



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

**PROPUESTA DE DISTRIBUCIÓN DE PLANTA PARA UNA EMPRESA
LLANTERA MEDIANTE SIMULACIÓN**

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:

BÁEZ CARRERA CARINA

TUTOR PRINCIPAL
DRA. MAYRA ELIZONDO CORTÉS,
FACULTAD DE INGENIERÍA

MÉXICO, D. F. NOVIEMBRE, 2016

JURADO ASIGNADO:

Presidente: M. I Soler Anguiano Francisca Irene

Secretario: Dr. Guillen Burguete Servio Tulio

Vocal: Dra. Elizondo Cortés Mayra

1^{er.} Suplente: M. I Rivera Colmenero José Antonio

2^{d o.} Suplente: M. en I. Durán Rojas María Guadalupe

Lugar o lugares donde se realizó la tesis:

Laboratorio de Operaciones del departamento de
Ingeniería de Sistemas, UNAM

TUTOR DE TESIS:

DRA. MAYRA ELIZONDO CORTÉS

FIRMA

AGRADECIMIENTOS

Antes que, a nadie, quiero agradecer a la vida, a **DIOS** por permitirme hacer nuevamente lo que más me gusta: estudiar; también por guiarme con las personas indicadas y necesarias para concluir este grandioso viaje.

A mi madre: **Araceli Carrera García**, ejemplo de vida, mujer y persona, quien por medio de su exigencia me ha dado las herramientas para poder seguir haciendo lo que quiero y deseo, con el fin de poder ayudar a las personas. A mi papa: **Roberto Báez Reyes**, por ser amigo, cómplice y apoyarme a iniciar esta gran etapa de mi vida. No me alcanzará la vida para agradecer a dios por darme los mejores papas.

Al mejor compañero de vida, colega, esposo y amigo: **Genaro Cortez Aguilar**, por apoyarme en terminar una de las tantas aventuras que nos esperan juntos, por tu gran paciencia y amor, quiero que sepas que eres parte de cada una de las líneas de esta tesis, así como, de cada uno de mis días, gracias por leer muchas veces lo mismo amor, yo también te amo.

A mi tío **Luis Alberto Carrera García** por permitirme esta enorme oportunidad de aplicar la Investigación de Operaciones, por ser el enlace principal para que este trabajo fuera posible, sin duda estas líneas las estoy escribiendo gracias a usted.

Agradezco sin duda a los señores: **Joaquín y Ricardo** por confiar en este trabajo, permitiendo ingresar a su empresa, y ser promotores de vinculación entre la industria y la investigación, que tanto hace falta a México.

A mis hermanas, guerreras e íntimas, que siempre cuidare y amaré, siéntanse orgullosas tanto como yo de ustedes, lo son todo para mí, **Brenda Dalia, Araceli Bitilda, Arely Magdalena, Ana Gabriela, María Luisa (Tu más que nadie)**.

No sé si pueda volver a realizar otra tesis, pero, esta es totalmente dedicada a mis mijas (**Yue Navi, Brenda Sofía**) y mijos (**Jesús**) y los que vengan.

A mi familia: **cuñado, tíos, tías, manina, primos, primas** que al final del día me formaron con su amor, consejos y cuidados.

A mi nueva familia **Cortez Aguilar**, en la que me siento muy feliz, a mis suegros, abuelitos, comadre, cuñada, cuñados, ahijados y sobrino.

Y bendecida por otra familia que inicia con quien reforzó mi amor y entendimiento por el área que me apasiona de mi carrera, es esta tesis el resultado de una guía, de regaños, comentarios, consejos, de mi tutora la **Dra. Mayra Elizondo Cortes**, gracias y por favor nunca deje de enseñar.

A mis sinodales por regalarme tiempo de sus vidas, agradeciendo sus valiosos comentarios, sus atinadas observaciones y su participación en algo que se está convirtiendo en lo más importante de mi vida académica. Gracias M. en I. Durán Rojas María Guadalupe, Dr. Guillen Burguete Servio Tulio, M. I Rivera Colmenero José Antonio y M. I Soler Anguiano Francisca Irene.

A **CONACYT** por la ayuda económica, y oportunidades de investigación.

A mis nuevas amistades, estoy muy contenta que me haya cruzado en sus vidas, gracias: **Lilith, Romyna, Alan.**

“Por mi raza hablará el espíritu”

ÍNDICE

Índice de figuras	03
Índice de tablas	04
Introducción	05
1. Descripción del sistema bajo estudio	07
1.1. La empresa como caso de estudio	07
1.1.1. Antecedentes	07
1.1.2. Problemas del sector hulero	08
1.1.3. Descripción de la empresa	10
1.1.4. Organigrama de la empresa	13
1.2. Desarrollo del diagnóstico	13
1.2.1. Diagnóstico sistémico	15
1.2.2. Resultados del diagnóstico	17
1.3. Descripción de la problemática actual	18
1.3.1. Problema concreto	19
2. Marco de referencia	20
2.1. Marco teórico	20
2.2. Modelos y métodos	26
2.2.1. Simulación	31
2.2.1.1. Definición de simulación	31
2.2.1.2. Uso de la simulación	32
2.2.1.3. Ventajas y desventajas de la simulación	33
2.2.1.4. Modelos de simulación	35
2.2.2. Problemas de distribución de planta	35
2.2.2.1. Definición de la distribución de planta	36
2.2.2.2. Objetivos y ventajas de la distribución de planta	37
2.2.2.3. Tipos de distribución de planta	37
2.3. Objetivo general	38
2.4. Estrategia de investigación a utilizar	38
2.4.1. Metodología propuesta para la investigación	39
3. Simulación en la distribución de planta	45
3.1. Formulación del problema	45
3.2. Conceptualización del sistema	46
3.2.1. Proceso de renovación	47
3.2.2. Áreas	49
3.2.3. Factores del proceso de renovación	51

3.2.3.1. Material	51
3.2.3.2. Maquinaria	52
3.2.3.3. Mano de obra	53
3.3. Recolección de información para la construcción del modelo conceptual	54
3.4. Validación del modelo conceptual	59
3.5. Desarrollo y verificación del modelo	59
3.6. Validación del modelo programado	60
4. Experimentación de propuestas y análisis de resultados	62
4.1. Diseño ejecución y análisis de experimentos	62
4.1.1. Propuestas de distribución	63
4.2. Distribución de inspección inicial	64
4.2.1. Propuesta de distribución	67
4.2.2. Resultados de la distribución propuesta	70
4.3. Distribución de raspado	73
4.3.1. Propuesta de distribución	75
4.3.2. Resultados de la distribución propuesta	76
Conclusiones	79
Apéndice	
Metodología de sistemas suaves	81
EasyFit	85
Anexo del diagnóstico	89
Bibliografía	92

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1.1 Clasificación de las empresas
- Figura 1.2. Mercado de Renovadora de México, S. A de C. V.
- Figura 1.3. Organigrama de la empresa
- Figura 1.4. Cronograma de Actividades con base en las entrevistas realizadas para cada área.
- Figura 2.1. Metodología de Simulación.
- Figura 3.1. Proceso de renovación de Renovadora de México, S.A de C.V.
- Figura 3.2. Distribución actual de la planta
- Figura 3.3. Maquinaria "Parkinson"; utilizada para revisar físicamente la llanta
- Figura 3.4. Metodología para la toma de tiempo y movimientos.
- Figura 3.5. Distribución actual de Inspección inicial, representada en SIMIO.
- Figura 3.6. Gráfica de la producción de las llantas del modelo real VS modelo simulado
- Figura 5 Propuestas de distribución en la estación de inspección inicial.
- Figura 4.2. Flujo del Proceso de Inspección Inicial
- Figura 6. Distribución actual de inspección inicial
- Figura 4.4. Propuestas de una nueva distribución en Inspección inicial.
- Figura 4.5. Área de las propuestas de distribución 1,2 y 3 en inspección inicial.
- Figura 4.6. Gráfica del promedio de llantas que pueden se revisan en inspección inicial, según las propuestas 1, 2, 3, 4,5 y 6.
- Figura 4.7. Proceso de raspado
- Figura. Ejemplo del resultado de la Prueba de Kolmogorov-Smirnov.

ÍNDICE DE TABLAS

- Tabla 1.1 Problemas del Sector de Renovado, opiniones de los directores generales de ANDELLAC.
- Tabla 1.2. Top 10 de los países importadores de llantas.
- Tabla 2.1 Marco teórico resumido de distribución de planta.
- Tabla 2.1 . Marco teórico resumido de distribución de planta utilizando simulación.
- Tabla 2.1 Ventajas y desventajas, de técnicas y metodologías industriales y operativas.
- Tabla 2.3. Ventajas y desventajas de la Simulación.
- Tabla 3.1. Áreas de las estaciones de trabajo de la planta de Renovadora de México S.A de C.V
- Tabla 3.2. Tiempos de traslado de los operadores en la estación de Inspección inicial.
- Tabla 3.3. Imagen de videos que se utilizaron para tomar los tiempos y movimientos de las estaciones: Inspección inicial y Raspado
- Tabla 3.4. Tiempos y movimientos requeridos para las máquinas de inspección inicial.
- Tabla 3.5. Tiempos y movimientos requeridos para las máquinas de Raspado.
- Tabla 4.1. Cuadro resumen de los indicadores a utilizar para los problemas de Renovadora de México, S.A de C.V
- Tabla 5. Problemas en la distribución de inspección inicial
- Tabla 4.3. Número de corridas necesarias por cada propuesta 1-3
- Tabla 4.5. Simulación en los tiempos de ocio, bajo la propuestas 1,2 y 3.
- Tabla 4.6. Resultados de la simulación en la propuestas 1,2 y 3.
- Tabla 4.7. Número de corridas necesarias para las propuestas 4,5 y 6
- Tabla 4.8. Simulación en los tiempos de ocio, bajo la propuestas 4,5 y 6
- Tabla 4.9. Resultados de la simulación en la propuestas 4,5 y 6
- Tabla 4.10. Promedio de los tiempos y movimiento del proceso de raspado.
- Tabla 4.11. Problemas en la distribución de Raspado
- Tabla 4.12. Propuestas de las máquina a utilizar para la estación de raspado.
- Tabla 4.13. Número de corridas óptimas para las simulaciones de las propuestas
- Tabla 4.14. Promedio de las simulaciones de las llantas en el proceso de raspado, propuesta.
- Tabla 4.15. Promedio de las simulaciones de las llantas en el proceso de raspado, propuesta 2
- Tabla 4.16. Promedio de las simulaciones de las llantas en el proceso de raspado, propuesta 3.
- Tabla 4.17. Promedio de las simulaciones de las llantas en el proceso de raspado, propuesta

INTRODUCCIÓN

En un principio, el problema de la distribución de planta se estudiaba únicamente desde la experiencia del diseñador, hay que esperar a 1961 para que el ingeniero Richard Muther presente una técnica manual para la realización de distribución de planta. Muther (1956) afirma que la distribución de planta es un fundamento de la industria, ya que determina la eficiencia y, en algunos casos, la supervivencia de una empresa; implicando una ordenación física de los elementos industriales (máquinas, materia prima, almacenes, etc.), tanto los espacios necesarios para el movimiento del material, almacenamiento, y todas las otras actividades o servicios, como el equipo de trabajo y el personal de la planta.

El problema de distribución de planta se puede generalizar como un caso de optimización combinatoria intensamente estudiado y su complejidad lo sitúa como un problema NP-completo.

Este problema ha sido abordado por diversas perspectivas, utilizando técnicas industriales, así como herramientas de la investigación de operaciones y es que dada la complejidad computacional de los cálculos se han desarrollado heurísticas y metaheurísticas para obtener soluciones aproximadas; el presente trabajo de investigación propone mostrar que la simulación es una herramienta sistémica y sólida para resolver el problema de distribución de planta.

Una empresa puede tener un crecimiento constante durante muchos años. Por ello, conviene planear el crecimiento futuro de la distribución de la planta considerando las posibles afectaciones que pueda sufrir la planta, la empresa o incluso el producto o servicio; es por ello, que se muestra la simulación como una técnica empleada para que el equipo que conforma el investigador de operaciones, el tomador de decisiones y/o expertos determinen mediante diseños alternos una nueva distribución que aumente la producción de la empresa.

Se tuvo la oportunidad de desarrollar una tesis práctica, teniendo la ventaja de utilizar la teoría, y la experiencia de las personas involucradas de la empresa, para que toda propuesta que se pudiera ofrecer, fuera para agregar valor a su situación actual, confirmando que el proceso de simulación ayuda a clarificar y precisar los objetivos de los problemas de la empresa.

Llegamos al siguiente objetivo:

Proponer una nueva distribución en algunas estaciones de trabajo en la planta de Renovadora de México, S.A de C.V, utilizando la simulación de eventos discretos para ubicar elementos existentes como los son: equipos, máquinas, personas, materia prima; con el fin de resolver algunos problemas de distribución y poder valorar mediante indicadores cuantitativos su mejora.

Este objetivo se persigue en los subsecuentes cuatro capítulos, mismos en los que se puede estudiar lo siguiente:

- **Capítulo I:**

Se presenta a la empresa, el caso de estudio, a partir de los resultados de un diagnóstico sistémico, se prioriza resolver la problemática de la distribución de planta. Se hace una descripción de los problemas del sector en el que se encuentra la empresa, los antecedentes y estructura de Renovadora de México, S.A de C.V.

- **Capítulo II:**

En este capítulo se expone el marco teórico del presente trabajo, e incluye los conceptos necesarios de distribución de planta así como de la herramienta a utilizar: la simulación; a fin de mostrar los métodos y técnicas utilizados para el problema de distribución de planta, mostrando sus ventajas y desventajas.

- **Capítulo III:**

Se detalla paso a paso la metodología propuesta para la investigación, desde la formulación del problemas exponiendo el proceso de renovación, hasta la forma en cómo se van a diseñar las propuestas para corregir los problemas de la planta, junto con los indicadores de desempeño utilizados.

- **Capítulo IV:**

Se exponen las propuestas de distribución de las estaciones de trabajo: Inspección inicial y raspado, además, se presentan los resultados obtenidos con comentarios para mejorar la distribución actual de algunas estaciones de la planta de Renovadora de México, S.A de C.V.

CAPÍTULO I

Descripción del sistema bajo estudio

1.1. La empresa como caso de estudio

En este capítulo se presenta a: Renovadora de México, S.A de C.V¹, una empresa mexicana que se dedica al recubrimiento de llantas usadas y/o gastadas, para vehículos de equipo pesado, así como también a la venta de llantas renovadas.

En este mismo capítulo se muestra el tipo de empresa, la ubicación que Renovadora de México tiene frente al sector hulero, su estructura organizacional, y por qué es caso de estudio para esta tesis.

Se realizó un diagnóstico sistémico para el cual la empresa facilitó el acceso a la información, mediante: fotos, datos, visitas guiadas, entrevistas y juntas con dueños, directivos y responsables de cada área; con el fin de proponer mejoras que ayudaran a la empresa en el área de producción principalmente, con beneficios directamente en su desarrollo interno.

1.1.1. Antecedentes

México cuenta con una amplia variedad de recursos naturales no renovables entre otros están: el oro, la planta, el carbón, el petróleo. Éste último es considerado como la fuente de energía más utilizada en mi planeta. En México, cerca del 88% de la energía primaria que se consume proviene del petróleo, esta materia prima tiene una gran cantidad de productos como: telas, medicinas, plásticos, llantas.²

¹ Se omite el nombre real de la empresa por cuestiones de confidencialidad.

² El petróleo es un recurso que muchos países cuidan por ser su principal fuente de energía ; entre ellos

En mi país se desechan anualmente 25 millones de llantas desgastadas, de las cuales, nueve de cada 10 son enviadas a tiraderos a cielo abierto o depósitos clandestinos, convirtiéndose esto en un grave problema de salud y una amenaza para el medio ambiente. Es por ello, la necesidad de emplear técnicas para recuperar un recurso no renovable.

Para poder realizar procesos de renovación, las empresas deben estar reguladas bajo la Cámara Nacional de la Industria Hulera (CNIH). Constituida en 1942, la Cámara es el órgano representativo de la industria Hulera del país y está integrada por personas físicas y morales que se dedican a la transformación del hule en productos manufacturados. Se encuentra conformada por los siguientes sectores:

- Sector fabricante de varios artículos
- Sector fabricante de materiales para renovar llantas
- Sector fabricante de llantas.

1.1.2. Problemas del sector hulero

El sector de renovado de llantas cuenta con la Asociación Nacional de Distribuidores de Llantas y Plantas Renovadoras A.C. (ANDELLAC), quien ha comunicado por medio de sus directores generales, los problemas que el sector ha estado sufriendo desde el año 2012; en la Tabla 1 se muestra el problema que se estaba teniendo desde entonces:

PERÍODO EN ANDELLAC	DIRECTOR GENERAL	PROBLEMAS DEL SECTOR SEGÚN LOS DIRECTORES
2012-2014	Rubén Albarrán	<i>“...Estamos teniendo más llanta importada que llanta hecha en México. El país ha dejado las puertas abiertas a todos los importadores... ...Los chinos han traído mucha llanta barata y esto le está perjudicando al mercado y eso nos perjudica muchísimo...”</i>
2014-2016	Raúl Castillo	<i>“...Las llantas se cambian cada 6 años, por lo que al permitir el ingreso de llantas usadas se causan tres efectos: primero, se rompe la cadena económica de esta industria; dos, al ya no cumplir con condiciones de seguridad pueden causar accidentes en carretera; y tercero, a los seis meses dejan de servir y no hay quién pueda reutilizarlas...”</i>

Tabla 6.1 Problemas del Sector de Renovado, opiniones de los directores generales de ANDELLAC.
Fuente: Elaboración propia con base en las entrevistas en el periódico “El Financiero” (Raúl Castillo) y la revista electrónica “Vanguardia” (Rubén Albarrán).

En la Tabla 2 se muestra la lista de los principales países importadores de llantas a nivel global, posicionando a México en el sexto lugar con una participación de 9.8 millones de llantas, que equivale al 7.8% al igual que Tailandia; sin embargo, China importa cerca del 37% reflejadas en 46 millones de llantas.

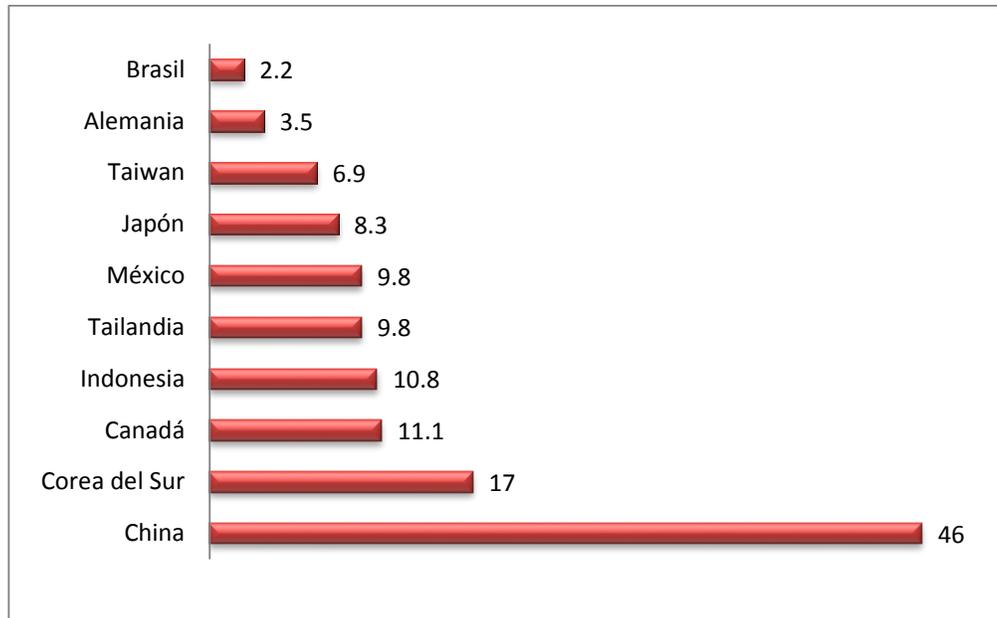


Tabla 1.7. Top 10 de los países importadores de llantas.

