta manera, se facilita estudiar a las partes de las mismas, junto con las relaciones que guardan entre sí y con el contexto en que interactúan, para poder adecuar su funcionamiento y así responder con eficacia y eficiencia a las nuevas y consistentes demandas, en este caso, tanto a las del sector llanero, como a la demanda de los clientes.

De manera general, se muestran a continuación los elementos que constituyen un sistema.

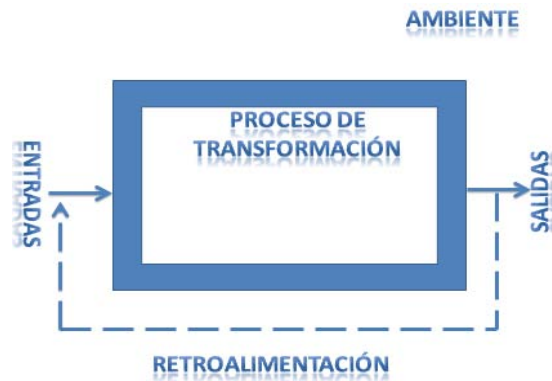


Figura 1.1 "Elementos que constituyen un sistema"

Fuente: elaboración propia con base en Ludwig von Bertalanffy. Teoría General de Sistemas.

Los elementos principales de la empresa vista como un sistema, son los siguientes:

### **Entradas**

Son los elementos necesarios para iniciar la operación del sistema. Tales como: la materia prima (material necesario para llevar a cabo el proceso de transformación), cascos<sup>1</sup>, proveedores (en este caso una empresa que llamaremos "Hules de México", que es la principal y única proveedora de hule para el proceso de renovación de Llantera S. A. de C. V.), la mano de obra (personal requerido, no sólo para llevar a cabo el proceso de transformación, sino también para aquellas funciones administrativas), información necesaria para la administración de la empresa (así como reportes de ventas, demanda, precios de competencia, etc.) y todos aquellos insumos necesarios para llevar a cabo el proceso de transformación de la empresa y hacer que ésta funcione.

### **Proceso de Transformación**

Es el fenómeno que produce cambios, mecanismo de conversión de las entradas en salidas o resultados. El proceso principal se realiza en la planta ubicada en Ocoyoacac, Edo. de México, y es el proceso de producción (recubrimiento de llantas, del cual se hablará en el apartado siguiente 1.1.2). Así como todos aquellos procesos administrativos que dan tratamiento a la información que entra a la empresa (como los procesos de ventas y compras de material).

### **Salidas**

Son los resultados finales de la operación (bienes o servicios) de un sistema. A través de la salida, la empresa exporta el resultado de su operación hacia su medio ambiente. Para Llantera S. A. de C. V. son las llantas renovadas y todos aquellos resultados de la operación (como desechos materiales).

---

<sup>1</sup>Llanta sin banda de rodamiento.

También se considera como salida la información resultado del proceso de transformación y de procesos administrativos internos.

### **Retroalimentación**

Es el proceso de retorno mediante el cual se monitorea y controla el desempeño de la empresa, a través de la ejecución de correcciones para reducir o eliminar desvíos respecto a los parámetros establecidos inicialmente (como el control del proceso de transformación y el control en el cumplimiento de objetivos). Esta parte no está documentada en Llantera S. A. de C. V. y en algunos casos no existe un mecanismo de control para ciertas actividades dentro de la empresa.

### **Ambiente**

Es el medio que envuelve al sistema, la viabilidad o supervivencia de un sistema depende de su capacidad para adaptarse, cambiar y responder a las exigencias y demandas del ambiente externo. Llantera S. A. de C. V. está inmersa en la industria llantera por lo que sus competidores no sólo son otras empresas renovadoras, sino también empresas huleras, similares a “Hules de México”, que tengan algún convenio con otras empresas para proveer de materia prima necesaria para el renovado de sus llantas. Así mismo, su ambiente no sólo es el correspondiente a la República Mexicana, como se verá en el apartado 1.5, la influencia de la importación de llantas chinas a México repercute de manera importante en la supervivencia de la empresa.

### *1.1.2. Proceso productivo o de transformación*

Como se mencionó con anterioridad, el proceso productivo de la empresa es el recubrimiento de llantas, también llamado renovado de llantas, que es el proceso mediante el cual la banda de rodamiento de una llanta se sustituye por otra, sin afectar sus factores de seguridad como:

- soportar la presión de aire;
- soportar la carga;
- soportar torque;
- soportar la flexión.

En el siguiente esquema se muestran las partes de una llanta, ubicando en ella la banda de rodamiento:



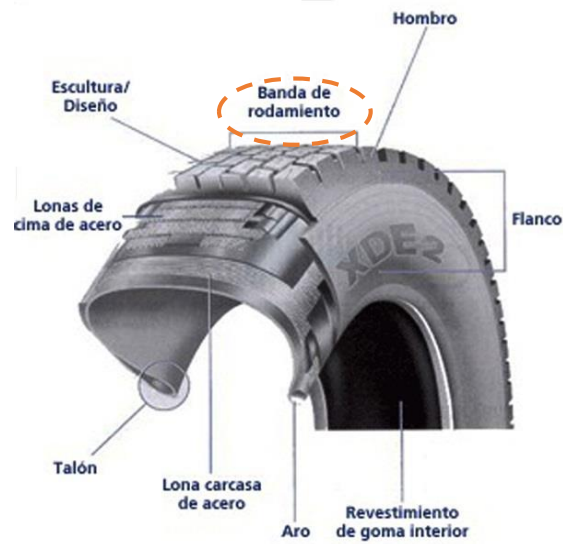


Figura 1.2 "Partes de una llanta"

Recuperado de <http://www.todoautos.com.pe/portal/images/stories/img-mecanica/neumaticos-2.jpg>

A continuación, se muestran las actividades que realiza la empresa para llevar a cabo el proceso de recubrimiento, incluyendo las actividades de recolección y recepción de llantas, junto con las actividades de transformación que conforman el proceso productivo de la empresa:



### Recolección de llantas

Se lleva a cabo la recolección de las llantas por las camionetas de la empresa, así como el llenado de órdenes de trabajo y etiquetado de cada llanta para el control interno y externo de su manejo.

### Recepción de llantas

La recepción de las llantas para iniciar el proceso de recubrimiento se hace en la planta de Ocoyoacac, la mayoría de las llantas pasan primero por alguna distribuidora.

### Inspección inicial

Se revisa cada llanta en sus diferentes partes: banda de rodamiento, hombros, parte interior, etc. para decidir si la llanta es apta para renovarse o tiene defectos mayores que hace que la llanta se rechace y no pueda renovarse.



## Xerografía

Posterior a la revisión visual de cada llanta (Inspección inicial), por medio de una máquina de Xerografía se detectan las fallas que no se pueden observar superficialmente.

## Raspado

Una vez que se decide que la llanta es apta para renovarse, pasa al área de "Raspado" donde se retira la banda de rodamiento gastada.

## Cardeo y reparación

Todas las llantas pasan por el área de Cardeo, donde se retira el óxido y las cuerdas dañadas, después de esto sólo las llantas que necesiten reparaciones extras pasan al área de "Reparación".



## Encojinado

Una vez reparados los posibles daños, se lleva a cabo la colocación de hule cojín para el pegado de la nueva banda de rodamiento.

## Armado de Banda

Colocación de la nueva banda de rodamiento, de acuerdo con el modelo de la llanta.

## Encamisado o ensobretado

Preparación de la llanta para la vulcanización, donde se le coloca un "sobre" hermético que ayuda al proceso de vulcanizado.



### Vulcanizado

Se lleva a cabo el proceso de vulcanizado en máquinas llamadas "Autoclave".

### Pintura

Después de que la banda de rodamiento es completamente adherida a la llanta mediante el vulcanizado, para terminar el proceso se pintan las llantas.

### Inspección final

Finalmente, cada llanta pasa por un "Control de calidad", donde se evalúa si la llanta presenta algún defecto o requiere algún tipo de re trabajo o re proceso.

Figura 1.3 "Proceso de renovado"  
Fuente: elaboración propia

El proceso empieza cuando existe un pedido, es decir un cliente (ya sea persona física o moral) solicita el recubrimiento de sus llantas y comienza el proceso con la recolección de las mismas.

El otro proceso llevado a cabo por la empresa, es la venta de llantas renovadas; éste consiste en comprar cascos (llantas sin banda de rodamiento) en el extranjero y renovarlos para posteriormente poner a la venta llantas ya renovadas, la renovación de estos cascos, se lleva a cabo por el mismo proceso descrito en la Figura 1.3.

### 1.1.3. Clasificación

Llantera S. A. de C. V. se encuentra dentro del sector industrial o de empresas manufactureras de acuerdo con el Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte, México 2013 (SCIAN), que establece que las Industrias manufactureras están conformadas por unidades económicas dedicadas principalmente a la transformación mecánica, física o química de materiales o sustancias, con el fin de obtener productos nuevos. También se consideran como parte de las manufactureras las actividades de maquila, el ensamble de partes y componentes o productos fabricados, entre otras.

Por otro lado, Llantera S. A. de C. V. cuenta con una plantilla de 140 empleados, debido a esto y al sector al que pertenece, está clasificada como una empresa mediana, de acuerdo con la estratificación del Diario Oficial de Federación, mostrada en la Tabla 1.1.

**ESTRATIFICACION:**

<b>Tamaño</b>	<b>Sector</b>	<b>Rango de número de trabajadores</b>	<b>Rango de monto de ventas anuales (mdp)</b>	<b>Tope máximo combinado*</b>
Micro	Todas	Hasta 10	Hasta \$4	4.6
Pequeña	Comercio	Desde 11 hasta 30	Desde \$4.01 hasta \$100	93
	Industria y Servicios	Desde 11 hasta 50	Desde \$4.01 hasta \$100	95
Mediana	Comercio	Desde 31 hasta 100	Desde \$100.01 hasta \$250	235
	Servicios	Desde 51 hasta 100		
	Industria	Desde 51 hasta 250	Desde \$100.01 hasta \$250	250

\*Tope Máximo Combinado = (Trabajadores) X 10% + (Ventas Anuales) X 90%.

Tabla 2.1 "Estratificación de empresas"

Fuente: Diario Oficial de la Federación, publicado el 30 de junio de 2009.

Según el Censo económico 2014 del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), las micro, pequeñas y medianas empresas, tienen una gran importancia en la economía, en el empleo a nivel nacional y regional, tanto en los países industrializados como en los de menor grado de desarrollo.

Las empresas micro, pequeñas y medianas, representan a nivel mundial, el segmento de la economía que aporta el mayor número de unidades económicas y personal ocupado; de ahí la relevancia que reviste este tipo de empresas y la necesidad de fortalecer su desempeño, al incidir éstas de manera fundamental en el comportamiento global de las economías nacionales.

Con respecto al total de personas ocupadas en el país, la industria manufacturera está dentro de los tres primeros lugares en aportar el mayor número de dicho personal ocupado, de acuerdo a los resultados del censo económico 2014, el 18.1% se encuentra dentro de los establecimientos manufactureros, la evolución del personal ocupado en los censos del 2004, 2009 y 2014 es el siguiente.

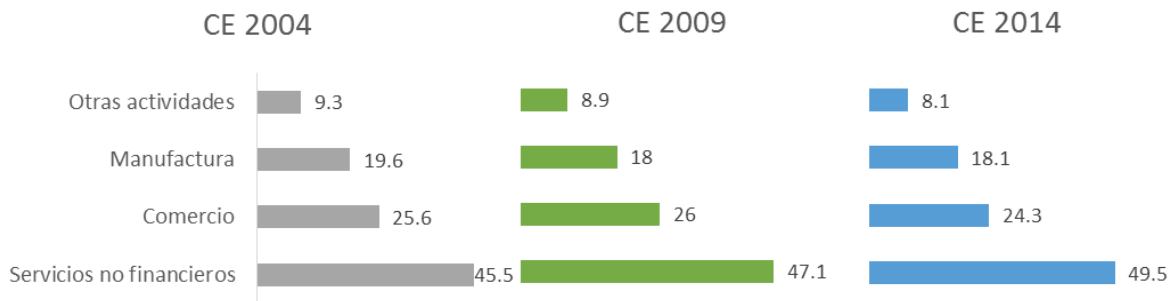


Figura 1.4 "Porcentaje de personas ocupadas. Comparativo censos económicos 2004, 2009 y 2014"  
Fuente: Censo Económico 2014. Instituto Nacional de Estadística y Geografía

Mientras que el personal ocupado por estrato, reporta los siguientes resultados.

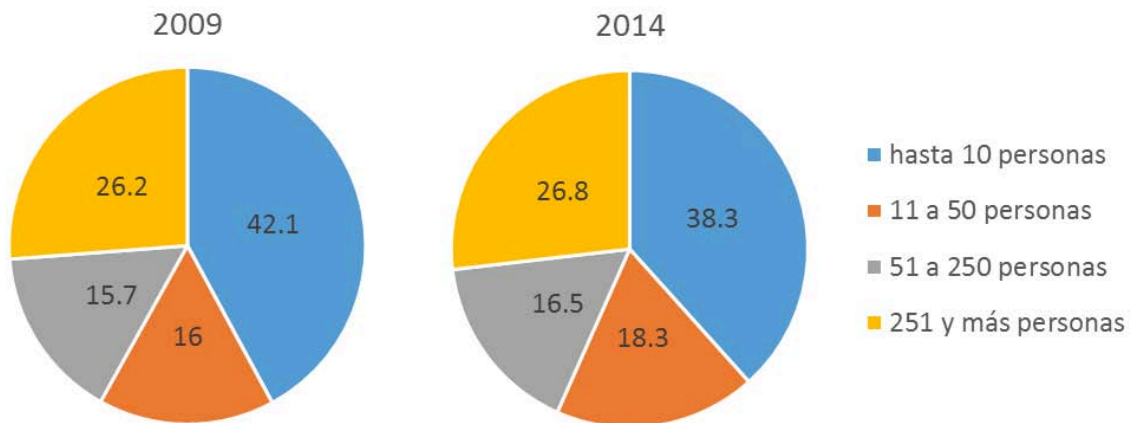


Figura1.5 "Personas ocupadas por estrato"  
Fuente: Censo Económico 2014. Instituto Nacional de Estadística y Geografía

Por otro lado, cabe destacar que las empresas micro, pequeñas y medianas aún se encuentran muy por debajo en el porcentaje de la producción bruta total con respecto a las grandes empresas.

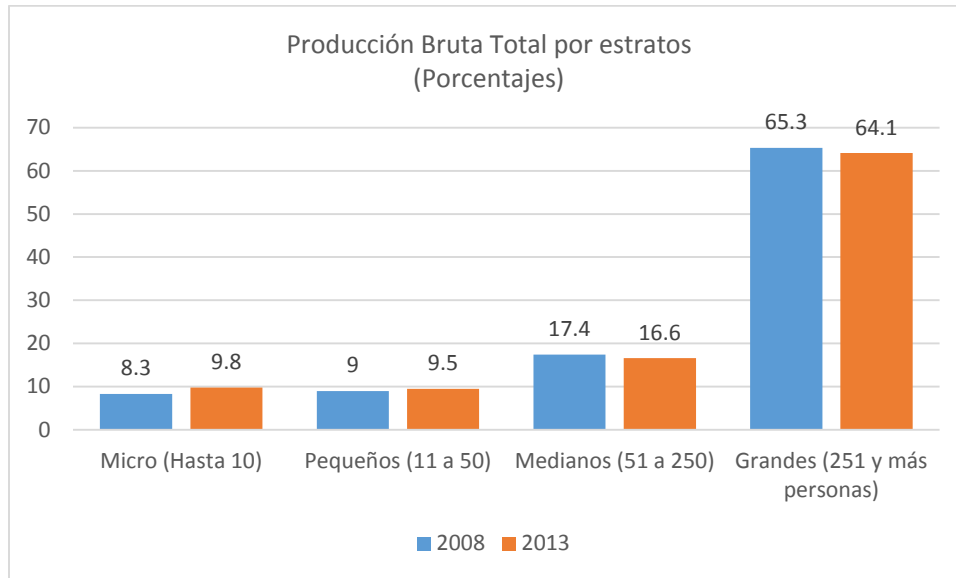


Figura 1.6 "Producción bruta total por estratos (porcentajes)"  
Fuente: Censo Económico 2014. Instituto Nacional de Estadística y Geografía

Otro dato importante obtenido de la misma fuente, es que las empresas manufactureras han mantenido su posición como el principal generador de valor agregado, así mismo los servicios no financieros y comercio mantienen su posición como principales generadores de empleo.

Actividad económica	Estructura porcentual			
	Personal ocupado		Valor agregado	
	2008	2013	2008	2013
Manufacturas	23.2	23.5	29.3	29.1
Servicios privados no financieros	34.1	35.8	17.4	19.6
Minería	0.7	0.8	20.9	16.8
Comercio	30.5	29.6	12.4	15.6
Servicios financieros y de seguros	2.4	2.2	8.3	9.5
Electricidad y suministro de agua y de gas	1.2	1.0	5.2	4.2
Transportes, correos y almacenamiento	3.6	3.6	3.7	3.2
Construcción	3.5	2.6	2.4	1.8
Pesca y acuicultura	0.9	0.9	0.2	0.2

Figura 1.7 "Personal ocupado y valor agregado por actividad económica"  
Fuente: Censo Económico 2014. Instituto Nacional de Estadística y Geografía

## *1.2. Problemas de la industria llantera y de la empresa*

Tomando en cuenta el sector al que pertenece la empresa, es importante mencionar los problemas que afectan a la industria llantera. A continuación, se describe una parte de la situación:

De manera macroeconómica la problemática de la industria llantera se debe a la entrada de llantas chinas en México<sup>2</sup>, el factor principal por el que se genera esta entrada es:

- El gobierno de Estados Unidos impuso un arancel del 35% para las llantas importadas de China, por ello encontraron en México un excelente mercado

Joaquín Suárez, presidente de la Asociación Nacional de Distribuidores de Llantas y Plantas Renovadoras (Andellac) afirma que la importación de llantas asiáticas en México ha crecido un 105% y la importación de estas llantas ya supera en volumen a las que se producen en el país.

En la misma fuente, se externó la necesidad de hacer frente a estos problemas, proponiendo:

- Determinar cuotas para la entrada de llantas usadas (pero no es viable por la corrupción que hay en las aduanas);
- Controlar los costos de las llantas de mejor calidad (otras marcas);
- Coordinarse con la Cámara Nacional de la Industria Hulera (CNIH) y;
- Atacar los problemas internos para estar preparado a los externos.

La última propuesta hecha por los expertos en el tema, dio entrada al presente trabajo al mostrar un sustento de enfocar esfuerzos en resolver los problemas internos que aquejan las empresas, como medio para poder estar preparados a los problemas externos, de esta forma resulta muy importante en primera instancia conocer los principales problemas de la empresa, para poder resolverlos de la mejor manera posible.

Los dueños de la empresa perciben como principales problemas los siguientes:

- En los últimos años se han experimentado reducciones sustanciales en las ventas (como se muestra en la Figura 1.8) ;
- Y un mayor índice de reclamaciones en el servicio de entrega de llantas (es decir, llantas que fueron renovadas y entregadas al cliente, pero que el cliente detectó una falla en ellas y las devolvió).

---

<sup>2</sup>Revista Alto nivel. *No todo camina sobre ruedas*, página web: <http://www.altonivel.com.mx/5991-no-todo-camina-sobre-ruedas.html>

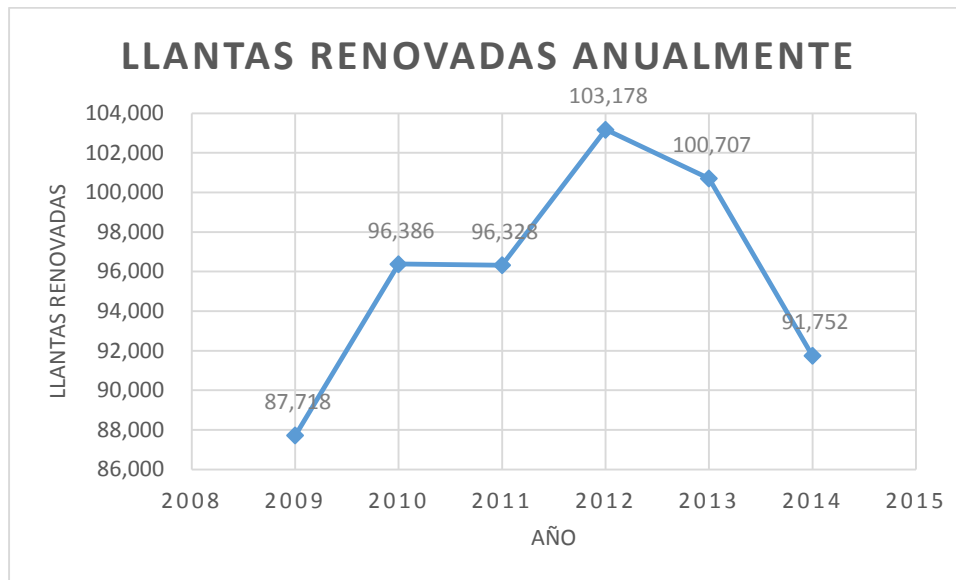


Figura 1.8 "Llantas renovadas al año por Llantera S. A. de C. V."  
Fuente: elaboración propia con información proporcionada por la empresa

Internamente, el personal de la empresa también detecta algunos problemas relacionados con:

- la planeación de la producción;
- la planeación en compra de cascos y la gestión de la rentabilidad por proveedores;
- la gestión de sus bases de datos y los reportes que se generan;
- en sus métricas e indicadores, considerando objetivos organizacionales y;
- en la evaluación del nivel de servicio.

Así como estos problemas son percibidos por el personal de la empresa, existen otros problemas que no son percibidos y que pueden estar afectando el desempeño de la misma, por ello se plantea la elaboración de un diagnóstico empresarial, como medio para conocer la problemática de la empresa.

### *1.3 Diagnóstico*

A continuación se muestra el diseño y desarrollo del diagnóstico propuesto, así como los resultados obtenidos de su aplicación en Llantera S. A. de C. V.

#### *1.3.1 Investigación documental*

Para realizar el diagnóstico a la empresa, se efectuó una breve investigación de las metodologías usadas (en los últimos 5 años) para la intervención a las empresas por medio de un diagnóstico.



Para comenzar, la palabra diagnóstico proviene del griego *diagnosis* que significa conocimiento; un diagnóstico empresarial se entiende como el conocimiento de la empresa, dicho diagnóstico ayuda a conocer la situación actual de una empresa y detectar las áreas de oportunidad de la misma.

“El diagnóstico empresarial tiene el objetivo general de lograr un conocimiento de la situación integral y de las partes de la empresa en un momento dado. Visualiza los síntomas de la empresa; sus problemas con causas, consecuencias y efectos; define fortalezas y debilidades en las distintas áreas y con base en sus resultados plantea conclusiones y recomendaciones para proyectar la empresa a un estado ideal” (Moyasevich, 2007).

Dentro de los resultados de la investigación realizada, algunos trabajos muestran que la empresa debe verse como un sistema, es decir como un conjunto de elementos que mantienen relaciones estrechas entre sí, y que dichas relaciones afectan a todo el conjunto, proporcionando propiedades diferentes.

A manera de resumen, se muestra una tabla comparativa con los trabajos investigados.

Año	Título	Autor	Metodología del diagnóstico	Tipo de empresa	Resultados relevantes de la investigación
2010	Diseño de una metodología de diagnóstico para empresas productoras de flores tropicales y follajes en el eje Cafetero	Nina Elvira Rocha Nieto	Metodología de diagnóstico empresarial	Empresas productoras de flores tropicales y follajes en el sector cafetalero (alrededor de 20 empresas en Colombia)	El procedimiento de aplicación de la metodología de diagnóstico resultó fácilmente entendible por los productores o administradores. Las dificultades presentadas fueron por falta de registros e información en la empresa
2011	Una estrategia de intervención para empresas proveedoras de servicio de consultoría en sistemas computacionales	Salma Lucero Sánchez Ocampo	Metodología de Sistemas Suaves	Empresas proveedoras de servicio de consultoría	Se diseñó un sistema de indicadores para cada uno de los procesos propuestos en la intervención

2011	Diseño de un modelo de diagnóstico para micro y pequeñas empresas dedicadas a la prestación de servicios de salud de la ciudad de Cali	Ana María Sierra, Lina María Salazar	Metodología en tres etapas: 1. desarrollo del conocimiento; 2. Análisis de la información para el diseño del modelo; 3. Realización del modelo como herramienta de diagnóstico.	Prestación de servicios de salud (41 empresas)	El diagnóstico trajo como aportación para este tipo de empresas, la generación de información oportuna de la situación actual, indicándoles las situaciones problema que podrían enfrentar en caso de no tomar medidas preventivas en las falencias detectadas
2013	Un enfoque sistémico para la administración de proyectos de construcción: El caso de una empresa inmobiliaria	César Antonio Aparicio Vásquez	Enfoque de sistemas	Empresa inmobiliaria	Se estableció un proceso estructurado para la realización de sus actividades y se diseñó una estructura organizacional acorde al tamaño y a las necesidades de la empresa
2013	Estrategia para mejorar la competitividad de una pequeña empresa: un caso de aplicación	Liliana Alejandra Callejas Ávila	Metodología de Sistemas Suaves	Empresa dedicada a la creación de piezas refractarias para la industria del acero	Diseño de una estrategia competitiva que logre un mejor posicionamiento de la empresa
2014	Aplicación del enfoque de sistemas y de la metodología de sistemas suaves en la identificación de problemas en la academia de economía política de la facultad de economía (UNAM)	Elena Sandra Martínez Aguilar	Metodología de Sistemas Suaves	Academia de economía política de la Facultad de Economía UNAM	Formulación del problema, definición del sistema y las interrelaciones con los subsistemas que lo integran

**Tabla 1.2 "Investigación documental para el desarrollo del diagnóstico"**  
Fuente: elaboración propia, a partir de los trabajos investigados.

De acuerdo con la investigación realizada, los trabajos estudiados en cuanto al tema del diagnóstico empresarial y la metodología utilizada para ello, muestran que una metodología que ha tenido aceptación y de la cual se han obtenido buenos resultados, es la Metodología de Sistemas Suaves propuesta por el Dr. Peter Checkland<sup>3</sup>, dicha metodología fue tomada como base para la realización del diseño del diagnóstico aplicado a la empresa.

<sup>3</sup> Checkland, P., Scholes, J. (1990), *Soft Systems Methodology in Action*, Chichester, UK: Wiley.

### *1.3.2 Diseño y realización del Diagnóstico*

Derivado de lo anterior se planteó lo siguiente:

Diseñar y aplicar un diagnóstico empresarial a la organización bajo estudio, mediante la aplicación de la Metodología de Sistemas Suaves, para detectar la problemática de la empresa y realizar propuestas de mejora por área.

La Metodología de Sistemas Suaves planteada por el Dr. Peter Checkland, está constituida por siete etapas:

- 1) Identificar la problemática (¿Quiénes son los actores? ¿cómo trabaja el proceso?);
- 2) Situación problema expresada;
- 3) Nombramiento de los sistemas relevantes. Selección de una visión de la situación y producción de una definición raíz<sup>4</sup>;
- 4) Construcción de modelos conceptuales, contruidos de lo que hace el sistema, teniendo como guía una de las definiciones raíz;
- 5) Comparación de los modelos conceptuales con el mundo real;
- 6) Definición de cambios factibles y deseados;
- 7) Recomendaciones para tomar la acción que mejore la situación.

Para cada etapa, se describe a continuación la aplicación del diagnóstico a la empresa:

- 1) Identificar la problemática o situación no estructurada: esta etapa se da cuando el personal de la organización acepta que puede haber un problema o ven la posibilidad de mejorar, esto se da en el momento en que la empresa acepta no sólo la necesidad de realizar el diagnóstico, sino que además cree que se pueden obtener mejoras y se acepta también mantener un ambiente participativo. Esta etapa se consideró desde la primera reunión con los dueños-directores, ya que se explicaron las razones de por qué se debía realizar la intervención, esto se reafirmó en una junta con todas las gerencias, con el fin de dar conocimiento de la intervención que se realizaría y que se dieran los permisos necesarios para platicar con personas involucradas de cada área y facilitar cierta información de ser necesario.
- 2) Situación problema expresada: en esta etapa se recolectó y clasificó la información, y se suministró una descripción de la situación del problema, para esto se hicieron entrevistas basadas en cuestionarios que ayudaron a esclarecer el problema y dar una visión detallada de la situación actual.

---

<sup>4</sup> La definición raíz es una descripción breve y precisa de lo que se considera que debe ser el sistema y que, de acuerdo con la problemática estudiada, se considera relevante. Busca respuesta a preguntas como: ¿Qué hace el sistema? ¿quiénes ejecutan las actividades? ¿quién decide? ¿a quién beneficia o perjudica? ¿qué restricciones existen?

Dichos cuestionarios, se basaron y adaptaron del cuestionario de un Diagnóstico Sistémico<sup>5</sup>.

- 3) Nombramiento de los sistemas relevantes: en esta etapa cada sistema relevante corresponde a cada área de la empresa, este nombramiento como dice la teoría, se conoce como definición raíz y expresa el propósito central de cada área de la empresa.
- 4) Modelo Conceptual: se realizó un modelo conceptual de cada área de la empresa con el fin de representar las actividades conectadas de la misma. Checkland recomienda no demorarse mucho en esta etapa (ya que sólo es comparativa para obtener las mejoras en el modelo) y no tratar de ver nuevas problemáticas.
- 5) Comparación de Modelos Conceptuales: para comparar los modelos conceptuales se realizó una junta con el personal de cada área, con el fin de tener una retroalimentación y usar este modelo conceptual como base para realizar cuestionamientos ordenados o incluir aspectos que no se habían considerado.
- 6) y 7) Identificación de cambios y recomendaciones para tomar acciones: estas etapas van enfocadas a la toma de decisiones para la solución de los problemas encontrados y su puesta en acción. Dichas etapas se abordarán en el siguiente apartado, mostrando los resultados del diagnóstico y las propuestas de mejora.

Todo el proceso del diagnóstico, desde que se realizó la investigación documental, el diseño y desarrollo del diagnóstico, así como la aplicación del mismo y la obtención de resultados duró aproximadamente 4 meses.

El siguiente diagrama de flujo identificará cada paso de la metodología usada.

---

<sup>5</sup>Diagnóstico Sistémico en 10 pasos, página web:  
[http://infopymes.senati.edu.pe/DiagnosticoSistemico\\_archivos/frame.htm](http://infopymes.senati.edu.pe/DiagnosticoSistemico_archivos/frame.htm)

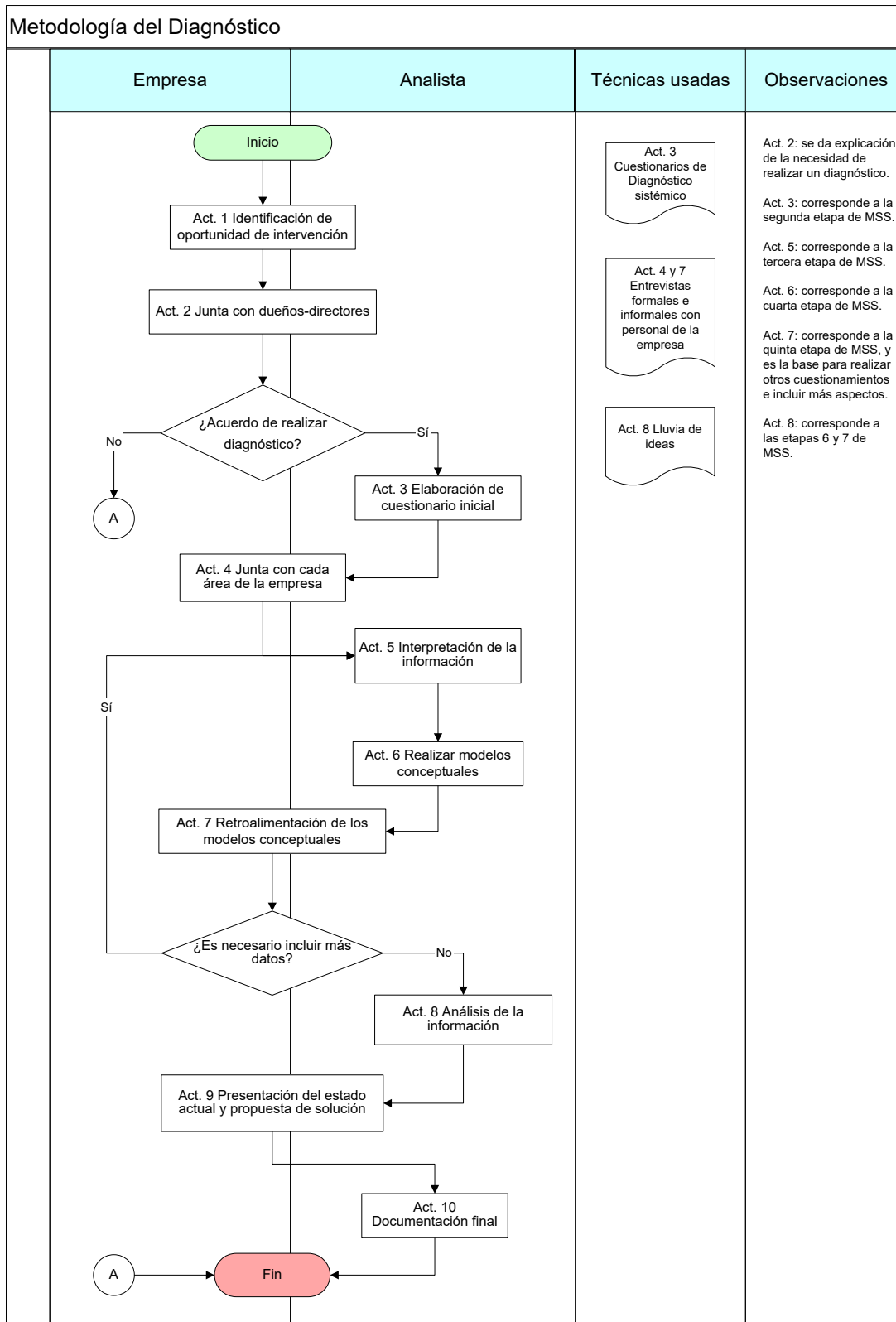


Figura 1.9 "Metodología del Diagnóstico aplicado a Llantera S. A. de C. V."

Fuente: elaboración propia

### *1.3.3 Situación actual, resultados del diagnóstico*

Siguiendo la metodología propuesta en el apartado anterior, se realizó el diagnóstico a la empresa para obtener la situación actual, así como las áreas de oportunidad detectadas de la misma. Los resultados obtenidos fueron entregados a los dueños directores.

Se realizó la entrega no sólo de la situación actual y las áreas de oportunidad, sino también una lista de propuestas de mejora para cada área de la empresa.

Derivado de los resultados obtenidos, se expresó la problemática de la empresa, como sigue:

Llantera S. A. de C. V., dedicada a la renovación y venta de llantas, consolidada desde hace más de 30 años, a pesar de ser una empresa mediana; por su tamaño (empleados), infraestructura e ingresos, tiene como parte de su problemática, como la mayoría de las empresas, la falta de comunicación y coordinación entre las áreas, así como la falta de formalidad en la realización de sus procesos.

Entendiendo como falta de formalidad en la realización de sus procesos, el no llevar a cabo el trabajo bajo procedimientos establecidos, no tener bien definidas las áreas de trabajo, funciones, ni contar con un organigrama bien estructurado y actualizado. A partir de esto, surgen muchos problemas en todas las áreas de la empresa, ya que no se tienen delimitadas las responsabilidades para cada área y no se sabe hasta dónde tiene injerencia un área en otra, logrando con esto que tareas muy importantes no las realice ningún área y que una misma actividad la realicen varias áreas, incurriendo con esto en costos, tiempo y trabajo innecesarios.

Originado de la mala comunicación, el principal problema es la disminución de la producción y en algunas ocasiones la pérdida de ventas, la comunicación entre el área de ventas y producción, así como la mala administración del proceso productivo ha ocasionado que aumente el número tanto de rechazos como de reclamaciones por parte del cliente, ya que no se utilizan los recursos de manera adecuada, logrando con esto, que el tiempo de entrega de las llantas renovadas sea mayor a lo estipulado, al mismo tiempo que en un intento de hacer frente a la demanda de los clientes (misma que no es comunicada eficazmente al área de producción), se utilicen los recursos de la empresa (maquinaria y operarios) de manera no informada, lo que logra que además de no cumplir con las exigencias del cliente, se incurra en un mayor costo a la empresa, al ocupar más recursos de los que se necesita en algunas situaciones, o utilizar todos los recursos pero sin conseguir que la producción aumente.

Otro punto importante dentro del problema detectado, es que no se actúa de manera informada, porque no se tiene total conocimiento del proceso productivo, si bien es cierto que se cuenta con personal capacitado en la operación del proceso y se conocen muy bien las actividades del mismo, no se tiene conocimiento de otros aspectos muy importantes dentro del proceso, como la capacidad instalada de la planta, la ubicación y el tratamiento del cuello de botella y como ya se mencionó, la administración de los recursos (maquinaria y equipo).

El trabajo se va realizando con los recursos disponibles (maquinaria y operarios) que se tenga en el momento, sin tomar en cuenta aquellas actividades del proceso que requieren más atención.

### *1.3.4 Problema concreto a resolver*

De la problemática detectada en la empresa, la inclinación de los dueños-directores fue hacia el área operativa, ya que se consideró que la empresa contaba con la infraestructura y capacidad necesaria para poder mejorar su rendimiento en esta área y poder tener un mejor control sobre su proceso productivo, de esta forma el presente trabajo está enfocado en resolver el problema con la producción de llantas renovadas.

Por otro lado, para hacer frente a los problemas entre el área de ventas y producción, se implementaron algunas propuestas hechas para el área de ventas; entre otras cosas, la programación de juntas mensuales entre los jefes de ventas de cada sucursal y el área de operaciones, esto con el fin de mantener una comunicación constante, identificar las mejores prácticas entre las distribuidoras, aprovecharlas y a su vez llegar a establecer acuerdos entre las áreas mencionadas.

De lo mencionado anteriormente el problema concreto a resolver en el presente trabajo es:

Proponer una manera de administrar los recursos en la empresa (maquinaria y operarios) para apoyar la toma de decisiones, de tal forma que se logró aumentar la producción, al mismo tiempo que se analice el proceso productivo para conocer la capacidad instalada de la planta y ubicar el cuello de botella en la misma.

# II. Marco de referencia

El marco de referencia es el fundamento teórico que soporta el estudio a realizar; esto por medio del marco teórico, el estudio de modelos y métodos y la estrategia de investigación o metodología propuesta.

## *2.1 Marco teórico*

### *2.1.1 Introducción*

El objetivo de esta sección, es mostrar las alternativas que existen para dar solución al problema de investigación mostrado en el punto 1.3.4. Se analizan los trabajos que se han realizado en cuanto al tema de la investigación y se sustenta de manera formal, el uso de la herramienta elegida para resolver el problema planteado.

### *2.1.2 Investigación documental*

El problema que ocupa la presente tesis es el de analizar el proceso de renovado de la empresa y lograr aumentar la producción, así como obtener información del proceso, como lo es conocer la capacidad instalada de la planta, ubicar el cuello de botella y dar una guía para la administración de recursos (maquinaria y operarios).

Acercas del tema, son muchas las opciones en la literatura que hablan sobre cómo mejorar la productividad en una empresa, la utilización de estas técnicas depende en gran medida del giro de la empresa y de los recursos con los que cada una cuenta.

A continuación, se abordará la investigación por 3 vías: primer acercamiento de la clasificación de las técnicas para el mejoramiento de la productividad, técnicas actuales e investigación de las técnicas usadas en los últimos 5 años.

#### **I. Clasificación de las técnicas para mejorar la productividad**

Una de las primeras clasificaciones de las técnicas para mejorar la productividad fue propuesta por Joseph Prokopenko (1987) en su publicación *Productivity management* en Ginebra Suiza, quien clasificó las técnicas o métodos para el mejoramiento de la productividad en dos grupos:

1. Las técnicas de ingeniería y el análisis económico y;
2. Las técnicas o métodos relacionados con el comportamiento y el factor humano.



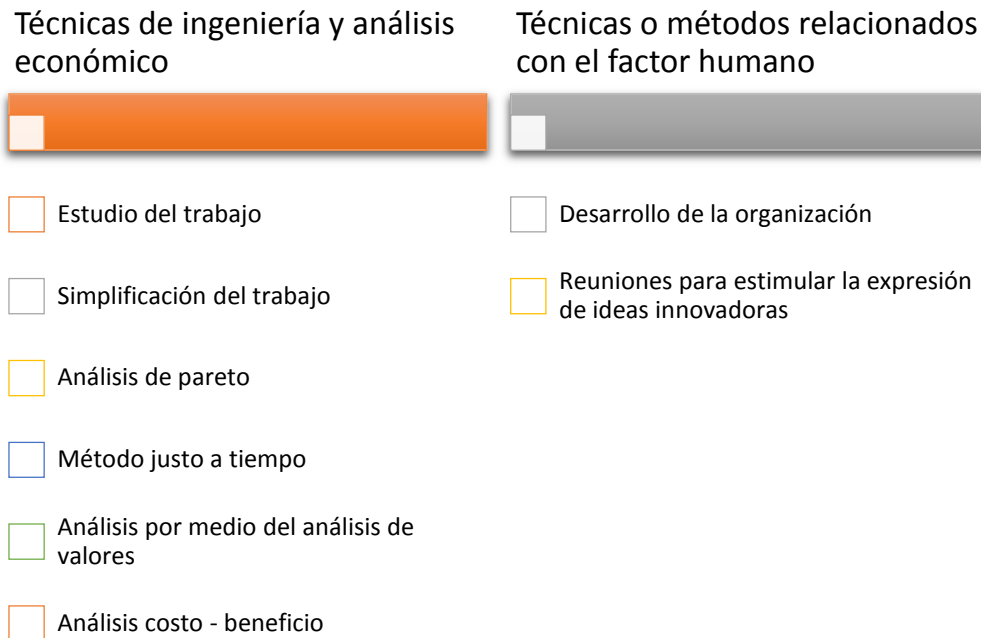


Figura 2.1 "Clasificación de las técnicas para mejorar la productividad de Prokopenko"  
Fuente: elaboración propia con base en Prokopenko (1987)

Dentro del primer grupo, las técnicas de ingeniería y el análisis económico que el autor plantea son las siguientes:

- **Estudio del trabajo**  
Que es una combinación del estudio de los métodos de trabajo y la medición del mismo, se utiliza para examinar el trabajo humano e identificar los factores que influyen en la eficiencia del mismo, se emplea para aumentar la producción de una cantidad dada de recursos, mediante un análisis sistemático de las operaciones, los procesos y los métodos de trabajo. Dentro del estudio de los métodos se encuentran el análisis de videos, análisis de micro movimientos y técnicas de interrogación. Dentro de la medición del trabajo se encuentra el muestreo del trabajo, el estudio de tiempos, normas de tiempo predeterminadas, etc.
- **Simplificación del trabajo**  
Se basa en el supuesto de que quienes ejecutan el trabajo son con frecuencia los que están en mejor situación de mejorarla. Es preferible capacitar a los trabajadores para que piensen acerca de sus actividades y se les dé incentivos para que puedan mejorar.
- **Análisis de Pareto**  
Llamado la regla del 80/20, que dice que el 80% de los resultados procede del 20% del esfuerzo, es un instrumento útil para el análisis de la productividad, ya que concentra la atención en los pocos problemas más importantes y contribuye a establecer prioridades.

- **Método justo a tiempo**  
Es la producción de los elementos necesarios en la cantidad necesaria y el momento necesario. El objetivo del método es reducir los costos en el proceso de producción, mejorando de ese modo la productividad total de la organización.
  
- **Análisis por medio del análisis de valores**  
Una técnica para mejorar la productividad mediante la reducción de desechos es la administración por medio del análisis de valores. Se analiza cada componente en función de su valor para la totalidad, este análisis de valor tiende a lograr muchos ahorros o mejoras pequeñas en la eficiencia, logrando con esto mejoras sustanciales en la totalidad. Es un enfoque organizado y creativo para eliminar los costos innecesarios en un producto o servicio.
  
- **Análisis costos – beneficios**  
Es una técnica eficaz de mejoramiento de la productividad para determinar la proporción de los beneficios de un proyecto determinado en relación con sus costos, teniendo en cuenta los beneficios y los costos que no pueden medirse directamente en unidades monetarias.

En el segundo grupo el autor plantea las siguientes técnicas relacionadas con el comportamiento:

- **Desarrollo de la organización**  
Es un proceso planificado, dirigido y sistemático. Su objeto es modificar los sistemas, la cultura y el comportamiento de una organización para mejorar su eficacia. Se ocupa de los aspectos organizativos de las ciencias del comportamiento y está vinculado con el perfeccionamiento de los recursos humanos y la renovación organizativa.
  
- **Reuniones para estimular la expresión de ideas innovadoras**  
Se trata de un proceso organizado de generación de ideas que evita cualquier evaluación prematura, dado que ésta, frecuentemente obstaculiza la producción de buenas ideas. Se trata de un debate sin inhibiciones en una atmósfera abierta, en el que se fomentan nuevas ideas (soluciones del problema) y se promueve la intuición y el discernimiento.

## **II. Técnicas actuales**

Es importante mencionar que la clasificación anterior es sólo una de muchas, existen en la actualidad muchas otras técnicas, ya sea derivadas de las anteriores o nuevas, que se centran en el mejoramiento de la productividad. Al respecto, dentro de la guía industrial publicada en la página

de Facultad de Ingeniería de la UNAM<sup>6</sup>, se encuentra la siguiente clasificación, que complementa a la anterior.

Técnicas de mejoramiento de la productividad basadas en la tecnología

- Diseño asistido por computadora (CAD);
- Manufactura asistida por computadora;
- Robótica;
- Tecnología láser;
- Tecnología de energía;
- Tecnología de grupos;
- Gráficas por computadora;
- Administración del mantenimiento;
- Reconstrucción de maquinaria;
- Tecnología para la conservación de la energía.

Técnicas de mejoramiento de la productividad basadas en los materiales

- Control de inventarios;
- Planeación de requerimiento de materiales (MRP);
- Administración de materiales;
- Control de calidad;
- Materiales reusables y reciclables.

Técnicas de mejoramiento de la productividad basadas en la mano de obra

- Incentivos financieros;
- Prestaciones;
- Promoción de empleados;
- Rotación del trabajo;
- Participación del trabajador;
- Administración por objetivos;
- Curvas de aprendizaje;
- Comunicación;
- Mejoramiento de las condiciones de trabajo;
- Capacitación;
- Semana de trabajo comprimida;
- Educación;
- Percepción de funciones;
- Calidad de supervisión
- Reconocimiento;
- Penalización;
- Círculos de calidad;

---

<sup>6</sup> Técnicas de mejoramiento de la productividad, página web:  
<http://www.ingenieria.unam.mx/~guiaindustrial/productividad/info/4/6.htm>

- Equipos de productividad y calidad;
- Cero defectuosos;
- Administración del tiempo;
- Tiempo flexible;
- Armonización.

Técnicas de mejoramiento de la productividad basadas en el producto

- Análisis del valor /ingeniería del valor;
- Diversificación del producto;
- Simplificación del producto;
- Estandarización del producto;
- Investigación y desarrollo;
- Mejoramiento de la confiabilidad;
- Emulación (imitación);
- Publicidad y promoción.

Técnicas de mejoramiento de la productividad basadas las tareas

- Ingeniería de métodos /simplificación del trabajo;
- Medición del trabajo;
- Diseño del trabajo;
- Evaluación del trabajo;
- Diseño de seguridad en el trabajo;
- Ingeniería de factores humanos (ergonomía);
- Programación de la producción.

### **III. Investigación de las técnicas usadas en los últimos 5 años**

Algunos trabajos realizados en los últimos años que muestran resultados relevantes y conclusiones en técnicas utilizadas para mejorar la productividad, se citan a continuación.

Chun, Kim y Lee (2014) realizaron un análisis de algunas industrias en E.U.A. durante 5 años, para observar y analizar el impacto en el crecimiento de la productividad que es impulsado por la asignación de recursos en las empresas en tecnologías de la información, obteniendo que más del 30% de los incrementos de la productividad se deben a esta reasignación de recursos, pero que también tiene incidencia en este resultado el mecanismo subyacente de las estrategias de mercado de la empresa.

Por otro lado, como es sabido los países orientales introdujeron gran parte de lo que se conoce y valora del aporte de la adopción de la calidad en las industrias, desde enfoques de producción hasta técnicas específicas de trabajo en los procesos productivos, por esta vía al buscar e indagar en las técnicas utilizadas para lograr mejorar o aumentar la productividad sale a la luz el tema de la calidad, como se menciona en *Improvement in quality and productivity of an assembled product: A riskless*

*approach* donde los autores muestran que la mejora en la calidad del producto puede conducir a un mejor nivel de productividad.

Así mismo, como se mencionó en la clasificación de Joseph Prokopenko, existen técnicas o métodos relacionados con el comportamiento y el factor humano, respecto al mismo punto Khanmohammadiotaqsara, Khalili y Mohseni (2012) afirman que el cumplimiento de los objetivos de la organización dependen de la capacidad de los empleados para realizar las tareas o actividades asignadas y de la capacidad para adaptarse al entorno cambiante. Por tanto la producción depende de la capacitación que se le dé a los empleados, por lo que se sugiere que el responsable de llevar a cabo el programa de capacitación (necesario, según los autores) debe también considerar de forma adecuada la formación y las necesidades del personal para la estrategia de mejorar el desempeño organizacional y no sólo contemplar a los operadores del proceso principal en la empresa, sino también incluso a gerentes y supervisores.

En la actualidad surgen otras herramientas que apoyadas de las anteriores ayudan a mejorar la productividad, como lo es la simulación. La simulación es una herramienta muy útil en el análisis de sistemas reales, sobre todo en el análisis de los procesos productivos de las industrias, representando así una herramienta para la solución de problemas reales y complejos. Según Barrientos (2014) los cambios en la industria y la globalización, hacen que los problemas actuales no puedan resolverse utilizando herramientas tradicionales y se hace necesario entonces, el uso de herramientas que ofrezcan un enfoque de sistemas complejos, además de reconocer a la simulación como una herramienta imprescindible en la ciencia moderna.

### **Ahondando en la simulación...**

Analizando la vasta gama de herramientas entorno a la gestión y mejora de la productividad, es importante mencionar que una de las técnicas que ha tenido mucha utilidad en los últimos años es precisamente la simulación, que al mismo tiempo se apoya de otras técnicas como el estudio del trabajo, al contemplar en algunas ocasiones el estudio de tiempos, así como el análisis de los métodos de trabajo. También a partir del análisis de los procesos productivos mediante la simulación, puede salir a la luz la necesidad de otras técnicas como las relacionadas con el comportamiento y el factor humano, el diseño y evaluación del trabajo, entre otras. Es por esta razón que al realizar la presente investigación documental se encontraron y analizaron algunos trabajos en cuanto al tema, como se muestra a continuación.

- Como lo muestran Kaylania y Atieha (2015) la simulación es útil para evaluar cambios en el plan de fabricación de un sistema, como pueden ser la asignación de recursos y el rendimiento de cada actividad en el proceso, además permite analizar e identificar el cuello de botella del mismo.
- Se ha visto que la simulación puede ser utilizada como un apoyo en la toma de decisiones, al poder representar los efectos que puede traer consigo un cierto proceso de producción, en algunos casos no sólo se habla de efectos en el nivel de producción o de aspectos financieros, sino también al medio ambiente, como lo muestran Plehn y Herrmann (2015) quienes hablan de la simulación como una herramienta que ofrece la ventaja de

experimentar con el modelo sin repercutir de manera directa en el ambiente y evaluar la relación entre el desempeño económico del proceso productivo y el medio ambiente.

Así mismo, se ha visto que la simulación de eventos discretos aplicada a los procesos productivos, ha dado entre otros resultados, la disminución de tiempos promedios de operación, el aumento de la productividad y la determinación de los cuellos de botella en los procesos, pudiendo brindar así propuestas de mejora a dichos procesos, algunos autores que dan un ejemplo de esto, son:

- Guevara (2013) quien mediante el uso de la simulación, determina los cuellos de botella en el proceso, proponiendo mejoras que lograron una reducción del tiempo de reparación de motores. Otro aspecto importante que el autor muestra, es que la principal dificultad en la modelación de un sistema real, es la recolección de datos, en el trabajo del autor soluciona esto mediante el apoyo de los involucrados en el sistema, en este caso los involucrados en el proceso productivo dentro de la empresa.
- Por otro lado en el trabajo realizado por Mandujano (2013) se muestra una propuesta de mejora, hecha a partir del modelo de simulación del proceso de la PYME bajo estudio, que representaría un aumento del 41.6 % en la producción total de la empresa.
- Bolaños (2014) también muestra resultados considerables en su trabajo, al lograr disminuir el tiempo promedio de servicio de lavado de coches, mediante un modelo de simulación del proceso.

Hablando del alcance de la simulación, esta no sólo se limita al análisis del comportamiento de un sistema, sino que se puede utilizar también como herramienta para la optimización de un sistema, según Caballero (2012) la simulación como herramienta de la I de O está encaminada también a la optimización, esto es, hacer uso de la simulación como apoyo para la optimización de un sistema.

A manera de resumen, se muestra una tabla comparativa, con los trabajos investigados, para la realización del presente trabajo.

Lugar y Año	Autor	Título	Técnica (s) utilizadas o estudiadas	Resultados relevantes
<b>Irán, 2012</b>	Morteza khanmoham-madiotaqsara, Mohammad khalili , Abbas mohseni	<i>The role of practical training in productivity and profitability of organizations in the Third Millennium</i>	Formación de recursos humanos	Se muestra que la formación y los niveles de competencia del personal pueden mejorar el desempeño organizacional, así como también se muestra el impacto de la educación en la productividad y la rentabilidad.
<b>México, 2012</b>	José Víctor Caballero Ruiz	Simulación y optimización, aplicación en sistemas de líneas de espera	Uso de la simulación de eventos discretos, junto con técnicas heurísticas (algoritmos genéticos), para la optimización de un sistema.	Propuesta de diseño de software para aplicar el concepto SO (Simulación y Optimización) a sistemas de líneas de espera.
<b>México, 2013</b>	Armando Marcos Rojas Mandujano	Diagnóstico general de una PYME y una propuesta del manejo de sus recursos y procesos para su optimización a través del uso de pronósticos, simulación e inventarios	Utilización de pronósticos para determinar la demanda de la empresa; de la simulación de eventos discretos para el control de la producción; y el estudio de su política de inventarios.	Se muestra una propuesta de mejora en el proceso productivo, con el aumento y disminución de algunas máquinas o estaciones de trabajo sin necesidad de trabajar con el sistema real, mostrando un aumento del 41.6 % en la producción total.
<b>México, 2013</b>	Edgar Arciba Guevara	Propuesta de mejora del proceso de reparación de motores en la empresa Clisa utilizando simulación con Promodel	Simulación de eventos discretos con ayuda de Promodel.	Reducción del tiempo de reparación de motores, mediante la determinación de los cuellos de botella de la empresa, a partir del modelo de simulación.
<b>México, 2013</b>	Jorge Andrés García Hernández	Metodología para la planeación de la producción utilizando simulación y programación entera	Programación entera, simulación y series de tiempo.	Una metodología que va desde la estimación de la demanda futura, la determinación de la capacidad de la producción, la programación de la producción y el control de la misma, así como el control de las ventas.
<b>China, 2014</b>	Long Che Mak, Wai Keung Wong, Yung Sun Leung	<i>A simulation analysis of the impact of production lot size and its interaction with operator competence on manufacturing system performance</i>	Simulación	Se muestra el efecto significativo del tamaño de lote a producir y el rendimiento del sistema en términos de la maquinaria, la tasa de utilización del operador, el nivel de WIP (Work In Process) y el tiempo de trabajo, un aumento en la cantidad de producción se asocia a una disminución en las medidas de rendimiento.