Fuente: Elaboración propia con base en el artículo "Sobre Ruedas" del periódico El Financiero (21 abril 2014).

1.1.3. Descripción de la empresa

Una de las empresas que se dedica a la renovación de llantas es Renovadora de México, S.A de C.V, con base en la Figura 1 la determinaremos como una empresa del sector industrial-manufacturero, con forma jurídica de sociedad anónima, y por la dimensión del tamaño de empleados, corresponde a una empresa mediana, ya que cuenta con aproximadamente 130 empleados.

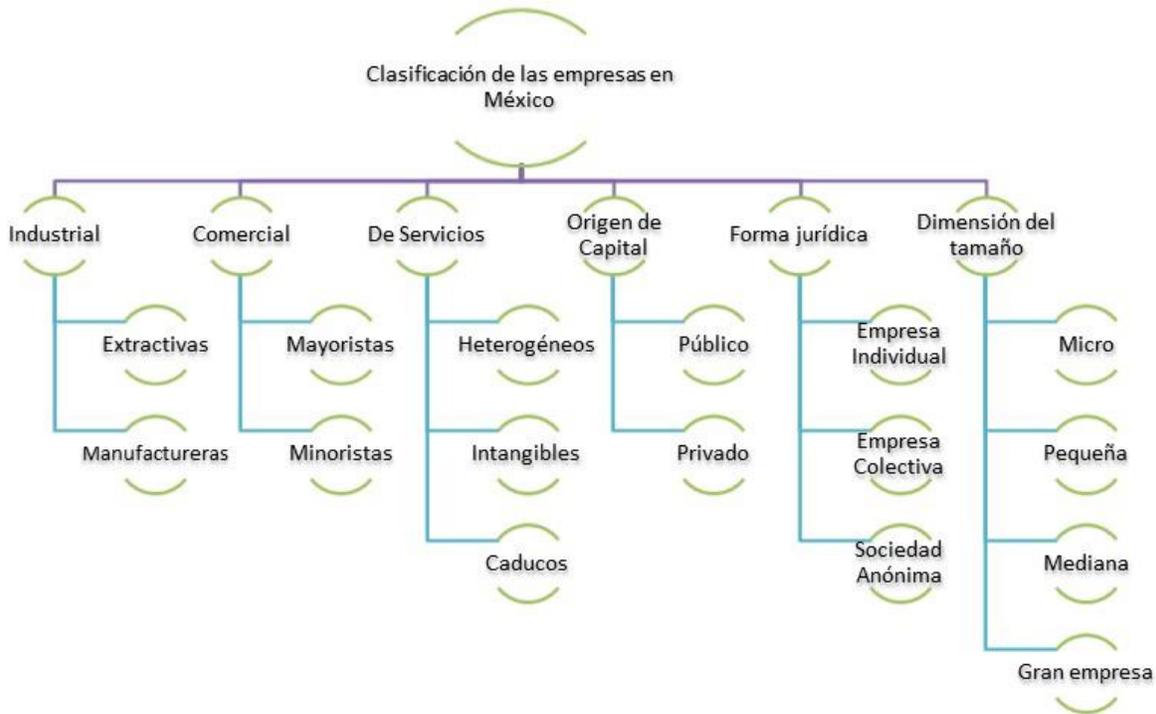


Figura 7.1 Clasificación de las empresas.
Elaboración propia con base en <http://www.inegi.org.mx/> y la estratificación que emite el Diario Oficial de la Federación, publicado el 19 de julio de 2013.

Renovadora de México, S. A de C. V, fundada en el año 1952, es una empresa familiar, originaria en Tula en el Estado de Hidalgo, de inicio se dedicaba a la fabricación de hule, posteriormente se cambia su razón social y se constituye como una empresa renovadora, inicialmente se ubicaba en el sur de la Ciudad de México, pero por cuestiones de crecimiento se traslada a Toluca, Estado de México.

Renovadora de México, S. A de C. V cuenta con una planta y una oficina principal ubicada en Toluca, donde tienen una bodega, equipo industrial (máquinas de vanguardia para el proceso de recubrimiento), naves de almacén. Además de 2 distribuidoras en el norte y sur de la ciudad de México, cada una de éstas con áreas de venta, contabilidad y distribución.

La producción depende de la demanda del producto, normalmente la planta labora de lunes a viernes con dos turnos de doce horas, iniciando de 6:00 am – 6:00 pm y el otro en la noche de 6:00 pm – 6:00 am, este horario sólo para el área de producción, ya que lo administrativo se requiere únicamente en el turno de la mañana con un horario de 8:00 am – 6:00 pm.

El mercado de Renovadora de México, está enfocado tanto a mayoristas con distribuidores, y minoristas con vulcanizadoras; los que se dividen según el número de venta y tipo de renovado, como lo muestra la Figura 1.2

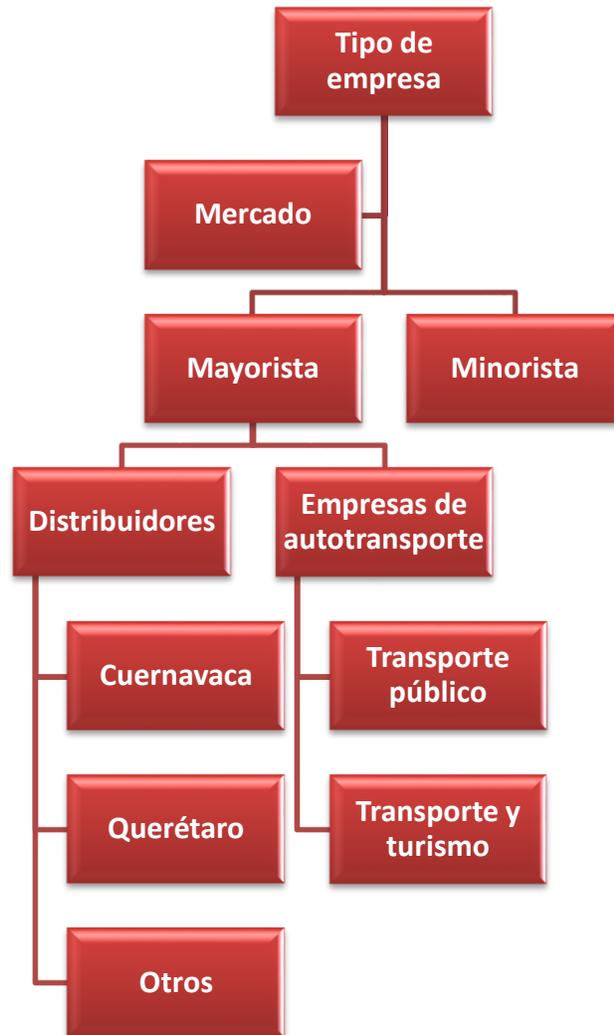


Figura 1.8. Mercado de Renovadora de México, S. A de C. V.
Fuente: Elaboración propia con base en Casar (1987).

Los socios principales en Renovadora de México son dos hermanos que son los dueños-directores, y son ellos los que toman las principales decisiones, quienes me invitaron a una junta con el gerente de asesoría técnica para exponernos problemas de todas las áreas de su responsabilidad; algunas:

- Reducción de productividad.
- Malos hábitos de los operadores.
- Accidentes en la planta.
- Máquinas paradas (sin uso).
- Pérdida de material.
- Falta de comunicación con las distribuidoras.
- Falta de objetivos en el área de ventas.
- Inventario no definido.

Según Sánchez (2011), es necesario conocer la estructura interna de la empresa, para conocer a las personas que lideran las áreas, también conocer el flujo del problema, por ejemplo, si existe un problema de cobro, al tener identificado que persona le reporta al área de contabilidad, el área de jurídico tendría más facilidad de aclarar un posible pago retrasado y de esta manera siempre sería claro saber con quién poder resolver problemas pequeños.

1.1.4. Organigrama de la empresa

Para Sánchez (2011), un organigrama es un modelo abstracto y sistémico que permite obtener una idea acerca de la estructura formal de una organización, en la Figura 3, se aprecia el organigrama de Renovadora de México donde hay áreas que dependen de más de una gerencia, provocando falta de comunicación y falta de identificación del jefe inmediato, orillando a la escasa coordinación en la mayoría de las áreas.

1.2. Desarrollo del diagnóstico

Conociendo únicamente la estructura interna de la empresa (esto por medio del organigrama), su organigrama no es un recurso viable para identificar las áreas con problemas, ni tampoco las opiniones de los directores eran suficientes para determinar el origen de los problema, por lo que se decidió que era mejor realizar un diagnóstico a la empresa para identificar la situación actual y a partir de ello proponer mejoras.

El objetivo de realizar el diagnóstico es conocer la situación de la empresa; para ello se observa, identifica y compara los beneficios y posibles problemas propios de la organización; pero de acuerdo con Villanueva (2009) el diagnóstico debe implicar el análisis de las ventajas, detección de problemas, entrega de conclusiones y recomendaciones por desarrollar, de los problemas detectados.

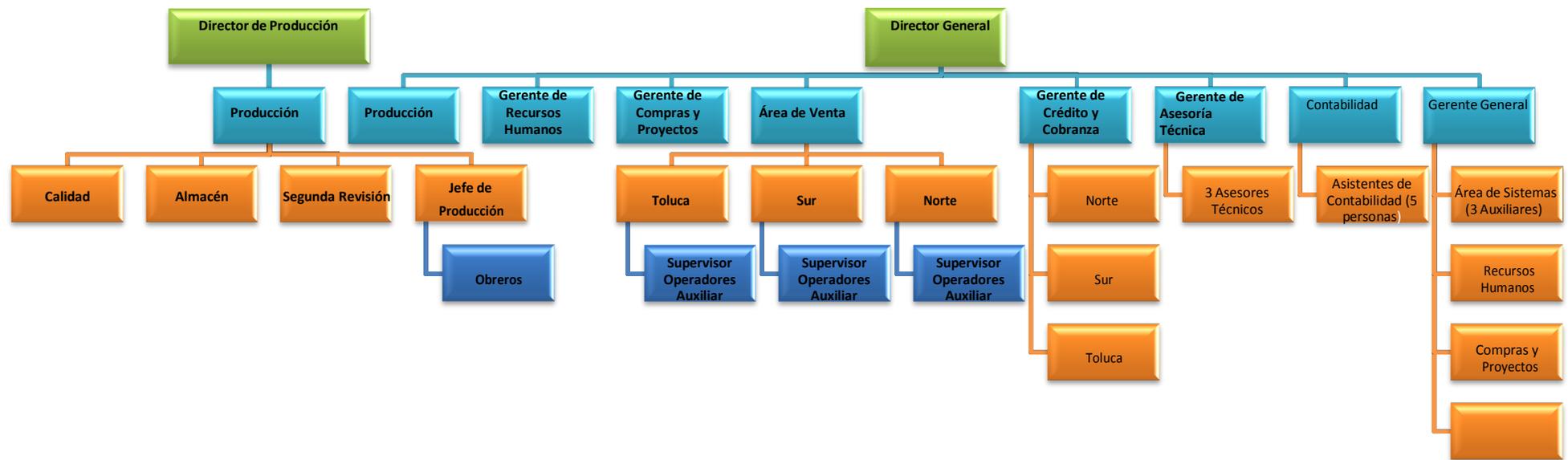


Figura 1.9. Organigrama de la empresa
Fuente: Elaboración propia con base en información del área de recursos humanos.

1.2.1. Diagnóstico Sistémico

El concepto de diagnóstico viene ligado a su raíz, del vocablo griego *diagnosis* que significa “conocimiento”, entonces, el diagnóstico empresarial o diagnóstico de una empresa hace referencia al conocimiento de la misma. ¿Qué podemos querer conocer de una empresa?:

- El proceso de asignación de actividades.
- La operación de la planta.
- El personal de la empresa.
- La administración o cómo se gestionan.
- Los insumos.
- Su producto final.
- Su entorno.
- Sus lugares de trabajo.

Este diagnóstico sistémico se realizó con base en la Metodología de Sistemas Suaves (MSS) propuesta por el Checkland (2002). La MSS puede aplicarse en cualquier entorno problemático de una organización humana.

Uno de los beneficios más importantes de la Metodología de Sistemas Suaves es que al utilizarla ayuda de manera organizada identificar problemas raíces o centrales de manera sistémica, y no como problemas independientes.

Se siguieron las siete etapas de la Metodología de Sistemas Suaves de Checkland (Ver Apéndice I):

1) **Identificar la problemática o situación no estructurada:** Esta etapa ocurre cuando el personal de la organización acepta que hay diversos problemas en la empresa y se debe a la mala organización existente.

2) **Situación estructurada:** En esta etapa se recolecta y clasifica la información, se describe la situación de la empresa, esta etapa fue hecha con entrevistas semi estructuradas y cuestionarios (Ver Anexo B) que ayudaron a dar una visión detallada de la situación actual por todas las áreas. Al término de esta fase, Checkland (2002) recomienda informar al propietario (dueño o director de la empresa, en mi caso) de la situación del problema antes de proveerle una posible solución.

3) **Nombramiento de los sistemas relevantes:** En esta etapa, cada sistema relevante corresponde a cada área de la empresa, en esta etapa se espera seleccionar una visión de la situación y producir una definición raíz.

4) **Modelo conceptual:** Checkland (2002), recomienda que no se demore mucho en esta etapa, ya que sólo es comparativa para obtener las mejoras en el modelo y no tratar de ver nuevas problemáticas, por ello se tuvo únicamente una reunión con cada área para obtener.

5) **Comparación de modelos conceptuales:** Para comparar los modelos conceptuales, se realizó una junta con los directores de la empresa, con la finalidad de que ellos expresaran las verdaderas urgencias de los problemas encontrados en su empresa. De acuerdo con Checkland (2002) esta etapa se presta a ser iterativa de ser necesaria.

6) y 7) **Identificando cambios y tomando acción:** Estas etapas van enfocadas a la toma de decisiones para la solución de los problemas encontrados y su puesta en acción.

Con base en la metodología que propone Checkland (2002), se estableció un cronograma de actividades para el desarrollo de los pasos tres, cuatro y cinco; como se aprecia en la Figura 4 este proceso se realizó en cuatro meses.

Cronograma de Actividades para el diagnóstico													
	Noviembre	Diciembre				Enero				Febrero			
Actividades	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Junta directiva													
Elaboración de cuestionario													
Juntas con áreas													
Interpretación de la información													
Realización de modelos conceptuales													
Juntas con áreas (retroalimentación)													
Análisis de información													
Realización de resultados de diagnóstico (Estado actual de la empresa)													
Presentación de resultados													
Documentación													

Figura 1.10. Cronograma de Actividades con base en las entrevistas realizadas para cada área.

Se recomienda que se envíe con anticipación, un cuestionario general de los temas que se podrían preguntar (Ver Anexo A); cabe mencionar que durante este proceso, se grabó únicamente a los que aceptaron responder el cuestionario.

1.2.2 Resultados del diagnóstico

La situación de la empresa en el período del segundo semestre del 2014 presentó los siguientes problemas:

- Falta de valores, misión y visión

Se debe identificar la misión, así como el porqué de la organización. Respondiendo las preguntas:

¿Quiénes son? ¿Para qué existen? ¿Qué hacen? ¿Para quién trabajan? ¿Cuáles son sus valores?

Esto es un problema ya que las decisiones estratégicas surgen a partir de la misión. La visión consiste en una declaración formal de lo que la empresa trata de lograr, y a falta de ella no hay metas que la empresa no tiene un objetivo, el cual deba cumplir.

- Estructura organizacional deficiente

Falta de organización ordenada, funcional, jerárquica y responsable de la renovadora. No está definido el jefe directo en algunas áreas.

- Carencia de establecimiento de objetivos

Cada gerente sabe de manera intuitiva cual es el objetivo de su área, sin embargo, al no establecerlo con su equipo, el personal realiza sus actividades sin objetivo.

- Falta de evaluación y seguimiento

No se supervisa que las políticas o procesos de la planta se cumplan, incluso, el primero en romper las políticas de procedimientos es el dueño, lo cual trae como consecuencia que el personal minimice la importancia de las mismas.

- Comunicación deficiente

El no tener definidas las líneas de autoridad genera una comunicación deficiente entre los miembros de la organización, ya que éstos no saben con certeza a quién acudir o no se generan vínculos de confianza para que se puedan comunicar los problemas que surjan en la operación cotidiana del negocio, algo que también se produce es la doble tarea en algunas áreas.

- Falta de controles administrativos

Los dueños desconocen la situación financiera exacta de su negocio, debido a que no llevan los controles ni registros necesarios para conocer sus ingresos, egresos, rotación de inventarios, porcentaje de ventas.

- Desinterés por los aspectos jurídico-corporativo.
- Existe una preocupación importante por la baja venta de las llantas renovadas, debido al ingreso de la llanta China en México.
- Rezago tecnológico.
- Carencia de personal capacitado.

Se proporcionó información de la producción para utilizarlo en el análisis de la demanda de la empresa desde el año 2009. Durante estas entrevistas; se confirmó por el 80% que no planean la demanda, hay falta de criterios para incorporar un nuevo sistema y no tienen métricas para evaluar las distintas áreas de la empresa.

También expusieron que no tienen conocimiento de los tiempos en que realizan las tareas los operadores en cada estación de trabajo, lo único con los que cuentan es una base que registra mediante el escaneo de las llantas el tiempo en que una llanta permanece en algunas estaciones de trabajo, sin embargo, no es de gran ayuda para la atención al cliente; otra medida que tienen son cámaras de seguridad.

El resultado del diagnóstico que se proporcionó a los dueños, incluye propuestas de mejora, este documento se encuentra en el Anexo B; en él se detalla información general, las actividades principales que realizan (según lo percibido en las entrevistas), así como un cuadro a manera de resumen, con comentarios generales, propuestas de mejora y observaciones del proceso de cada área.

1.3 Descripción de la problemática actual

Mediante los resultados del diagnóstico, los dueños- directores determinaron la problemática de distribución de la planta, la cual se realizó manera empírica y es la que generaba más problemas.

Algunos de los problemas de distribución de la planta que se detectaron con base en el diagnóstico fueron:

- **Equipo obsoleto**, este problema se tiene por aquellos equipos viejos que no se han quitado desde que fueron sustituidos por máquinas nuevas, este espacio afecta el flujo

- del proceso, además, de estorbar y quitar lugar en algunas estaciones de trabajo;
- **Equipo innecesario** los rieles que se encuentran de más en algunas estaciones, siendo que en la mayoría de las veces no se ocupan durante el proceso de renovación, en ocasiones afectan al personal, provocando el olvido de llanta en los rieles que no se ocupan, incluso han provocado que se golpeen con las llantas los operadores;
 - **Mala distribución de máquinas**, un problema que incluso ha causado accidentes, es la distribución de algunos equipos, ocupando espacio en los pasillos de tránsito, provocando accidentes entre personas y/o montacargas;
 - **Áreas no confinadas**, al no tener áreas definidas en las estaciones de trabajo, operadores de otras estaciones afectan a sus compañeros, generando tiempos de ocio;
 - **Movimientos innecesarios**, algunas estaciones de trabajo requieren de material que solo se pueden abastecer yendo hasta las bodegas.

1.3.2 Problema concreto

El problema concreto que se debe resolver es la inadecuada distribución de planta con la que opera la empresa Renovadora de México, S.A de C.V, se darán propuestas de mejora a los problemas citados en los puntos anteriores, los cuales se van a medir mediante indicadores industriales como la razón de incremento de producción; razón de operación; razón de movilidad; aumento de producción; porcentaje del tiempo de ocio, etc.

En el siguiente capítulo, se muestra la literatura investigada para saber con qué herramientas, técnicas o metodologías se ha resuelto el problema de distribución de planta, y con base en esta información establecer el objetivo y las estrategias de investigación a utilizar en mi trabajo.

CAPÍTULO II

Marco de referencia

2.1 Marco teórico

Con base en el capítulo anterior, se diagnosticó que el problema que se requiere abordar en Renovadora de México, S. A de C. V. es el problema de la distribución de planta de algunas estaciones de trabajo, por lo que el objeto de estudio es la ***Distribución de la planta***; esto genera las siguientes preguntas:

- ¿Qué beneficios se obtendrían con la nueva distribución de planta?
- ¿Cómo resolver el problema de la nueva distribución de planta?
- ¿Qué metodologías se han usado en trabajos de distribución de la planta?
- ¿Quiénes han investigado el mismo objeto de estudio y qué dicen?
- ¿Con qué perspectiva se estudia el objeto de estudio?
- ¿Han utilizado la simulación para determinar una propuesta de una nueva distribución de planta?
- ¿Utilizan algún software general de simulación o algún software especializado?
- ¿Qué aportes se pueden realizar?

Para contestar algunas de estas preguntas se realizó una búsqueda de literatura que ayudó a visualizar mi trabajo frente a otras investigaciones. En la literatura se da a conocer que la búsqueda de una distribución óptima ha sido un problema atacado principalmente por ingenieros industriales e investigadores de operaciones.

De la Fuente García (2005) explica que en un principio, el problema de la distribución de la planta se abordó únicamente desde la experiencia del diseñador, hay que esperar hasta 1961 para que Richard Muther presente una técnica manual para la realización de distribución de planta (*layout*³). El cual afirma que la distribución de planta es un fundamento de la industria, ya que determina la eficiencia y, en algunos casos, la supervivencia de una empresa. Implica la ordenación física de los elementos industriales, Muther (1956).

³Traduciendo *Layout* como Distribución de planta.

Por otra parte, Baca (2006), se refiere a la distribución de planta como aquella que proporciona condiciones de trabajo apropiadas y permite la operación más económica, haciendo énfasis en la seguridad y bienestar de los trabajadores y en la utilidad de una buena implementación para la disminución de costos. Propone que en la distribución de la planta se deban ponderar los cambios de la nueva distribución según sea el ahorro que se obtendría con el cambio propuesto.

Castañeda y Gómez (2013), comentan algo muy importante que ocurre en las pequeñas y medianas empresas, y es, el no tener claro su crecimiento con el paso del tiempo. Esto genera problemas financieros al momento de la expansión ya que por lo general no cuentan con el espacio físico necesario.

En Reyes (2013), se considera el problema de distribución de la planta, como uno de los problemas más complejos en la industria y plantea que usualmente su resolución se produce de manera empírica, aún en ámbitos profesionales, como es el caso de muchas organizaciones públicas y privadas, lo que implica el surgimiento de conflictos con el paso del tiempo.

La mejora continua que cita James Harrington (1993) es mejorar un proceso, cambiarlo para hacerlo más efectivo, eficiente y adaptable entre sus ventajas se encuentran: Reducir el porcentaje de productos defectuosos; incrementa la productividad y dirigir a la organización hacia la competitividad; eliminar los procesos repetitivos.

Gisbert V. (2015) indica que una máquina mientras sea más costosa tendrá una mayor depreciación; el modelo de *Lean Manufacturing* recomienda que en caso de tener que seleccionar una máquina de alto o bajo costo, simplemente se debe seleccionar la que tenga los costos de operación más bajos, esto incluiría que si la máquina no está dando un valor agregado al sistema y que al contrario, este generando un costo, ésta debería de eliminarse. En *Lean Manufacturing*, se entiende como desperdicio, aquellos procesos o actividades que usan más recursos de los estrictamente necesarios. Así pues, es fácil identificar desperdicios como: sobreproducción, tiempo de espera, transporte, exceso de procesado, inventario, movimientos innecesarios.

Steven Nahmias (2004) asegura que una buena distribución fue la clave para el éxito en la producción japonesa. Sostiene que, según algunos estudios, los Estados Unidos gastan más de \$500 billones de dólares anualmente en la construcción y modificación de instalaciones de planta.

En Diego Mas (2006) se expone que el problema de distribución de planta pertenece a los problemas NP- Completos, es decir, no existe un algoritmo que proporcione una solución

óptima en un tiempo razonable; para este autor una correcta distribución de planta debe permitir reducir los requerimientos de espacio y los desplazamientos de material, disminuyendo el volumen de trabajo en proceso y mejorado el control de materiales y producto acabado. También menciona varias técnicas industriales con las que se resuelve el problema de distribución de planta.

En la Tabla 3 se muestran algunos estudios donde se aborda el problema de la distribución de planta considerando algunas técnicas de la Ingeniería Industrial, así como herramientas de la investigación de operaciones como algoritmos heurísticos, técnicas híbridas como el artículo de Koopmans y Beckman (1957) donde formulan un heurístico que se basa en el algoritmo de asignación cuadrática, otros investigadores que solucionan el problema de distribución de planta mediante un heurístico son Armour y Buffa (1963) con el algoritmo *Computerized Relative Allocation of Facilities Technique* (CRAFT); con el cual se calcula la distancia entre los centros de las áreas comprometidas, considerando una distancia rectangular, y a partir de esta, se determina el costo de los movimientos, con el fin de determinar el mínimo costo de la mejor disposición.

AÑO Y AUTOR	TÍTULO	APORTACIÓN A LA TESIS	TEMA CENTRAL
Richard Muther (1956)	<i>Practical Plant Layout</i>	Dar una nueva distribución, debe pretender no cambiar de manera significativa la distribución, sólo lo imprescindible del proceso y realizando los ajustes mínimos necesarios.	Distribución de planta
Armour et al. (1963)	<i>A heuristic algorithm and simulation approach to relative location of facilities</i>	El problema de distribución de planta se resuelve por medio de un algoritmo heurístico (CRAFT), que determina patrones de localización subóptimos para las instalaciones físicas.	Distribución de planta, técnica heurística
Nahmias (2005)	<i>Production and Operation Analysis</i>	Una planeación efectiva de la distribución es capaz de reducir los costos entre un 10% y 30% por año, este dato ayuda a visualizar el impacto que tendríamos al resolver el problema de distribución de la planta.	Distribución de planta
De la Fuente y Fernández (2005)	Distribución de planta	Profundizan en la metodología de Muther (1968), Esta metodología (SLP), ha sido la más aceptada y utilizada para los problemas de distribución de planta, a partir de criterios cualitativos.	Distribución de planta, técnica industrial

Diego (2006)	Optimización de la distribución de planta de instalaciones industriales mediante algoritmos genéticos.	Muestra que el mayor inconveniente del algoritmo CRAFT, es arrojar soluciones poco realistas, dando escenarios difíciles de llevar a la práctica.	Distribución de planta, Técnica heurística
Márquez y Gutiérrez (2007)	Distribución para una nueva planta industrial de la empresa "Plásticos Saljim S.A de C.V"	Indican que el estudio de tiempos y movimientos es una herramienta para la medición del trabajo, mostrando que la toma de tiempos no son estándares para todas las empresas, sólo deben considerarse los movimientos relevantes.	Distribución de planta
Armida et al. (2009)	Distribución de planta para la fabricación de bloque ecológico de una empresa en etapa de post-incubación	Estimar el nivel de producción es un indicador muy importante para los directivos, ya que pueden realizar cualquier cambio de la planta considerando la ventaja del aumento de producción en la nueva distribución.	Distribución de planta; Industria manufacturera
Vera (2011)	Propuesta de una estructura de Simulación y distribución de planta para la producción de caucho.	Exponen un heurístico (Deltahedro), el cual determina el orden en el cual los departamentos son seleccionados, pero esta heurística solo aplica cuando son procesos en línea y además no requieran de Maquinaria o instalaciones muy grandes.	Distribución de planta, técnica heurística
Rajapaksh et al. (2011)	<i>Quantifying the Impact of Layout on Productivity: An Analysis from Robotic-Cell Manufacturing</i>	Proponen una nueva distribución mediante dos diseños que son: <i>layout in robotic-cell manufacturing: circular and linear.</i>	Distribución de planta, técnica heurística
Mejía (2012)	<i>Model for definition the layout of a manufacturing cell through optimization</i>	El autor propone un algoritmo híbrido entre un algoritmo genético y un algoritmo multi-objetivo, mostrando las nuevas formas de resolver el problema de distribución de planta.	Distribución de planta, técnica híbrida
Reyes (2013)	La aplicación de las técnicas <i>Systematic Layout Planning</i> y <i>Systematic Handling Analysis</i> para mejorar el movimiento de materiales en una empresa textil	Muestra que el problema de distribución de planta, suele ser uno de los problemas más complejos ya que su resolución se produce de manera empírica.	Distribución de planta, Técnica industrial

Castañeda y Gómez (2013)	Evaluación de una distribución de planta mediante simulación	Comentan que en las pequeñas y medianas empresas el área operativa no considera el crecimiento a futuro que puede llegar a tener, lo cual puede generar costos a largo plazo.	Distribución de planta, Simulación
Gisbert V. (2015)	<i>Lean manufacturing. What is and what is no errors in its most common application and interpretation</i>	El modelo de <i>Lean Manufacturing</i> recomienda que si la máquina no está dando un valor agregado al sistema y que al contrario este generando un costo, esta debería de eliminarse. También en este artículo muestra las razones de operación y movilidad que vamos a utilizar como indicadores para saber el aprovechamiento de las máquinas	<i>Lean Manufacturing</i>

Tabla 2.1 . Marco teórico resumido de distribución de planta.

En la Tabla 4 se muestran estudios donde se aborda el problema de la distribución de la planta utilizando modelos de simulación como: simulación basada en agentes y simulación de eventos discretos, aplicando distintos tipos de *software* y diversas metodologías de la simulación.

Azarang (1996) indica el cálculo que se requiere para saber el número de corridas necesarias para simular, esto es importante ya que la mayoría de los artículos donde utilizaron *software* de simulación no indican el número de simulaciones.

Medina *et al.* (2010), Simulan tiempos de espera de pacientes en el departamento de emergencias de un hospital con diferentes escenarios, es decir, cada propuesta es un determinado número de camas; en este artículo afirman que no siempre se deben dar muchos escenarios, ya que se puede perder tiempo en propuestas que no valen la pena analizar, concluyendo que entre más propuestas se obtengan simuladas, no implica que se tenga las mejores propuestas.

Los diferentes tipos de *software* que se utilizaron fueron para casos donde se aplicó la simulación de eventos discretos, la mayoría para la industria manufacturera.

AÑO Y AUTOR	TÍTULO	APORTACIÓN A LA TESIS	TEMA CENTRAL
Azarang (1996)	Simulación y análisis de modelos estocásticos.	Menciona el cálculo del número óptimo de simulaciones el cual dependerá del tiempo de corridas, y del tipo de distribución que se está simulando.	Simulación de eventos discretos y estadística
Giraldo et al. (2010)	<i>Integral methodology simulation support for the improvement of production systems job shop. Metalworking applications in SMES</i>	Concluyen que en los estudios con simulación discreta se pueden encontrar, parámetros y suposiciones estructurales o especificaciones del modelo conducen a un rendimiento óptimo.	Simulación de eventos discretos utilizando software PROMODEL
Medina et al. (2010)	Reducir tiempos de espera de pacientes en el departamento de emergencias de un hospital utilizando simulación	Afirman que no siempre se deben dar muchos escenarios; ellos proponen tres y solo varían las variables de control.	Simulación de eventos discretos utilizando el software <i>Arena Rockwell Automation</i>
Simón et al. (2012)	<i>The FlexSim Simulation, an Alternative Source for Decision-Making in the Operations of a Hybrid System</i>	Proponen un procedimiento para construir un modelo de simulación con la ayuda del software FlexSim.	Simulación de eventos discretos utilizando software FlexSim
Castañeda y Gómez (2013)	Evaluación de una distribución de planta mediante simulación	Argumentan que cuando se decide redistribuir se deben realizar estudios, no importando el giro ni el tamaño de la empresa, para comprobar que la nueva distribución realmente cubrirá las necesidades actuales y futuras.	Distribución de planta, técnica simulación de eventos discretos, software: <i>PROMODEL</i> ; Industria manufacturera.
Zhu et al. (2014)	<i>A FlexSim-based Optimization for the Operation Process of Cold-Chain Logistics Distribution Centre</i>	En este trabajo se modela y simula el proceso de operación de frutas y verduras congeladas del centro de distribución considerando el tiempo de ocio de los repartidores mediante el uso del software <i>FlexSim</i> .	Distribución de planta, técnica simulación de eventos discretos, software : <i>FlexSim</i> ; Industria de alimentos

Zhao y Tiejun, (2016)	<i>Optimizing layouts of initial AFV refueling stations targeting different drivers, and experiments with agent-based simulations</i>	Proponen una nueva distribución mediante la simulación basada en agentes	Distribución de planta, Técnica Simulación basada en agentes
-----------------------	---	--	--

Tabla 2.1 . Marco teórico resumido de distribución de planta utilizando simulación.

Como podemos apreciar en este marco teórico, en los últimos diez años, han surgido técnicas para resolver el problema de distribución de la planta, se desarrollaron nuevas herramientas; sin embargo, desde el área de Investigación de Operaciones, la simulación es la herramienta más utilizada, ya que presenta una metodología flexible para los diferentes problemas industriales. Uno de los objetivos de este trabajo de investigación fue identificar cómo midieron los resultados a los que llegaron en otras investigaciones, para ir sumando métricas y poder medir las propuestas futuras.

Con la aplicación de la simulación no sólo se obtienen escenarios de ahorro en el tiempo para el manejo de materiales y aprovechamiento del espacio disponible, sino también se conoce la producción de llantas y el uso de las herramientas para resolver los problemas de la **mala distribución** y **equipo sin utilizar**. Para el problema de **equipo obsoleto**, encontramos razones desechar máquinas que no dan valor agregado a la planta, este problema genera varios costos como lo plantea Gisbert (2015), perdiendo dinero con la depreciación de las máquinas, además de aumentar los gastos de operación con el mantenimiento.

También la búsqueda de literatura ayudó a identificar qué criterios se debían considerar para escoger el software, entre ellos: PROMODEL, Simio, Arena, FlexSim, etc. dejando claro que el uso de un paquete de simulación debe ir de la mano con una metodología clara y específica.

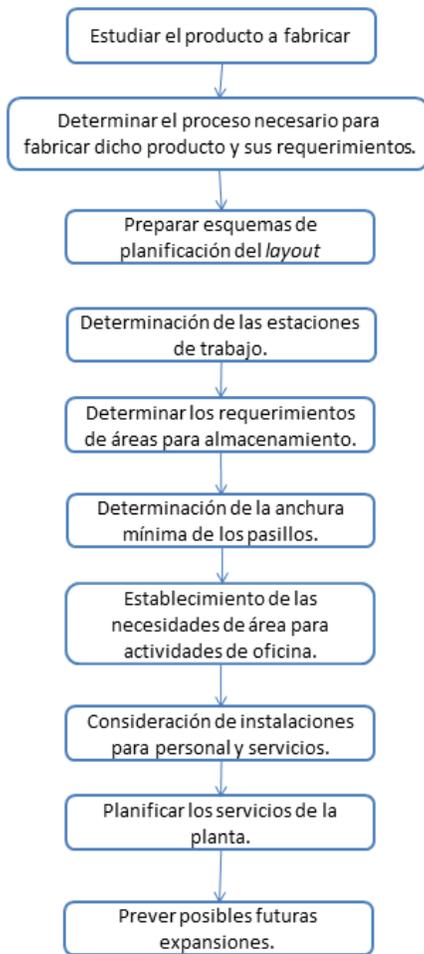
2.2 MODELOS Y MÉTODOS

Existen técnicas industriales con las que se han resuelto problemas de distribución; sin embargo, la diferencia entre estas técnicas y las herramientas de la investigación de operaciones; según Coss Bu (2003) son las teorías en las que se basan, por ejemplo la simulación se apoya fuertemente en la teoría de probabilidad, la estadística, las ciencias computacionales, mientras que las técnicas industriales utilizan métodos más cualitativos que cuantitativos, sin establecer un método estándar para realizar sus metodologías. En la siguiente Tabla se muestra las técnicas tanto industriales como operativas con las que se ha resuelto la distribución de planta con sus ventajas y desventajas.

TÉCNICA / MÉTODO	VENTAJAS Y DESVENTAJAS
<p style="text-align: center;">SYSTEMATIC LAYOUT PLANNING (S.L.P.)</p> <p>Se divide en tres etapas: Análisis, Búsqueda y la Selección. En la siguiente Figura se detalla la metodología de Planeación Sistemática de <i>Layout</i>.</p> <pre> graph TD A[Datos de entrada y actividades] --> B[1. Flujo de materiales] A --> C[2. Relación de actividades] B --> D[3. Diagrama de relaciones] C --> D D --> E[4. Requerimiento de espacio] D --> F[5. Espacio disponible] E --> G[6. Diagrama de relaciones de espacio] F --> G H[7. Consideraciones de modificación] --> G I[8. Limitaciones prácticas] --> G G --> J[9. Desarrollo de alternativas de la distribución de planta] J --> K[10. Evaluación] </pre>	<p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Esta técnica reúne mucha información del sistema de producción; • Es muy detallista, ya que requiere un cálculo geométrico exacto del lugar y de las distancias entre cada objeto que se encuentra en la planta. <p>Desventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cuando se miden los departamentos, se calcula una fórmula, la cual establece una forma deseable que asemeje un cuadrado perfecto, sin embargo, no podemos generalizar que todas las áreas de trabajo de una planta tengan esta forma; • No considera las posibles variaciones de las actividades actuales, aplica solo cuando el proceso sea cíclico o sea para la creación de un producto totalmente nuevo; • En la etapa de análisis de recorrido, se utilizan diferentes técnicas, este hecho puede ser muy subjetivo, ya que el analista puede utilizar diferentes diagramas, matrices, mapas, etc. • A pesar de tener una escala mediante un código de vocales, para el análisis de las relaciones entre actividades es al analista quien considera la relación entre cada proceso; • En toda la metodología no se valida con los tomadores de decisión y /o expertos.