<b>México, 2014</b>	Omar Bolaños Plata	Importancia de la simulación en la mejora de procesos	Simulación	Disminución del tiempo promedio de servicio de lavado de coches, determinando el cuello de botella en el proceso, mediante un modelo de simulación del proceso.
<b>Corea del Sur, 2014</b>	Hyunbae Chun, Jung-Wook Kim, Jason Lee	<i>How does information technology improve aggregate productivity? A new channel of productivity dispersion and reallocation</i>	Tecnologías de la Información (IT)	Se analizó el comportamiento de algunas industrias en Estados Unidos y se propuso un canal de crecimiento en favor de la productividad impulsado por las tecnologías de la información.
<b>México, 2014</b>	Aida Huerta Barrientos	Metodología basada en modelos de simulación para el análisis de sistemas complejos (MoSASCoM)	Marcos metodológicos relativos al enfoque de dinámica de sistemas, simulación de eventos discretos y modelación basada en agentes.	Se muestra un marco metodológico que guía explícitamente el uso de los distintos enfoques de modelación basada en simulación para el análisis de sistemas complejos.
<b>Suiza, 2015</b>	A. Sproedt, J. Plehn, P. Schonsleben, C. Herrmann	<i>A simulation-based decision support for eco-efficiency improvements in production systems</i>	Simulación de eventos discretos	Se da un apoyo a la toma de decisiones para la compleja relación que existe entre el desempeño económico de un sistema productivo y el impacto ambiental relacionado con el ciclo de vida de los productos, se incluye como apoyo un enfoque basado en la simulación de la producción, donde se integra el ciclo de vida del producto y los aspectos económicos de la empresa.
<b>China, 2015</b>	Vahab Moradinaft - chali, Lixin Song, Xiaoguang Wang	<i>Improvement in quality and productivity of an assembled product: A riskless approach</i>	Adopción de la cultura de calidad	Se muestra que la mejora en la calidad del producto puede conducir a un mejor nivel de productividad, al mismo tiempo que se obtiene un análisis de costos en los que se incurre.
<b>Jordania, 2015</b>	Hazem Kaylania, Anas M. Atieha	<i>Simulation Approach to Enhance Production Scheduling procedures at a Pharmaceutical Company with large Product mix</i>	Simulación de eventos discretos	Mediante un modelo que muestra los cambios en la programación de la producción (mezcla de productos y asignación de recursos) se logró una reducción en el efecto del cuello de botella, una mejor utilización de los recursos y una reducción en los tiempos de ciclo y en los tiempos de espera.

**Tabla 2.1 "Marco teórico"**

Fuente: elaboración propia con base en los trabajos investigados

Como se mencionó anteriormente existe una infinidad de técnicas en la literatura para el mejoramiento de la productividad, gestión y mejora de los procesos productivos. Se mostraron algunos trabajos realizados con diferentes técnicas, que mostraron buenos resultados en la mejora de la productividad.



Realizando un análisis de la primera clasificación mostrada, de acuerdo al libro *Productivity management*; junto con el complemento de las técnicas basadas en la tecnología, los materiales, la mano de obra, el producto y las tareas; así como la investigación llevada a cabo de los trabajos realizados en los últimos años, se muestra que la simulación aplicada a los procesos productivos es una buena técnica que puede ayudar a resolver el problema de investigación del presente trabajo. En el apartado siguiente se dará una breve justificación del uso de la simulación para resolver el problema de investigación del presente trabajo.

### *2.1.3 Justificación del uso de la simulación*

La simulación ofrece la ventaja de poder experimentar con el modelo en lugar de experimentar con el proceso productivo real de la empresa, de esta forma se puede probar, manejar y evaluar el sistema sin afectar de manera directa la producción en la misma, es decir el experimentar con el modelo no trae consecuencias sobre el sistema real; esto es útil ya que aunque no se trate de un proceso que afecte el medio ambiente o del cual dependan vidas, la empresa bajo estudio está en funcionamiento las 24 horas del día, 5 días a la semana, por lo que experimentar con el sistema real podría tener efectos negativos en los resultados de la empresa.

Por otro lado, como se vio en la literatura la simulación es útil para conocer aspectos en los procesos productivos, como son: la detección del cuello de botella, la asignación de recursos, asignación de tiempo u horarios de trabajo, así como evaluar cambios en el plan de producción.

Es importante aclarar que la simulación no es la única técnica que podría utilizarse, pero se eligió por presentar muchas ventajas, además de las mencionadas anteriormente, tiene como ventaja el poder trabajar con la naturaleza del sistema, en donde intervienen procesos aleatorios distribuidos en una serie de elementos o actividades (actividades dentro del proceso productivo).

También conviene mencionar que la simulación se apoya de otras técnicas como el estudio del trabajo, al contemplar en algunas ocasiones el estudio de tiempos, así como el análisis de los métodos de trabajo, lo cual es conveniente incluir en la resolución del problema de investigación.

Por todo lo anterior se utiliza la simulación como técnica para resolver el problema, en el punto siguiente se hablará más a fondo acerca de ella.

## *2.2 Modelos y métodos*

En este punto se abordarán los tópicos necesarios para entender e introducir la simulación como herramienta a usar en el desarrollo del trabajo de investigación.

### *2.2.1 Definición de simulación*

La simulación es una técnica matemática de análisis, que permite reproducir de manera aproximada un fenómeno u evento bajo ciertas condiciones dadas. Como herramienta de investigación de operaciones la simulación se puede definir de la siguiente manera:

“La simulación es una técnica numérica para conducir experimentos en una computadora digital, haciendo uso de gráficos, animación y otros dispositivos tecnológicos; lo cual involucra ciertos tipos de modelos matemáticos y lógicos, que describen el comportamiento de un sistema (o algún componente de éste) durante un cierto tiempo”(Flores y Elizondo, 2006).

Otra definición, dada por R. E. Shannon (2007) es: “La simulación es el proceso de diseñar un modelo de un sistema real y llevar a término experiencias con él, con la finalidad de comprender el comportamiento del sistema o evaluar nuevas estrategias, dentro de los límites impuestos por un cierto criterio o un conjunto de ellos, para el funcionamiento del sistema”.

El uso de la simulación es recomendable cuando para la solución de un problema, las alternativas para su solución son pocas, es decir que si existe una manera exacta y más fácil de resolver el problema, esto es preferible, sin embargo existen muchas situaciones en las que la naturaleza de los problemas no permite que sean tratados con las técnicas tradicionales y exactas.

### 2.2.2 Clasificación de la simulación

A continuación se muestra una clasificación de los tipos de modelos de simulación. (Taha, 2012) y (Law y Kelton, 1991, citados por Tarifa)

Los modelos de simulación se pueden clasificar de acuerdo a 3 clases:

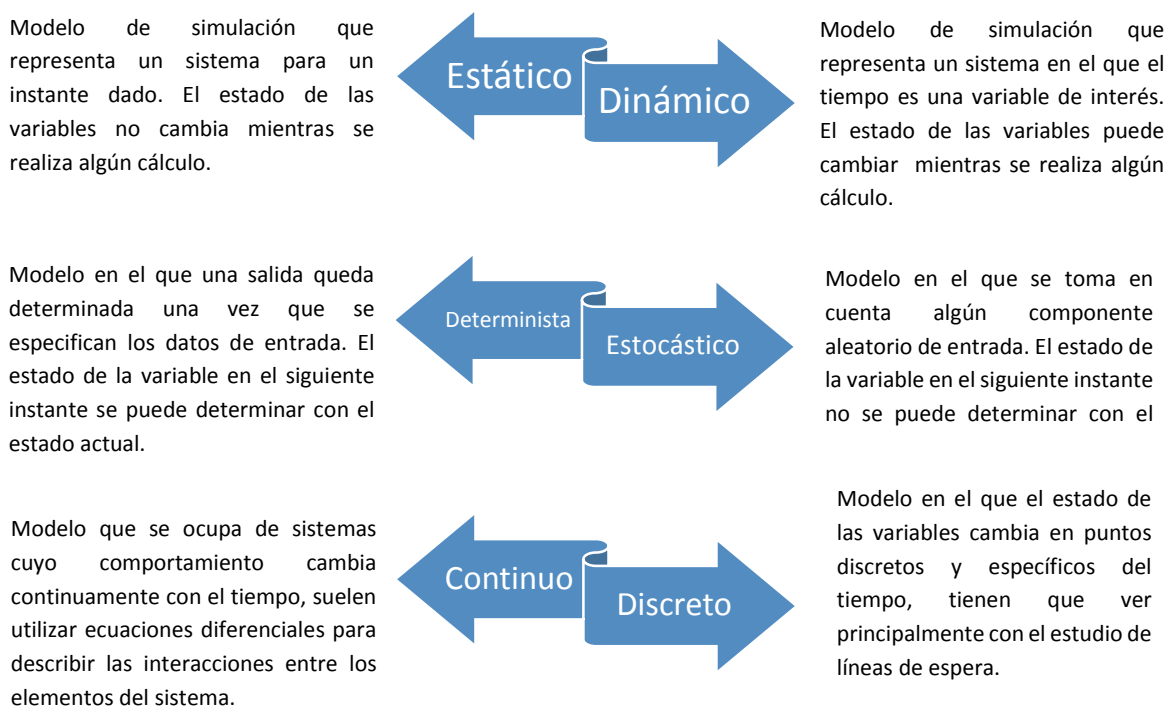


Figura 2.2 "Clasificación de los modelos de simulación"  
Fuente: elaboración propia con base en Taha (2012) y Law y Kelton (1991)

### *2.2.3 Ventajas y desventajas del uso de la simulación*

Algunas ventajas y desventajas percibidas por Flores y Elizondo (2006), así como Azarang y García (1998) se muestran a continuación.

#### **Ventajas**

- Se puede experimentar sin exponer a la organización a los perjuicios de errores;
- La simulación no interfiere en el mundo real;
- Es más sencillo controlar y experimentar condiciones en el modelo de simulación que en el proceso real;
- Una vez que se construye el modelo de simulación se puede modificar de manera rápida para analizar diferentes escenarios, permite un análisis de sensibilidad;
- Proporciona control total sobre el tiempo, es posible comprimir largos periodos de tiempo y analizar el comportamiento de forma inmediata;
- Generalmente es más barato mejorar el sistema primero vía simulación que hacerlo en el sistema real;
- Es mucho más sencillo visualizar y comprender los métodos de simulación que los métodos puramente analíticos, da un entendimiento profundo del sistema.

#### **Desventajas**

- La simulación es imprecisa y no se puede medir el grado de su imprecisión;
- Los modelos de simulación en una computadora son costosos y requieren mucho tiempo para desarrollarse y validarse;
- Se requiere gran cantidad de corridas computacionales para encontrar “soluciones óptimas”, lo cual representa altos costos;
- Requiere "largos" periodos de desarrollo;
- Cada modelo de simulación es único;
- Siempre quedarán variables por fuera y esas variables pueden cambiar completamente los resultados en la vida real que la simulación no previó.

### *2.2.4 Metodología de la simulación*

La metodología de simulación que se utilizó en el presente trabajo, se muestra en la Figura 2.3 y se tomó de (Flores y Elizondo, 2006). Esta metodología está constituida por 8 etapas, las cuales son: la formulación del problema, la conceptualización del sistema, la recolección de información y datos para la construcción del modelo conceptual, la validación del modelo conceptual, el desarrollo y verificación del programa de cómputo, la validación del modelo programado, el diseño de experimentos y finalmente la documentación de los resultados.

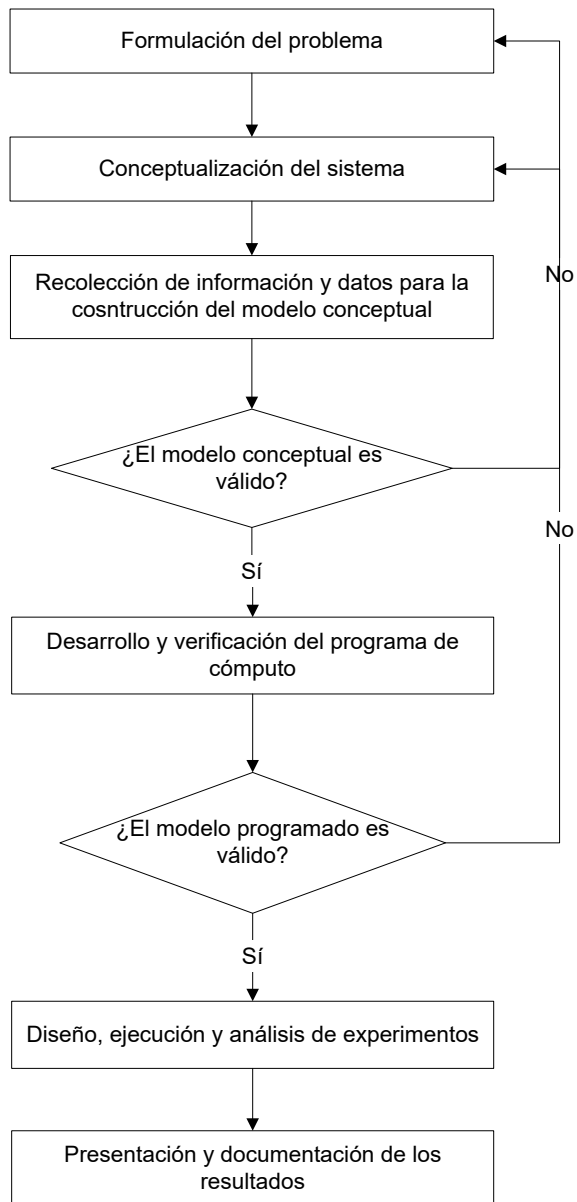


Figura 2.3 "Metodología de la simulación"  
Fuente: Flores y Elizondo, 2006

A continuación, se describirá brevemente en qué consta cada paso de la metodología, según Flores y Elizondo (2006).

## **La formulación del problema**

Definición de lo que se quiere estudiar, en este paso se aclara la problemática que se va a resolver, según las autoras, las preguntas clave que apoyan el desarrollo de este paso, son:

- ¿Cuáles son los objetivos del estudio?
- ¿Cómo deseamos que se comportara el sistema?
- ¿Cuáles son sus necesidades?
- ¿Cómo se comportaría en el futuro?
- ¿Cuál sería el comportamiento del sistema si sufriera la variación de alguno de sus elementos?

De acuerdo al uso que se le dé al modelo de simulación, puede haber uno o más de los siguientes objetivos de simulación:

- El desarrollo de un análisis;
- El análisis de restricciones y capacidad;
- La comparación de configuraciones;
- La optimización;
- El análisis de sensibilidad;
- Visualización dinámica del sistema.

## **Conceptualización del sistema**

Este paso consiste en la estructuración del modelo, es decir, definir variables, interrelaciones de variables, distribuciones de probabilidad, parámetros, etc.

También en este paso es en donde se determinan los aspectos del sistema real que se van a modelar, ya que en muchas ocasiones es mejor iniciar con un modelo sencillo, en lugar de incluir todos los elementos, esto con el fin de hacerlo lo más sencillo posible.

## **Recolección de información y datos para la construcción del modelo conceptual**

Se describe y detalla la información con la que se cuenta y la que será necesaria, contestando las siguientes preguntas:

- ¿Qué datos son necesarios?
- ¿Cómo se obtendrán los datos?
- ¿Qué tiempo aproximado tomará la realización de cada etapa de la obtención de datos?
- ¿Con qué información y cómo se validarán los resultados de la simulación?
- ¿Cuáles configuraciones del modelo se deberían correr?
- ¿Cuántas y qué tan grandes deben ser las corridas?

Esta recolección de datos sirve para especificar los parámetros del modelo y las distribuciones de probabilidad.

### **Validación del modelo conceptual**

Una vez realizado el modelo conceptual, debe asegurarse que los supuestos del modelo son correctos y completos, esto se puede realizar mediante la validación del modelo conceptual, con el apoyo de los expertos en el problema que se busca resolver.

Además esta actividad evita la reprogramación futura, ya que si se detectan errores u omisiones, pueden ser corregidos antes de iniciar la programación del modelo.

### **Desarrollo y verificación del modelo conceptual**

Realizado y validado el modelo conceptual, se desarrolla en un programa de cómputo, utilizando el software y el lenguaje de programación apropiados para el problema.

Para llevar a cabo un buen ejercicio de simulación, antes de usar y validar el modelo programado, debe verificarse dicho modelo, con el fin de corroborar que el modelo realiza lo que queremos que realice, lo cual puede hacerse mediante alguna técnica, como puede ser:

- Escribir el programa en varios módulos o subprogramas;
- Tener más de una persona que realice el modelo programado;
- Correr la simulación para varios escenarios, entre otras.

### **Validación de modelo programado**

La validación consiste en asegurarse que el modelo representa en forma suficientemente aproximada al sistema real, y que sea creíble, es decir que el usuario o tomador de decisiones, lo acepte y lo use como apoyo en la toma de decisiones, existen diferentes métodos para validar el modelo de simulación:

- Comparación de los resultados con el sistema real;
- Método Delphi;
- La prueba de Turing;
- Analizar la conducta en casos extremos.

La validación es demostrar que el modelo es lo suficientemente bueno para usarse en la toma de decisiones, pero es importante señalar que un modelo de simulación es sólo es válido para ciertos propósitos y puede no serlo para otros, por lo tanto es vital actualizar las suposiciones en las cuales se basa el modelo e identificar algún cambio.

### **Diseño, ejecución y análisis de experimentos**

Este paso consiste en diseñar las diferentes corridas que se quieran realizar con el modelo, las diferentes alternativas y modificaciones que se puedan hacer del modelo, así como realizar un análisis de sensibilidad. Se deben considerar todos los escenarios posibles considerando las restricciones de tiempo y costo.

## Presentación y documentación de los resultados de la simulación

El paso final es la elaboración de un documento que contenga las especificaciones del trabajo, algunos puntos importantes y recomendables a abordar en el reporte final, son:

- La definición de objetivos;
- Diagrama de flujo del sistema o proceso a simular;
- Descripción del sistema y elementos del modelo conceptual;
- Suposiciones y justificación de las mismas;
- Construcción y validación del modelo;
- Fuentes de información;
- Descripción del modelo programado, entre otros.

### *2.2.5 Campos de aplicación*

Algunas áreas en las que se ha visto que la aplicación de la simulación es una herramienta de ayuda en la toma de decisiones, según Piera, Guasch, Casanovas y Ramos (2006) son:

- Fabricación

Una de las áreas donde se ha aplicado intensivamente la simulación es en el campo de los procesos de fabricación y sistemas de manufactura.

- Redes de distribución

En la actualidad ya no sólo son las empresas las que compiten entre sí, sino las redes de distribución, ya que dependen de un conjunto de suministradores, recursos de transporte, fábricas y almacenes para su correcto funcionamiento.

- Transporte

Ejemplos de simulación se pueden encontrar en todos los modos de transporte, ya sea aéreo, marítimo o terrestre, donde la simulación se puede usar para planificar sus operaciones.

- Sanidad

Es cada vez más fuerte la presión sobre el entorno sanitario para controlar los costos manteniendo o mejorando los niveles de servicio, el principal reto es incrementar la eficiencia en sus operaciones. La simulación es una herramienta que ayuda en el análisis y en la toma de decisiones, por su capacidad para modelar estas relaciones y los factores inherentes a estos sistemas.

- Negocios

La simulación también se aplica con éxito en el proceso administrativo, en empresas de servicio como bancos, empresas de seguros, etc.

### *2.3 Objetivos*

Una vez que se ha planteado el problema de investigación y se ha dado un sustento formal del uso de la herramienta elegida para resolver el problema, se planteó el siguiente objetivo general:

#### **Objetivo general**

Analizar el proceso productivo de la empresa Llantera S. A. de C. V. para conocer la capacidad instalada de la planta, identificar el cuello de botella en el proceso y proponer políticas basadas en la experimentación de escenarios; esto mediante el uso de la simulación y con el fin de aumentar la producción de la empresa.

#### **Objetivos específicos**

- Estructurar el modelo conceptual del proceso productivo de la empresa.
- Obtener los tiempos de trabajo para cada actividad del proceso.
- Determinar los tamaños de muestra idóneos para los tiempos de cada actividad.
- Analizar las muestras representativas y definir la distribución más adecuada para cada actividad del proceso.
- Realizar un modelo de simulación del proceso productivo de la empresa con los datos obtenidos en las muestras.
- Conocer el cuello de botella del proceso productivo y la capacidad instalada de la planta.
- Experimentar el modelo para distintos escenarios.
- Proponer políticas para la administración de los recursos (maquinaria y operarios).

### *2.4 Metodología propuesta*

En esta parte del marco de referencia, se muestran los pasos necesarios para lograr dar solución al problema de investigación, esto mediante la metodología diseñada que se explica a continuación.

La metodología a seguir se dividió en tres etapas; la primera de ellas, el planteamiento del problema, logrado principalmente con el diseño y desarrollo del diagnóstico en la empresa, con el fin de obtener el problema a resolver y definir el objetivo general que se busca en la tesis, así como los objetivos específicos necesarios para conseguirlo; la segunda etapa abarca la metodología de simulación descrita en el apartado de modelos y métodos, que va desde la formulación del problema a resolver con el modelo de simulación (relacionado con el planteamiento del problema) hasta la obtención de resultados del modelo de simulación; por último, se considera una parte de prescripción, debido al tiempo con el que se cuenta para presentar los resultados finales, no fue



posible reportar la implantación de las propuestas, por lo que se incluye el desarrollo de políticas propuestas donde se describen los aspectos a considerar más importantes.

La metodología se muestra en la figura siguiente:

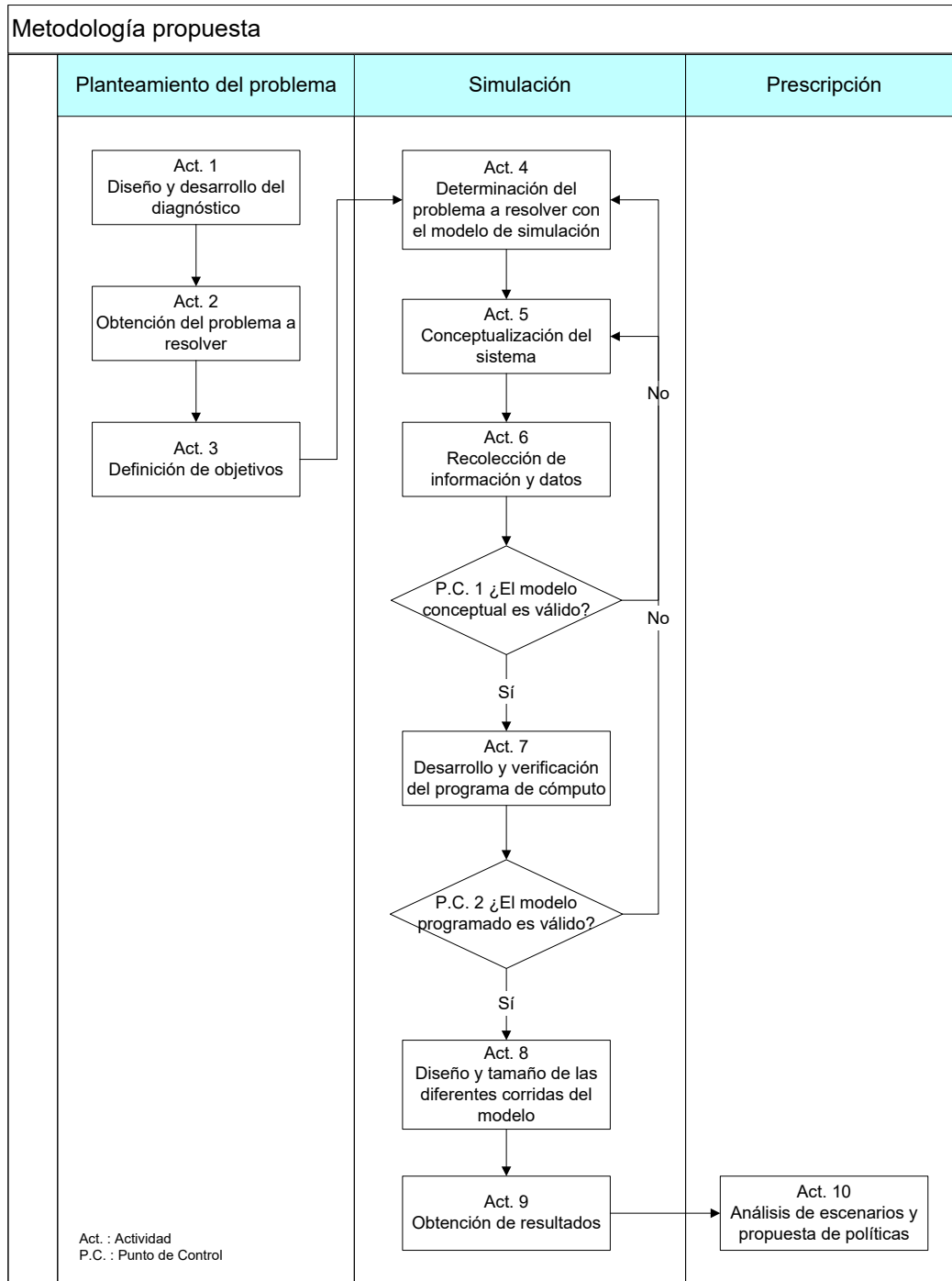


Figura 2.4 "Metodología propuesta"  
Fuente: elaboración propia

A continuación se describe brevemente cada paso de la metodología propuesta:

#### Actividad 1. Diseño y desarrollo del diagnóstico

Como parte del planteamiento del problema se realizó un diagnóstico a la empresa. El diseño y desarrollo del mismo se mostró en el capítulo 1 del presente trabajo.

#### Actividad 2. Obtención del problema a resolver

Con los resultados del diagnóstico y la participación de los dueños de la empresa se obtuvo el problema concreto a resolver en la tesis.

#### Actividad 3. Definición de objetivos

Una vez que se delimitó el problema a resolver y se analizaron las alternativas para darle solución, se definieron los objetivos.

#### Actividad 4. Determinación del problema a resolver con el modelo de simulación

Con base en el problema de investigación y la definición del objetivo general de la tesis, se plantean los aspectos específicos que se desean obtener con el modelo de simulación.

#### Actividad 5. Conceptualización del sistema

En esta actividad se estructura el modelo conceptual del proceso de renovado, describiendo las actividades del proceso, el orden en el que éstas ocurren y los puntos de control o decisión en el proceso.

#### Actividad 6. Recolección de información y datos

La recolección de la información, incluye la obtención de los tiempos de trabajo para cada actividad dentro del proceso, la renovación promedio de llantas por mes y los porcentajes de llantas rechazadas, con re proceso y con re trabajo.

#### Punto de control 1. Validación del modelo conceptual

Se asegura que los supuestos acerca del proceso de renovado son correctos y están completos, se realizan ajustes hasta llegar al modelo conceptual que describa de manera correcta y en su totalidad el proceso de renovado de llantas.

#### Actividad 7. Desarrollo y verificación del programa de cómputo

Con base en el modelo conceptual y la información recolectada del proceso se lleva a cabo la elaboración del modelo de simulación en el software elegido para ello. Una vez que se desarrolló el modelo programado, se asegura que realmente se establecen las especificaciones del proceso y que se vacían de forma correcta los datos recolectados; es decir se asegura que se establezcan las especificaciones correctas y se cumpla el alcance del modelo, basado en el objetivo del mismo.

#### Punto de control 2. Validación del modelo programado

Se prueba que el modelo programado representa de manera suficientemente aproximada al proceso de renovado de la empresa, esto se realizó mediante la prueba no paramétrica Ji Cuadrada, comparando la distribución real de las llantas renovadas en la empresa con la distribución de los resultados de las llantas renovadas en el modelo programado.

#### Actividad 8. Diseño y tamaño de las diferentes corridas del modelo

Por un lado, se establecen las modificaciones del modelo que den pie a los distintos escenarios con los que se trabajará para elaborar las políticas planteadas en el objetivo general; y por otro, convenir el número de corridas a ejecutar con el modelo programado.

#### Actividad 9. Obtención de resultados

Como su nombre lo dice se obtiene los resultados a partir del modelo de simulación.

#### Actividad 10. Análisis de escenarios y propuesta de políticas

Se lleva a cabo el análisis de los resultados obtenidos, se plantean los nuevos escenarios y se realiza su correspondiente análisis para detectar el cuello de botella, conocer la capacidad instalada de la planta y posteriormente proponer políticas para la administración de recursos (maquinaria y operarios).

# III. Desarrollo de la Metodología de simulación

En este capítulo se detallará la metodología de simulación, describiendo lo que se realizó en cada paso.

## *3.1. Determinación del problema a resolver con el modelo de simulación*

### *3.1.1. Problema de la empresa a resolver*

Como se mencionó anteriormente, para conocer la problemática de la empresa se realizó un diagnóstico empresarial, dicha problemática se describe en el apartado 1.3.3, así mismo se definió el problema concreto a resolver como sigue:

Proponer una manera de administrar los recursos en la empresa (maquinaria y operarios) para apoyar la toma de decisiones, de tal forma que se logre aumentar la producción, al mismo tiempo que se analice el proceso productivo para conocer la capacidad instalada de la planta y ubicar el cuello de botella en la misma.

En este punto es importante mencionar algunos problemas de la empresa, relacionados con el proceso productivo y que aportan valor al problema concreto a resolver:

- No se conoce la capacidad instalada de la planta, se cuenta con estadísticas de la producción mensual, pero no se sabe cuántas llantas son capaces de producir con los recursos que se tienen (operarios y maquinaria);
- No se administran los recursos con los que cuenta la empresa. Dentro del proceso productivo existen 11 actividades, cada actividad requiere una máquina o equipo específico, la empresa no utiliza todas las máquinas aunque estén en buenas condiciones, la decisión de utilizar o no las máquinas se toma día a día sin un control específico y sin saber cómo repercute esto en la producción;
- Así mismo, no se administra el tiempo de trabajo de los operarios. La empresa cuenta con dos turnos de trabajo, el primero de 6 a.m. a 6 p.m. y el segundo de 6 p.m. a 6 a.m. con una hora de comida para cada turno, esto sin tomar en consideración la carga de trabajo por temporada, por lo que siempre se paga horas extras;

- La empresa no pone especial atención en el cuello de botella de la operación, ya que se cree que dependiendo del número de máquinas que utilicen al día, el cuello de botella se ubicará en distintas actividades, pero no se toma en cuenta el tiempo que cada actividad tarda en realizar su operación;
- No se tienen medidos los tiempos de operación para cada actividad del proceso.

De esta manera, el fin de la simulación del proceso productivo es contar con una herramienta que ayude en la administración de los recursos (operarios y maquinaria) para la toma de decisiones y aumentar así la producción de la empresa.

### *3.1.2. Objetivo de la simulación*

Por todo lo anterior, y como se vio en el punto 2.3 el objetivo del presente trabajo es el siguiente:

Analizar el proceso productivo de la empresa Llantera S. A. de C. V. para conocer la capacidad instalada de la planta, identificar el cuello de botella en el proceso y proponer políticas basadas en la experimentación de escenarios; esto mediante el uso de la simulación y con el fin de aumentar la producción de la empresa.

De esta manera, con los resultados de la simulación se pretende responder lo siguiente:

- ¿Cuál es la capacidad instalada de la planta?
- ¿Dónde se ubica el cuello de botella?
- ¿Cuál es el desempeño de cada actividad en el proceso?
- ¿Cuál es el porcentaje de utilización de las máquinas para cada actividad?
- ¿Cómo deberían administrarse los recursos (operadores y maquinaria) en la producción dependiendo de la demanda?
- ¿Cómo aumentar la producción con la correcta administración de recursos?

Dentro del objetivo de la simulación es importante mencionar el uso de la simulación como herramienta para tomar decisiones en las operaciones de la empresa.

### *3.2. Conceptualización del sistema*

La conceptualización del sistema consiste en estructurar el modelo del sistema que se simulará, en este caso el proceso de renovación, el cual consiste, como se mencionó anteriormente, en sustituir la banda de rodamiento de una llanta por otra, sin afectar sus factores de seguridad como:

- soportar la presión de aire;
- soportar la carga;
- soportar torque;
- soportar la flexión.

La construcción del modelo conceptual del proceso de renovado se realizó partiendo de:

- visitas a la empresa para observar el proceso físicamente y;
- del apoyo del jefe de producción y de los operadores de la planta.

A continuación, se ilustran y describen brevemente las 11 etapas o actividades del proceso de renovado:

- Inspección inicial:** consta de una revisión externa de la llanta realizada por un operador, para decidir si la llanta puede o no ser renovada. Si el neumático muestra excesivo desgaste o posee lonas expuestas, automáticamente se rechaza, es decir se decide que no es apta para renovarse. Sin embargo, aunque en esta actividad se considere que la llanta es apta para renovarse, podría ocurrir que internamente la llanta presentará algún daño irreparable, mismo que podría detectarse en la siguiente actividad.

Nota: la razón de que se decida que una llanta no es apta para renovarse, se toma porque se considera que la llanta podría presentar problemas posteriores a la renovación que hicieran imposible su uso, es decir el mal estado de la llanta ya no permite su uso.

- Xerografía:** la máquina de xerografía es una parte muy importante del proceso, consta de un sofisticado equipo digital, que permite un escaneo exhaustivo del neumático para detectar fallas que a simple vista no pueden observarse. En esta actividad la inspección de la llanta es interna y puede decidirse también si una llanta es apta o no para renovarse.
- Raspado:** consiste en eliminar la banda de rodamiento vieja, junto con todo el remanente y la suciedad, esto se realiza mediante una máquina especial que raspa la llanta, hasta desprender por completo la banda de rodamiento.



Figura 3.1 "Proceso productivo 1"  
Fuente: elaboración propia

- iv. **Cardeado:** consiste en retirar el óxido y las cuerdas dañadas de la llanta. Una vez terminado esto, en caso de que la llanta presente perforaciones profundas o daños mayores, se traslada al área de reparación, de lo contrario se lleva directamente al área de Encojinado.
- v. **Reparación:** consiste en la reparación de daños específicos presentes en la llanta, ya sea por desgaste superficial, hoyo de clavo o alguna otra causa. En esta área, se le coloca un parche a la parte dañada de la llanta de acuerdo con la magnitud del daño.

Estas dos últimas actividades son manuales, no dependen de alguna máquina especial, sino de un operador y la herramienta necesaria para realizar la actividad.



Figura 3.2 "Proceso productivo 2"  
Fuente: elaboración propia

- vi. **Encojinado:** consiste en cubrir la llanta raspada con hule cojín mediante una pistola extrusora, el hule cojín se fija a la llanta mediante un rodillo estriado para así nivelar totalmente la superficie que fue rellena y permitir que la banda, al ser colocada, no presente deformaciones.
- vii. **Armado de banda:** en esta actividad se coloca la nueva banda de rodamiento sobre el hule cojín, que fue puesto en la actividad anterior para que la nueva banda pudiera adherirse a la llanta. Durante esta etapa se corta la banda con el estampado correspondiente a la llanta por renovar, a una medida igual al perímetro de la llanta; el operario debe asegurar que pueda lograrse una excelente adherencia de los extremos de la banda al momento de ser colocada.
- viii. **Encamisado:** la llanta se coloca en una matriz para prepararse para el vulcanizado; dependiendo de las dimensiones de la misma, se envuelve para poder dar comienzo al proceso de vulcanización.



Figura 3.3 "Proceso productivo 3"  
Fuente: elaboración propia

- ix. **Vulcanizado:** el proceso de vulcanización se lleva a cabo en máquinas llamadas Autoclave.
- x. **Pintura:** como su nombre lo dice, la llanta se pinta para una mejor apariencia, es un servicio adicional que la empresa da sus clientes.
- xi. **Control de calidad:** se realiza una inspección final a la llanta para asegurar el buen estado de la misma, si la llanta tiene algún defecto pueden realizarse dos acciones a consideración del operador; la llanta puede re trabajarse, es decir se envía a una parte del proceso para volver a trabajar en la llanta a partir de la actividad a la que se regresó, en esta actividad la nueva banda de rodamiento se mantiene; o puede re procesarse, es decir, se considera que la llanta debe pasar por todo el proceso nuevamente, para lo cual la nueva banda de rodamiento se desperdicia, teniendo que colocarle una nueva.





Figura 3.4 "Proceso productivo 4"  
Fuente: elaboración propia

El modelo conceptual del proceso de renovación se sintetiza en la Figura 3.5, cada actividad o parte del proceso se interrelaciona con la actividad anterior para poder realizar la siguiente, de esta manera por ejemplo, no se puede iniciar la actividad de encojinado, si la llanta no está raspada.

## Modelo conceptual

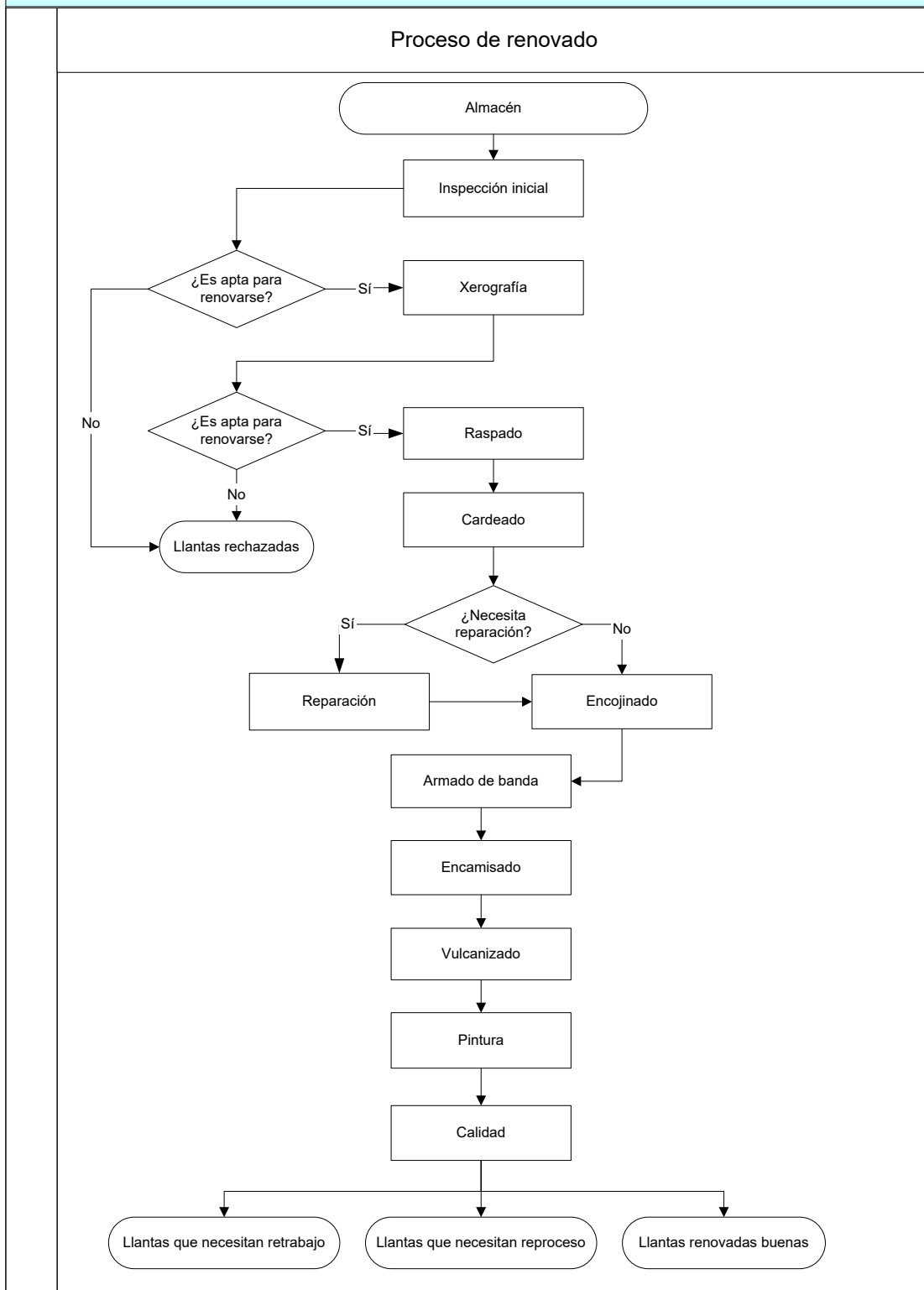


Figura 3.5 "Modelo conceptual del proceso de renovación"  
Fuente: elaboración propia

Las máquinas o estaciones de trabajo y los operarios disponibles para cada actividad, son los siguientes:

<b>Actividad</b>	<b>Máquinas o estaciones de trabajo<sup>7</sup></b>	<b>Operarios por turno</b>
Inspección inicial	3 máquinas	2
Xerografía	1 máquina	1
Raspado	3 máquinas	2
Cardeado	3 estaciones de trabajo	3
Reparación	3 estaciones de trabajo	3
Encojinado	1 máquina	1
Armado	1 máquina	1
Encamisado	3 máquinas	3
Vulcanizado	5 máquinas: 4 grandes y 1 pequeña	1
Pintura	1 estación de trabajo	1
Calidad	1 máquina	1
	Total	19

**Tabla 3.1 "Recursos disponibles"**  
Fuente: elaboración propia

Además de los operarios disponibles para cada actividad, cuentan un operario disponible para cubrir a cualquier otro o utilizarlo cuando ellos consideran que hay que producir más.

Para la construcción del modelo, se considerarán los tiempos de trabajo para cada actividad desde que el operador toma la llanta del *stock* en proceso (llantas que ya fueron procesadas en la actividad anterior y se encuentran en espera de pasar a la siguiente actividad) hasta que el operador deja la llanta disponible para la siguiente actividad.

---

<sup>7</sup> La distinción de máquina y estación de trabajo, radica en que para la estación de trabajo no se necesita una máquina en especial, solamente es necesario un espacio destinado para la actividad y la herramienta suficiente, por el contrario para las actividades que requieren maquinaria especial, el número de puestos de trabajo está limitado por el número de máquinas con el que cuenta la empresa.

### 3.3. Recolección de información y datos

#### 3.3.1. Generalidades

Una vez que se conceptualizó el sistema, se recolectaron los datos necesarios para la obtención de las distribuciones de probabilidad, parámetros y variables. A continuación se muestra una tabla con la información que se consideró necesaria y la descripción de dicha información, las preguntas base para la recolección de información fueron obtenidas de Flores y Elizondo (2006).

<b>PREGUNTA PARA EL PROCESO DE RECOLECCIÓN</b>	<b>DESCRIPCIÓN DE INFORMACIÓN</b>
<b>¿Qué datos fueron necesarios?</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Los tiempos de trabajo para cada actividad del proceso;</li><li>2. Las llantas que se renuevan, en promedio por mes;</li><li>3. El porcentaje de llantas rechazadas;</li><li>4. El porcentaje de llantas que necesitan re proceso;</li><li>5. El porcentaje de llantas que necesitan re trabajo;</li><li>6. El porcentaje de llantas que necesita pasar por el área de reparación.</li></ol>
<b>¿Cómo se obtuvieron los datos?</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Los tiempos de trabajo para cada actividad del proceso se obtuvieron a través de videos del proceso, proporcionados por la empresa;</li><li>2. La renovación por mes, los porcentajes de llantas rechazadas, con re trabajo y con re proceso, se obtuvieron de las estadísticas de producción del año 2015 de enero a agosto (que fue el último mes en el que se recopilaron los videos).</li></ol>
<b>¿Qué tiempo aproximado tomó la realización de cada etapa de la obtención de datos?</b>	La obtención de los datos, estuvo compuesta por dos partes, primero la recolección física de los videos en la empresa, cada actividad del proceso tenía que ser grabada al menos una semana, con excepción de algunas actividades que podían ser grabadas a la par; en segundo lugar la obtención de la

	<p>información del tiempo de trabajo para cada actividad del proceso, a través de la observación de los videos y la toma de tiempos de los mismos.</p> <p>Esta recolección se llevó a cabo desde el mes de Marzo de 2015 y duró aproximadamente 8 meses.</p>
<p><b>¿Cuántas y qué tan grandes deben ser las corridas?</b></p>	<p>Junto con el personal de la empresa, se decidió realizar las corridas del modelo por día, contemplando los dos turnos de trabajo menos las horas de comida respectivas (1 hora por turno) y restando una hora por tiempo ocioso, (entradas y salidas), es decir días de 21 horas.</p>

Tabla 3.2 "Recolección de información"  
Fuente: elaboración propia

### 3.3.2. Descripción de los datos

Como ya se explicó en la tabla anterior, los tiempos de trabajo para cada actividad del proceso se obtuvieron de videos grabados en la planta. Estos videos fueron proporcionados por el área de sistemas de la empresa, quienes tenían la posibilidad de ocupar las cámaras de vigilancia de la planta para grabar las actividades del proceso y con esto poder obtener los tiempos de operación.

En primera instancia, para la recolección de la información, el área de sistemas de la empresa proporcionó datos estadísticos acerca del tiempo de trabajo para algunas operaciones, dichos tiempos eran tomados del escaneo de las llantas a lo largo del proceso<sup>8</sup>, pero debido a que el escaneo no se realiza en todas las actividades, los tiempos de trabajo agrupaban dos o tres operaciones, no contando así con la información completa para el análisis del proceso productivo, es decir no se contaba con el tiempo de trabajo para cada actividad. De esta manera se decidió tomar los tiempos de trabajo de los videos de la planta.

De las 11 actividades del proceso, se pudieron obtener los videos de 10. Para la actividad de reparación no fue posible grabar el proceso, ya que la estación de trabajo se encuentra fuera del alcance de las cámaras. Además de esto, se consideró junto con el personal de la empresa, que no era conveniente tomar los tiempos de trabajo de manera física, debido a que de acuerdo con los

<sup>8</sup> Para identificar cada llanta, la empresa cuenta con un sistema de colocación de marbetes y el escaneo de estos durante el proceso de renovado, contando con computadoras para escanear que la llanta ya ha pasado por ciertas actividades en el proceso. Las actividades que cuentan con equipo para escanear el marbete son: Raspado, Cardeado, Reparación, Armado, Vulcanizado y Calidad.

datos estadísticos del área de sistemas, esta actividad era la más tardada, así que por cuestiones de tiempo, se decidió tomar el dato proporcionado por el área acerca del tiempo que tarda la actividad.

Por otra parte, para la actividad de encamisado y vulcanizado, solamente pudieron tomarse los tiempos de una estación de trabajo (una de encamisado y una de vulcanizado), ya que las otras estaciones también se encontraban fuera del alcance de las cámaras.

Como se mencionó también en el apartado de conceptualización del sistema (punto 3.2) los tiempos tomados de los videos, consideran el tiempo para cada actividad desde que el operador toma la llanta del *stock* en proceso (llantas que ya fueron procesadas en la actividad anterior y se encuentran en espera de pasar a la siguiente actividad) hasta que el operador deja la llanta disponible para la siguiente actividad.

El siguiente paso en la toma de los tiempos de trabajo fue saber cuántos tiempos tenían que tomarse. Una parte muy importante en la recolección de la información, es saber qué tan grande debe ser la muestra, en este caso cuántos tiempos de trabajo debían tomarse para cada actividad del proceso. Para esto, se calcularon los tamaños de muestra “idóneos” para cada actividad del proceso (Ver Apéndice A: Obtención del tamaño de muestra). A manera de resumen, se construyó una tabla con los tamaños de muestra resultantes para cada actividad del proceso.

Parte del proceso	Tamaño muestra piloto	Varianza	Error	Valor del error con respecto a la media	Nivel de confianza	Valor de Z para el nivel de confianza	Tamaño de muestra
Inspección inicial, máquina 1	30	0.00082	10%	0.00713	90%	1.645	44
Inspección inicial, máquina 2	30	0.00131	10%	0.00796	90%	1.645	57
Xerografía	30	0.00050	10%	0.00531	90%	1.645	48
Raspado, máquina 1	30	0.00105	10%	0.00594	90%	1.645	81
Raspado, máquina 2	30	0.00066	10%	0.00546	90%	1.645	60
Raspado, máquina 3	30	0.00191	10%	0.00873	90%	1.645	68
Cardeado, máquina 1	30	0.04091	30%	0.04599	90%	1.645	53
Cardeado, máquina 2	30	0.01431	30%	0.04051	90%	1.645	24
Cardeado, máquina 3	30	0.00617	30%	0.03327	90%	1.645	16
Encojinado	30	0.00071	10%	0.00577	90%	1.645	58
Armado	30	0.00074	10%	0.00595	90%	1.645	57
Encamisado	30	0.00039	10%	0.00420	90%	1.645	59
Vulcanizado	30	2.14303	10%	0.53806	90%	1.645	21
Pintura	30	0.00002	10%	0.00126	90%	1.645	37
Calidad	30	0.00034	10%	0.00571	90%	1.645	29

Tabla 3.3 "Valores para el cálculo de tamaño de muestra"

Fuente: elaboración propia

Para la actividad de reparación se utilizó el dato histórico del tiempo de trabajo de 2 horas en promedio, esta información se obtuvo con ayuda del personal encargado de dicha actividad, ya que algunas estadísticas de la empresa mostraban que en promedio se realizaban 2.2 reparaciones por hora lo que da como resultado que el tiempo de trabajo de una reparación sea de 27.27 minutos. Este tiempo sólo contempla la realización de una reparación en la llanta, pero la realidad es que una llanta puede necesitar más de una reparación, de hecho lo más común, según el jefe de producción, es que si una llanta necesita pasar por el área de reparación sea por en promedio 3 reparaciones. Tomando en cuenta las 3 reparaciones hechas en promedio a una llanta y el tiempo de cambio de herramienta y de posición de la llanta, se consideró tomar como tiempo de trabajo 2 horas.

Por otro lado, como se dijo en la Tabla 3.2, la renovación por mes, los porcentajes de llantas rechazadas, con re trabajo y con re proceso, se obtuvieron de las estadísticas de producción del año 2015 (de enero a agosto).

En la Tabla 3.4 se muestran los datos obtenidos.

MES	PRODUCCIÓN	REPROCESO	%	RETRABAJO	%	RECHAZOS	%
ENERO	6634	111	1.67%	227	3.42%	1914	22.39%
FEBRERO	6400	142	2.22%	230	3.59%	2078	24.51%
MARZO	7022	177	2.52%	266	3.79%	2412	25.57%
ABRIL	6044	159	2.63%	180	2.98%	1817	23.11%
MAYO	6591	166	2.52%	292	4.43%	1935	22.70%
JUNIO	7416	161	2.17%	300	4.05%	2510	25.29%
JULIO	6834	233	3.41%	361	5.28%	2999	30.50%
AGOSTO	6987	192	2.75%	404	5.78%	2894	29.29%
<b>PROMEDIO</b>	<b>6741</b>	<b>168</b>	<b>2.49%</b>	<b>283</b>	<b>4.19%</b>	<b>2320</b>	<b>25.60%</b>

Tabla 3.4 "Estadísticas 2015"

Fuente: información histórica de la empresa Llantera S. A. de C. V.

### *3.4. Validación del modelo conceptual*

Como paso anterior al desarrollo y verificación del programa de cómputo, se llevó a cabo la validación del modelo conceptual, con el fin de asegurar que los supuestos del modelo eran correctos y completos, es decir, que las actividades realizadas en el proceso productivo y el orden que estas llevan, describen de manera correcta y en su totalidad al proceso llevado a cabo para el renovado de las llantas dentro de la empresa.

Para realizar esta validación se pidió el apoyo de los expertos en el tema, en primer lugar:

- Jefe de producción de la planta, que también apoyo en la construcción del modelo conceptual;

Y para asegurar la correcta revisión del modelo, también se acudió a una persona diferente a la que apoyó en la construcción del modelo:

- Jefe de calidad, quien tiene total injerencia en la supervisión del proceso productivo.

En este proceso de validación, se realizaron varios ajustes al modelo hasta llegar al modelo descrito en el punto 3.2, lo cual condujo a mejoras sustanciales en el proceso de simulación, ya que permitió tomar varias consideraciones que en un principio no se tenían, como la consideración del porcentaje de llantas con re proceso y re trabajo.



### *3.5. Desarrollo y verificación del programa de cómputo*

Para ejecutar el modelo de simulación se decidió utilizar SIMIO (*Simulation Modeling based on Intelligent Objects*), este software cuenta con una versión gratuita pero que está limitada por el número de objetos que se pueden utilizar en un modelo, por lo que tuvo que adquirirse una licencia del software. De esta manera se trabajó con la versión “*Student Edition (Design)*” que tiene un costo de 25 dólares por 12 meses.

Se utilizó este software porque presenta las siguientes ventajas:

- permite que usuarios sin conocimientos en programación puedan modelar, ya que tiene la capacidad de definir y personalizar objetos utilizando lógica de procesos en lugar de código;
- reduce el tiempo de programación;
- el software es apropiado para las líneas de producción y en este caso, se adapta a las necesidades del proceso que se quiere modelar;
- es fácil de programar, ya que el sistema se modela al describir los objetos por los que está conformado y;
- permite un análisis de resultados completo y fácil.

#### *3.5.1. Información para la construcción del modelo programado*

Como se mencionó anteriormente, la facilidad del uso del software está basada en que el sistema se puede modelar describiendo los objetos que lo conforman. Como se verá en el punto siguiente, cada actividad del proceso estará representada por un objeto, es decir la estación de inspección inicial será un objeto en el modelo, la estación de xerografía será otro y así sucesivamente para las 11 actividades. La descripción del objeto está dada por la información de la actividad en el proceso, es decir el tiempo de trabajo para cada actividad; de esta manera para poder modelar el sistema es necesario obtener la distribución de probabilidad de los tiempos de trabajo para cada actividad.

Una vez que se obtuvieron los tiempos de trabajo con el tamaño de muestra descrito en el Apéndice A, se procedió a obtener las distribuciones de probabilidad con ayuda del software *EasyFit* en su versión 5.6 (Prueba Gratuita).