METODOLOGÍA DE REED

En 1961, Reed propone que el diseño de las instalaciones se realice siguiendo un planteamiento sistemático.



Ventajas:

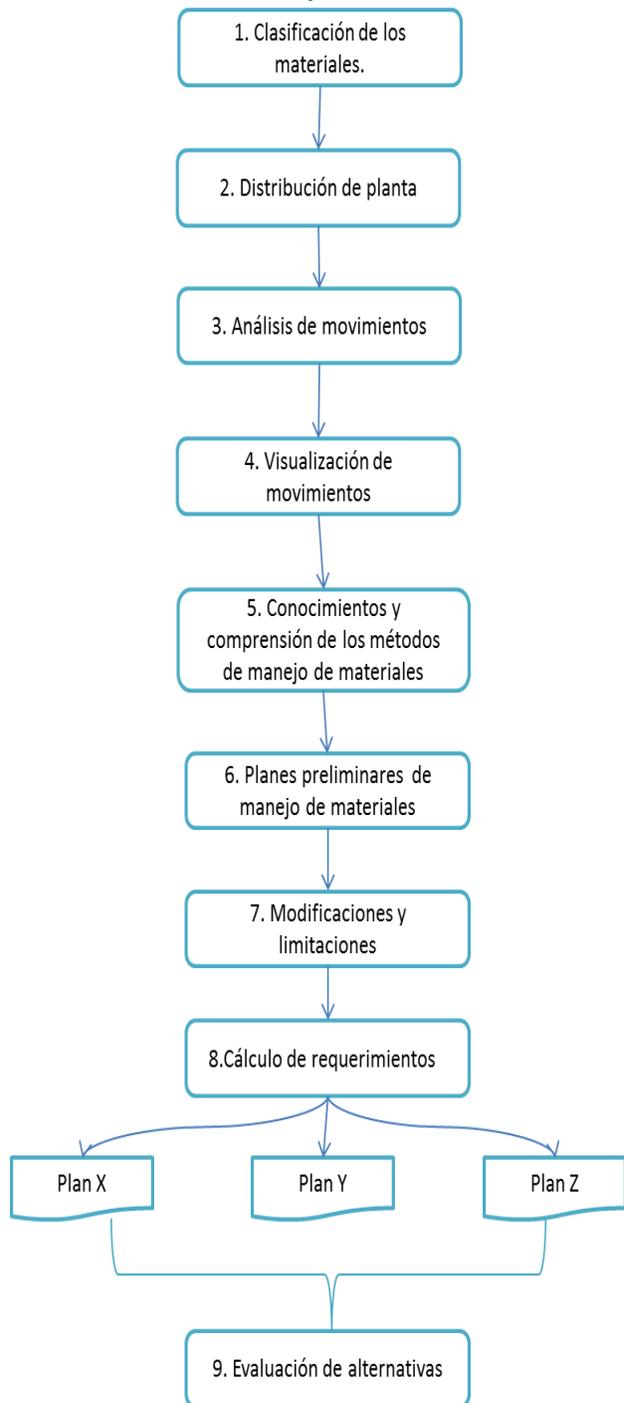
- Está técnica estudia el producto y es con base en las necesidades de este que establece una nueva planificación de la distribución de planta;
- Estudia las áreas requeridas que se utilizaran como almacén;
- Considera los servicios de la planta como lo son: la luz, agua, gas, etc.
- Prevé expansiones que posteriormente pudieran realizar.

Desventajas:

- Su principal criterio de distribución es minimizar la anchura de los pasillos;
- Durante la metodología no se valida con los tomadores de decisión y /o expertos.

Systematic Handling Analysis (S.H.A)

En nueve pasos se puede obtener una distribución que proporciona el mínimo manejo de materiales al más bajo costo.



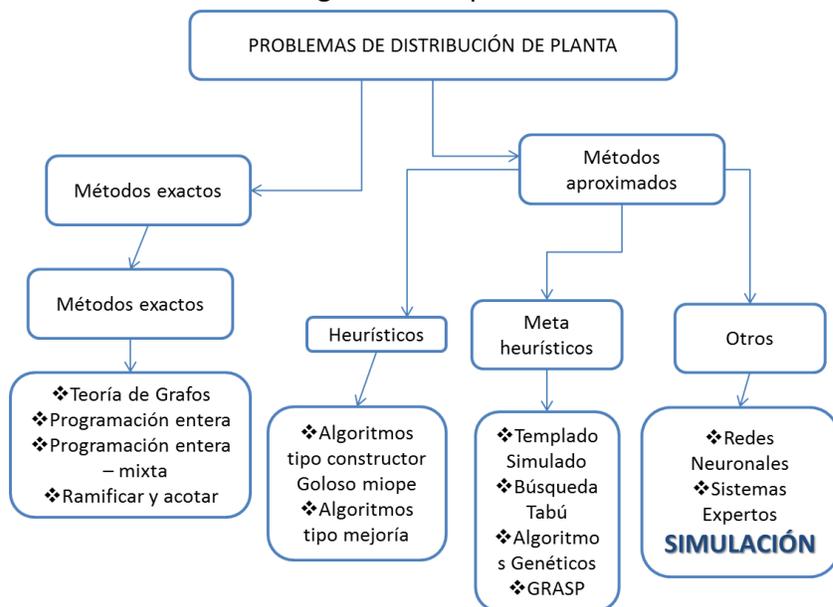
Ventajas:

- Es una técnica estructurada de análisis;
- Identifica los elementos claves de una distribución;
- Estudian las propiedades de los materiales a utilizar para el proceso de producción, principalmente aquellos que afectan su manejo;
- El tiempo que se toma para esta técnica se limita a los movimientos y duración de estos;
- Reduce demoras durante la fabricación;
- Evita la acumulación de inventarios entre estaciones de trabajo;
- Se hace una evaluación de alternativas, una vez que se tienen las propuestas;
- Realiza un análisis financiero.

Desventajas:

- No soluciona todos los problemas en la distribución;
- Solo considera movimientos lineales (horizontales y verticales) en el movimiento de las rutas;
- Resuelve solo los problemas de manejo de materiales.

Salas, *et al.* (2013) muestra métodos de solución exactos y aproximados con herramientas de la Investigación de Operaciones.



Ventajas:

- Los métodos exactos tratan de obtener la mejor solución global al problema;
- Se han desarrollado sub-problemas para una solución exacta, como es el caso de asignación cuadrática, para hacer una analogía de una estación de trabajo;
- Darán mejoras del problema inicial, es decir, de la distribución inicial;
- Reduce el costo del manejo de materiales, obteniendo el mínimo gasto a realizar;
- Algunos algoritmos heurísticos como CRAT, SPACECRAFT y WinQSB puede utilizarse para distribución de edificios de varios niveles;
- Los metaheurístico dan soluciones cercanas al óptimo;
- Una metaheurística desarrollada es Estrategias Evolutivas (EE), de la cual se obtiene una distribución basada en una estrategia en particular.

Desventajas:

- Los métodos exactos suelen ser exhaustivos y por la complejidad de casos se hace una opción ineficiente y poco operativa;
- Para los problemas de programación entera mixta, es una opción de solución si se tienen seis o menos instalaciones;
- Por ser un problema NP-Completo es imposible encontrar soluciones exactas en tiempos realistas;
- Algunos heurísticos como el algoritmo CRAFT arroja en ocasiones instalaciones con forma irregular o no posibles, sin embargo, es el algoritmo más conocido.

Tabla 2.1 . Ventajas y desventajas, de técnicas y metodologías industriales y operativas.
Fuente: Elaboración Propia con base en Diego Mas (2006) y Salas, *et al.* (2013).

En caso de adquirir nuevas máquinas para la planta y/o introducir nuevos productos, vuelve a la nueva distribución ineficiente, ya que tales cambios causan incrementos significativos en el transporte de materiales entre máquinas, disminuyendo la productividad del proceso. Para prevenir estas anomalías, una alternativa son los modelos de simulación.

2.2.1 Simulación

Como se ha dicho anteriormente la distribución de planta, es un problema complejo y estocástico, debido a la existencia de interrelaciones entre los elementos que existen: hombre, máquina, espacio, instrumentos que además se dan en el tiempo.

Es por ello, que a pesar de todas las ventajas que mostraron las técnicas industriales y operativas, en el punto anterior, se eligió la **SIMULACIÓN** como herramienta, para solucionar los problemas de distribución de la planta de Renovadora de México S.A de C.V. Basándonos en una metodología para crear un modelo que represente la distribución actual de la planta y se realicen experimentos en programas específicos a fin de proponer mejoras de distribución ya que no es posible hacer experimentos con el sistema real, se pensó en crear escenarios sin exponer a la empresa a cambios que ocasionen, daños y prejuicios en la misma.

Pero ¿qué tipos de simulaciones existen? y ¿cuál será la que se utilizará? a continuación se muestran definiciones de la simulación por autores que han estudiado y desarrollado diferentes metodologías.

2.2.1.1 Definición de simulación

El concepto de simulación ha sido expuesto por muchos autores, algunos de ellos se citan a continuación:

En el libro de **Azarang** y **García**; “Simulación y Análisis de Modelos Estocásticos” (1996), define la simulación como:

“El desarrollo de un modelo lógico-matemático de un sistema, de tal forma que se obtiene una imitación de la operación de un proceso de la vida real o de un sistema a través del tiempo. Sea realizado a mano o en una computadora, e involucra la generación de una historia artificial de un sistema; la observación de esta historia mediante la manipulación experimental, nos ayuda a inferir las características operacionales de tal sistema...”

Para Robert **Shannon** (2009):

“La simulación es el proceso de diseñar y desarrollar un modelo computarizado de un sistema o proceso y conducir experimentos con este modelo con el propósito de entender el comportamiento del sistema y/o evaluar nuevas estrategias con las cuales se puede operar el sistema”.

En la definición de **Flores y Elizondo** (2006) apuntan que 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 componen de éste) durante un cierto tiempo...”

Segovia Castro (2009), afirma que los recientes avances en las metodologías de simulación y la gran disponibilidad de diversos tipos de *software* existentes en el mercado han hecho que la técnica de simulación sea una de las herramientas más ampliamente usadas en el análisis de sistemas.

Con base en las definiciones vemos que lo importante del estudio de simulación, es tener bien definido el sistema, esto es, entender correctamente el proceso del sistema, considerar los datos necesarios para la recopilación, contemplar el tiempo que se va a simular y considerar el uso tecnológico, el tipo de software, el proceso claro, todo esto para manipular y analizar el sistema a simular.

2.2.1.2 Uso de la Simulación

Se puede hablar de diversas aplicaciones de la simulación, Coss Bu (2003) enumera los usos que puede llegar a tener la simulación, considerando diferentes áreas, desde la enseñanza con juegos de negocio hasta la simulación en campos de combate:

- Enseñanza: adiestramiento de astronautas, simuladores de vuelo, combate, en los juegos de negocios, esto es diseñado para brindarle al usuario una sensación de realidad, como si fueran ellos mismos los que estuvieran en una misión real;
- Redes de distribución: En el mundo de las corporaciones virtuales, ya no son las empresas productoras 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: Es un área con un interés creciente en las técnicas de simulación, ejemplos de simulación se pueden encontrar en todos los modos de transporte, ya sea aéreo, marítimo o terrestre, etc.
- En el campo de la logística, las principales aplicaciones de la simulación se centran en: fenómenos de espera, gestión de inventarios, confiabilidad, mantenimiento y verificación de la calidad, planificación, programación y control de proyectos;
- Un modelo de simulación para experimentar es necesario cuando la experimentación directa sobre el sistema real es muy costosa o imposible y cuando el objetivo es diseñar un nuevo sistema, dado que el modelo puede ir modificándose fácilmente hasta obtener el comportamiento deseado;
- Fabricación: Una de las áreas en donde tradicionalmente se ha aplicado intensivamente la simulación es en el campo de los procesos de fabricación y los sistemas de manipulación de materiales;
- Predicción: El modelo se puede usar para pronosticar el comportamiento del sistema real bajo ciertos estímulos. Se puede hacer así una evaluación de diferentes estrategias de acción.

2.2.1.3 Ventajas y Desventajas de la simulación

Cuando se afronta el estudio de un nuevo sistema, surge habitualmente la duda de si es conveniente el uso de la simulación para su resolución, es por ello que se muestra en la siguiente Tabla las ventajas y desventajas del uso de esta herramienta de acuerdo con los autores:

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> • Permite trabajar con sistemas muy complejos; • Permiten experimentar con sistemas que no existen físicamente, o con sistemas que existen sin alterarlos; • Permite comparar con facilidad diferentes configuraciones del sistema o diferentes políticas para gestionarlo; • Más control sobre las condiciones experimentales que con el sistema real; • Facilidad para estudiar el sistema con una gran escala temporal; • A través de un estudio de simulación se 	<ul style="list-style-type: none"> • Dificultad para validar el modelo: un modelo no validado no aportará información útil; • Los modelos complejos requieren mucho tiempo y dinero; • Los modelos probabilísticos aportan estimaciones. No hay un conjunto de soluciones cerrado; • Hay modelos de simulación en una computadora que son costosos y requieren mucho tiempo para desarrollarse y validarse; • Se requiere una gran cantidad de

<p>puede investigar el efecto de cambios internos y externos del sistema, al hacer alteraciones en el modelo y observar los efectos de esas alteraciones en el comportamiento del sistema;</p> <ul style="list-style-type: none"> • Una observación detallada del sistema que se está simulando puede conducir a un mejor entendimiento de este, y por consiguiente a sugerir estrategias que mejoren su operación y su eficiencia; • La técnica de simulación puede utilizarse para experimentar con nuevas situaciones, sobre las cuales se tiene poca o ninguna información. A través de esta experimentación se puede anticipar a mejor resultados no previstos; • Cuando se introducen nuevos elementos en un sistema, la simulación puede se usa para anticipar cuellos de botella o algún otro problema que puede surgir en el comportamiento del sistema; • Una vez construido, el modelo puede modificarse de manera rápida con el fin de analizar diferentes políticas o escenarios; • En algunos casos, la simulación es el único medio para lograr una solución. • Generalmente es más barato mejorar el sistema, vía simulación, que hacerlo directamente en el sistema real. 	<p>corridas computacionales para encontrar “soluciones óptimas”, lo cual repercute en altos costos;</p> <ul style="list-style-type: none"> • Los modelos de simulación no siempre dan soluciones óptimas; • La solución de un modelo de simulación puede dar al analista un falso sentido de seguridad; • Generalmente se requiere bastante tiempo para que un modelo de simulación sea desarrollado y perfeccionado; • Es posible que la alta administración de una organización no entienda esta técnica y esto crea dificultad en vender la idea.
--	--

Tabla 2.3. Ventajas y desventajas de la Simulación.

Fuente: Elaboración propia con base en Shannon (1975), Coss Bu (1993) y Azarang (1998).

Si bien la simulación es dinámica por naturaleza, es importante identificar el enfoque de simulación con la cual se va a trabajar para identificar algunos cambios de metodología si se requiere, a continuación se muestra los modelos que hay en el mercado en lo que se refiere a simulación y el modelo que se utiliza en este trabajo.

2.2.1.4 Modelos de simulación

Existen diferentes modelos de simulación para representar a los sistemas, se clasifican según su enfoque, de acuerdo con los siguientes criterios:

Modelo continuo: Se define a través de ecuaciones diferenciales, ya que estas permiten conocer el comportamiento de las variables en un lapso de tiempo continuo, es decir, que las variables de estado cambian continuamente con respecto al tiempo.

Modelos dinámicos: El estado del sistema que se está estudiando varía a través del tiempo. Este tipo de simulación permite observar los cambios que ocurren en el estado del sistema durante cierto tiempo específico.

Modelos estáticos: Este tipo de simulación representa un resultado bajo un conjunto de situaciones o condiciones determinadas y el efecto del tiempo no se tiene en cuenta.

Modelo determinista: Son relaciones constantes entre los cambios de las variables del modelo, es decir que tanto las variables de entrada como de salida son constantes.

Modelo probabilista: Tiene por lo menos una variable de entrada, la cual es independiente, y las variables de salida, que son dependientes. Ambas variables son aleatorias.

Modelo discreto: En este tipo de simulación los cambios de estado del sistema pueden representarse por medio de ecuaciones evaluadas en un punto determinado. Es este tipo de modelo que se utiliza, debido a que las situaciones que se van evaluar serán determinadas por cada escenario propuesto.

A continuación se plantea la definición bajo la cual se trabaja, así como los objetivos que persigue el problema de distribución de planta y los tipos que existen, para situar el objetivo que se perseguirá en los capítulos posteriores.

2.2.2 Problemas de distribución de planta.

La planificación de la distribución de la planta incluye decisiones acerca de la disposición física de los centros de actividad económica dentro de la instalación. Las primeras distribuciones fueron producto del hombre que realizaba el trabajo, o del arquitecto que hacia los planos del edificio, siempre se mostraba un área de trabajo destinada a una misión o servicio específico pero no se notaba ningún principio.

Posteriormente se resolvió este problema mediante los métodos cuantitativos o técnicas que sólo se enfocaban a problemas de la distribución, en ocasiones esto es suficiente si se persigue un sólo objetivo, sin embargo, los problemas que se pretenden solucionar son diferentes, es por ello que se hace imperativo evaluarlos con minuciosidad mediante un diseño adecuado de la distribución, todas las consideraciones acerca del qué, cómo, con qué y dónde producir o prestar un servicio, así como los por menores de la capacidad, de tal manera que, se consiga la mejor operación de las instalaciones.

2.2.2.1 Definición de distribución de planta

La literatura define la distribución de la planta de las siguientes maneras:

Para Otto Leidinger (1997), la distribución de la planta implica la ordenación de espacios necesarios para movimiento de material, almacenamiento, equipos o líneas de producción, equipos industriales, administración, servicios para el personal, etc.

Vaughn (1988) indica que la distribución de la planta es un arte que ha resistido con éxito a los intentos de convertirlo en ciencia... un objetivo principal en los criterios de la distribución de la planta: La minimización de los costos, pero los factores de costo.... son tan numerosos y complejos y se relacionan de manera tan distintas que a menudo hacen difícil un ataque sistemático

Es Fernández (2008) quien define a la distribución de la planta como la ordenación física (dónde) de los factores y elementos industriales que participan en el proceso productivo de la empresa, en la distribución del área (cuánto), en la determinación de las Figuras, formas (cómo) relativas y ubicación de los distintos departamentos.

La distribución de la planta se conceptualiza de la siguiente manera:

Se define la distribución de la planta, como el ordenamiento físico de materiales, equipo y maquinaria que constituyen el proceso de producción, y está orientado a aprovechar los espacios para que estos permitan el movimiento, almacenamiento o acciones que requiera el sistema con el fin de mejorar la eficiencia del proceso de renovado de llantas; sea que requiera, un cambio, reacomodo o incluso la posible eliminación de elementos del sistema, siempre que sea para solucionar los problemas de distribución de la planta de Renovadora de México, S.A de C.V.

2.2.2.2 Objetivo y ventajas de la distribución de planta

Para Muther (1956) el objetivo es hallar una ordenación de las áreas de trabajo y del equipo más eficiente en costos, al mismo tiempo que sea la más segura y satisfactoria para los colaboradores de la organización. Muther especifica las ventajas de una buena distribución:

- Reducción de riesgos de enfermedades profesionales y accidentes de trabajo;
- Minimizar los costos de producción;
- Minimizar tiempos de producción;
- Integración de todos los factores que afecten la distribución;
- Movimiento de material según distancias mínimas;
- Circulación del trabajo a través de la planta;
- Utilización “efectiva” de todo el espacio;
- Mínimo esfuerzo y seguridad en los trabajadores;
- Flexibilidad en la ordenación para facilitar reajustes o ampliaciones;
- Incremento de la productividad;
- Optimización del espacio;
- Optimización de la vigilancia.

Dependiendo de los objetivos que requiera la distribución, se alcanzaran los beneficios, sin embargo, es probable que una nueva distribución proporcione resultados adicionales a los objetivos de la empresa, quizás se obtengan algunas mejoras.

2.2.2.3 Tipos de distribución de planta

Como se ha dicho, una distribución adecuada en la planta proporciona beneficios a la empresa, por ello, la necesidad de identificar el tipo de distribución. Platas y Cervantes (2014) reducen a tres tipologías básicas de distribución de planta.

- **Distribución por componente principal fija**

Ésta distribución se utiliza en los casos en que el material que se debe transformar, no se desplaza dentro de la fábrica, sino que permanece en un solo lugar, y por lo tanto toda la maquinaria, mano de obra y demás equipos necesarios se trasladan hacia el mismo. Éste tipo de distribución se emplea cuando el producto es voluminoso y pesado, y sólo se producen pocas unidades al mismo tiempo, como lo es el caso del ensamble de buques y aviones, así como la fabricación de motores de grandes dimensiones.

- **Distribución por proceso**

Ésta es la distribución en la cual todas las operaciones de la misma naturaleza están agrupadas, es decir que éste sistema de disposición se utiliza frecuentemente cuando se fabrica una amplia gama de productos que requieren la misma maquinaria y se produce un volumen relativamente pequeño de cada producto, como lo es el caso de fábricas de hilados y tejidos, talleres de mantenimiento e industrias de confección.

La secuencia requerida por cada tipo de producto fabricado suele ser diferente, por lo que un número elevado de productos distintos crea una gran diversidad de flujos de materiales entre talleres.

- **Distribución por producto o en línea**

Éste tipo de distribución comúnmente denominado "distribución de producción en cadena", corresponde al caso en el que toda la Maquinaria y equipos necesarios para la fabricación de determinado producto se agrupan en una misma zona y se ordenan de acuerdo con el proceso secuencial de fabricación. Se emplea usualmente en los casos en que exista una elevada demanda de uno o varios productos más o menos estandarizados, o en la fabricación de productos específicos que tienen como base un producto genérico. Por ejemplo, el embotellado de refrescos, el montaje de automóviles, procesos sumamente estandarizados.

2.3 Objetivo General

Una vez que se ha planteado el problema en forma clara y se ha hecho una revisión de la literatura, sigue el planteamiento del objetivo de nuestra tesis.

Proponer una nueva distribución en algunas estaciones de trabajo de la planta en Renovadora de México, S.A de C.V, utilizando la simulación de eventos discretos para ubicar elementos existentes como los son: equipo, máquinas, personas, materia prima; con el fin de resolver algunos problemas de distribución y valorar mediante indicadores cuantitativos su mejora.

2.4 Estrategia de Investigación a utilizar

La estrategia de investigación que se utiliza se basa en la simulación de eventos discretos; sin embargo, se detallan los problemas y las métricas que medirán las mejoras de las distribuciones propuestas.

Entre los problemas que se resuelven está el problema del **equipo obsoleto** que tienen algunas estaciones de trabajo, el cual mostraremos porque la empresa debe eliminar estas maquinarias mediante los costos de mantenimiento y de depreciación; para el problema del **rendimiento de producción** se evaluará con la cantidad producida en cada propuesta de distribución; para el **equipo innecesario** se medirá con la razón de operación y la razón de movilidad para identificar las máquinas que realmente son necesarias; para el problema de la **mala distribución de las máquinas y las áreas no confinadas** que generan **tiempos de ocio**, se utiliza el software de simulación FlexSim, el cual ayuda a saber si se reduce el porcentaje de tiempo de ocio y qué porcentaje se tiene tiempo de ocio; por último, la redistribución física se modela en un software de simulación Simio para eventos discretos llamado que representa cada estación de trabajo con las modificaciones y cambios que se determinarán en el paso de diseño, ejecución y análisis de experimentos.

Una vez determinado el objetivo, se identifica la metodología con la que se resuelve el problema de distribución de la planta de la empresa Renovadora de México, S.A de C.V, se eligió resolverlo mediante la simulación de eventos discretos, utilizando dos *software* de simulación. A continuación se muestra la metodología propuesta en esta investigación.

2.4.1 Metodología propuesta para la investigación

Para finalizar este capítulo se expone la metodología de simulación que se aplica en este trabajo, con base en la propuesta de Flores y Elizondo (2007), el desarrollo completo de las actividades a realizar como: la validaciones del modelo; justificación de software de simulación, selección de distribuciones de probabilidad; levantamiento de datos; análisis de experimentos, etcétera se detallarán en los siguientes capítulos. En la Figura 5 se observa el diagrama, de la metodología de simulación, sin que ésta sea estrictamente lineal, puede observarse que en cada validación se puede regresar a verificar algún paso que requiera retroalimentación o alguna mejora en el modelo.

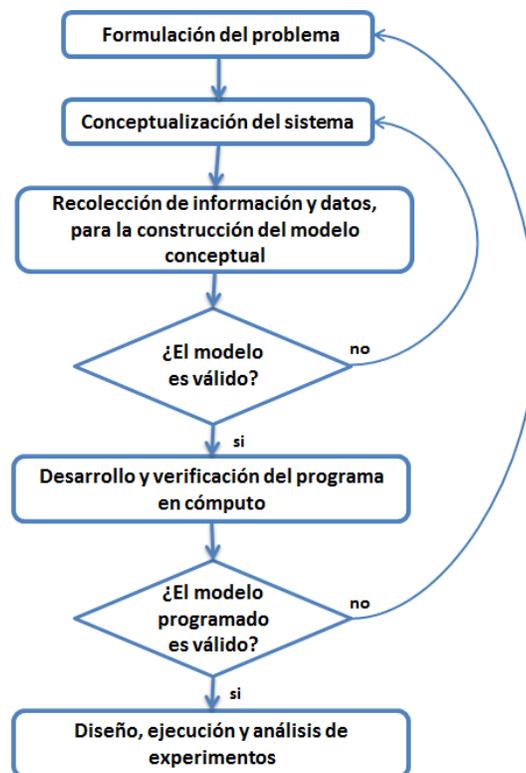


Figura 2.1 Metodología de Simulación.

Fuente: Elaboración propia con base en los apuntes de Simulación de Flores y Elizondo (2007).

1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Como primer paso de la metodología tenemos la formulación del problema, la cual consiste en definir ¿Qué es lo que se quiere analizar? ¿Qué problemática se va a resolver? ¿Qué problemas se pueden abordar? ¿Cómo se pretende que se comporte el sistema? ¿Cuáles son las necesidades del sistema? etc. Como ayuda a este paso se realizó el diagnóstico sistémico ya desarrollado en el capítulo anterior donde en el respondemos las preguntas; dejando claro que tenemos definida nuestra formulación del problema.

Así como lo mencionan Flores y Elizondo (2007) el objetivo de la simulación además de tener un propósito debe ser realista y alcanzable, considerando las restricciones o limitantes que se puedan tener en la formulación del problema.

Para el desarrollo de esta investigación se tuvo acceso a la información, videos, juntas, entrevistas y aún con todo lo permitido, se tuvieron que acotar las estaciones de trabajo y priorizar los problemas que se tenían en la planta. En la formulación del problema, no solo se definen los objetivos de la problemática, sino también los indicadores con los que se comparan los cambios en el sistema.

2. CONCEPTUALIZACIÓN DEL SISTEMA

En la conceptualización del sistema, se definen las variables, la interrelación en cada etapa, que constantemente va a estar cambiando ya que se pretende que sea en este paso donde el investigador operativo entienda el sistema, no solo su estructura sino también su operación; la retroalimentación es imperativa para obtener la mejor representación del sistema. Uno de los principios de la modelación es ser parsimonioso, para que el modelo sea más sencillo de manejar y de entender, ya que posiblemente después el uso lo haga una persona que no haya estado en el proceso de la construcción del modelo.

Al conceptualizar el sistema, se debe considerar cada elemento de la distribución actual, es decir:

- Número de operadores de cada estación de trabajo.
- Número de máquinas que existen en el área de trabajo.
- La frecuencia de máquina-hombre.
- La importancia del desempeño de la actividad a simular.
- El área de trabajo.
- Las herramientas que puede utilizar el operador.
- Los tiempos y movimientos.

Es importante delimitar aquellos elementos que no sean tan necesarios y determinar el nivel de detalle del modelo.

3. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN Y DATOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL MODELO CONCEPTUAL

Como su nombre lo dice, en este paso, se recolectará la información y datos necesarios para construir el modelo conceptual, es por ello, que desde la formulación de los problemas y la conceptualización del sistema, el analista debe comprender los objetivos de simulación para identificar la información necesaria para el análisis de información y una correcta extracción de datos.

En todo momento se debe considerar el alcance que se tiene, es decir, si la información que requerimos es confidencial, si se debe depurar la base de datos, si hay información que se deba operar, permisos, los tiempos en los que estarán disponibles , etc.

La empresa Renovadora de México de S.A de C.V, me dio todas las facilidades ,estuvo siempre en disposición con préstamo de material del área de recursos humanos, información del área de producción, lista de materiales de almacén, incluso permitió el acceso a la planta en actividad para tomar tiempos reales de cada operador (previamente

con su consentimiento), así mismo el área de sistemas apoyó con la grabación de las cámaras, las cuales se utilizarán para tomar tiempos y movimientos de los trabajadores en la planta.

Durante la modelación de la distribución de la planta se realizaron las siguientes preguntas:

- ¿Qué tiempos se deben considerar para cada estación de trabajo?
- ¿Qué movimientos realizan los operadores?
- ¿Qué información se debe consultar a la empresa?
- ¿Cómo se pretende obtener los tiempos y movimientos de los operadores?
- ¿Con qué estaciones de trabajo se contará para el desarrollo de esta tesis?
- ¿Qué tiempo se tiene disponible para la recopilación de información?
- ¿Cuántas juntas se requieren, entrevistas o guías durante el desarrollo de esta etapa?

Es fundamental que el investigador operativo, esté en constante contacto con las personas expertas del área de producción, ya que esta etapa es una de las más tardadas y requiere atención y entendimiento para obtener el modelo conceptual.

Uno de los errores que cometí en el desarrollo de este trabajo es que la recopilación de información debe ser necesaria y confiable, no sirve de nada una base de datos de 1, 000,000 de registros cuando lo que se utilizará es sólo el 30% o menos de esa información.

4. VALIDACIÓN DEL MODELO CONCEPTUAL

Una vez que se ha establecido la estructura del modelo, decidiendo los aspectos importantes del comportamiento del sistema, se debe validar el modelo conceptual, es decir, la distribución de la planta debe estar aprobada por los directivos.

El modelo se estuvo validando mediante juntas con los directivos para revisar que los planos estaban correctos, así como los movimientos de los operadores de cada máquina y se pudieron pedir guías del jefe de la planta o personal responsable, para dar recorridos y poder verificar los procesos.

5. DESARROLLO Y VERIFICACIÓN DEL MODELO CONCEPTUAL

Validado el modelo conceptual y obtenidos los datos necesarios, se debe trabajar la base de datos obtenidas en congruencia con el modelo conceptual, se analizan los datos con los que se cuenta y se realizan pruebas de bondad de ajuste, para identificar el tipo de distribución con que se comporta algunos elementos del sistema, pueden ser: máquinas, procesos, tiempos, etc.

Actualmente hay en el mercado paquetes estadísticos que solo necesitan las observaciones (datos) para poder compararlos con diversas distribuciones, basta con, especificar el tipo de distribución correspondiente a la observación; para esta actividad se utiliza un software estadístico, que contenga el mayor número de distribuciones. En el siguiente capítulo hablaremos de *EasyFit*, un software que se utilizó, para obtener las distribuciones de cada objeto con base en los tiempos y movimientos.

Posteriormente, una vez que se tienen las distribuciones y tiempos del sistema, se requiere la modelación del sistema en un software de simulación o bien que se tenga conocimiento del lenguaje de programación para realizar el código y verificarlo. El uso de un software comercial de simulación es útil para disminuir la cantidad de programación requerida, sin embargo, se recomienda considerar los siguientes criterios:

- ¿El *software* sea accesible o fácil de conseguir?
- ¿El costo del *software* se encuentre en el presupuesto del analista? existen varios software de simulación con licencia gratis, sin embargo, siempre hay que optimizar recursos económicos;
- Conocer las limitaciones del *software* de simulación, hay programas que solo pueden contar con un número finito de elementos, por lo general, se tiene esta restricción con *software* libres, y el acceso completo puede conseguirse con un precio;
- Qué tenga una gran variedad de distribuciones;
- Qué sea compatible con las características de la computadora con la que se va a trabajar;
- Qué el analista tenga conocimiento del idioma con el que opera el software;
- En caso de que se requiera programar, el analista deba tener conocimiento del código y que este se verifique constantemente;
- Los cálculos de cada corrida deba realizarse en un tiempo considerable;
- Qué pueda resolver los problemas de simulación que se consideraron en la formulación del problema;
- Qué la animación del software oriente al analista en la modelación del sistema.

En el desarrollo de este paso, en el siguiente capítulo, se muestra el uso de dos softwares de simulación, los cuales se utilizaron para completar las soluciones de los problemas expuestos, ya que con uno solo, no se contaba con la información que se requería para todos los problemas.

Para llevar a cabo un buen ejercicio de simulación antes de usar el modelo programado debe verificarse el modelo, con el fin de corroborar que realice las operaciones requeridas correctamente.

6. VALIDACIÓN DEL MODELO PROGRAMADO

Para la validación del modelo programado, también es necesario que se esté en constante comunicación con los tomadores de decisión, ya que el uso de la simulación se encontrará en el entendimiento de las personas que posteriormente lo van a utilizar. Son los responsables de la simulación quienes manifiesten que el modelo es lo suficientemente bueno para usarse en la toma de decisiones, pero, es importante señalar que un modelo de simulación sólo es válido para ciertos propósitos y no lo es para otros, por lo tanto, es de vital importancia actualizar las suposiciones en las cuales se basa el modelo e identificar algún cambio.

Es importante siempre especificar que el modelo no será una réplica de la realidad, como lo describen en los principios de la validación de un modelo, Flores y Elizondo (2007), generalmente no existe una correspondencia de uno a uno entre cada elemento del sistema y cada elemento del modelo.

Se puede aprovechar la validación del modelo y preguntar a los tomadores de decisión algunos escenarios que quisieran analizar, algunas opiniones para comenzar el diseño de experimentos. Se recomienda que en este paso se tenga atención a la opinión o posibles requerimientos de los directivos ya sea para agregar o eliminar algún elemento innecesario, preguntar por los espacios permitidos, políticas establecidas, etc.

7. DISEÑO EJECUCIÓN Y ANÁLISIS DE EXPERIMENTOS

En el diseño de experimentos se ocupan todos los pasos anteriores, ya que cada escenario propuesto deberá considerar los puntos convenidos en la validación del modelo y resolver los problemas que se especificaron desde un principio; deberá cumplir con los objetivos de simulación y no se debe desperdiciar tiempo en propuestas inútiles, es imperativo que en cada distribución se pueda obtener resultados que den alternativas a una mejora. En la literatura se encontró la manera de ponderar el número de corridas necesarias para cada propuesta, esto con la finalidad de no obtener demasiados resultados que pueda provocar un mal análisis o pérdida de tiempo.

Este paso requiere la creatividad del analista, para que las propuestas consideren no solo los elementos, sino, las interrelaciones administrativas (recursos, limitaciones, espacios, personas, máquinas, etc.) y técnicas (distribuciones de probabilidad, tamaño de las muestras, número de ejecuciones, etc.) que el modelo requiera.

CAPÍTULO III

SIMULACIÓN EN LA DISTRIBUCIÓN DE PLANTA

En este capítulo, se desarrolla cada paso de la metodología de simulación, es importante resaltar que solo será para algunas estaciones de trabajo debido a que no se obtuvo la información de todo el proceso de producción. Como se mencionó anteriormente, la metodología de simulación no debe realizarse de manera secuencial estrictamente, ya que se regresa para retroalimentar el modelo.

3.1 Formulación del problema

¿Qué es lo que se quiere simular? Un error muy común es formular el problema a partir de lo que se quiere modelar, es decir, el modelo final; sin embargo, el proceso debe iniciarse con el sistema actual, para que una vez que se comporte de manera similar a la realidad, podamos validar el modelo y hacer modificaciones para analizar el sistema.

Como se ha mencionado, se realizó un diagnóstico sistémico con base en la metodología de sistemas suaves para definir que es lo que se quiere estudiar y se identificó la problemática de la empresa, en los capítulos anteriores se define el objeto de estudio, sus problemas y el objetivo.

Durante visitas a la empresa se estuvo en contacto con el área de producción (expertos) y los directivos de la empresa (tomadores de decisión) para entender cómo se realizaba el proceso de producción; recordemos que Renovadora de México S.A de C.V es una empresa dedicada a la renovación de llantas usadas, la cual tiene un proceso establecido que consta de once etapas, las cuales tienen una estación de trabajo para cada proceso. En la Figura 6 se observa el flujo de operación del renovado de llanta. Lo que se quiere analizar mediante la simulación es la distribución de planta.