El software hace uso de la prueba no paramétrica de Kolmogórov Smirnov para determinar la bondad de ajuste de los datos introducidos al programa (en este caso los tiempos de trabajo) con más de 55 distribuciones.

Los resultados tomados del programa con un nivel de significancia del 0.05 se muestran a continuación.

Actividad	Distribución	Parámetros
Inspección inicial, máquina 1	Lognormal	$\sigma=0.56276$ $\mu=-2.658$
Inspección inicial, máquina 2	Lognormal	$\sigma=0.38797$ $\mu=-2.7197$
Xerografía	Log Logistic	$\alpha=4.3509$ $\beta=0.0501$
Raspado, máquina 1	Lognormal	$\sigma=0.67613$ $\mu=-2.5631$
Raspado, máquina 2	Lognormal	$\sigma=0.45405$ $\mu=-2.8705$
Raspado, máquina 3	Lognormal	$\sigma=0.45361$ $\mu=-2.3307$
Cardeado, máquina 1	Lognormal	$\sigma=0.89835$ $\mu=-2.2268$
Cardeado, máquina 2	Lognormal	$\sigma=0.82243$ $\mu=-2.3415$
Cardeado, máquina 3	Gamma	$\alpha=1.9925$ $\beta=0.05565$
Encojinado	Lognormal	$\sigma=0.37727$ $\mu=-3.0061$
Armado	Lognormal	$\sigma=0.37919$ $\mu=-2.9711$
Encamisado	Lognormal	$\sigma=0.49988$ $\mu=-3.2987$
Vulcanizado	Lognormal	$\sigma=0.24103$ $\mu=1.6523$
Pintura	Lognormal	$\sigma=0.35435$ $\mu=-4.5087$
Calidad	Lognormal	$\sigma=0.28692$ $\mu=-2.9067$

Tabla 3.5 "Ajuste de distribuciones"

Fuente: elaboración propia

Además de esta información, para la construcción del modelo también se necesitó:

- el porcentaje de llantas rechazadas;
- el porcentaje de llantas que necesita re proceso;
- el porcentaje de llantas que necesita re trabajo;
- el porcentaje de llantas que pasa por el área de reparación; y
- la cantidad de llantas que entra al sistema.

Los tres primeros porcentajes se obtuvieron directamente de la información estadística de la empresa mostrada en el punto 3.3.2 (Tabla 3.4).

- Porcentaje de llantas rechazadas: 25.6 %
- Porcentaje de llantas con re proceso: 2.49 %
- Porcentaje de llantas con re trabajo: 4.19 %

El porcentaje de llantas que pasa por el área de reparación se obtuvo con ayuda del jefe de producción y el jefe de calidad, obteniéndose un 30 %.

Con respecto a la información de las llantas que entran al sistema, es conveniente mencionar que la información que se necesita en específico es la distribución de probabilidad que sigue la llegada de llantas al sistema, no refiriéndose a la llegada de llantas a la empresa, sino a las llantas que pueden entrar directamente al proceso de producción (desde inspección inicial). Para esto, fue importante considerar que de las distribuciones de probabilidad posibles, la distribución exponencial describe el tiempo que pasa entre la ocurrencia de dos eventos (con distribución Poisson) y de la literatura se sabe que esta distribución es útil para representar el tiempo entre la llegada de individuos a la cola de un sistema, por lo que se decidió utilizar esta distribución. El parámetro que se requiere en el programa para describir la actividad es la media de la distribución, que representa el tiempo promedio que transcurre entre la llegada de las llantas (cada cuánto llega una llanta).

Para calcular esta media, o tiempo que transcurre entre la llegada de las llantas, se realizó lo siguiente:

1. Se obtuvo el promedio mensual de las llantas que se producen en la empresa más las llantas que son rechazadas (esto se hizo para considerar a todas las llantas que llegan a la empresa, ya que las llantas que son rechazadas, antes de serlo entran al sistema, es decir al proceso de producción);

MES	PRODUCCION	RECHAZOS	LLANTAS QUE LLEGAN AL MES
ENERO	6634	1914	8548
FEBRERO	6400	2078	8478
MARZO	7022	2412	9434
ABRIL	6044	1817	7861
MAYO	6591	1935	8526
JUNIO	7416	2510	9926
JULIO	6834	2999	9833
AGOSTO	6987	2894	9881
<b>PROMEDIO</b>	<b>6741</b>	<b>2320</b>	<b>9061</b>

Tabla 3.6 "Llantas que llegan al mes"

Fuente: elaboración propia con base en la información estadística de la empresa

2. Se realizó un promedio de los días laborables por mes y se dividió el promedio mensual de las llantas que llegan a la empresa (calculado en el punto anterior) entre el promedio de días laborables, para obtener el promedio de llantas que llega al día. Para asegurar la entrada continua de llantas, se estimó duplicar dicho promedio (antes de esta estimación se probó con diferentes proporciones), ya que se observó que tomando las estadísticas de lo producido, se limita al modelo a poder producir máximo 419 llantas, que es el promedio por día obtenido, mientras que en la realidad la empresa tiene un flujo constante de llantas provenientes del almacén (ya sea de pedidos atrasados, o llantas renovadas a partir de cascos comprados en el extranjero, esto último se explicó al término del punto 1.1.2);

MES	LLANTAS QUE LLEGAN AL MES	DÍAS LABORABLES	LLANTAS QUE LLEGAN AL DÍA
ENERO	8548	22	389
FEBRERO	8478	20	424
MARZO	9434	22	429
ABRIL	7861	22	357
MAYO	8526	21	406
JUNIO	9926	22	451
JULIO	9833	23	428
AGOSTO	9881	21	471
PROMEDIO	9061	22	419
Duplicado:			<b>838</b>

Tabla 3.7 "Llantas que llegan al día"

Fuente: elaboración propia con base en la información estadística de la empresa

3. Se obtuvo el promedio de llantas que llegan por hora, dividiendo el promedio de llantas que llegan por día, entre las horas trabajadas por día, 21 (se acordó este número de horas desde la recolección de los datos, Tabla 3.2);

LLANTAS QUE LLEGAN AL DÍA	LLANTAS QUE LLEGAN POR HORA
838	40

Tabla 3.8 "Llantas que llegan por hora"

Fuente: elaboración propia

4. Finalmente para determinar cada cuántos minutos llega una llanta, se dividió 60 (minutos) entre las 40 llantas que llegan por hora;

LLANTAS QUE LLEGAN AL DÍA	LLANTAS QUE LLEGAN POR HORA	CADA CUÁNTOS MINUTOS LLEGA UNA LLANTA
838	40	1.5036

Tabla 3.9 "Cada cuántos minutos llega una llanta"  
Fuente: elaboración propia

5. Para fines prácticos se convirtió el tiempo en horas, por lo que se dividieron los minutos entre 60;

CADA CUÁNTOS MINUTOS LLEGA UNA LLANTA	PROPORCIÓN EN HORAS
1.5036	0.0251

Tabla 3.10 "Proporción en horas para la llegada de llantas"  
Fuente: elaboración propia

Con lo anterior, finalmente se obtuvo que una llanta sale del almacén para pasar al área de inspección inicial cada 0.0251 de hora.

### 3.5.2. Desarrollo del modelo programado

Para la construcción del modelo en el programa de cómputo (SIMIO) es necesario explicar algunos conceptos del programa.

SIMIO es un software de modelado y simulación en el que los modelos se construyen combinando objetos que representan a los componentes físicos o reales del sistema a modelar. Como se mencionó anteriormente, el sistema completo se modela al describir todos los objetos que lo componen.

Los objetos que el software maneja dentro de la librería estándar son:

1. *Fixed* (Fijo): tienen una localización fija en el sistema, estos pueden ser máquinas o estaciones de trabajo, entre otros;
2. *Entity* (Entidad): define a un objeto dinámico que puede ser creado y destruido, que se mueve a través de toda la red de *links* o nodos y puede entrar y salir de los objetos fijos, en este caso los *entitys* son las llantas que entran al sistema de producción;
3. *Link* (Enlace): este tipo de objetos proveen una vía por la cual las entidades pueden moverse;
4. *Node* (Nodo): definen una intersección entre dos o más *links*, pero también pueden asociarse a objetos fijos;
5. *Transporter* (Transporte): este tipo de objetos define un tipo de identidad que puede llevar y dejar a otras entidades en los nodos.

Dentro de todos los tipos de objetos, estos son los más comunes y los que se encuentran en la librería estándar también:

- *Source* (Entrada): genera entidades con un patrón de tiempo de llegada;
- *Sink* (Salida): se destruyen las entidades que han terminado el proceso;
- *Server* (Servidor): representan un proceso, como una máquina de trabajo;
- *Workstation* (Estación de trabajo): representa una estación de trabajo compleja, que cuenta con fases de montaje, desmontaje, recursos secundarios y necesidades de material;
- *Combiner* (Mezclador): combina varias entidades junto con una entidad matriz, por ejemplo 4 patas y 1 tablero para formar una mesa;
- *Separator* (Separador): divide un grupo de entidades por lotes o puede realizar copias de una entidad;
- *Vehicle* (Vehículo): es un vehículo que puede seguir una ruta fija o seguir una ruta con base en la demanda de recogida y de entrega;
- *Worker* (Trabajador): es un recurso móvil que puede ser aprovechado para el transporte de entidades entre nodos o que puede ser requerido para estar presente en otras actividades;
- *BasicNode* (Nodo básico): intersección simple entre múltiples links;
- *TransferNode* (Nodo de transferencia): intersección para cambiar el destino o modo de viaje;
- *Path* (Camino o vía): vía por la que la entidad puede moverse independientemente;
- *TimePath* (Camino por tiempo): vía por la que la entidad viaja a una determinada velocidad.

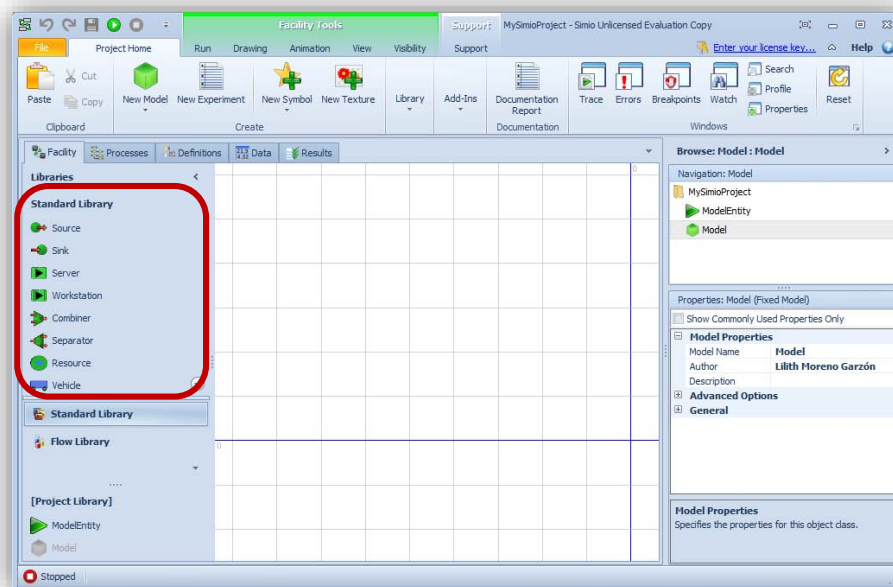


Figura 3.6 "Objetos en librería estándar"

Fuente: Interfaz gráfica al usuario de SIMIO (*Simulation Modeling based on Intelligent Objects*)

A partir del modelo conceptual, se construyó la representación del sistema en el software. Los objetos utilizados para modelar el sistema de producción de la empresa (proceso de renovado), son los siguientes:

**Entity.** El *entity*, que es dado por default en el programa, representará a las llantas que son renovadas en el proceso (salen del almacén y pasan por todas las actividades).

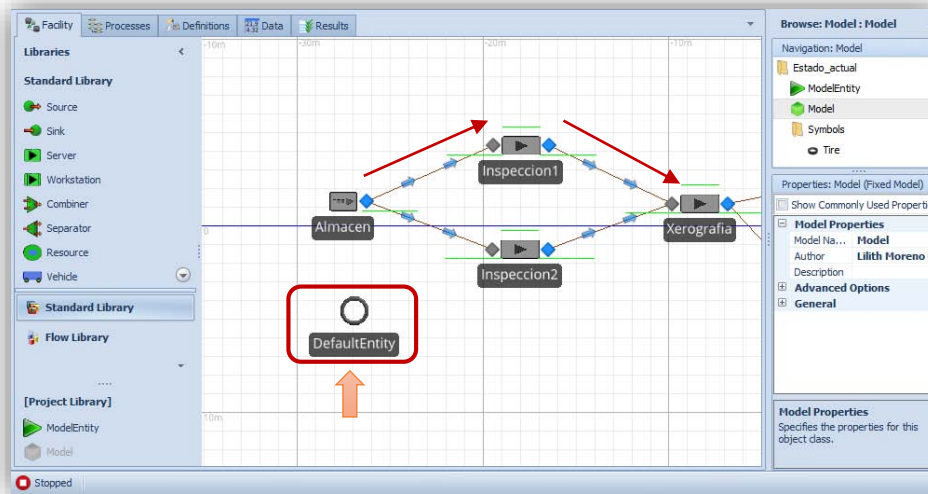


Figura 3.7 "Entity - Llanta"

Fuente: elaboración propia utilizando SIMIO (Simulation Modeling based on Intelligent Objects)

**Source.** La entrada de las llantas es impuesta por el almacén de la empresa, mismo que en el modelo es representado por una entrada "source". La descripción del "source" requiere la asignación del tiempo de llegada de las entidades "Interarrival Time", que es obtenido del procedimiento visto en el punto (3.5.1), así se asigna una distribución de probabilidad para el tiempo que sigue la llegada de las llantas al proceso, es decir cada cuanto tiempo el almacén le surtirá las llantas o entidades a la primera actividad que es inspección inicial.

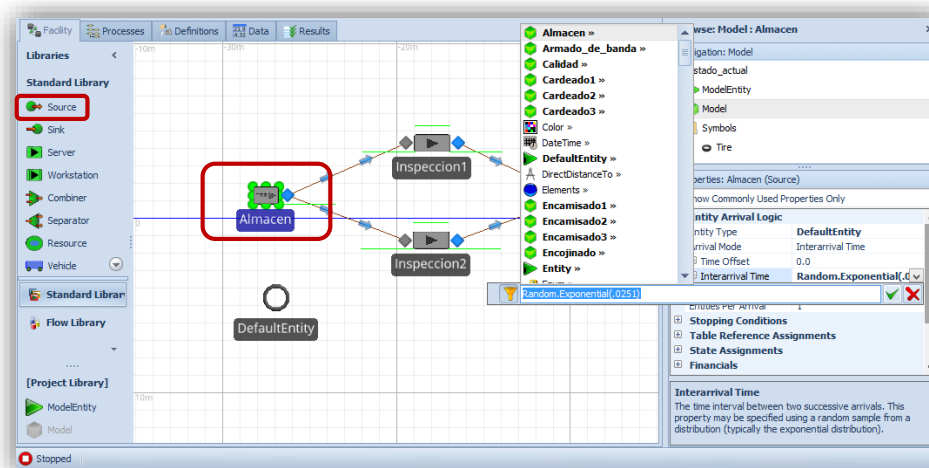


Figura 3.8 "Source - Almacén"

Fuente: elaboración propia utilizando SIMIO (Simulation Modeling based on Intelligent Objects)

**Server.** Para modelar cada actividad del proceso (inspección inicial, xerografía, raspado, etc.) se utilizaron servidores "server". La descripción de cada servidor requiere una asignación de la distribución de probabilidad "Processing Time" que deberá seguir el tiempo de procesamiento en

cada actividad (Tabla 3.5), así como la unidad de tiempo, en este caso horas. Otra característica dada a los servidores es “*initial capacity*”, que permite colocar servidores en paralelo, es decir si para alguna actividad en específico se requieren dos máquinas, la “*initial capacity*” será 2, pero el tiempo de procesamiento para cada servidor en paralelo será el mismo, en caso de requerir máquinas en paralelo con tiempos de procesamiento diferentes, deberán colocarse dos servidores independientes con distribuciones de probabilidad distintas.

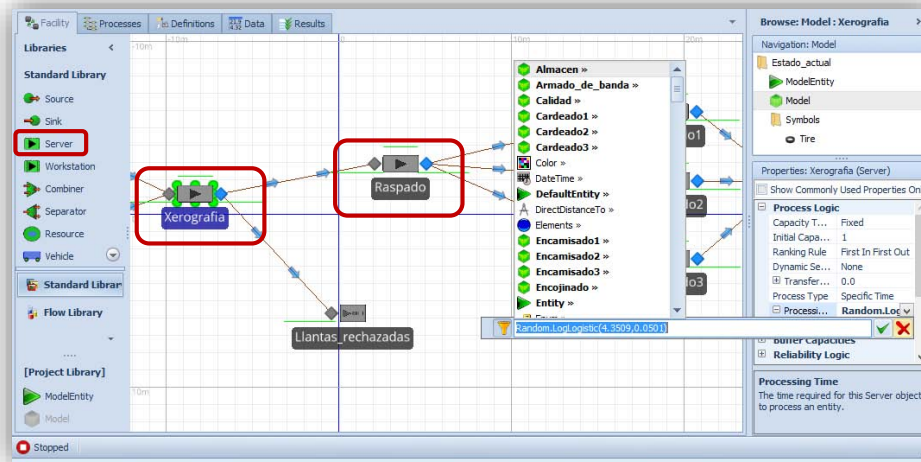


Figura 3.9 “Server - Actividades”

Fuente: elaboración propia utilizando SIMIO (Simulation Modeling based on Intelligent Objects)

**Path.** La unión de cada actividad con la siguiente, así como la unión de la entrada y salida del proceso se hizo con un “*path*” o camino simple. La descripción que se dio a los “*path*” solamente fue “*Selection Weight*” que representa el porcentaje de entidades que pasarán por el camino, esto se usa cuando partiendo de un nodo salen 2 o más caminos, por lo que es necesario darle un peso o porcentaje a cada camino, si solamente es un camino el porcentaje será de 1.

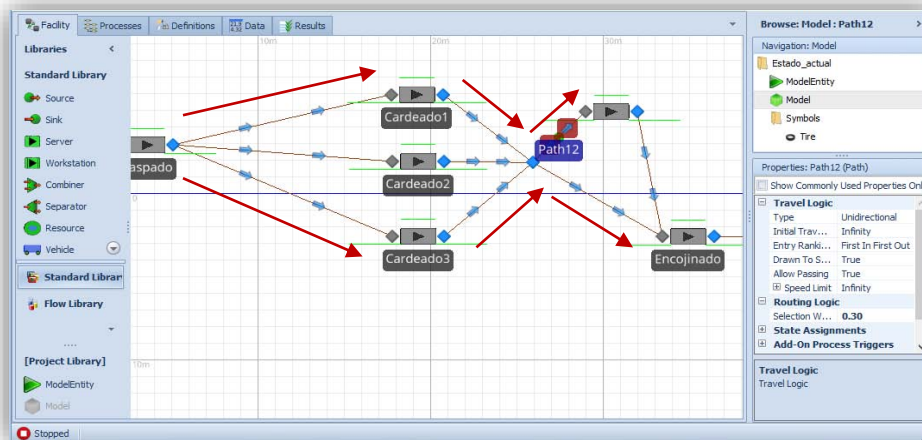


Figura 3.10 “Path - Camino”

Fuente: elaboración propia utilizando SIMIO (Simulation Modeling based on Intelligent Objects)

**Sink.** Como se vio en la breve descripción de los objetos, el “*sink*” o salida sirve para destruir las entidades que han terminado su proceso, es decir, funciona como un depósito donde terminan las



llantas que han pasado por las distintas actividades del proceso. Para el modelo del proceso de renovado se utilizaron 4 salidas:

- La primera y más evidente, es la salida de las llantas que han terminado todo el proceso, pasando por el área de calidad y dictaminadas como llantas renovadas buenas, es decir que no necesitaron de re trabajo o re proceso;
- También se utilizó una salida para poder contabilizar las llantas que terminaron todo el proceso pero que necesitan un re trabajo, esto es posible asignándole el porcentaje visto en el punto 3.5.1 al camino o “*path*” que une al servidor que representa a calidad con la salida de llantas con re trabajo;
- De la misma manera que para las llantas con re trabajo, se necesitó una salida para las llantas que necesitan re proceso;
- Otra salida necesaria fue la correspondiente a las llantas que son rechazadas al pasar por el área de inspección inicial y xerografía, el porcentaje de llantas que son rechazadas también se vio en el punto 3.5.1.

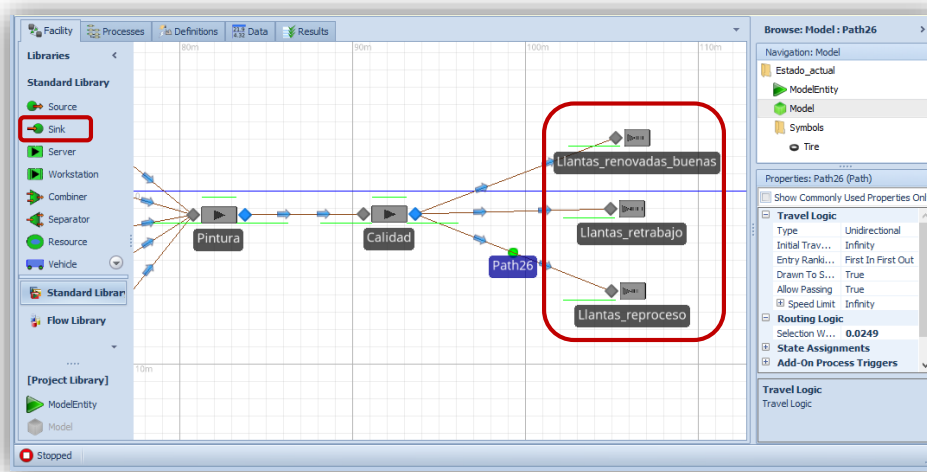


Figura 3.11 “Sink – Salidas del proceso”

Fuente: elaboración propia utilizando SIMIO (*Simulation Modeling based on Intelligent Objects*)

A continuación, se detallará otra consideración hecha para la construcción del programa.

En primer lugar, un aspecto importante es el camino que las llantas o entidades en el modelo deben seguir al salir de un servidor y entrar a otro, cuando en la actividad siguiente hay más de una máquina o servidor, la decisión de qué camino debe tomar la entidad se debe especificar en el modelo.

La regla de decisión usada en el modelo será: la entidad deberá dirigirse al servidor que no tenga entidades o llantas en cola o en su defecto al servidor que tenga menos cola.

Aunque se mencionó al principio de este apartado que el software elegido permitía que usuarios sin conocimientos en programación pudieran modelar, existen algunas cuestiones que necesitan una modelación en la descripción de los objetos más profunda. Para lograr lo mencionado en la regla de decisión es necesario el uso de listas.

**Uso de las listas.** SIMIO tiene la opción de crear listas de nodos para ser utilizadas en la programación del modelo. De esta manera, lo que se hizo fue crear listas de los nodos de entrada para los servidores de una misma actividad, cuando esta actividad requería más de un servidor (en la realidad cuando la actividad dispone de más de una máquina). Por ejemplo, para el caso de encamisado donde hay 3 máquinas disponibles, se creó una lista con los nodos de entrada de los 3 servidores que representan las 3 máquinas de encamisado.

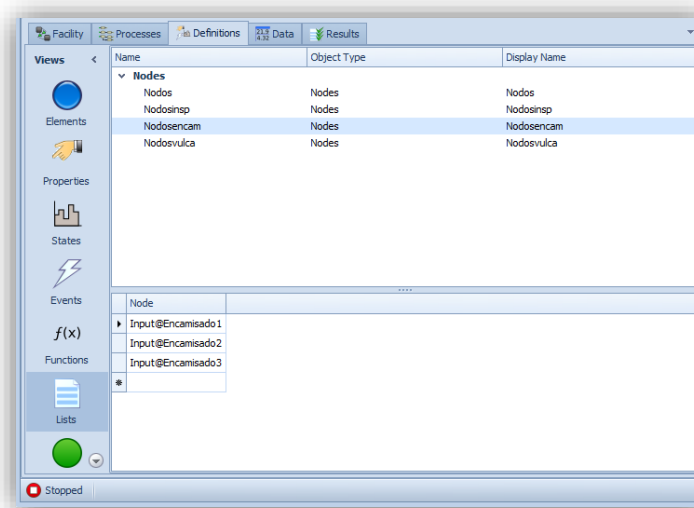


Figura 3.12 "Creación de listas"

Fuente: elaboración propia utilizando SIMIO (*Simulation Modeling based on Intelligent Objects*)

El uso posterior de las listas creadas se da al modelar el servidor anterior, es decir en el nodo de salida del servidor en el que la entidad deberá decidir a qué servidor dirigirse después.

La forma de utilizar estas listas es indicando en dicho nodo de salida la lógica de la ruta "Routing Logic", seleccionando el destino de la entidad "Entity Destination Type" como "Select From List" y posteriormente eligiendo la lista de nodos que corresponda en "Node List Name", después de esto debe seleccionarse la opción de "Smallest Value" en la meta de selección "Selection Goal", para finalmente especificar la expresión que deberá seguir la ruta del objeto dinámico (lanta o entidad), la expresión utilizada es la siguiente: *Candidate.Node.AssociatedStationload*.

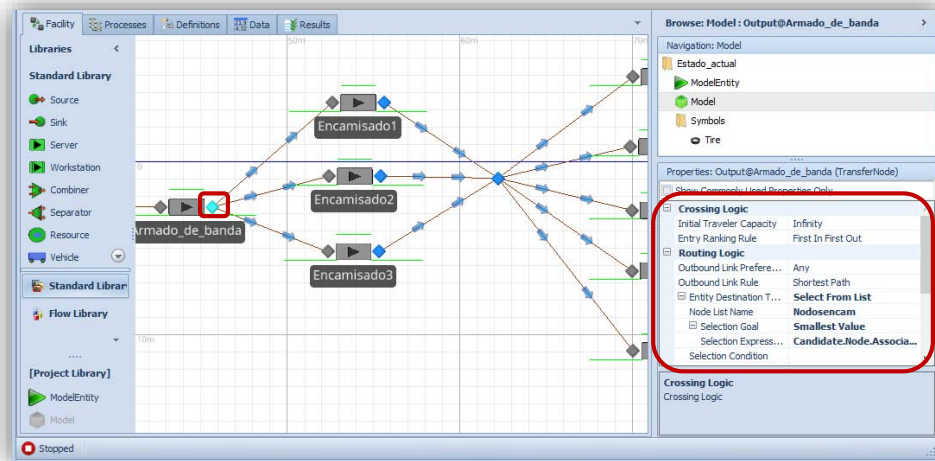


Figura 3.13 "Uso de listas"

Fuente: elaboración propia utilizando SIMIO (*Simulation Modeling based on Intelligent Objects*)

Siguiendo lo anterior se logra lo buscado, que cuando una llanta salga de un servidor para dirigirse a una actividad donde hay más de un servidor o máquina, se dirija al servidor que no tenga cola o tenga la cola más corta.

Con la información necesaria descrita en este punto y la descripción del uso del software para el desarrollo del programa, se construyó el modelo de simulación del proceso de renovado.

### 3.5.3. Verificación

Para asegurar que en el modelo programado realmente se establecen las especificaciones del modelo conceptual y que se vacían los datos recolectados de manera correcta, se utilizaron distintas técnicas de verificación, obtenidas de Flores y Elizondo (2006).