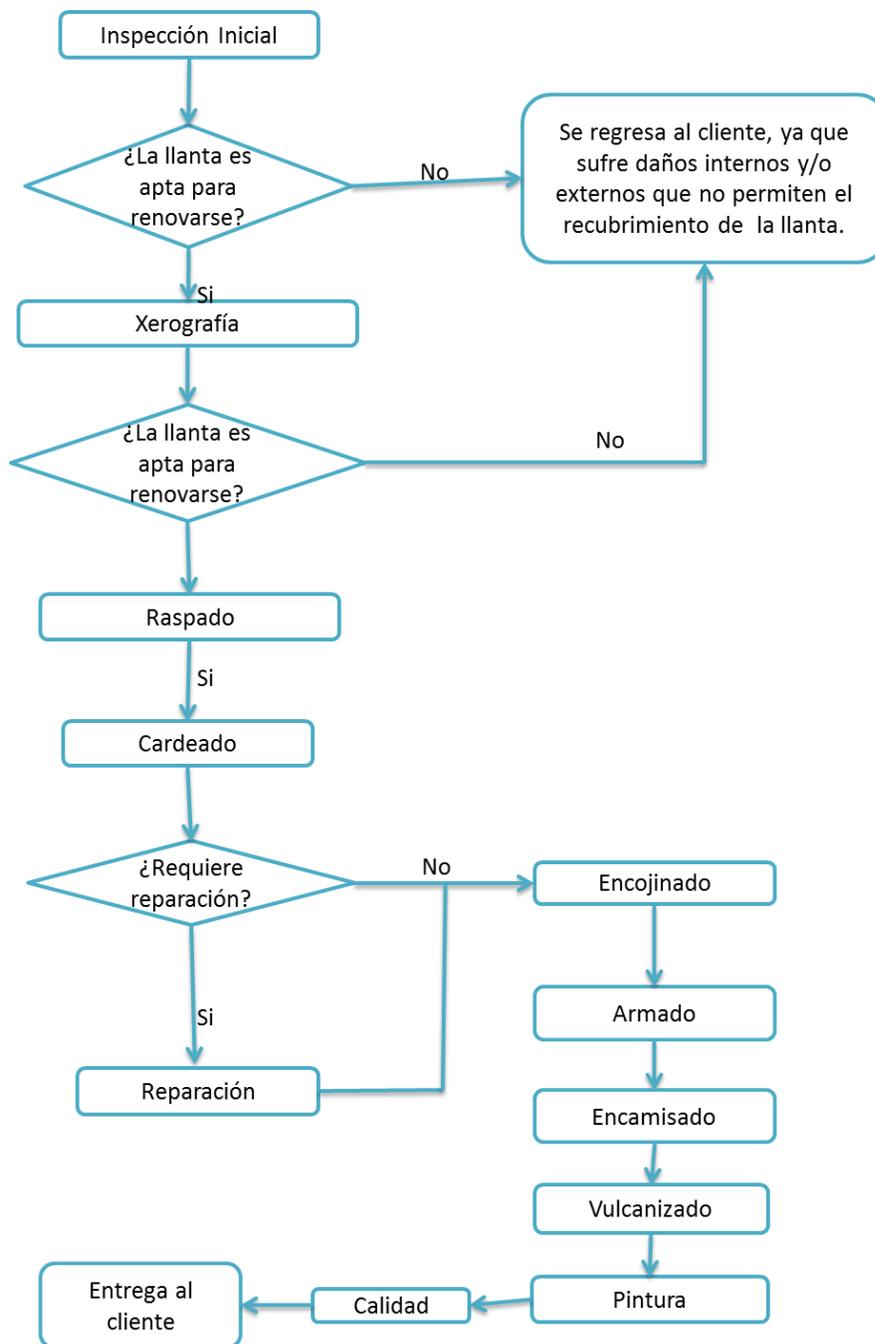


Figura 3.1. Proceso de renovación de Renovadora de México, S.A de C.V.

Fuente: Elaboración propia con base en el proceso establecido de renovación de llantas en la empresa.

3.2 Conceptualización del sistema

En la conceptualización del sistema, se deben definir las variables, la interrelación que estas tienen en cada etapa. Constantemente va estar cambiando ya que se pretende que sea en este paso donde el investigador operativo entienda el sistema, no solo su estructura, sino también su operación; la retroalimentación es imperativa para obtener la mejor representación del sistema.

De manera que en los siguiente puntos se describe cada etapa del proceso de renovación, las áreas, los factores del proceso de renovación, entre estos factores se encuentra: el material, la maquinaria, la mano de obra, etc.

Al conceptualizar el sistema, se debe considerar cada elemento de la distribución actual, es decir:

- Número de operadores de cada estación de trabajo.
- Número de máquinas que existen en las áreas de trabajo.
- La frecuencia de máquina-hombre.
- El área de trabajo.
- Las herramientas que puede utilizar el operador.

Es importante delimitar aquellos elementos que no sean muy necesarios y determinar el nivel de detalle del modelo.

3.2.1 Proceso de Renovación

Como se mostró en la Figura 3.1 la distribución de la planta corresponde a once estaciones de trabajo, las cuales cumplen con una tarea diferente, a continuación se describe brevemente cada una de estas etapas:

1. **Inspección inicial:** Se considera la etapa más importante del proceso, ya que en ella se decide si la llanta puede iniciar el proceso de renovación o es rechazada debido al desgaste excesivo que tiene el neumático. Más de la mitad de las fallas de las llantas renovadas tienen su origen por un descuido en la inspección inicial.
2. **Xerografía:** La máquina de xerografía es la parte medular del proceso de renovado, consta de un sofisticado equipo digital con rayo láser que permite un escaneo del neumático, lo fotografía en nueve secciones, detecta la falla y predispone su reparación en los pasos subsiguientes.
3. **Raspado:** Consiste en eliminar todo el remanente, suciedad y diseño de la banda, debe controlar una serie de especificaciones y parámetros para el raspado, que de lo contrario, pueden perjudicar la adherencia de la banda.
4. **Cardeado:** consiste en limpiar las zonas donde existen daños (perforaciones) y donde la raspadora no puede llegar por medidas de seguridad. Una vez terminado, se traslada al área de reparación, en caso de no presentar perforaciones profundas, se lleva directamente al área de Encojinado.

5. **Reparación:** consiste en la remoción y relleno del daño que presenta el neumático, ya sea por reparación superficial, pinchadura por un clavo, reparación de refuerzo o reparación de sección. En esta área le coloca un parche en la parte dañada del neumático, de acuerdo con la magnitud del daño (agujero) obtenido y posteriormente pasa al siguiente proceso.

Este proceso no se realiza en todas las llantas, solo se realiza cuando la llanta está muy dañada.

6. **Encojinado:** este procedimiento consiste en cubrir de goma (cojín) con una pistola extrusora todas las hendiduras, excavaciones o hundimientos presentes en la zona cementada, la goma (cojín) es fijada al neumático mediante un rodillo estriado para así nivelar totalmente la superficie que fue rellena y permitir que la banda, al ser colocada, no presente deformaciones.
7. **Armado de banda:** durante estos procesos se corta la banda pre-estampada a una medida igual al perímetro del neumático una vez raspado, el operario debe asegurar el logro de una excelente adherencia de los extremos de la banda al momento de ser colocada, en el caucho se coloca la banda pre-estampada al neumático de acuerdo con la longitud del mismo.
8. **Encamisado:** el neumático se coloca en la matriz, dependiendo de las dimensiones del mismo y con ello da comienzo al proceso de vulcanizado.
9. **Vulcanizado:** este proceso se lleva a cabo en una máquina llamada Autoclave. Esta operación se puede realizar de dos maneras:
 - 1.- Se prepara el neumático para ser vulcanizado, lo cual consiste en colocarle una funda o *envelope* (externo), luego un *innerlop* (interno), para garantizar una distribución uniforme de la presión y la temperatura. Culminado el proceso de vulcanización, se procede a retirar el *innerlop* y el *envelope*.
 - 2.- Se prepara el neumático para ser vulcanizado, colocándole una funda de goma (*envelope*), una tripa y un rin para garantizar una distribución uniforme de la presión y de la temperatura.
10. **Pintura:** en este proceso se pinta la llanta para una mejor apariencia de cómo llegó, este es un servicio adicional que da la empresa a sus renovaciones.
11. **Control de calidad:** se realiza una inspección visual externa e interna al neumático, en búsqueda de alguna anomalía que pueda justificar el rechazo del mismo.

3.2.2 Áreas

Se tomaron las dimensiones de la planta con dos propósitos, uno de ellos fue obtener el área correspondiente a cada estación de trabajo la cual se detalla en la Tabla 7; el otro propósito fue tomar medidas de cada acción del operador, entre ellos, la distancia recorrida del stock a la máquina y también, la distancia entre la máquina y el stock del siguiente proceso, el cual se necesitó para los tiempos y movimientos, pero, que se verá más adelante.

Id Proceso	Nombre del Proceso	Dimensión de Área (m ²)	Número de máquinas* ⁴	Número de Operarios
1	Inspección Inicial	51.9777m ²	3*	1-2
2	Xerografía	34.6518 m ²	1	1
3	Raspado	105.9966 m ²	3*	1-3
4-5	Cardeo / Reparación	70.8588 m ²	Cardeo 4* Reparación3*	Cardeo 2-3 Reparación 2-3
6	Encojinado	59.049 m ²	1	1
7	Embandado	47.2392 m ²	1	1
8	Encamisado	47.2392 m ²	3*	1-3
9	Vulcanizado	165.3372 m ²	5*	1-3
10	Pintura	59.049 m ²	1	1
11	Control de Calidad	23.6196 m ²	1	1

Tabla 3.1. Áreas de las estaciones de trabajo de la planta de Renovadora de México S.A de C.V
Fuente: Medición y elaboración propia de la distribución actual de la empresa

Estas medidas están distribuidas en la planta, la cual se ejemplifica en la Figura 7; la cual detalla las máquinas que se encuentran en cada estación de trabajo, cabe mencionar que también podemos apreciar el segundo patio y parte de los almacenes de la planta.

⁴ Los procesos que tienen asterisco (*) en la columna de número de máquinas, se refiere a que no todas las máquinas que se encuentran, son utilizadas.

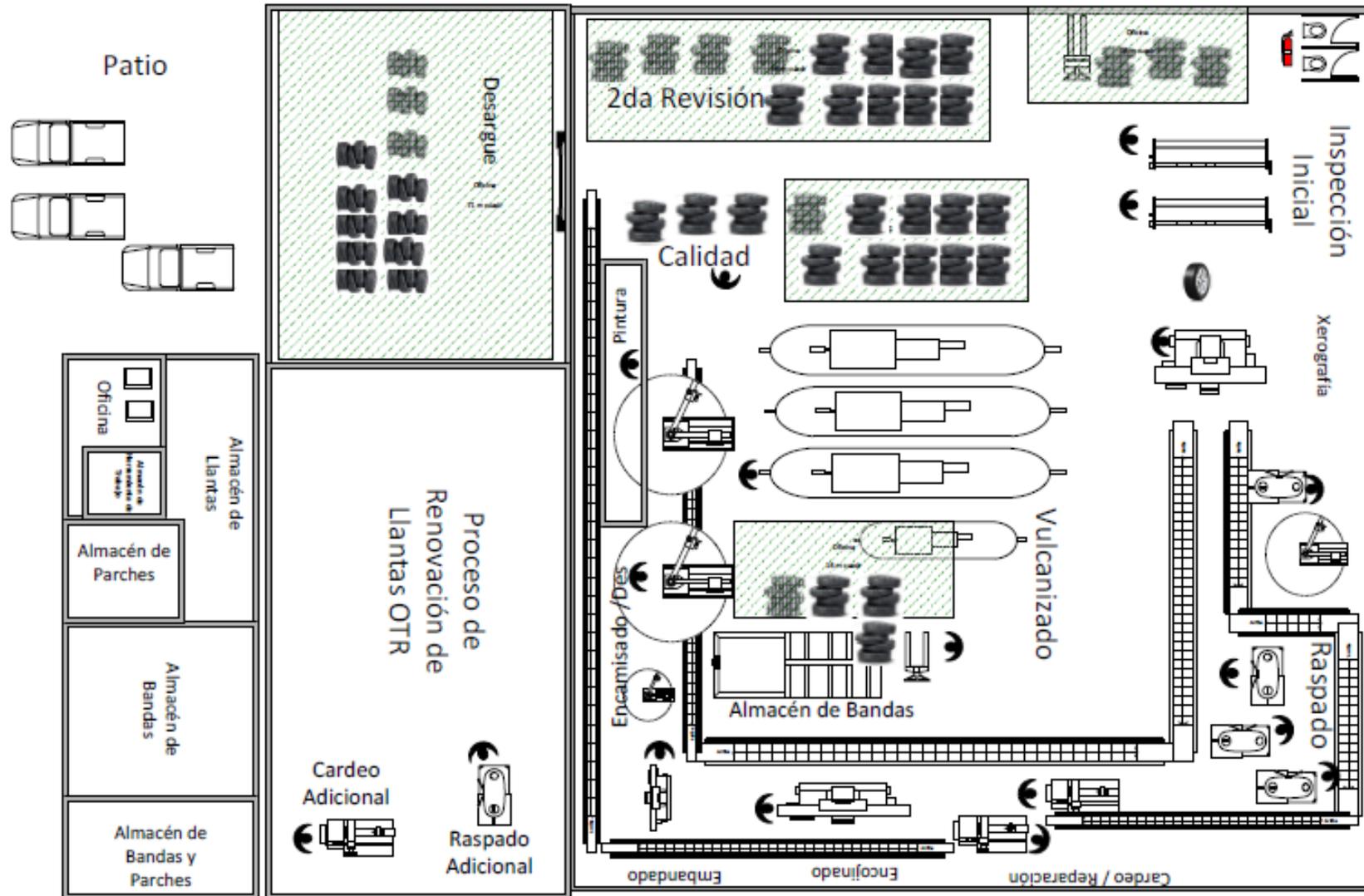


Figura 3.2. Distribución actual de la planta
Fuente: Elaboración propia con apoyo del programa Visio.

Como se mencionó anteriormente, las propuestas de distribución se realizan para las estaciones de inspección inicial y raspado, las cuales se resaltan en la Figura 3.2; esto debido a que solo se pudo recolectó la información de estas tres estaciones de trabajo; de manera que a partir de este punto se hará la referencia.

3.2.3 Factores del proceso de renovación

Para Nahmias (2004), Los factores de producción son todos aquellos recursos que contribuyen en la elaboración de un producto, es decir aquellos factores que hacen que el producto sea posible. Es necesaria la combinación de distintos factores de producción, que comprenden a cada una de las partes que intervienen directa o indirectamente en el proceso productivo y sin las cuales el producto no existiría.

Solo se consideran los factores que se utilizan en el proceso de producción, en particular los factores de: material, maquinaria y mano de obra.

3.2.3.1 Material

Para Acuña (1996), los materiales son las sustancias que componen cualquier producto, si no se tiene un buen control de los materiales se puede causar un inventario desequilibrado, abasteciendo a unos más que otros y llegando a afectar las líneas de producción.

El manejo de materiales puede llegar a ser un problema de la producción ya que agrega poco valor al producto y consume una parte del presupuesto de manufactura. Este manejo de materiales incluye consideraciones de movimiento, lugar, tiempo, espacio y cantidad. El manejo de materiales debe asegurar que las partes, materias primas, material en proceso, productos terminados y suministros se desplacen periódicamente de un lugar a otro y en cada operación que se requiera materiales o suministros deben de estar a tiempo en un punto en particular esto implica el eficaz manejo de materiales. Se asegura que los materiales serán entregados en el momento y lugar adecuado, así como, la cantidad correcta; esto se debe considerar en el problema de distribución debido a que los operadores deben desplazarse distancias innecesarias, perdiendo tiempo para suministrarse.

Acuña (1996), estima que en promedio del 60% al 80% del tiempo total del ciclo de manufactura es tiempo de manejo de materiales, la distribución de planta puede disminuir de manera indirecta el manejo de materiales, sin embargo, hay técnicas que se dedican exclusivamente a minimizar este problema.

Para efectos de este trabajo de investigación solo se muestran las herramientas de trabajo, con la que operan los trabajadores y en particular en el caso de la estación de inspección inicial, el tiempo de traslado (Tabla 3.2) de los operadores, para el proceso de raspado no se obtuvieron dichos tiempos.

Acciones	Máquina 1	Máquina 2
Tiempo promedio de traslado de material	00:05:24	00:08:29
# de traslados por semana	4	7

Tabla 3.2. Tiempos de traslado de los operadores en la estación de Inspección inicial.

Los materiales de protección⁵ que utilizan son una bata, cubre bocas, botas industriales, así como, guantes y los materiales que se utilizan para algunas estaciones de trabajo son:

- Alicates.
- Gises (crayón blanco).
- Luminaria de mano portátil (lámpara de luz blanca).
- Cincel.
- Barreta de punta.
- Cepillos.
- Pintura.
- Martillo.
- Cemento.

3.2.3.2 Maquinaria

Las máquinas cumplen la tarea principal de transformar ya que el obrero debe trabajar al ritmo de éstas, y sin duda son lo más importante en una fábrica, ya que con ellas se acelera o desacelera la producción, mejoran los procedimientos, perfeccionan trabajos, disminuyen el esfuerzo.

Es Helguera y García (2006), quien llama máquina a todo instrumento inventado por el hombre para auxiliar su trabajo; y se llama maquinaria a toda combinación de instrumentos que están bajo la dirección del hombre. Bajo esta definición llamaremos a un martillo, una barreta, un cincel, una herramienta cualquiera, como máquinas; en tanto que una prensa, una raspadora, un autoclave, un escáner de Xerografía serán maquinarias.

⁵ Los operadores no utilizan casco de protección y su uniforme es constantemente revisado.



Figura 3.3. Maquinaria "Parkinson"; utilizada para revisar físicamente la llanta.

3.2.3.3 Mano de obra

Se conoce como mano de obra al esfuerzo tanto físico como mental que se aplica durante el proceso de elaboración de un producto. La mano de obra de Renovadora de México, S.A de C.V recae en los operadores que se encuentran en cada estación de trabajo, estos son valuados y capacitados para desempeñar cada una de las tareas que les corresponde, sin embargo, su seguridad en ocasiones ha estado en riesgo debido a incidencias que pueden ser modificadas con una nueva distribución, estableciendo áreas confinadas, así como mediante la reubicación de maquinaria para un libre acceso a pasillos o en la misma estación.

Cada máquina puede ser utilizada solo por un trabajador, dependiendo de la estación de trabajo se puede tener desde un solo operador o incluso hasta 4 dependiendo de la demanda, sin embargo, el personal está propenso a los ruidos de las maquinarias, en la mayoría de los procesos se requiere solo del esfuerzo físico del operador al montar la llanta a la máquina, desmontarla y llevarla hasta el siguiente proceso, esta distancia no excede de cinco metros.

3.3 Recolección de información y datos para la construcción del modelo conceptual

Como su nombre lo indica, en este paso, se recolecta la información y datos necesarios para construir el modelo conceptual, en todo momento se debe considerar si la información que requerimos es confidencial, si se debe depurar la base de datos, si hay información que se deba omitir, si se requiere de algún permiso, si se tienen los tiempos, etc.

Para el desarrollo de este paso se tuvo el permiso y consentimiento de los involucrados, desde los directores al exponerles la opción de medir los tiempos y movimientos de sus operadores, hasta los trabajadores para medir sus tiempos.

La recolección de información y datos fue un proceso importante, debido a que no la tenían completa, si bien se proporcionaron bases que ayudaron a entender problemas, como la volatilidad de la demanda, estas no sirvieron para la modelación de los procesos de cada estación de trabajo.

La planta tiene un sistema de seguridad y cámaras de videos, las cuales se tomaron grabaciones por cada semana en cada estación de trabajo, tan solo la recolección de estos videos se realizó en aproximadamente 5 meses, además del análisis de los tiempos y movimientos; y fue durante este proceso, cuando se determinó a qué estaciones se podría modificar su distribución, los motivos principales fueron que se detectó que la ubicación de las cámaras no cubrían todos los operadores de manera clara.

A continuación en la Tabla 3.4 se mencionan el periodo de grabación de las tres estaciones con las que se trabajó y una imagen de los videos que se ocuparon para los tiempos y movimientos de esas estaciones.

PROCESO	PERÍODO	IMAGEN DE VIDEO
Inspección Inicial	Lunes 20 Abril 2015 al Lunes 27 Abril 2015	
Raspado	Lunes 27 Abril 2015 al Lunes 04 Mayo 2015	

Tabla 3.3. Imagen de videos que se utilizaron para tomar los tiempos y movimientos de las estaciones: Inspección inicial y Raspado

El estudio de los tiempos y movimientos según Márquez y Gutiérrez (2007) , es la aplicación de técnicas para determinar el tiempo en que se lleva a cabo una operación, actividad o proceso desarrollados, por un trabajador o máquina según una norma o método establecido, proponen una metodología para llevar a cabo este estudio, aclarando que es una herramienta para la medición del trabajo, sin que estos sean estándares para todas las empresas, ya que se deben considerar solo los movimientos relevantes:



Figura 3.4. Metodología para la toma de tiempo y movimientos.