**Técnica 1.** Desarrollo del modelo de simulación en módulos.

Para verificar que el modelo arrojará los resultados que se esperaban e impedir que hubiera algún error en las especificaciones de las actividades, se fue realizando el modelo por módulos, para poder analizarlo por partes. De esta manera la construcción del modelo se dio de la siguiente forma:

1. construcción del modelo inicial, considerando solamente desde el almacén hasta xerografía;
2. añadir al módulo anterior las actividades siguientes hasta llegar a la actividad de encojinado, es decir, contemplando del almacén a encojinado;
3. finalmente, agregar las actividades faltantes, desde almacén hasta la salida de las llantas en el área de calidad.

La verificación es una parte muy importante de la metodología de simulación, ya que al igual que la validación del modelo conceptual sirve para realizar ajustes al modelo del sistema. En la parte de la verificación salen a la luz consideraciones que no se toman en cuenta en la conceptualización del

modelo pero que sí es necesario tomar en cuenta en la programación del mismo, ya que cabe aclarar, no es necesario que exista una correspondencia uno a uno entre el sistema real y el modelo de simulación, de tal forma que puede haber ajustes en el modelo una vez que ya se tiene programada una parte y se observan los resultados.

**Técnica 2.** Correr la simulación para varios escenarios.

Otra manera en la que se verificó el modelo programado fue realizando distintos escenarios, cambiando los siguientes parámetros:

- cambiando el ajuste de la distribución para los tiempos de servicio de cada actividad, es decir, eligiendo una distribución distinta, pero que también fuera aceptable, mediante pruebas estadísticas y observando los resultados arrojados por el programa;
- cambiando la distribución de la llegada de las llantas;
- cambiando el tiempo para las corridas del modelo; y
- llevando al límite los porcentajes de rechazos, de re proceso y de re trabajo.

### *3.6. Validación del modelo programado*

Flores y Elizondo (2006) señalan que la validación sirve para probar que un modelo representa de manera suficientemente aproximada al fenómeno real (en este caso al proceso de producción de la empresa), que además, este modelo deber ser creíble para que el usuario final (en este caso el personal de la empresa) acepte el modelo y lo utilice como auxiliar en la toma de decisiones.

Para la validación del modelo se decidió junto con el personal de la empresa, correr el modelo con el número de máquinas y operarios que se considera “ideal” para la operación de la empresa, este escenario “ideal”, es el utilizado la mayor parte del tiempo o de donde se parte para hacer las modificaciones que la empresa considera (como poner en operación una máquina más de cierta actividad o poner varios operarios en una misma actividad, cuando la demanda de la empresa aumenta). Este escenario ideal, se considerará de aquí en adelante escenario 1 y fue el que se utilizó para validar el modelo con los datos de la producción del mes de diciembre. Como se mencionó anteriormente, la empresa cuenta con un sistema de escaneo de marbetes y una de las estaciones de trabajo donde se cuenta con el equipo para escanear es calidad, por lo que se obtuvieron los datos del monitoreo de las llantas renovadas que salen del área de calidad. En la Tabla 3.11 se muestran los recursos del escenario 1.

Actividad	Máquinas o estaciones de trabajo	Operarios
Inspección inicial	2 máquinas	2
Xerografía	1 máquina	1
Raspado	1 máquinas	1
Cardeado	3 estaciones de trabajo	3
Reparación	3 estaciones de trabajo	3
Encojinado	1 máquina	1
Armado	1 máquina	1
Encamisado	3 máquinas	3
Vulcanizado	5 máquinas: 4 grandes y 1 pequeña	1
Pintura	1 estación de trabajo	1
Calidad	1 máquina	1

Tabla 3.11 "Recursos escenario 1"  
Fuente: elaboración propia

El escenario 1 se corrió 30 veces, es decir para 30 días diferentes y esto se comparó con los datos de producción de la empresa del 1 de diciembre de 2015 al 15 de enero de 2016 para contemplar los 30 días laborales.

Como técnica de validación se decidió usar la prueba no paramétrica Ji Cuadrada, que entre otras cosas ayuda a evaluar si una determinada distribución representa a la distribución real de una muestra de datos.

A continuación se detallará el proceso de validación con la prueba no paramétrica Ji Cuadrada.

### Distribuciones

Se toma como partida la distribución esperada de los datos, que en este caso es la distribución de la producción del 1 de diciembre de 2015 al 15 de enero de 2016, en la Tabla 3.12 se muestran dichos datos de manera agrupada.

Tomando el número de clases como aproximación de  $\sqrt{n}$ , donde n es el tamaño de la muestra, número de clases =  $5.4 \approx 5$

La longitud de clase =  $\frac{\text{Rango}}{\text{núm. de clases}}$  , donde el rango es el máximo valor menos el mínimo valor,  
 longitud de clase =  $\frac{275-236}{5} = 7.8 \approx 8$

Con el número de clases aproximado (5) y la longitud de clase obtenida, se construye la siguiente tabla.

Límites		Frecuencia
Inferior	Superior	
236	243	9
244	251	5
252	259	6
260	267	6
268	275	4
Total		30

Tabla 3.12 "Distribución esperada – producción real"  
 Fuente: elaboración propia

Por otro lado, se tienen los resultados de la simulación de 30 días del escenario 1, como el rango de dichos datos es diferente, valor máximo = 269 y valor mínimo = 232, se adecuaron las clases para representar la distribución de ambas frecuencias, tomando como valor máximo 275 (de la producción real) y como mínimo 232 (de la simulación), para poder incluir todos los datos del número de llantas producidas tanto en la simulación como en la planta de manera real.

El número de clases sigue siendo el mismo, 5.

Longitud de clase =  $\frac{275-232}{5} = 8.6 \approx 9$

Límites		Frecuencia esperada (datos reales)	Frecuencia observada (datos simulados)
Inferior	Superior		
232	240	7	5
241	249	5	8
250	258	8	10
259	267	6	6
268	276	4	1
Total		30	30

Tabla 3.13 "Distribución esperada (producción) y observada (simulación)"  
 Fuente: elaboración propia

Para poder realizar la prueba Ji Cuadrada es recomendable que las frecuencias sean al menos de 5, por lo que se tuvieron que ajustar nuevamente las clases adyacentes para crear una nueva distribución de frecuencias.

Límites		Frecuencia esperada (datos reales)	Frecuencia observada (datos simulados)
Inferior	Superior		
232	240	7	5
241	249	5	8
250	258	8	10
259	276	10	7
Total		30	30

Tabla 3.14 "Distribución esperada y observada ajustada"  
Fuente: elaboración propia

## Hipótesis

En primer lugar, se debe plantear la hipótesis que se quiere probar:

$H_0$ : los datos simulados se ajustan a la distribución real

$H_1$ : los datos simulados no se ajustan a la distribución real

En esta prueba lo que se busca es rechazar la hipótesis nula ( $H_0$ ) con un nivel de significancia  $\alpha$ , definiendo un valor crítico  $X_{\alpha}^2$  para el rechazo de la hipótesis nula propuesta.

Con una  $\alpha = 0.05$  y con 3 grados de libertad ( $v = k - r - 1$ , donde  $k$  es el número de clases y  $r$  es la cantidad de parámetros de la distribución que deben estimarse a partir de la muestra), de las tablas de Ji Cuadrada se tiene un valor crítico de:

$$X_{\alpha}^2 = 7.8147$$

## Cálculo del estadístico de prueba

Para poder comparar ese valor crítico, el estadístico de prueba es el siguiente.

$$X^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(o_i - e_i)^2}{e_i}$$

Donde  $O$  es la frecuencia observada,  $e$  la frecuencia esperada y  $k$  el número de clases.

De esta manera, se calculó el estadístico de prueba quedando como sigue.

Límites		Frecuencia esperada	Frecuencia observada	Estadístico
Inferior	Superior			
232	240	7	5	0.5714
241	249	5	8	1.8000
250	258	8	10	0.5000
259	276	10	7	0.9000

$$X^2 = 3.7714$$

Tabla 3.15 "Cálculo del estadístico de prueba"  
Fuente: elaboración propia

## Decisión

Como el estadístico de prueba con valor de 3.7714 no es mayor que el valor crítico de 7.8147 no hay suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula de que los datos simulados se ajustan a la distribución real.

Dicho de otra forma, los datos simulados se ajustan de manera suficientemente buena a los datos reales. Como se dijo al inicio de este apartado, la validación sirve para probar que el modelo, en este caso del proceso de renovado, representa de manera suficientemente aproximada al fenómeno real, es decir a la producción real de las llantas. Por lo que, para fines del proyecto de simulación y bajo la autorización de los dueños directores de la empresa junto con el jefe de producción, con esto queda validado el modelo programado y se acepta su uso en el análisis del proceso productivo.

### *3.7. Diseño y tamaño de las diferentes corridas del modelo*

En este apartado se tratarán dos puntos importantes; uno, el diseño de las diferentes corridas para poder cumplir con el objetivo del presente trabajo; dos, convenir en el número de corridas que se realizarán con el modelo.

De acuerdo con el objetivo de la simulación y a las preguntas a las que se busca dar respuesta con la investigación (punto 3.1.2), los principales cambios al escenario 1, deberán ser tales que ayuden a lo siguiente:

- conocer la capacidad instalada de la planta;
- ubicar el cuello de botella;
- mejorar el proceso tratando con el cuello de botella;
- tomar acciones respecto a la utilización de las máquinas para la reasignación de los operarios y la utilización de las máquinas o estaciones de trabajo disponibles; y
- controlar los horarios de trabajo de tal forma que pueda cumplirse con la producción.

De esta manera como se verá en el punto 4, el análisis de los resultados lleva a la modificación del escenario 1, dando pie a considerar:



- el cambio del número de máquinas utilizadas en las actividades del proceso;
- el cambio en los horarios de trabajo;
- el aumento de estaciones de trabajo para las actividades que lo permiten;
- el cambio en el tiempo de proceso para algunas actividades.

Por otro lado, para convenir en el número de corridas del modelo, como se dijo anteriormente las corridas se realizaron por día, es decir en el software se corrió el modelo de simulación para un día de 21 horas, contemplando los dos turnos de trabajo. En la validación del modelo se corrió el modelo 30 veces (para 30 días distintos), el comportamiento de los resultados en cuanto a las llantas renovadas por día es el siguiente:

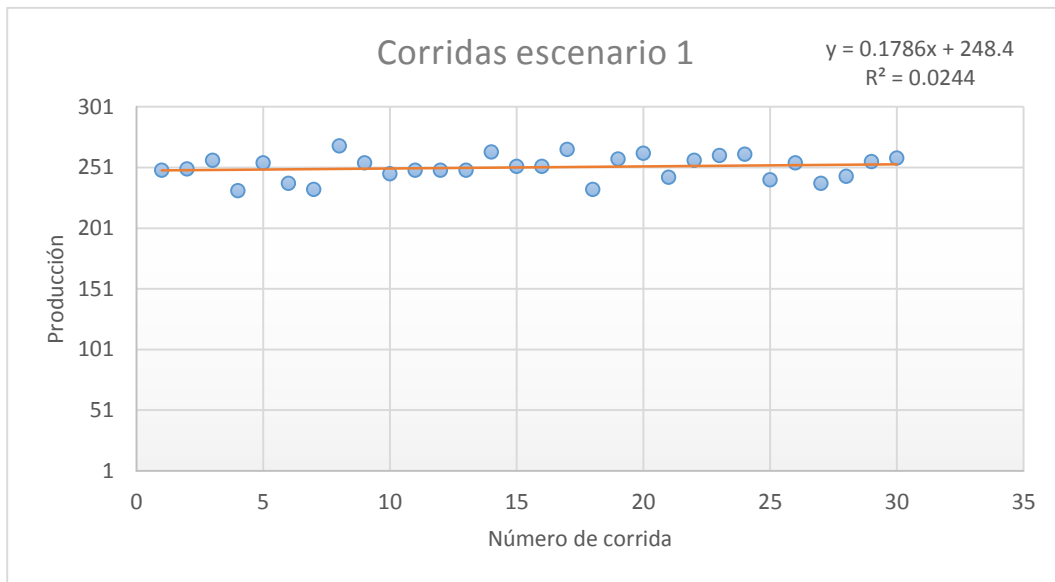


Figura 3.14 "Corridas – escenario 1"  
Fuente: elaboración propia

De la Figura 3.14 puede observarse la estabilidad de los datos, que no es raro imaginarse si también comparamos la distribución de frecuencias de los datos reales de la producción del punto 3.6 de validación.

Por otra parte, algunas medidas de los datos presentados son los siguientes:

$$\bar{x} = 251$$

$$\sigma = 10.08$$

$$\sigma^2 = 101.52$$

Por definición la desviación estándar es una medida del grado de dispersión de los datos con respecto a la media, es un promedio de las desviaciones individuales para cada observación con

respecto a la media obtenida de la muestra. De esta manera, de las medidas mostradas puede decirse que la dispersión de los datos con respecto a la media, es pequeña, ya que en promedio la desviación de cada dato (cada día simulado) con respecto a la media (producción media en la simulación) es de 10.08 unidades o llantas.

De lo anterior y en colaboración con el personal de la empresa, se consideró conveniente simular los escenarios 30 veces.

### *3.8. Resultados de la simulación*

A continuación se presentarán los resultados de la simulación para el escenario 1, se mostrará el promedio de las llantas producidas para las 30 corridas de un día de 21 horas.

Para la simulación del modelo se contempló el número de máquinas descritas en la tabla 3.11 y la información usada en el modelo es la descrita en el punto 3.5.1.

De los resultados que arroja el programa de simulación, se decidió contemplar:

- porcentaje de utilización de cada máquina;
- porcentaje que cada máquina estuvo parada;
- tiempo que tarda en promedio cada estación en procesar una llanta;
- unidades producidas por máquina o estación de trabajo; y
- unidades producidas por actividad.

En el siguiente punto se llevará a cabo el análisis de dichos resultados, así como el planteamiento de nuevos escenarios y su correspondiente análisis.

Actividad	Máquina estación	Porcentaje de utilización %	Porcentaje detenida %	tiempo de proceso (horas)	Unidades producidas por estación	Unidades producidas por actividad
Inspección inicial	1	99.88	0.12	0.0813	258	551
	2	99.72	0.28	0.0712	294	
Xerografía	1	99.60	0.40	0.0549	380	380
Raspado	1	97.79	2.21	0.0628	326	326
Cardeado	1	86.97	13.03	0.1632	111	324
	2	73.98	26.02	0.1381	112	
	3	52.93	47.07	0.1110	100	
Reparación	1, 2 y 3	97.56	2.44	1.9537	30	30
Encojinado	1	64.03	35.97	0.0530	253	253
Armado	1	66.08	33.92	0.0549	252	252
Encamisado	1	40.83	59.17	0.0416	206	253
	2	8.71	91.29	0.0411	44	
	3	0.42	99.58	0.0401	2	
Vulcanizado	1	97.50	2.50	5.2034	52	251
	2	96.96	3.04	5.2764	51	
	3	96.44	3.56	5.2457	51	
	4	95.98	4.02	5.2649	50	
	5	95.54	4.46	5.2580	47	
Pintura	1	14.04	85.96	0.0117	251	251
Calidad	1	68.15	31.85	0.0572	251	251

Cada llanta se procesa en promedio 9.72 horas.

Tabla 3.16 "Resultados-escenario1"  
Fuente: elaboración propia

# IV. Análisis de resultados y experimentación

En este apartado se realiza el análisis de los resultados obtenidos para dar luz a la conclusión del trabajo. Se presentará el análisis del escenario 1 para la producción de la empresa, después de dicho análisis se realiza una propuesta de nuevos escenarios de acuerdo con lo contemplado en el punto 3.7 de diseño de experimentos; posteriormente se analizan también los nuevos escenarios para poder establecer políticas que ayuden a la administración de los recursos, al mismo tiempo que se logre aumentar la producción.

## 4.1. Análisis de resultados del escenario 1

Para analizar los resultados primero se debe tomar en cuenta qué se buscaba obtener con la simulación, en este caso entre otras cosas, conocer el cuello de botella, la capacidad instalada de la planta, el porcentaje de utilización de las máquinas o estaciones de trabajo, para poder mejorar la eficiencia del proceso y dar políticas para la administración de los recursos.

De los resultados presentados en el punto 3.8, se mostró la producción de unidades por estación y por actividad, de donde se puede obtuvo lo siguiente:

Actividad	Unidades producidas por actividad
Inspección	551
Xerografía	380
Raspado	326
Cardeado	324
Reparación	30
Encojinado	253
Armado	252
Encamisado	253
Vulcanizado	251
Pintura	251
Calidad	251

Tabla 4.1 "Producción por actividad – escenario 1"  
Fuente: elaboración propia

Se puede observar en primer lugar, que la actividad de inspección inicial tiene una producción muy grande comparada con las demás actividades. Esto es debido a que el tiempo promedio de operación de cada llanta en esa actividad es muy baja y considerando que la empresa tiene un abasto de llantas continuo, es decir hay un flujo de llantas del almacén a inspección inicial constante, esta actividad no se ve limitada por ninguna que le anteceda; lo dicho anteriormente sumado al corto tiempo que esta actividad tarda en procesar las llantas, hace que esta actividad tenga la capacidad de producir en mayor proporción a las demás actividades.

De lo anterior es evidente que hay una disminución de la producción de inspección inicial a xerografía. Una causa se explicó en el párrafo anterior y es por la capacidad que tiene la primera actividad de procesar las llantas en mayor proporción y dos, porque xerografía es una actividad que necesita de una máquina en específico y la empresa sólo cuenta con una, a pesar de eso la producción mostrada en la Tabla 4.1 es el promedio de llantas que se produjeron en esta actividad, pero el máximo de llantas producidas se verá más adelante al deducir la capacidad instalada de la planta.

De xerografía a raspado también hay una disminución de la producción, pero en contraste con la actividad de xerografía, en la actividad de raspado sí se pueden realizar cambios en la tasa de producción, ya que como se mencionó anteriormente la empresa cuenta con 3 máquinas de raspado (es importante recordar que la simulación se realizó con 1 máquina, por considerar un escenario ideal para el personal de la empresa, más a delante se harán las modificaciones convenientes).

Xerografía	Raspado
380	326



Disminución del 14.21%

Tabla 4.2 "Disminución de la producción 1"

Fuente: elaboración propia

Al pasar de la actividad de Raspado a Cardeado puede observarse que la producción casi se mantiene, pasando de 326 a 324 unidades procesadas.

Antes de analizar qué sucede en el área de reparación, es importante recapitular lo mencionado de esta actividad:

- en primer lugar, que fue la única actividad para la cual no pudieron tomarse los tiempos de trabajo, por consideraciones técnicas (alcance de las cámaras de la empresa) y de recursos (tiempo), punto 3.3.2;
- en segundo lugar, que el tiempo de trabajo fue estimado con ayuda de las estadísticas de la empresa y de algunas consideraciones hechas por el personal de la misma, punto 3.3.2;
- por último, que esta actividad no es esencial para todas las llantas, es una actividad opcional, solamente las llantas que presentan daños mayores pasan al área de reparación,

las llantas que a consideración de los operarios, no presentan daños fuertes pasan directamente del área de cardeado a encojinado; se consideró, como se mencionó anteriormente, que un 30% de las llantas pasan por el área de reparación.

Por lo dicho anteriormente, se analizará el paso de la actividad de cardeado a encojinado, ya que finalmente todas las llantas que pasan por el área de reparación posteriormente también se dirigen al área de encojinado. El cambio en la producción al pasar al área de encojinado es la siguiente.

Cardeado	Encojinado
324	253

Disminución del 21.91%

Tabla 4.3 "Disminución de la producción 2"  
Fuente: elaboración propia

Esta disminución se debe en primer lugar, a que el tiempo de trabajo necesario para realizar la reparación de las llantas es mucho mayor al tiempo de trabajo para todas las otras actividades por las que pasa la llanta para ser renovada.

#### *4.2. Detección y tratamiento del cuello de botella*

Es conveniente comenzar diciendo que de acuerdo con la "Teoría de las limitaciones" expuesta por E. Goldratt (1993), el cuello de botella de un proceso productivo se define como cualquier recurso cuya capacidad es menor a su demanda, es una restricción del sistema que limita la producción; por otro lado, se considera que el cuello de botella marca el ritmo de la producción, es decir, en un proceso es el punto donde el caudal se adelgaza y marca la tasa de producción.

Del análisis de la disminución de la producción hecho para las actividades anteriores, se puede observar que el cuello de botella se encuentra antes de pasar al área de encojinado, es decir que el área de reparación limita la cantidad de unidades producidas, al no permitir que una cantidad mayor de llantas pase del área de cardeado (actividad que el antecede) al área de encojinado.

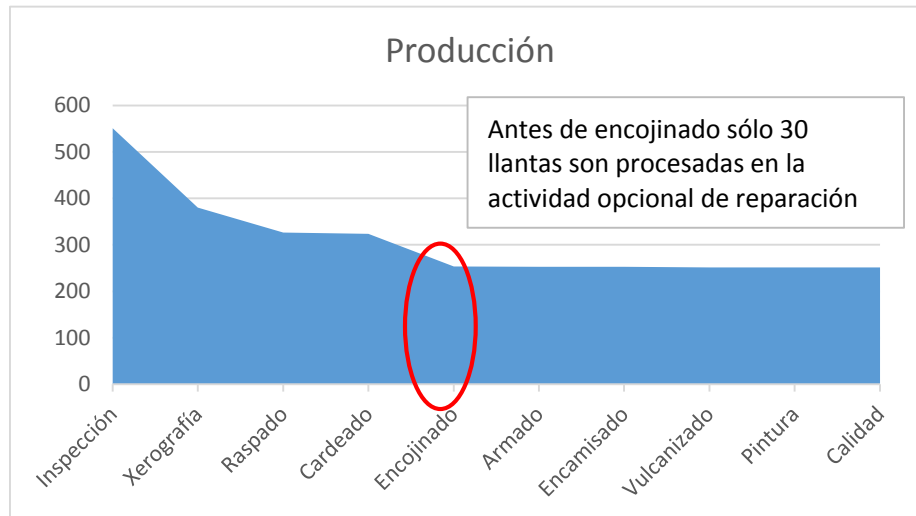


Figura 4.1 "Cuello de botella"  
Fuente: elaboración propia

Se observa también, que después de pasar por el área de encojinado, la producción se mantiene casi constante para las actividades restantes del proceso (armado, encamisado, vulcanizado, pintura y calidad), es decir, no se utiliza al máximo la capacidad de las demás actividades debido a que se limita el paso de las llantas antes de encojinado, después de esto, dicha actividad dicta la producción final (hasta el análisis hecho con este escenario 1).

De acuerdo con la metodología llamada DBR (*Drum, Buffer, Rope*) que resulta ser la aplicación de la "Teoría de las limitaciones" de E. Goldratt (1993) al área de producción, los 5 pasos para la eliminación de los cuellos de botella son los siguientes:

1. identificar el cuello de botella;
2. decidir cómo explotar el cuello de botella;
3. subordinar todo a la decisión anterior;
4. elevar el cuello de botella; y
5. si se ha eliminado el cuello de botella volver al paso 1.

Como primer paso, se identificó que el cuello de botella en el proceso de renovado está en la actividad de reparación.

Dos, al momento de decidir cómo explotar o dar solución al cuello de botella, lo que interesa es evitar a toda costa que el cuello de botella se pare y asegurar que siempre se mantenga provisto de recursos para trabajar; para la actividad de reparación, esto es, asegurar que siempre se cuente con la herramienta necesaria para poder llevar a cabo el trabajo, así como el espacio adecuado para realizarlo y contar con las mejores condiciones que faciliten el trabajo, condiciones ambientales como luz, aire y ruido.

Tres, el subordinar todo a la decisión anterior, implica considerar que las demás actividades deben trabajar para que el cuello de botella no pare. Un punto importante para tratar de evitar que la actividad pare, es asegurar que siempre se encuentre provista de unidades en espera de ser atendidas por esa actividad; es decir, para la actividad de reparación, asegurar que la actividad de cardeado produzca lo suficiente para que el cuello de botella no pare por falta de unidades por procesar.

Cuatro, elevar el cuello de botella, para esto, es importante considerar que si se quiere aumentar la producción de todo el sistema es necesario aumentar la capacidad del cuello de botella, para lo cual existen distintas alternativas, entre las que destacan:

- mejorar la eficiencia del equipo (en este caso, la operación es manual y depende de la pericia de los operadores);
- buscar otra máquina similar dentro de la fábrica o comprar una nueva (en Llantera S. A. de C. V. correspondería a buscar otra persona que pudiera llevar a cabo la actividad de reparación, ya sea dentro de la empresa o contratarla);
- evitar que se procesen unidades defectuosas en el cuello de botella (en este caso, todas las unidades que pasan por el área de reparación presentan defectos, ya que es el fin de la actividad y es por ello que es una actividad tardada).

Con la descripción de las alternativas anteriores, resulta conveniente considerar como forma de elevar el cuello de botella, aumentar la cantidad de operadores que realicen esta actividad, por lo que el planteamiento de nuevos escenarios tendrá que estar encaminada a asignar un mayor número de operadores a la actividad de reparación (punto 4.5).

Hasta el momento sólo pueden describirse los primeros 4 pasos de la metodología, ya que como se mencionó en el punto 2.4, debido al tiempo con el que se cuenta para presentar los resultados finales, no fue posible reportar la implantación de las propuestas.

### *4.3. Capacidad instalada de la planta*

Una definición de capacidad instalada es la siguiente:

“La capacidad instalada se refiere a la disponibilidad de infraestructura que permite a una empresa (unidad, departamento o sección) producir determinados niveles de bienes o servicios en un periodo determinado. Pero, a fin de alcanzar un determinado nivel de producción, las empresas emplean todos los recursos disponibles, sea la maquinaria y equipo, las instalaciones, los recursos humanos, la tecnología, etc. Una mayor cantidad de recursos utilizables conduce a una mayor cantidad esperada de producción. Igualmente, a medida que una firma se acerca a la capacidad instalada, no significa que todos los recursos están cerca de su capacidad máxima. Es decir, si un equipo está siendo utilizado casi el 100%, los otros equipos podrían estar siendo subutilizados en las mismas etapas o en otro tipo del proceso de producción.” (Camacho, Francisco, 2013, p. 7).



De acuerdo con lo anterior, para conocer la capacidad instalada de la planta se analizaron no sólo los resultados de la simulación, sino también las condiciones de la planta, como la disponibilidad de la maquinaria y los operarios, a partir de lo cual se detectaron dos cuestiones importantes; existen dos actividades para las cuales la maquinaria limita el máximo que se puede producir en la empresa, estas son:

- 1) Xerografía; y
- 2) Vulcanizado.

Por lo tanto, aunque se ocuparan todos los recursos en cuanto a maquinaria y operarios, el máximo volumen de producción se vería limitado por esas dos operaciones, ya que en primer lugar sólo se cuenta con una máquina de xerografía (maquinaria especial traída de Alemania) y en segundo lugar la planta cuenta con 5 máquinas “Autoclave” para realizar la actividad de vulcanizado, 4 de las cuales tienen una capacidad de procesar 23 llantas y 1 pequeña con capacidad de procesar 13; así mismo para que el proceso de vulcanizado se pueda llevar a cabo de manera completa y adecuada, necesita de un tiempo determinado, es decir que el tiempo de trabajo para esta actividad no se puede modificar, a diferencia de otras actividades en las que el tiempo de trabajo depende de los operarios.

Para la operación de xerografía aunque sólo se cuenta con una máquina, el tiempo de trabajo que de acuerdo con la información de la simulación (Tabla 3.16) es de 0.0549 horas, podría disminuirse al poner dos operarios, uno para el montaje y desmontaje de la llanta en la máquina y otro para hacer la revisión del resultado de la máquina (con lo antes dicho no se está diciendo que esto sea conveniente, solamente se trata de ir de acuerdo con la definición para ocupar al máximo todos los recursos y así obtener el volumen máximo de producción), por lo anterior, la operación que limita el volumen máximo de producción sólo es la actividad de vulcanizado, ya que en esta operación no se puede disminuir el tiempo de trabajo, en primer lugar porque el tiempo que las llantas tienen que estar en vulcanizado ya está determinado por los expertos en el proceso y en segundo, porque poner otro operario en esta actividad no serviría de nada, ya que el tiempo de trabajo depende de la máquina y no del operario, se ha visto que un solo operario puede acomodar las llantas para introducir las a la máquina de “Autoclave” y ordenarlas al salir de la misma (esto debido al largo tiempo que pasan las llantas en la máquina).

Para el cálculo de la capacidad instalada, se tiene entonces:

Vulcanizado				
Máquina	Tiempo promedio de trabajo (horas)	Ciclos máximos en 24 horas	Llantas procesadas por ciclo	Llantas procesadas al día
1	5.2034	4.6	23	106
2	5.2764	4.5	23	105
3	5.2457	4.6	23	105
4	5.2649	4.6	23	105
5	5.2580	4.6	13	59
			<b>Total</b>	<b>480</b>

Tabla 4.4 "Capacidad instalada"  
Fuente: elaboración propia

Por tanto, la capacidad instalada de la planta es de 480 llantas al día.

Es importante aclarar que para considerar la producción promedio por día, se aceptaron los ciclos de 4.6 y 4.5 porque las máquinas de vulcanizado no dejan de trabajar en toda la semana (de lunes a viernes), si se acaba un turno y el proceso de vulcanizado se encuentra en curso, el siguiente turno saca las llantas de las máquinas cuando el proceso haya terminado, por la misma razón se consideraron las 24 horas del día para obtener los ciclos máximos.

#### 4.4. *Utilización de máquinas o estaciones de trabajo y orden de las actividades*

De los resultados obtenidos acerca de la utilización de las máquinas para cada actividad se tienen lo siguiente.

Actividad	Porcentaje de utilización %	Porcentaje detenida %
Inspección1	99.88	0.12
Inspección2	99.72	0.28
Xerografía	99.60	0.40
Raspado	97.79	2.21
Cardeado1	86.97	13.03
Cardeado2	73.98	26.02
Cardeado3	52.93	47.07
Reparación 1,2,3	97.56	2.44
Encojinado	64.03	35.97
Armado	66.08	33.92
Encamisado1	40.83	59.17
Encamisado2	8.71	91.29
Encamisado3	0.42	99.58

Vulcanizado1	97.50	2.50
Vulcanizado2	96.96	3.04
Vulcanizado3	96.44	3.56
Vulcanizado4	95.98	4.02
Vulcanizado5	95.54	4.46
Pintura	14.04	85.96
Calidad	68.15	31.85

Tabla 4.5 "Utilización de las máquinas"  
Fuente: elaboración propia

La parte más relevante de estos porcentajes es la subutilización de la actividad de encamisado, de la tabla anterior puede observarse que para la máquina de encamisado 3 el porcentaje de utilización es 0.42% es decir que se produjeron solamente 2 llantas (Tabla 3.16), esto sucede porque al programar el modelo como se vio en el punto 3.5.2, se asignó la lógica de ruta, de siempre utilizarse primero la máquina que no tuviera unidades en cola o en su defecto la que tuviera la menor de todas las colas, para el caso de encamisado, en la simulación como la máquina 1 y 2 estaban disponibles la mayor parte del tiempo (59.17% y 91.29%), las llantas que salían de la actividad de armado se dirigían primero a las máquinas de encamisado 1 y 2, lo que en el proceso real no sucede; en la realidad los 3 operarios de la actividad de encamisado toman las llantas del *stock* en proceso a la salida de armado en la misma proporción o muy parecida. Sin embargo, aunque no puede decirse que la máquina 3 de encamisado solo se ocupa un 0.42%, sí puede afirmarse que en general la actividad se encuentra subutilizada, los operarios de esta actividad tienen mucho tiempo muerto (sin recibir llantas del área de armado), por lo que deberá evaluarse la opción de considerar producir con sólo 2 máquinas en dicha actividad.

### Orden de las actividades

Otra observación importante no sólo de los resultados de la simulación sino del proceso en sí mismo, es el orden de las actividades, si bien el proceso de renovado marca el orden en el que las actividades deben realizarse, las actividades de pintura y calidad se realizan una vez que a la llanta ya se le realizó el proceso de renovado, son actividades extra, pintura, para darle mejor apariencia a las llantas entregadas y calidad para cerciorarse que la llanta renovada esté en buenas condiciones; como ya se mencionó, en esta actividad puede decidirse si una llanta necesita un re trabajo (volver a alguna parte del proceso, por presentar algún defecto) o re procesarse (volver a pasar por todo el proceso de renovado nuevamente). De esta manera, el orden de estas dos actividades no afecta la situación de la llanta renovada, pero sí puede representar un punto de ahorro, si las llantas pasaran primero por el área de calidad podría ahorrarse la pintura de las llantas que necesitarán un re trabajo o re proceso y así sólo se pintarían las llantas renovadas que estuvieran en buen estado.

#### 4.5. Planteamiento de nuevos escenarios

Del análisis anterior se proponen nuevos escenarios para tratar de minimizar el cuello de botella y utilizar de manera adecuada los recursos de la empresa (maquinaria y operarios), con el fin de aumentar la producción de la empresa.

Los escenarios propuestos son los siguientes:

##### Escenario A

Aumentar a 4 las estaciones de trabajo para llevar a cabo la reparación de las llantas. Es importante mencionar que no todos los operadores saben realizar esta actividad, sólo 6 operadores lo pueden llevar a cabo. Como se mencionó en el punto 4.2, para dar tratamiento al cuello de botella habrá que asignar un mayor número de operadores a la actividad de reparación.

Aumentar a 2 las máquinas utilizadas en la actividad de raspado. Del análisis de los videos para la toma de los tiempos de trabajo, se observó que un mismo operario es capaz de trabajar con dos máquinas, ya que la operación sólo consta de posicionar la llanta en la máquina y esperar a que se raspe la banda de rodamiento vieja, para después desmontar la llanta.

Trabajar sólo con dos estaciones de encamisado, ya que se vio la subutilización de esta actividad. Dentro de este punto cabe mencionar que se detectó que el tiempo libre que tienen los operarios de encamisado, lo ocupaban en ayudar en el área de vulcanizado. La razón de esto es, que frecuentemente al operario de vulcanizado se le asigna la limpieza de algunas áreas de la empresa, esto sucede porque el jefe de producción detectaba que el operario tenía mucho tiempo libre debido al tiempo que tardan las máquinas de vulcanizado en trabajar; la asignación de otras actividades al operario de vulcanizado trajo como consecuencia que no estuviera al pendiente de su actividad principal en el acomodo de las llantas para introducirlas al proceso de vulcanizado. Por consiguiente los operadores de encamisado realizaban esta actividad en su lugar. En la Figura 4. Se esquematiza el problema.

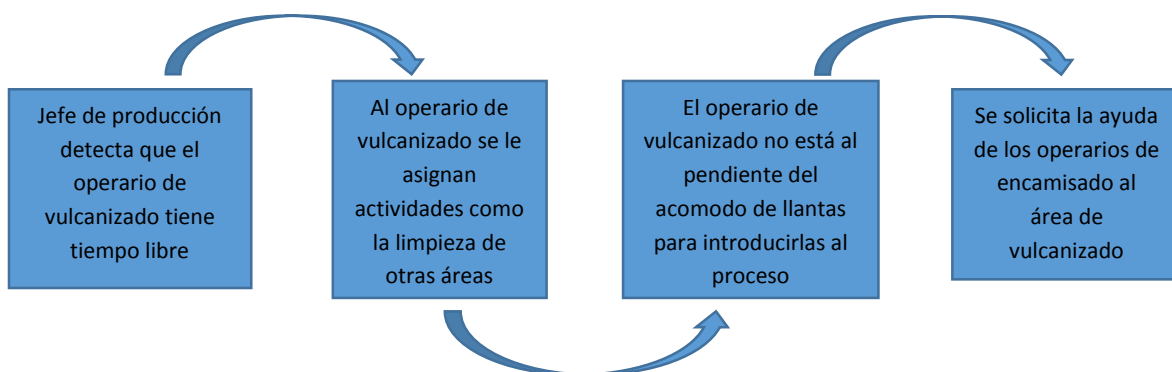


Figura 4.2 "Problema con operarios, encamisado y vulcanizado"  
Fuente: elaboración propia

Por lo anterior se propone dejar sólo a dos operadores realizando la actividad de encamisado (en lugar de 3) y dejar bien definido que el operador de vulcanizado será el responsable de realizar el acomodo de las llantas para introducirlas a las máquinas de vulcanizado.

Se propone también, cambiar el orden de las actividades de pintura y calidad, quedando en primer lugar la actividad de calidad y por último llevar a cabo el pintado de las llantas. Esto con el fin de conseguir un ahorro en la pintura de las llantas que tengan que volver a trabajarse y que se pinten sólo una vez, al finalizar el proceso y ser dictaminadas como buenas.

### **Escenario B**

Para experimentar con el modelo, otro escenario propuesto es contemplar 5 estaciones de trabajo en reparación, con todas las demás consideraciones del escenario anterior (escenario A).

### **Escenario C**

Contemplar 6 estaciones de trabajo en reparación, que es el máximo número de operarios que puede realizar ese trabajo, con todas las consideraciones del escenario A.

### **Escenario D**

El cambio de máquinas (aumento o disminución) de acuerdo con el número disponible de operarios para llevar a cabo el proceso, no es la única consideración importante. Como se mencionó desde el principio, los operadores trabajan 12 horas por turno, de las cuales 9 están contempladas dentro de su sueldo y 3 son pagadas como horas extra, por lo que junto con el personal de la empresa se consideró importante tomar en cuenta la propuesta de poder trabajar menos horas por turno y ver cómo esto afecta en el nivel de producción de la planta. Para este escenario se tomaron turnos de 9 horas de trabajo (sin pagar horas extras), por lo que restando una hora de comida por turno (menos 2 horas) y una hora por tiempo ocioso (entradas y salidas), se corrió el modelo para 15 horas, considerando los dos turnos por día. Y manteniendo las consideraciones de maquinaria del escenario C.

### **Escenario E**

Para este escenario se realizó la simulación para turnos de 9 horas más 3 horas extras en total por día, es decir 21 horas; para el tiempo de la corrida, menos las 2 horas de comida y la hora considerada de tiempo ocioso en las entradas y salidas de turnos, se corrió el modelo para 18 horas. Con las consideraciones de maquinaria del escenario C.

Después de explicar los cambios hechos en cada escenario, se muestra a continuación un resumen de los escenarios.

Cambios	Escenario A	Escenario B	Escenario C	Escenario D	Escenario E
Máquinas de raspado	2	2	2	2	2
Estaciones de reparación	4	5	6	6	6
Máquinas en encamisado	2	2	2	2	2
Orden de pintura y calidad	1. calidad 2. pintura	1. calidad 2. pintura	1. calidad 2. pintura	1. calidad 2. pintura	1. calidad 2. pintura
Horas por día	18 horas	18 horas	18 horas	18 horas	18 horas
Horas extras por día (2 turnos)	6 horas	6 horas	6 horas	---	3 horas
Tamaño de las corridas en el modelo*	21 horas	21 horas	21 horas	15 horas	18 horas

\* para el tamaño de las corridas, se restan 2 horas de comida y 1 de tiempo perdido en la entrada y salida

Tabla 4.6 "Nuevos escenarios"  
Fuente: elaboración propia

#### 4.6. Análisis de los nuevos escenarios

De la misma forma que se realizó la simulación del escenario 1, para cada nuevo escenario se corrió el modelo 30 veces, es decir para 30 días, en los primeros tres nuevos escenarios para días de 21 horas y en los últimos dos para las horas mostradas en la tabla 4.6.

A continuación, se muestra el análisis hecho para cada escenario con respecto al escenario 1 planteado en el capítulo anterior.

##### Escenario A

Para este escenario los resultados de la simulación arrojaron un aumento en la producción que asciende a las 279 unidades por día en promedio, teniendo con esto 7 llantas que necesitaron re proceso y 11 que necesitaron re trabajo. Aunque fue un aumento con respecto al escenario 1 planteado, es un aumento pequeño, que se debe principalmente a la adición de una máquina en la estación de raspado y la adición de otra en la estación de reparación; como esta última actividad, que es en donde se ubica el cuello de botella, necesita de en promedio 2 horas para procesarse, el aumento de la producción con el aumento de una estación no es tan significativo, por tanto en los escenarios siguientes se seguirá aumentando el número de estaciones disponibles para dicha actividad.

Se observó que el cambio de quitar una máquina de encamisado, y delimitar bien las actividades del operador de vulcanizado, también tuvo un resultado positivo, ya que la actividad de encamisado tuvo la capacidad de producir lo mismo que con 3 máquinas, en función de lo que se le suministraba de la actividad de armado.

Al hacer el trabajo de simulación no sólo se trabajó con los tiempos de proceso de las actividades y el modelo de simulación en el software, sino que también se analizaron las actividades desde la parte operacional, así como se detectó un problema en la definición de las actividades para los operadores en las áreas de encamisado y vulcanizado, también se observó que para quitar el cuello de botella o poder minimizarlo, lo que puede funcionar es poner a más operarios en esa actividad (o en su defecto capacitar a más operadores para que puedan realizar este trabajo); en otras ocasiones se ha tratado de disminuir el tiempo en el que los operarios realizan dicha actividad, pero ha tenido repercusiones malas en el porcentaje de re procesos y re trabajos, ya que como tal la actividad de reparación no es una actividad estandarizada como lo son la mayoría de las otras, reparación es una actividad específica para cada llanta, donde se “reparan”, como su nombre lo dice, los daños que presente la llanta, todo esto se hace de manera manual, es decir depende en gran medida de la habilidad del operario y de lo grave del daño que presente la llanta.

Otro cambio positivo, fue el cambiar el orden de las actividades de pintura y calidad, antes de realizar las corridas del modelo, cuando se propuso el cambio de este orden, ya se sabía que habría un ahorro en la pintura de las llantas, pero después de realizar la simulación, se puede decir de cuántas llantas se ahorra la pintura por día o por mes.

De manera general, se muestran los resultados significativos en comparación con el escenario 1

	Escenario 1	Escenario A	Mejora
<b>Unidades producidas</b>	251	279	Aumento de un 11.15% en la producción.
<b>Operarios necesarios por turno</b>	18	18	Mismo número de operarios con un aumento en la producción, distribuyendo mejor a los operadores, 1 operario más en reparación, 1 menos en encamisado.
<b>Horas trabajadas por operario por turno</b>	12	12	Mismo horario de trabajo, 9 horas con pago en sueldo (1 hora de comida incluida) y 3 horas extras.
<b>Llantas con re proceso y re trabajo</b>	17	19	Ahorro de pintar 19 llantas por día, 418 por mes en promedio.

Tabla 4.7 "Resultado escenario A"  
Fuente: elaboración propia

Se aumenta la producción en un 11.15% con los mismos recursos (operadores y horas trabajadas por turno), además de tener un ahorro en el material para la actividad de pintura.

## Escenario B

Para este escenario se buscó seguir disminuyendo la limitante en el área de reparación, al poner una estación de trabajo más respecto al escenario anterior y dos con respecto al escenario 1 (5 estaciones de trabajo para este nuevo escenario), las demás consideraciones son las mismas que para el escenario a. De igual manera, se muestran los resultados significativos de este escenario con respecto al escenario 1.

	Escenario 1	Escenario b	Mejora
<b>Unidades producidas</b>	251	307	Aumento de un 22.31% en la producción.
<b>Operarios necesarios por turno</b>	18	19	Un operario más respecto al escenario 1
<b>Horas trabajadas por operario por turno</b>	12	12	Mismo horario de trabajo, 9 horas con pago en sueldo (1 hora de comida incluida) y 3 horas extras.
<b>Llantas con re proceso y re trabajo</b>	17	21	Ahorro de pintar 21 llantas por día, 462 por mes en promedio.

Tabla 4.8 "Resultado escenario B"  
Fuente: elaboración propia

Se aumenta la producción en un 22.31% en comparación con el escenario 1. Aunque el número de operarios necesarios para este escenario aumenta en uno respecto al escenario 1, en la realidad se tienen 19 operarios disponibles para el proceso y 1 operario "comodín" que puede suplir a algún otro, como se vio en la Tabla 3.1 "Recursos disponibles". También se tiene el ahorro de material en la actividad de pintura (pintura necesaria para pintar 21 llantas al día, 462 por mes).

Cuando un operario está libre, es decir cuando no se le ha asignado alguna actividad del proceso (lo cual pocas veces ocurre, debido a que no se sabe cuándo poner a más o menos operarios, para lo cual la empresa o el jefe de producción opta por tener a todo su personal trabajando en el proceso, sin importar la poca y mala carga de trabajo distribuida entre los operarios) se le asignan actividades como ayudar en la parte de almacén, en el acomodo de las llantas, en la limpieza de las áreas de trabajo, etc.

## Escenario C

Para este escenario se consideró el máximo número de operarios disponibles en el área de reparación, con disponibles refiriéndose a los operarios que saben realizar esta actividad. Las otras consideraciones como aumentar a 2 el número de máquinas usadas en el área de raspado y dejar también dos máquinas en encamisado (quitando la tercera) se mantuvieron para este escenario y el pasado, debido al buen impacto que tienen estos cambios en el comportamiento de la



producción; en el primer cambio, lo que se consigue es mejorar la producción en la actividad de raspado pero sin utilizar más recurso humano en la actividad, debido a que un mismo operario puede atender ambas máquinas; para el segundo cambio, se observó como ya se mencionó que trabajar con 2 máquinas y 2 operarios en encamisado es suficiente para atender a las llantas que se le suministran de armado, al mismo tiempo que estos dos operarios se dedican sólo a las acciones que la actividad de encamisado requiere, dejando de encargarse de acomodar las llantas para el área de vulcanizado, que dicha actividad le corresponde únicamente al operario de vulcanizado.

A continuación se muestran los resultados obtenidos con este escenario.

	Escenario 1	Escenario c	Mejora
<b>Unidades producidas</b>	251	341	Aumento de un 35.86% en la producción.
<b>Operarios necesarios por turno</b>	18	20	Dos operarios más
<b>Horas trabajadas por operario por turno</b>	12	12	Mismo horario de trabajo, 9 horas con pago en sueldo (1 hora de comida incluida) y 3 horas extras.
<b>Llantas con re proceso y re trabajo</b>	17	21	Ahorro de pintar 23 llantas por día, 506 por mes en promedio.

Tabla 4.9 "Resultado escenario C"  
Fuente: elaboración propia

Se aumenta la producción en un 35.86%, aunque para este escenario se utilizaron todos los operarios disponibles para el proceso de renovado, 20 (cabe destacar que hay otros operarios encargados del almacén, de la limpieza, etc.). El ahorro en la pintura de las llantas aumenta en la misma medida que aumenta el número de llantas producidas, ya que si se produce más también es probable que más llantas necesiten un re proceso o re trabajo, antes de ser catalogadas como llantas renovadas buenas.

Se observa también que para producir más en medida que la empresa lo necesite, se tendrá que hacer frente al área de reparación, poniendo a más operarios a realizar dicha actividad, la opción de capacitar a más operarios para que puedan realizar esta actividad tendrá que considerarse si se quiere aumentar la producción en la planta.

#### Escenario D

Para este escenario se mantuvieron las consideraciones del escenario anterior (escenario C), pero modificando los turnos de trabajo y por tanto el tiempo para el que cada corrida se simuló en el programa.

En este caso, considerando solamente los turnos de 9 horas, sin pago de horas extras, para lo que se tienen 18 horas de trabajo, a las cuales se les resta 2 horas de comida, 1 para cada turno y se le resta también 1 hora de tiempo ocioso en la entrada y salida de turno, quedando así 15 horas. Por tanto se corrió el modelo 30 veces para días de 15 horas de trabajo.

Los resultados para este escenario son los siguientes.

	Escenario 1	Escenario d	Mejora
<b>Unidades producidas</b>	251	244	Disminución de un 2.79% en la producción
<b>Operarios necesarios por turno</b>	18	20	Dos operarios más
<b>Horas trabajadas por operario por turno</b>	12	9	Turno normal de 9 horas sin pago de horas extras. Diminución del pago de 3 horas extra por día por operario
<b>Llantas con re proceso y re trabajo</b>	17	16	Ahorro de pintar 16 llantas por día, 352 por mes en promedio

Tabla 4.10 "Resultado escenario D"

Fuente: elaboración propia

Para este escenario hubo una disminución en la producción de 2.79%, que no puede considerarse despreciable, pero sí mínima. Aunque el número de operarios ocupados para el escenario de producción mostrado es mayor (se utilizan a todos los operarios disponibles, 20), de cualquier forma estos operarios si no trabajan en el proceso de renovado, se les ocupa en otras actividades, como ya se mencionó y el pago de sus horas se realiza de forma normal.

Por tanto, puede considerarse una mejora, que aunque la producción disminuya en un porcentaje (muy pequeño), los recursos utilizados para conseguirlo se minimizan, ya que se tiene el siguiente ahorro de horas hombre:

	HORAS
Ahorro por operario por turno	3
Turnos al día	2
Operarios por turno	20
Días laborales promedio por mes	22
Total de horas ahorradas al mes	2640

Tabla 4.11 "Ahorro horas hombre D"

Fuente: elaboración propia

Se tiene un ahorro de recursos de 2,640 horas extras no pagadas al mes, para producir 244 llantas, al día el ahorro es de 120 horas hombre. Lo cual como se verá en el siguiente punto puede funcionar si la producción requerida es en promedio de 244 llantas al mes, de otra manera habrá que experimentar con otro escenario de producción.

### Escenario E

Se sigue con la alternativa de modificar los horarios de trabajo, tomando las consideraciones del escenario C, pero con un horario de trabajo de 9 horas normales y 3 horas extra al día (no por turno, sino contemplando ambos turnos de trabajo), con lo cual se tienen 21 horas de trabajo, a las que para el ejercicio de simulación se le resta 2 horas de comida y 1 hora de tiempo ocioso (por entradas y salidas por turno), teniendo en total 18 horas para cada una de las corridas por día. Los resultados arrojados por el programa de simulación para este nuevo escenario son los siguientes.

	Escenario 1	Escenario e	Mejora
<b>Unidades producidas</b>	251	292	Aumento de un 16.33% en la producción.
<b>Operarios necesarios por turno</b>	18	20	Dos operarios más
<b>Horas trabajadas por operario por turno</b>	12	10.5	Turno normal de 9 horas con el pago de 3 horas extra al día (1.5 por turno). Diminución del pago de 1.5 horas extra por día por operario.
<b>Llantas con re proceso y re trabajo</b>	17	20	Ahorro de pintar 20 llantas por día, 429 por mes en promedio.

Tabla 4.12 "Resultado escenario E"  
Fuente: elaboración propia

Para este escenario se aumenta la producción en un 16.33%, al mismo tiempo que se tiene una disminución de los recursos utilizados, el ahorro de horas hombre es el siguiente:

	HORAS
Ahorro por operario por turno	1.5
Turnos al día	2
Operarios por turno	20
Días laborales promedio por mes	22
Total de horas ahorradas al mes	1320

Tabla 4.13 "Ahorro horas hombre E"  
Fuente: elaboración propia

Se tiene en total un ahorro de 1,320 horas extra no pagadas al mes, para producir 292 llantas. Al día se ahorran 60 horas hombre. Este escenario puede ser muy útil cuando el nivel de producción deseado fluctúe alrededor de las 292 llantas en promedio.

# Recomendaciones

Como se vio en el análisis de los resultados, cada escenario aporta una mejora al proceso, que va desde el aumento de la producción hasta el ahorro de horas hombres en la misma, pero no todos los escenarios se pueden implementar en la misma situación, ya que la producción y la utilización de recursos para cada uno es diferente. Por tanto, tomando en consideración las estadísticas de producción de la empresa, que van ligadas con la demanda de renovación de llantas mensual, se proponen las siguientes políticas de operación.

## Política 1

Para lo meses con mayor demanda (unidades por día), que hasta el momento se han reportado:

- octubre de 364 a 347 unidades;
- febrero de 348 a 320 unidades;
- agosto de 346 a 333 unidades;
- enero de 342 a 302 unidades;
- junio de 337 a 327 unidades;
- marzo de 335 a 319 unidades;
- septiembre de 335 a 291 unidades; y
- mayo de 328 a 314 unidades.

Se recomienda producir con las condiciones dadas en el escenario C.

**Condiciones de operación - Política 1**

Actividad	Máquinas o estaciones de trabajo	Operarios
Inspección inicial	2 máquinas	2
Xerografía	1 máquina	1
Raspado	2 máquinas	1
Cardeado	3 estaciones de trabajo	3
Reparación	6 estaciones de trabajo	6
Encojinado	1 máquina	1
Armado	1 máquina	1
Encamisado	2 máquinas	2
Vulcanizado	5 máquinas: 4 grandes y 1 pequeña	1
Calidad	1 máquina	1
Pintura	1 estación de trabajo	1
Horas trabajadas	12 horas por turno: 9 bajo sueldo y 3 horas extra	

Tabla 5.1 "Condiciones política 1 – Escenario C"

Fuente: elaboración propia

Para este escenario se reportó la mayor producción promedio por día. Se utilizan todos los recursos en cuanto a operarios y las horas por turno disponibles, también se hace uso de los 6 operarios disponibles para realizar la actividad de reparación. Así mismo se tiene el ahorro, como ya se describió en el punto anterior, de la pintura de las llantas que necesitan re proceso y re trabajo.

Referente al tema de la actividad limitante, reparación, que representa el cuello de botella en el proceso, se detecta un área de oportunidad el capacitar a más operarios para que puedan realizar dicha operación, ya que la producción se encuentra limitada por la cantidad de unidades producidas es esa actividad y por tanto depende de la habilidad de los 6 operarios que la pueden realizar.

Al analizar el porcentaje de utilización de las máquinas o estaciones de trabajo, se puede observar también que en la actividad de cardeado las máquinas no se encuentran utilizadas al 100%, su utilización varía de un 86.97% a un 52.93%, por lo que se propone que sin necesidad de contratar a más personas, se capacite a los operarios encargados de realizar la actividad de cardeado, que es la actividad que le antecede a reparación, para que puedan realizar reparaciones a las llantas cuando la demanda o el *stock* en proceso que se forme antes de la actividad de reparación lo amerite.

## Política 2

Para los meses con menor demanda (unidades por día reportadas).

- diciembre de 221 a 264 unidades;

Se recomienda producir con las condiciones dadas en el escenario D.

**Condiciones de operación - Política 2.1**

Actividad	Máquinas o estaciones de trabajo	Operarios
Inspección inicial	2 máquinas	2
Xerografía	1 máquina	1
Raspado	2 máquinas	1
Cardeado	3 estaciones de trabajo	3
Reparación	6 estaciones de trabajo	6
Encojinado	1 máquina	1
Armado	1 máquina	1
Encamisado	2 máquinas	2
Vulcanizado	5 máquinas: 4 grandes y 1 pequeña	1
Calidad	1 máquina	1
Pintura	1 estación de trabajo	1
Horas trabajadas	9 horas por turno sin horas extra	

Tabla 5.2 "Condiciones política 2.1 – Escenario D"

Fuente: elaboración propia

Para este escenario se tiene el mayor ahorro de horas hombre (120 al día, 2,640 al mes), al no pagar horas extra, con una producción promedio de 244 unidades.