Fuente: Elaboración propia con base en la metodología EREDAM propuesta por Márquez y Gutiérrez (2007).

Una vez que se identificaron los movimientos, se formuló la pregunta; ¿cuántos registros se tenían que obtener para determinar el comportamiento del modelo a simular? Es decir, ¿cuál es el tamaño óptimo de la muestra? Como lo dice Badii *et al.* (2008), si se quiere tener un alto grado de precisión, se debe tomar una muestra suficiente de la población para asegurar la obtención de la información requerida; para la primer estación se requirieron 38 observaciones para medir los tiempos y movimientos de la máquina uno, así como 35 observaciones para la máquina dos.

En la tabla 10 se muestran algunos datos que se obtuvieron de la toma de tiempos y movimiento de ambas máquinas que corresponden a la primera estación, es decir, Inspección inicial:

INSPECCIÓN INICIAL	MOVIMIENTOS	DATOS DE LA MUESTRA	
Máquina 1	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempo de traslado del stock a la máquina de inspección Inicial • Tiempo de montar la llanta en la máquina 2 • Tiempo de Revisión • Tiempo de desmontar la llanta en la máquina 2 • Tiempo de traslado de llevar la llanta al siguiente proceso • Tiempo del stock de Xerografía al stock de Inspección Inicial 	Máquina 1 Inspección Inicial	
		Promedio de Proceso	00:04:28
		Media (Convertido en horas)	0.0743
		Varianza (Convertido en horas)	0.0010601
		% Nivel de confianza	95%
		Porcentaje de error	0.14
		Error	0.01040482
Tamaño de la muestra requerida	38		
Máquina 2	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempo de traslado por material • Tiempo de Ocio • Tiempo Efectivo del procesos 	Máquina 2 Inspección Inicial	
		Promedio de Proceso	00:03:42
		Media (Convertido en horas)	0.0615
		Varianza (Convertido en horas)	0.0005621
		% Nivel de confianza	95%
		Porcentaje de error	0.128
		Error	0.00787708
Tamaño de la muestra requerida	35		

Tabla 3.4. Tiempos y movimientos requeridos para las máquinas de inspección inicial.

Posteriormente se requirió obtener un comportamiento estadístico para analizar su distribución, por lo que se utilizó un paquete estadístico llamado EasyFit⁶ el cual por medio de las muestras, se realizan pruebas de bondad de ajuste, considerando la prueba *Kolmogorov –Smirnov*, la prueba que se utilizó para este trabajo.

⁶ Se detalla a profundidad esta paquetería en el Apéndice II (EasyFit).

Para el proceso de raspado, se obtuvieron muestras de las tres máquinas con las que cuenta este proceso:

RASPADO	MOVIMIENTOS	DATOS DE LA MUESTRA																
Máquina 1	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempo de traslado del stock de raspado a la máquina • Tiempo de montar la llanta en la máquina • Tiempo de Proceso de la máquina • Tiempo de traslado de llevar la llanta al carril • Tiempo de traslado por material • Tiempo efectivo del proceso 	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Máquina 1 Raspado</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Promedio de Proceso</td> <td>00:07:04</td> </tr> <tr> <td>Media</td> <td>0.1177</td> </tr> <tr> <td>Varianza</td> <td>0.010125144</td> </tr> <tr> <td>% Nivel de confianza</td> <td>90%</td> </tr> <tr> <td>Porcentaje de error</td> <td>0.31</td> </tr> <tr> <td>Error</td> <td>0.036494709</td> </tr> <tr> <td>Tamaño de la muestra requerida</td> <td>21</td> </tr> </tbody> </table>	Máquina 1 Raspado		Promedio de Proceso	00:07:04	Media	0.1177	Varianza	0.010125144	% Nivel de confianza	90%	Porcentaje de error	0.31	Error	0.036494709	Tamaño de la muestra requerida	21
		Máquina 1 Raspado																
		Promedio de Proceso	00:07:04															
		Media	0.1177															
		Varianza	0.010125144															
		% Nivel de confianza	90%															
		Porcentaje de error	0.31															
Error	0.036494709																	
Tamaño de la muestra requerida	21																	
Máquina 2		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Máquina 2 Raspado</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Promedio de Proceso</td> <td>00:08:42</td> </tr> <tr> <td>Media</td> <td>0.1450</td> </tr> <tr> <td>Varianza</td> <td>0.016659734</td> </tr> <tr> <td>% Nivel de confianza</td> <td>90%</td> </tr> <tr> <td>Porcentaje de error</td> <td>0.35</td> </tr> <tr> <td>Error</td> <td>0.050733796</td> </tr> <tr> <td>Tamaño de la muestra requerida</td> <td>18</td> </tr> </tbody> </table>	Máquina 2 Raspado		Promedio de Proceso	00:08:42	Media	0.1450	Varianza	0.016659734	% Nivel de confianza	90%	Porcentaje de error	0.35	Error	0.050733796	Tamaño de la muestra requerida	18
		Máquina 2 Raspado																
		Promedio de Proceso	00:08:42															
		Media	0.1450															
		Varianza	0.016659734															
		% Nivel de confianza	90%															
		Porcentaje de error	0.35															
Error	0.050733796																	
Tamaño de la muestra requerida	18																	
Máquina 3		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Máquina 3 Raspado</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Promedio de Proceso</td> <td>00:06:05</td> </tr> <tr> <td>Media</td> <td>0.1014</td> </tr> <tr> <td>Varianza</td> <td>0.005545614</td> </tr> <tr> <td>% Nivel de confianza</td> <td>90%</td> </tr> <tr> <td>Porcentaje de error</td> <td>0.3</td> </tr> <tr> <td>Error</td> <td>0.030431373</td> </tr> <tr> <td>Tamaño de la muestra requerida</td> <td>17</td> </tr> </tbody> </table>	Máquina 3 Raspado		Promedio de Proceso	00:06:05	Media	0.1014	Varianza	0.005545614	% Nivel de confianza	90%	Porcentaje de error	0.3	Error	0.030431373	Tamaño de la muestra requerida	17
		Máquina 3 Raspado																
		Promedio de Proceso	00:06:05															
		Media	0.1014															
		Varianza	0.005545614															
		% Nivel de confianza	90%															
		Porcentaje de error	0.3															
Error	0.030431373																	
Tamaño de la muestra requerida	17																	

Tabla 3.5. Tiempos y movimientos requeridos para las máquinas de Raspado.

En la Tabla 3.5 se describe las observaciones requeridas para las tres máquinas, en la primera se necesitó de 21 observaciones así como de 18 y 17 observaciones, para la máquina dos y tres, respectivamente; a diferencia de inspección inicial no se pudieron determinar los tiempos de ocio, ya que no se podía apreciar en los videos y en el caso de raspado, por lo general se trabaja más con la máquina uno y dos, y la mayoría de veces, es un solo operador que utiliza ambas maquinas.

3.4 Validación del modelo conceptual

La validación se realizó en dos juntas, una con el jefe de producción para asegurar que los movimientos de los procesos también les fueran útiles y rectificar el orden de las máquinas y el flujo entendido de la operación; posteriormente se tuvo la junta con los directores de la empresa para presentarles la distribución actual con la que operaban en la planta, detallando las distribuciones de las máquinas, los tiempos promedios de los operadores y el diseño visual de cada estación; antes de tener ambas juntas se validó mediante comparaciones las distribuciones de inspección inicial y raspado con los videos que se nos habían proporcionado; una vez que se validó con este grupo de expertos se terminó la captura de información de los tiempos y movimientos.

Durante esta etapa se consiguió la retroalimentación por parte de los expertos para un mejor entendimiento de la operación, del flujo de producción, del sistema en general y las observaciones y errores que se detectaron por los expertos, corrigieron el número de operadores por máquina, también el uso de cada máquina, esta información era necesaria para poder considerar la razón de movilidad.

3.5 Desarrollo y verificación del modelo

Como se mencionó en el capítulo anterior se utilizaron dos *software* de simulación, FlexSim ya que es un simulador orientado a procesos industriales que enfoca los objetos al proceso de un producto, considerando no sólo el comportamiento de cada objeto sino, los posibles movimientos que pueden tener, choques, tiempos de ocio, retardos, etc.

Y el otro simulador fue SIMIO, en el cual se modelaron las dos estaciones de trabajo, realizando la verificación por cada objeto que se iba introduciendo del modelo, para desarrollar el modelo en el programa es importante ser parsimonioso y tomar en cuenta el paquete con mayor rango de distribuciones necesarias.

A continuación se muestra la pantalla del proceso de inspección inicial simulada en SIMIO, se muestra la distribución actual de la estación, donde se encuentran tres máquinas, dos operadores y ambos stocks, el de inspección y xerografía.

Además de validar que las máquinas se distribuyeran de manera correcta, se verificó que el sistema a simular correspondiera a la distribución actual de la estación de inspección inicial, como lo muestra la Figura 3.5

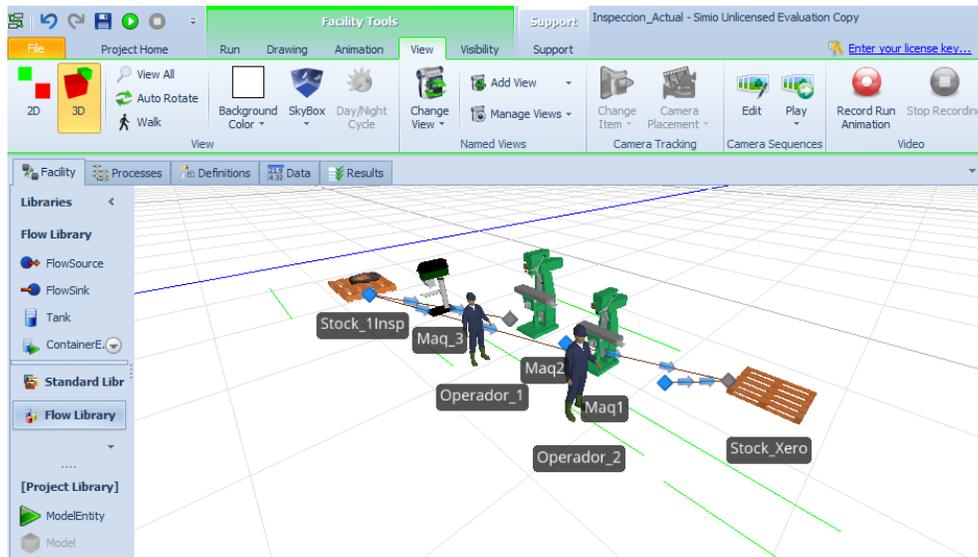


Figura 3.5. Distribución actual de Inspección inicial, representada en SIMIO.

Las ventajas de SIMIO y FlexSim, es que son simuladores orientados a eventos discretos y en específico a procesos industriales. Sin embargo, verificar que el modelo se comportará de igual forma que como es el proceso de producción o que la llanta respetará el flujo de operación sin hacer alteraciones, es un trabajo que se debe estar analizando para obtener el modelo que se comporte de manera similar a la realidad.

3.6 Validación del modelo programado

La validación del modelo al igual que la validación del modelo conceptual, en las juntas para determinar si el modelo de simulación era una representación adecuada al sistema, y buscar esa validación era obtener el visto bueno por parte de los tomadores de decisión para utilizar el modelo y con base en el realizar las propuestas de mejora. En estas juntas ayudo la animación del *software* para la comprensión visual y que pudieran apreciar que efectivamente el modelo se comportaba similar al sistema.

Es importante exponer a los directivos que solo será una representación sencilla al sistema, en mi caso, a las distribuciones de las dos estaciones de trabajo; sin embargo, serían suficientes para proponer cambios importantes para mejoras en las nuevas distribuciones.

En la Figura 3.6 se observa la validación del modelo programado, mostrando que el modelo simulado tiene tendencias similares al modelo real, aunque no se llegue a producir el mismo número de llantas, se puntualiza que lo importante es que la simulación es la representación del sistema no debe de comportarse igual, es decir, no va a producir el mismo número de llantas. Se aprovechó en estas juntas algunas ideas y sugerencias que querían ver en las propuestas.

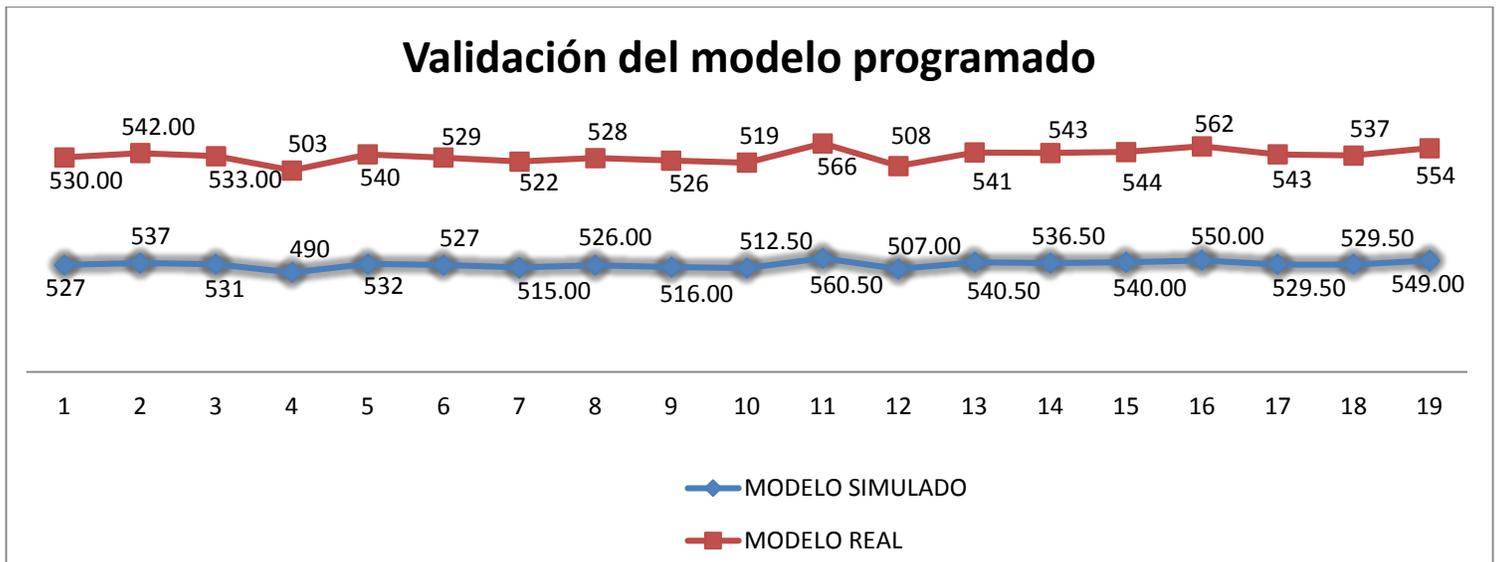


Figura 3.6. Gráfica de la producción de las llantas del modelo real VS modelo simulado

CAPÍTULO IV

EXPERIMENTACIÓN DE PROPUESTAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Diseño, ejecución y análisis de experimentos

En el diseño, ejecución y análisis de experimentos se ocupan todos los pasos anteriores, ya que cada escenario considera los puntos convenidos en la validación del modelo y resuelve los problemas que se especificaron desde un principio, además de cumplir con los objetivos de la simulación propuesta y no se debe desperdiciar el tiempo en propuestas inútiles, es imperativo que en cada distribución se obtengan resultados que proporcionen alternativas para una mejora y ésta se evalúe por medio de los indicadores correspondientes.

Como se cita en el libro de Flores y Elizondo (2007), el diseño de experimentos incluye las diferentes corridas que se quieren hacer con el modelo, recordando que este modelo ya fue validado. Se ponderó el número de ejecuciones mediante el mismo procedimiento para la obtención de muestras en los tiempos y movimientos.

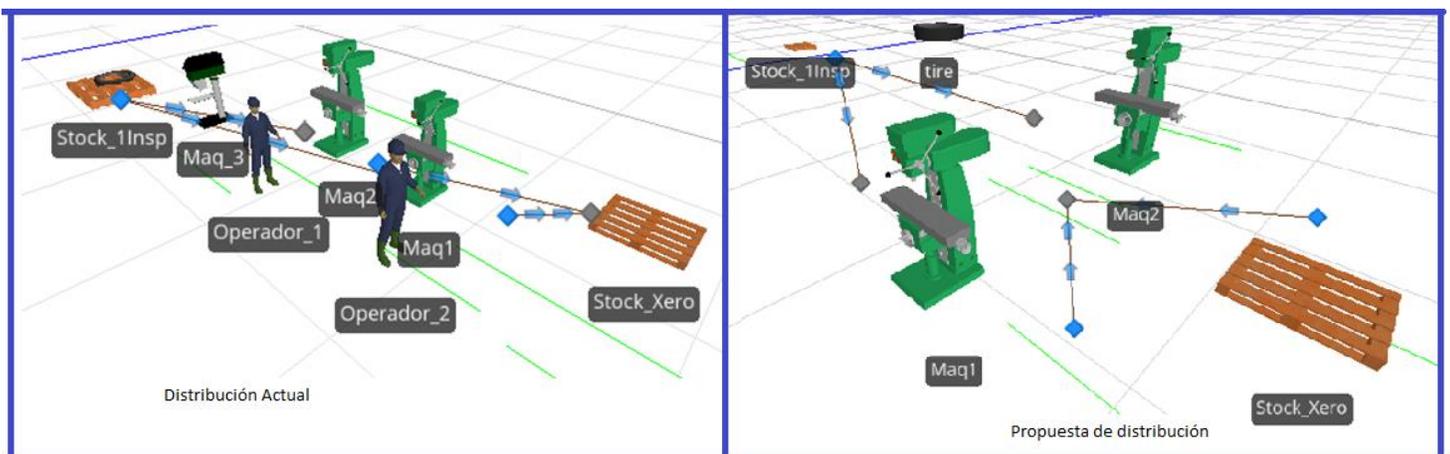


Figura 12 Propuestas de distribución en la estación de inspección inicial.

4.1.1 Propuestas de distribución

Las propuestas de distribución por cada estación de trabajo se miden con base en los indicadores que medirán si los problemas han disminuido o mejorado, según sea el caso. Recordemos los problemas que se plantearon en el primer capítulo:

- **Equipo obsoleto**, referido a equipos viejos, el cual afecta el flujo del proceso, además de estorbar y quitar lugar en algunas estaciones de trabajo.
- **Equipo innecesario**, siendo el equipo que no se ocupan durante el proceso de renovación, como los rieles, que en ocasiones afectan al personal, provocando el olvido de llantas en ellos, incluso han provocado accidentes.
- **Mala distribución de máquinas**, un problema que incluso ha causado accidentes, es la distribución de algunos equipos, ocupando espacio en los pasillos de tránsito, provocando accidentes.
- **Áreas no confinadas**, al no tener áreas definidas en las estaciones de trabajo, operadores de otras estaciones interrumpen a sus compañeros, generando tiempos de ocio.
- **Movimientos innecesarios**, algunas estaciones de trabajo requieren de material que solo se pueden abastecer yendo hasta las bodegas.

A continuación se muestra en la Tabla 4.1, el resumen de los indicadores que vamos a utilizar para medir la mejora en los problemas de la distribución de planta.