Es claro que estas políticas son una recomendación, que está basada, como se mencionó, en los resultados promedio de los escenarios y las estadísticas de la empresa. El personal de la empresa conoce el pronóstico de ventas y las solicitudes de renovación con antelación, por la información que se da en las juntas mensuales entre los jefes de ventas de cada sucursal (la programación de dichas juntas, fue también una propuesta de mejora realizada durante la intervención en la empresa), por lo que al conocer esa información, el personal puede tomar la decisión en la administración de los recursos de acuerdo con la información proporcionada en el presente trabajo, eligiendo algún escenario propuesto o alguna modificación conveniente.

- abril de 275 a 302 unidades.

Para este mes, se recomienda producir con las condiciones dadas en el escenario E.

**Condiciones de operación - Política 2.2**

Actividad	Máquinas o estaciones de trabajo	Operarios
Inspección inicial	2 máquinas	2
Xerografía	1 máquina	1
Raspado	2 máquinas	1
Cardeado	3 estaciones de trabajo	3
Reparación	6 estaciones de trabajo	6
Encojinado	1 máquina	1
Armado	1 máquina	1
Encamisado	2 máquinas	2
Vulcanizado	5 máquinas: 4 grandes y 1 pequeña	1
Calidad	1 máquina	1
Pintura	1 estación de trabajo	1
Horas trabajadas	9 horas bajo sueldo por turno y 3 horas extra por día (contemplando ambos turnos)	

**Tabla 5.3 "Condiciones política 2.2 – Escenario E"**

Fuente: elaboración propia

Para este escenario se tiene también un ahorro importante de horas hombre (60 al día, 1,320 al mes), al pagar la mitad de horas extra (3 horas al día, 1.5 por turno), con una producción promedio de 292 unidades.

### Política 3

En esta última política se abordan los meses con una producción esperada promedio, comparada con la de los otros meses de:

- julio de 297 a 315 unidades; y
- noviembre de 295 a 316 unidades.

Para estos meses, se recomienda producir con las condiciones dadas en el escenario B.

**Condiciones de operación - Política 3**

Actividad	Máquinas o estaciones de trabajo	Operarios
Inspección inicial	2 máquinas	2
Xerografía	1 máquina	1
Raspado	2 máquinas	1
Cardeado	3 estaciones de trabajo	3
Reparación	5 estaciones de trabajo	5
Encojinado	1 máquina	1
Armado	1 máquina	1
Encamisado	2 máquinas	2
Vulcanizado	5 máquinas: 4 grandes y 1 pequeña	1
Calidad	1 máquina	1
Pintura	1 estación de trabajo	1
Horas trabajadas	12 horas por turno: 9 bajo sueldo y 3 horas extra	

Tabla 5.4 "Condiciones política 3 – Escenario B"

Fuente: elaboración propia

Para este escenario la producción promedio obtenida de la simulación fue de 307 unidades por día, para este, como en todos los demás escenarios hubo un ahorro en la pintura de las llantas por el cambio en el orden de las actividades de pintura y calidad. Además el cambio en la actividad de encamisado, al quitar una estación de trabajo, permitió que para producir dicha cantidad sean necesarios solamente 5 operarios en el área de reparación, dejando al operario comodín libre para realizar las actividades que el jefe de producción le designe; es importante destacar que este operario es uno de los más capacitados en la planta, además de ser de los pocos que pueden realizar el trabajo de reparar las llantas, conoce la operación de cada actividad, por lo que tenerlo libre unos meses, puede ayudar a realizar la capacitación de otros operarios, como se dijo en la política 1, para que más personal de la empresa pueda llevar a cabo la actividad de reparación.

De manera general, con las políticas propuestas se busca brindar a la empresa un apoyo en la toma de decisiones para la administración de sus recursos, de tal manera que se aumente la producción con la utilización adecuada de su personal y su maquinaria.

# Conclusiones

Para comenzar con este apartado es indispensable traer a pie el objetivo de la tesis: Analizar el proceso productivo de la empresa Llantera S. A. de C. V. para conocer la capacidad instalada de la planta, identificar el cuello de botella en el proceso y proponer políticas basadas en la experimentación de escenarios; esto mediante el uso de la simulación y con el fin de aumentar la producción de la empresa.

Al seguir la metodología propuesta en el presente trabajo, se tuvo la oportunidad de analizar el proceso productivo bajo distintos puntos:

1. desde la intervención en la organización, con el diseño y desarrollo del diagnóstico, donde se identificaron los principales problemas de la empresa, incluyendo en ellos, los del área operativa;
2. en el estudio del trabajo, evaluando los métodos para la realización de las actividades; esto mediante la medición de los tiempos de trabajo para cada actividad, donde se detectaron áreas de oportunidad desde antes de programar el modelo de simulación; y
3. finalmente, hasta el análisis de los resultados que se obtuvieron con la experimentación de escenarios del modelo de simulación.

Se cumplió con el objetivo de la tesis, al conocer la capacidad instalada de la planta (480 llantas al día), identificar el cuello de botella en el proceso (actividad de reparación de las llantas), al mismo tiempo que se analizó cómo poder hacer frente a esta actividad con ayuda de la “Teoría de las limitaciones” de E. Goldratt (1993) y posteriormente con la experimentación de los escenarios propuestos a partir de ella. También, la experimentación de escenarios permitió obtener un aumento de la producción que va desde el 11.15% al 35.86%, diferente para cada escenario, pero con ahorros importantes en recursos (horas hombre, maquinaria utilizada y material). Finalmente, como recomendación, se propusieron políticas de operación para el uso de los escenarios, con el fin de administrar los recursos (maquinaria y operarios) disponibles en la empresa.

Por otro lado, respecto a la metodología, el seguir paso a paso la metodología de simulación, ayudó en el presente trabajo a detectar errores y poder ajustar tanto el modelo conceptual, como el programado y los datos necesarios para construirlo, de manera que se hiciera frente a las necesidades de la empresa y a la solución del problema concreto.

Es importante mencionar que cada parte del proceso de simulación aportó conocimiento al problema y a la forma de poder resolverlo. La recolección de los datos fue la fase que consumió más tiempo, pero también gracias a ella se pudieron detectar deficiencias en otras áreas de la empresa (como en sistemas, en la parte de los reportes estadísticos de la empresa). También se identificaron áreas de oportunidad al ir analizando cada actividad para la toma de tiempos de trabajo, como fue el caso de las actividades de encamisado, vulcanizado, pintura y calidad.



Mucho se ha hablado de las mejoras en el proceso productivo, sin embargo del presente trabajo surgieron muchas otras mejoras para distintas áreas de la empresa. Al realizar el diagnóstico a la organización, se pudo intervenir de manera organizada y obtener áreas de oportunidad para todas las actividades de la empresa, mismas que fueron mostradas al personal de la organización antes de continuar con el proceso de simulación para el problema de la parte operativa. Resolver el problema operativo no hubiera tenido tanto impacto sin el tratamiento de otras áreas, como son ventas y sistemas. Como se mencionó en el desarrollo del presente trabajo, una de las propuestas implementadas con mayor impacto fue la programación de juntas mensuales entre los jefes de ventas de cada sucursal y el área de operaciones, esto con el fin de mantener una comunicación constante, identificar las mejores prácticas entre las distribuidoras, aprovecharlas y a su vez llegar a establecer acuerdos entre las áreas mencionadas.

Usar la simulación como herramienta para resolver el problema, permitió experimentar con el sistema, en este caso el proceso productivo de la empresa, sin tener efecto directo en el proceso real, esto fue muy útil, ya que gracias a ello se pudieron probar los escenarios necesarios para dar pie a la solución. Cometer errores en el modelo de simulación no fue grave comparado con los errores que se cometían y que podían cometerse al implantar propuestas de mejora que no estuvieran probadas, ver qué pasa con el sistema real al realizar modificaciones de todo tipo en el proceso, es una gran ventaja del uso de la simulación, que dentro del presente trabajo ayudó de manera directa en la toma de decisiones del personal de la empresa.

Otras aportaciones importantes de esta tesis son:

- Todo el proceso de simulación también permitió a la empresa romper con algunos paradigmas acerca de su proceso productivo, como el uso de su maquinaria, ya que se observó que para los niveles de producción que la empresa maneja, no es necesario poner en funcionamiento todas las máquinas disponibles, como se venía haciendo; por ejemplo, actividades como raspado y encamisado, lo único que ocasionaban al trabajar con toda su capacidad, era formar un nivel muy alto de *stock* en proceso, sin tener un efecto positivo en el nivel de producción, para lo cual, más que poner a trabajar toda la maquinaria disponible, se necesita administrar de mejor manera la distribución de máquinas o estaciones de trabajo en cada actividad;
- Después de realizar el trabajo de simulación, se motivó al personal de la empresa, a pensar de manera más adecuada en la administración de las horas hombre necesarias para obtener los niveles de producción deseados. Ya que una práctica común en la empresa era manejar horarios de trabajo completos, de 9 horas más 3 horas extra por trabajador, de tal manera que se tuviera un trabajo continuo las 24 horas del día, sin considerar los niveles de ventas y de producción por mes. El jefe de producción y el personal de la empresa, preferían ocupar a los operarios libres en realizar tareas de acomodo de almacén, limpieza, acomodo de material, etc., muchas veces innecesarias, ya que se cuenta con gente para realizar dichas actividades.

Por otro lado, es conveniente mencionar que las principales limitaciones en la elaboración del presente trabajo, fueron la información y el tiempo. Respecto a la información, por motivos de

confidencialidad no se permitió nombrar a la empresa ni se proporcionó información contable, esto hizo que no se pudieran mostrar resultados monetarios y cuantitativos acerca de las mejoras hechas con la tesis; del otro lado, el tiempo dado para presentar los resultados, no permitió mostrar los resultados de la implantación de las políticas propuestas. Aunque cabe mencionar, las aportaciones hechas a la empresa con el presente trabajo, mencionadas anteriormente y a lo largo de todo el trabajo, sí se pusieron en práctica.

Retomando la investigación realizada en el marco teórico, se puede afirmar lo mencionado por Kaylania y Atieha (2015), quienes sostienen que la simulación es útil para evaluar cambios en el plan de fabricación de un sistema, como pueden ser la asignación de recursos y el rendimiento de cada actividad en el proceso; en el presente trabajo, el uso de la simulación también resultó útil para evaluar el proceso productivo con la asignación de recursos en la empresa (maquinaria y operarios), así como para el análisis del porcentaje de utilización de las máquinas. Siguiendo la misma línea, también se puede afirmar lo mencionado por Guevara (2013), ya que mediante el uso de la simulación fue posible identificar el cuello de botella en el proceso productivo, un punto importante mostrado por el mismo autor es que la principal dificultad en la modelación de un sistema real, es la recolección de datos, que como se mencionó anteriormente, en el presente trabajo fue la fase que más tiempo consumió.

Para el modelo de simulación existen áreas de oportunidad que se pueden explotar como trabajo futuro, entre las cuales destacan:

1. incluir en el modelo a otras áreas de la empresa, como al área de ventas, inyectándole el pronóstico de ventas mensual, así como la utilización de los materiales necesarios para llevar a cabo el proceso, involucrando así los niveles de inventario; y
2. experimentar otros escenarios con el modelo.

Finalmente, es importante mencionar que el uso de una estrategia combinada (sistemas suaves y duros), primero utilizando la metodología de sistemas suaves y después la metodología de simulación, enriqueció la aportación de la tesis al incluir como solución al problema aspectos cuantitativos y cualitativos en el proceso productivo. Ya que las mejoras realizadas a la empresa, resultaron no sólo del modelo de simulación, sino también de la aplicación del diagnóstico. Por otro lado, los resultados del estudio de simulación fueron bien aceptados por el personal de la empresa, debido a que se mantuvo un ambiente constante de colaboración y comunicación.

# Referencias

1. Aparicio, V. (2013). *Un enfoque Sistémico para la administración de proyectos de construcción: El caso de una empresa inmobiliaria*. Tesis de posgrado. Universidad Nacional Autónoma de México. Posgrado de Ingeniería.
2. Arazang, M.; García, E. (1998). *Simulación y análisis de modelos estocásticos*. México. McGRAW-HILL.
3. Badii, M.; Castillo, J. & Guillen. A. (2008). *Tamaño óptimo de la muestra (Optimum simple size)*, *InnOvaciOnes de NegOciOS* 5(1): 53-65. Impreso en México (ISSN 1665-9627).
4. Barrientos, A. (2014). *Metodología basada en modelos de simulación para el análisis de sistemas complejos (MoSASCoM)*. Tesis de posgrado. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería.
5. Bolaños, O. (2014). *Importancia de la simulación en la mejora de procesos*. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería.
6. Caballero, J. (2012). *Simulación y optimización, aplicación en sistemas de líneas de espera*. Tesis de posgrado. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería.
7. Callejas, A. (2013). *Estrategia para mejorar la competitividad en una pequeña empresa: Un caso de aplicación*. Tesis de posgrado. Universidad Nacional Autónoma de México. Posgrado de Ingeniería.
8. Casanovas, J.; Guasch, T.; Piera, M.; Ramos, J. (2006). *Cómo mejorar la logística de su empresa mediante la simulación*. Madrid, España. Ediciones Díaz de Santos.
9. Chun, H.; Kim, J.; Lee, J. How does information technology improve aggregate productivity? A new channel of productivity dispersion and reallocation. *Research Policy. Elsevier*.
10. Flores, I.; Elizondo, M. (2006). *Apuntes de simulación*, México. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería.
11. García, J. (2013). *Metodología para la planeación de la producción utilizando simulación y programación entera*. Tesis de posgrado. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería.
12. Goldratt, E. (1993). *La Meta*. Madrid. Díaz de Santos.

13. Guevara, E. (2013). *Propuesta de mejora del proceso de reparación de motores en la empresa Clisa utilizando simulación con Promodel*. Tesis de posgrado. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería.
14. Heyer, R. (2004). Understanding Soft Operations Research: The methods, their application and its future in the Defence setting. *DSTO Information Sciences Laboratory*.
15. InfoPYME. Red CENTROPYME del SENATI. Diagnóstico Sistémico en 10 pasos. Recuperado el 11 de noviembre de 2014, de: [http://infopymes.senati.edu.pe/DiagnosticoSistemico\\_archivos/frame.htm](http://infopymes.senati.edu.pe/DiagnosticoSistemico_archivos/frame.htm)
16. Kaylania H.; Atieha A. (2015). Simulation Approach to Enhance Production Scheduling procedures at a Pharmaceutical Company with large Product mix. *48<sup>th</sup> CIRP Conference on MANUFACTURING SYSTEMS*. Elsevier.
17. Khanmohammadiotaqsara, M.; Khalili, M.; Mohseni A. (2012). The role of practical training in productivity and profitability of organizations in the Third Millennium. *CY-ICER 2012*. Elsevier.
18. Long, C.; Wai K.; Yung S. (2014). A simulation analysis of the impact of production lot size and its interaction with operator competence on manufacturing system performance. *Simulation Modelling Practice and Theory*. Elsevier.
19. Martínez, A. (2014). *Aplicación del enfoque de sistemas y de la metodología de sistemas suaves en la identificación de problemas de la academia de economía política de la facultad de economía (UNAM)*. Tesis de posgrado. Universidad Nacional Autónoma de México. Posgrado de Ingeniería.
20. Monroy, G. (2010). *Factores de éxito de la implantación de estrategias empresariales*. Tesis de posgrado. Universidad Nacional Autónoma de México. Posgrado de Ingeniería.
21. Moradinaftchali V.; Song, L.; Wang, X. (2015). Improvement in quality and productivity of an assembled product: A riskless approach. *Computers & Industrial Engineering*. Elsevier.
22. Muestra y muestreo. Recuperado el 20 de octubre de 2015, de: [http://www.uaeh.edu.mx/docencia/P\\_Presentaciones/tizayuca/gestion\\_tecnologica/muestraMuestreo.pdf](http://www.uaeh.edu.mx/docencia/P_Presentaciones/tizayuca/gestion_tecnologica/muestraMuestreo.pdf)
23. Nieves, A.; Domínguez F. (2010). *Probabilidad y estadística para ingeniería, un enfoque moderno*. México. Mc. GRAW-HILL.
24. Prieto Herrera, J.E. (2008). *Gestión Estratégica Organizacional*. Edición Ecoe.

25. Prokopenko, J. (1987). *Productivity management*. Ginebra, Suiza.
26. Reza, M.; Hosseinzadeha, M.; Kazemia, A. (2012). An application of Soft System Methodology. *Elsevier Ltd*.
27. Rocha, N. (2010). *Diseño de una metodología de diagnóstico para empresas productoras de flores tropicales y follajes en el eje cafetalero*. Universidad Nacional de Colombia.
28. Rojas, A. (2013). *Diagnóstico general de una PYME y una propuesta del manejo de sus recursos y procesos para su optimización a través del uso de pronósticos, simulación e inventarios*. Tesis de posgrado. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería.
29. Sánchez, O. (2011). *Una estrategia de Intervención para empresas proveedoras de servicios de consultoría en sistemas computacionales*. Tesis de posgrado. Universidad Nacional Autónoma de México. Posgrado de Ingeniería.
30. Sierra, A.; Salazar, L. (2011). *Diseño de un modelo de diagnóstico para micro y pequeñas empresas dedicadas a la prestación de servicios de salud de la ciudad de Cali*. Universidad ICESI.
31. Small, A.; Wainwright, D. (2013). Cap. SSM and technology management: Developing multimethodology through practice. *European Journal of Operational Research*. pp.660–673.
32. Sproedt, A.; Plehn, J.; Schonsleben, P.; Herrmann C. (2015). A simulation-based decision support for eco-efficiency improvements in production systems. *Journal of Cleaner Production*. *Elsevier*.
33. Técnicas de mejoramiento de la productividad. Recuperado el 9 de junio de 2015, de: <http://www.ingenieria.unam.mx/~guiaindustrial/productividad/info/4/6.htm>
34. Taha, H. (2012). *Investigación de operaciones*. 9ed. México. Pearson.
35. Tipos de muestreo. Recuperado el día 20 de octubre de 2015, de: <http://www.estadistica.mat.uson.mx/Material/elmuestreo.pdf>.
36. Villanueva, S. (2009). *Importancia del diagnóstico empresarial, como herramienta para acceder a los beneficios de los programas federales que apoyan a las MIPYMES en México, 1995-2008*. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Economía.
37. Vivanco, M. (2005). *Muestreo estadístico. Diseño y aplicaciones*. Santiago de Chile. Editorial Universitaria.

# Apéndice A

## Obtención del tamaño de muestra

La obtención del tamaño de muestra es un punto muy importante a tratar al inicio de cualquier experimento, ya que un tamaño de muestra más grande de lo necesario puede representar un desperdicio de recursos, mientras que una muestra demasiado pequeña puede dar resultados que carezcan de uso práctico.

Siempre que se toma una muestra con el fin de representar a la población completa, se tiene un error de muestreo, es decir que se pierde cierta información útil con respecto a la población, este error de muestreo se puede controlar si se selecciona de manera adecuada el tamaño de la muestra.

Un aspecto crucial en la elección del tamaño de la muestra es tomar en cuenta que esta elección depende de consideraciones estadísticas y no estadísticas, las consideraciones estadísticas se verán a continuación (nivel de confianza y porcentaje de error) y las consideraciones no estadísticas tienen que ver con la disponibilidad de recursos, tiempo y presupuesto.

De manera general, estos son los pasos que se siguieron en el trabajo para la obtención del tamaño de muestra:

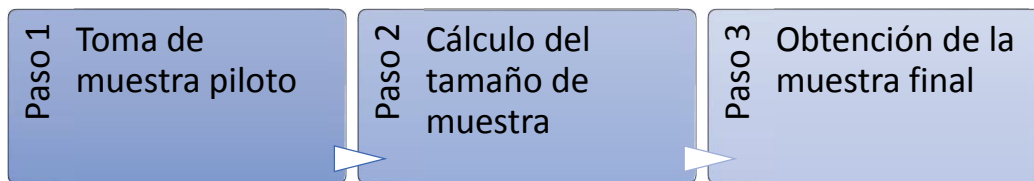


Figura A1 "Pasos para la obtención del tamaño de muestra"  
Fuente: elaboración propia

A continuación se detallará qué se hizo en cada paso.

### 1. Toma de muestra piloto

La toma de la muestra piloto se realiza principalmente para poder obtener información acerca de la población, ya que en el cálculo del tamaño de la muestra, como se verá más adelante, es necesario contar con al menos una estimación de la desviación estándar de la población, la cual se aproxima mediante la desviación estándar de una muestra. En nuestro caso y lo más recomendable, es tomar una muestra piloto de al menos 30 elementos.

Para realizar el muestreo, existen métodos de muestreo probabilísticos y no probabilísticos.

- Muestreo probabilístico: estos métodos se basan en el principio de que todos los individuos tienen la misma probabilidad de ser elegidos, aseguran la representatividad de la muestra

extraída y son los más recomendados, dentro de los métodos de muestreo probabilísticos se encuentran:

- muestreo aleatorio simple;
  - muestreo aleatorio sistemático;
  - muestreo aleatorio estratificado;
  - muestreo aleatorio por conglomerados, entre otros.
- Muestreo no probabilístico: este tipo de métodos se usa cuando resulta excesivamente costoso aplicar algún método probabilístico, aunque no se tiene la certeza de que la muestra sea completamente representativa, en general se seleccionan los elementos de la población siguiendo determinados criterios, procurando en la medida de lo posible, que la muestra sea representativa. Dentro de los métodos de muestreo no probabilísticos se encuentran:
- muestreo por cuotas;
  - muestreo intencional o de conveniencia;
  - muestreo discrecional, entre otros.

### **Toma de muestra piloto para el caso de estudio**

Debido a la disponibilidad de recursos, en el presente estudio se realizó un muestreo no probabilístico, ya que se tiene una población infinita, que está representada por los tiempos de trabajo en cada actividad, dichos tiempos fueron obtenidos de grabaciones del proceso, por lo que la cantidad de videos obtenidos de la empresa era restringido y se tomaron los tiempos para la muestra piloto a partir de los videos disponibles (muestreo intencional o de conveniencia). Aunque como se mencionó anteriormente, lo mejor es realizar muestreos probabilísticos.

Así, para cada actividad del proceso se tomó la muestra piloto a partir de los videos proporcionados por la empresa y posteriormente al realizar el cálculo del tamaño de la muestra se solicitó a la empresa proporcionar más videos para poder completar el tamaño de muestra de final.

## **2. Calculo del tamaño de muestra**

“Cada estudio tiene un tamaño muestral idóneo, que permite comprobar lo que se pretende con la seguridad y precisión fijadas por el investigador” (Dr. Ernesto Bolaños Rodríguez, 2012).

La determinación del tamaño de la muestra para una población infinita, se obtuvo a partir de la siguiente fórmula del error muestral<sup>9</sup>:

$$E = Z \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

---

<sup>9</sup> Nieves A. y Domínguez F. (2010). *Probabilidad y estadística para ingeniería, un enfoque moderno*. México: Mc. GRAW-HILL.

Al despejar “n” tamaño de muestra en la expresión del error muestral, donde:

E = error muestral

Z = representa el nivel de confianza

$\sigma$  = desviación estándar

Quedando finalmente la fórmula para determinar el tamaño de la muestra, como sigue:

$$n = \frac{Z^2 \sigma^2}{E^2}$$

### **Especificaciones de los valores en la fórmula para obtener el tamaño de muestra “n”**

Para el cálculo del tamaño de muestra es necesario tener conocimiento de la población, en este caso la desviación estándar “ $\sigma$ ” o la varianza “ $\sigma^2$ ”. En la mayoría de los casos esta información es desconocida, por lo que puede usarse la desviación estándar de una muestra “s” como estimación de la “ $\sigma$ ” desconocida. Aquí la razón de obtener en primer lugar una muestra piloto, para poder obtener de ella la información estimada de la población y finalmente determinar el tamaño de muestra adecuado.

Para la especificación de los valores del error máximo y del nivel de confianza, en los negocios generalmente son los contratos legales los que los especifican. En la industria, son las regulaciones gubernamentales, como en el sector alimenticio y medicinal. En la administración pública son las normas internacionales, como pueden ser los niveles permitidos de contaminación, etc. En todos estos casos, son expertos quienes hacen esas determinaciones, al igual que en el presente estudio, donde estos valores fueron especificados de acuerdo a decisiones por parte del personal de la empresa involucrado en el proceso y de acuerdo también a la disponibilidad de tiempo y de recursos (videos de la operación).

Los valores para el nivel de confianza más utilizados, van desde un 90 % hasta un 99%, para el error máximo se toma en cuenta qué tanto “error” podría tolerarse al sacar conclusiones de la muestra.

Una vez obtenida la información de la muestra (desviación estándar) y determinados los valores del error máximo y del nivel de confianza, se procede a calcular el tamaño de la muestra adecuado con la precisión fijada por el investigador, en este caso los valores obtenidos para este tamaño muestral, fueron los siguientes:



Parte del proceso	Tamaño muestra piloto	Varianza	Error	Valor del error con respecto a la media	Nivel de confianza	Valor de Z para el nivel de confianza	Tamaño de muestra
Inspección inicial, máquina 1	30	0.00082	10%	0.00713	90%	1.645	44
Inspección inicial, máquina 2	30	0.00131	10%	0.00796	90%	1.645	57
Xerografía	30	0.00050	10%	0.00531	90%	1.645	48
Raspado, máquina 1	30	0.00105	10%	0.00594	90%	1.645	81
Raspado, máquina 2	30	0.00066	10%	0.00546	90%	1.645	60
Raspado, máquina 3	30	0.00191	10%	0.00873	90%	1.645	68
Cardeado, máquina 1	30	0.04091	30%	0.04599	90%	1.645	53
Cardeado, máquina 2	30	0.01431	30%	0.04051	90%	1.645	24
Cardeado, máquina 3	30	0.00617	30%	0.03327	90%	1.645	16
Encojinado	30	0.00071	10%	0.00577	90%	1.645	58
Armado	30	0.00074	10%	0.00595	90%	1.645	57
Encamisado	30	0.00039	10%	0.00420	90%	1.645	59
Vulcanizado	30	2.14303	10%	0.53806	90%	1.645	21
Pintura	30	0.00002	10%	0.00126	90%	1.645	37
Calidad	30	0.00034	10%	0.00571	90%	1.645	29

Tabla A1 “Valores para el cálculo del tamaño de muestra”  
Fuente: elaboración propia

Los valores sustituidos en la fórmula para determinar el tamaño de la muestra fueron los indicados en rojo. Para las actividades donde el tamaño de la muestra resultó ser menor a 30, se tomó una muestra final de 30 datos (correspondientes al tamaño de muestra piloto).

### 3. Obtención de la muestra final

Una vez que se calculan los tamaños de muestra de acuerdo a los valores establecidos (varianza, error y nivel de confianza), lo siguiente es tomar las mediciones para completar la muestra final, cuyo tamaño ha sido determinado.

De la misma manera en la que se obtuvo la muestra piloto, para obtener la muestra final se realizó un muestreo no probabilístico (muestreo intencional o de conveniencia), ya que al no tener acceso a la población, es decir a todos tiempos de trabajo en cada actividad del proceso, se solicitaron más videos del proceso, para poder obtener las mediciones faltantes, nuevamente sujeto a los recursos disponibles y así obtener finalmente el tamaño de muestra adecuado.