Autor	Problema	Métrica
Gisbert (2015)	Equipo obsoleto; Depreciación de las máquinas; costos de operación	% anual de depreciación Costo de mantenimiento
Giraldo <i>et al.</i> (2010)	Rendimiento en la producción	Cantidad producida
Zhu <i>et al.</i> (2014)	Áreas no confinadas y tiempo de ocio	A través de <i>FlexSim</i> se puede obtener el % de ocio que está teniendo un operario
Delgado <i>et al.</i> (2010)	Equipo innecesario	Razón de operación y razón de movilidad
Castañeda y Gómez (2013)	Redistribución física	Espacio ahorrado

Tabla 4.1. Cuadro resumen de los indicadores a utilizar para los problemas de Renovadora de México, S.A de C.V.
Fuente: Elaboración propia con base en los marcos teóricos.

En el siguiente capítulo, se muestran las propuestas de distribución de las estaciones de inspección inicial y de raspado.

4.2 Distribución de inspección inicial

Como se mencionó anteriormente el proceso de inspección inicial es fundamental que se realice de manera correcta para la captación de las llantas que pueden ser renovadas, el flujo de operación de esta estación se ilustra en la figura 4.2.

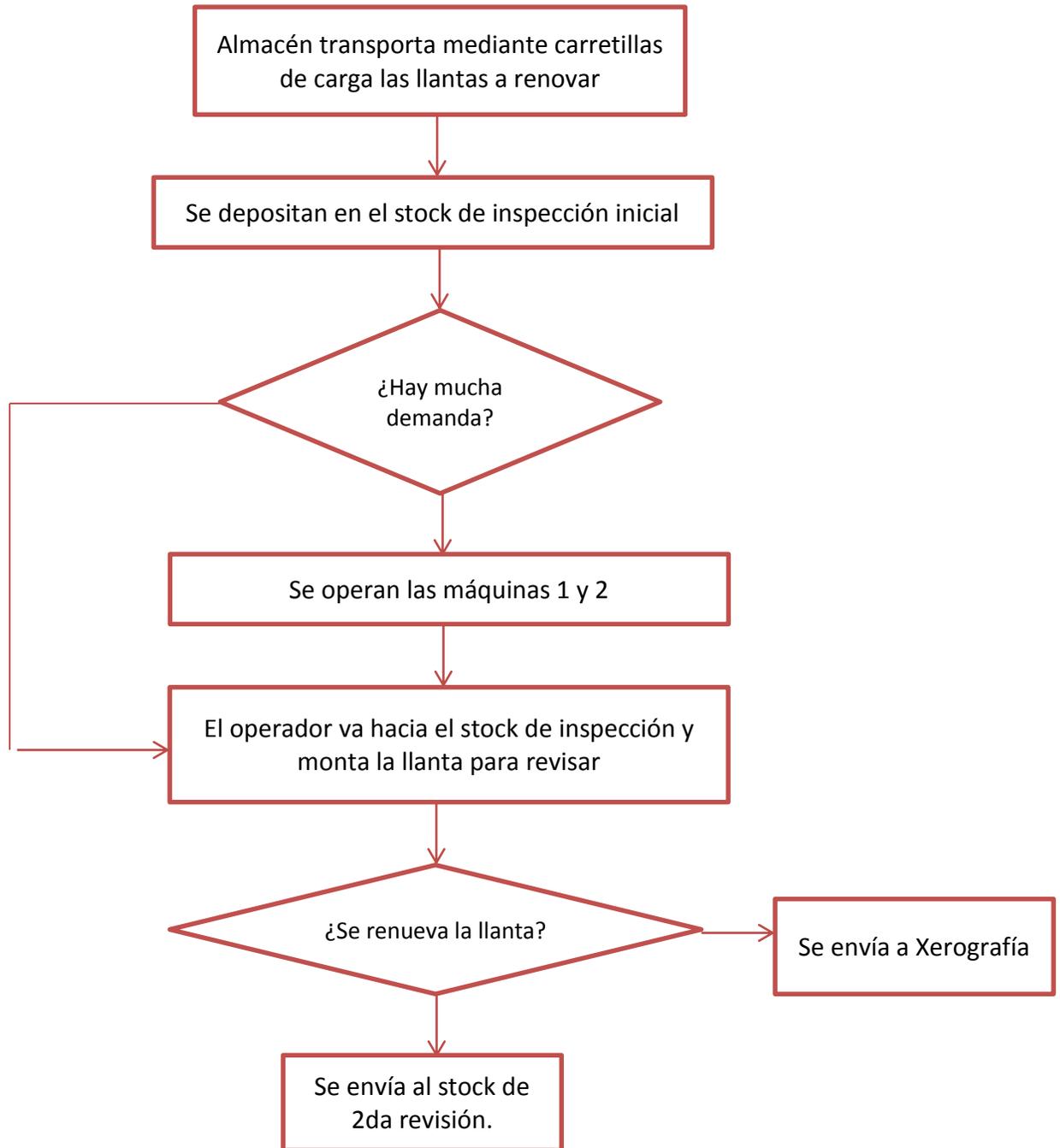


Figura 4.2. Flujo del proceso de inspección inicial

La distribución de inspección inicial se realiza bajo un área de 51.98 m² aproximadamente, la cual está conformada por tres maquinarias; dos se utilizan diariamente con el mismo modelo (*Hawkinson*), esta maquinaria es manual, y tiene una medida de 1.25m X 0.93m aproximadamente; la actividad inicia cuando se monta la llanta a la máquina, sujetándola con brazos de acero para que quede sujeta y se procede a realizar la inspección, la tercer máquina es una *Tip-Top* la cual como decíamos anteriormente, solo se utiliza cuando hay mucha demanda, esta también es manual y tiene una medida de 1.20m X 0.75m. En la Figura 4.2 se muestra la distribución de inspección inicial.

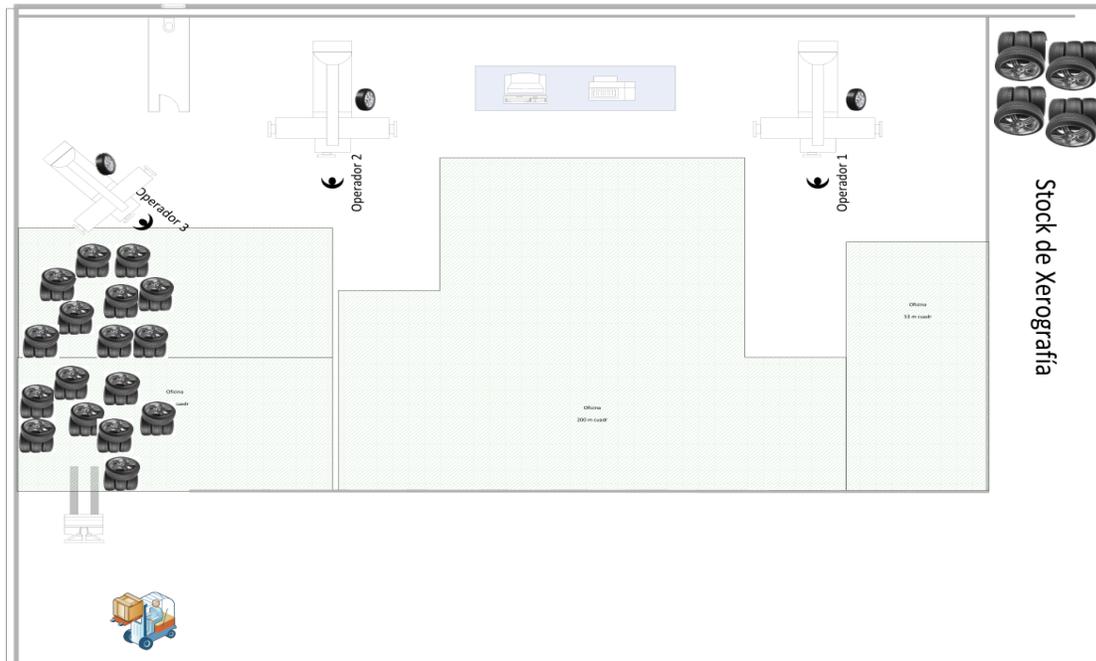


Figura 13. Distribución actual de inspección inicial

Fuente: Elaboración propia, con base en el modelo conceptual de la estación inspección inicial.

Los problemas que se plantean en esta estación de trabajo son:

El equipo obsoleto, la mala distribución de las máquinas, tener un área no confinada, movimientos innecesarios. En la siguiente Tabla 4.2 se muestra los problemas que está generando y razones de algunos cambios, en las nuevas propuestas de distribución y en la tercer columna se muestra el indicador o criterio que se pretende obtener, para medir la propuesta.

PROBLEMAS	RAZONES PARA UN CAMBIO EN LA DISTRIBUCIÓN	MEJORA
1. La máquina (<i>Tip-Top</i>), solo se utiliza, cuando la demanda es alta, sin embargo, durante el tiempo que se grabó esta estación, nunca se presentó el uso de la máquina.	<ul style="list-style-type: none"> No se utiliza de manera constante; Espacio que no agrega valor a la distribución de inspección inicial. La razón de operación obtenida de esta máquina fue de cero 	<ul style="list-style-type: none"> Aumentar el espacio para las llantas a inspeccionar.
2. Al igual que todas las máquinas en la planta, se realiza un mantenimiento periódico, a esta máquina se lo realizan cada seis meses, el técnico que valuó la máquina da registro de depreciación de 90% sobre el precio comercial de la máquina, sin contar las nuevas versiones del modelo.	<ul style="list-style-type: none"> Tiene una depreciación del 90%; Genera un costo de operación por el mantenimiento. La razón de movilidad ideal debe ser al 100% y para lograrlo se le debe dar mantenimiento preventivo a la máquina y evitar fallas, pero a esta máquina se da un mantenimiento preventivo sin tener una razón de movilidad. 	<ul style="list-style-type: none"> Reducir costos de operación, eliminando su mantenimiento; Como lo expone Delgado <i>et al.</i> (2010), es un desperdicio no utilizar una máquina costosa (mientras mayor es el costo, mayor la depreciación); es decir eliminar el costo de depreciación.
3. No hay un espacio confinado dentro de la estación, esto retrasa a los operadores con interrupciones de sus compañeros al atravesar la estación y continuar su paso al área correspondiente.	<ul style="list-style-type: none"> El que no esté delimitado el área, genera tiempo de ocio entre los operadores; Ocasiona que hay muchos cruces de operadores, incluso, ajenos a inspección inicial; 	<ul style="list-style-type: none"> Delimitar el área de la estación; Eliminar cruces entre los operadores de inspección y otra áreas; Establecer un área exclusiva de refrigerio;
4. Los operadores pierden el tiempo en trasladarse hasta el almacén para abastecerse de herramientas que pueden tener en su estación.	<ul style="list-style-type: none"> El traslado en promedio para el operador de la máquina uno es de más de cinco minutos, y el tiempo promedio de la máquina dos es de casi nueve minutos; Tienen el espacio requerido para herramientas básicas de sus actividades 	<ul style="list-style-type: none"> Disminuir el tiempo de flujo de material.

Tabla 12. Problemas en la distribución de inspección inicial

4.2.1 Propuesta de distribución

Las propuestas de la nueva distribución de la planta se realizaron considerando los siguientes cambios:

- Delimitar el área del proceso de inspección inicial, marcando un nuevo pasillo para que los trabajadores que no laboran en esta área la rodeen, ya que intervienen continuamente, haciendo que los dos operadores se distraigan y pierdan tiempo.
- Los espacios comunes que se tenían (sanitario y refrigerio), se trasladarán al inicio del pasillo para que no tengan que interrumpir a los operarios.
- Quitar la máquina tres (*Tip Top*), para aprovechar ese espacio para las llantas que se revisan, al desmontar esta máquina se recomienda venderla para dejar de generar costo por el mantenimiento así como la depreciación que se tiene por esta máquina.
- Cambiar el acomodo de las dos máquinas de manera que en lugar de estar en horizontal, estas se cambiarán de forma vertical, este cambio eliminará el tiempo en que los otros trabajadores se obstruyen al cruzarse por esta área, las propuestas difieren en el acomodo de estas áreas.
- Se reasigna el área del stock de Xerografía, una vez que termina el proceso de revisión se tiene el siguiente stock de frente.

Se crearon seis escenarios diferentes con los cambios antes mencionados, estos van a diferir por los tiempos de ocio, áreas diferentes.

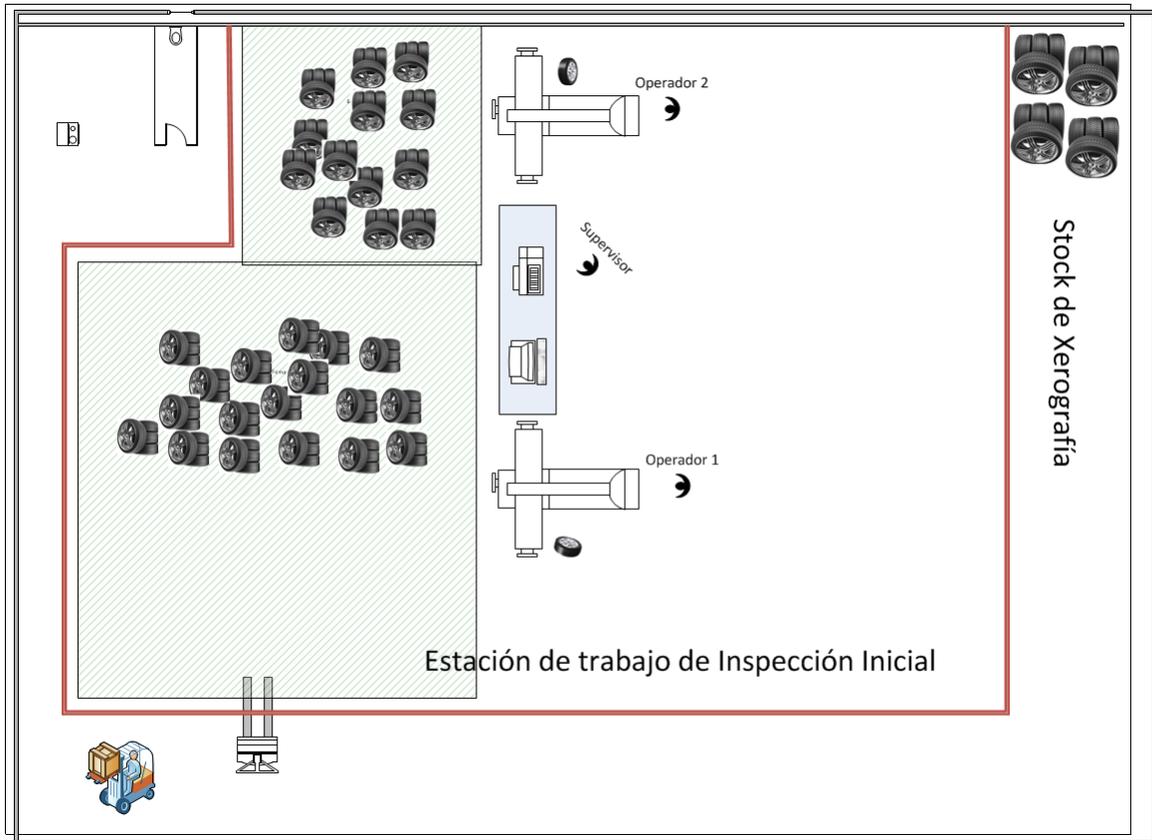


Figura 4.4. Propuestas de una nueva distribución en Inspección inicial.

Para la propuesta 1,2 y 3 se tiene el área seccionada dividida como lo muestra la figura 4.4. La diferencia entre estas propuestas son los tiempos de ocio que se obtuvieron con *Flexsim*, cada operador muestra un tiempo de ocio; por ejemplo, el tiempo efectivo de la máquina uno en el proceso de inspección inicial es de cuatro minutos y 28 segundos, de los cuales se llega a perder un promedio de un minuto y catorce segundos por cada llanta; es decir poco más del 27% es tiempo de ocio, para el operador de la máquina 2, el tiempo efectivo de la máquina en el proceso de Inspección Inicial es de tres minutos y cuarenta y dos segundos, de los cuales se llega a tener un tiempo de ocio de casi el 50% .

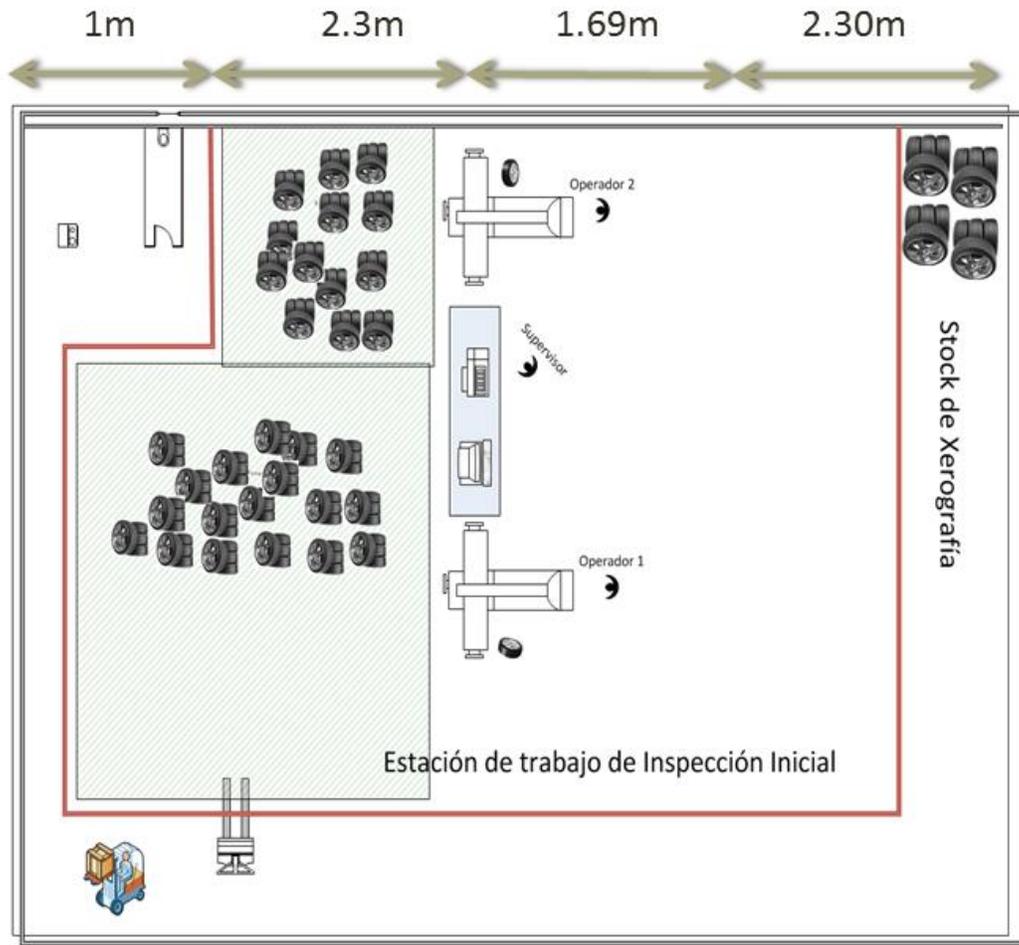


Figura 4.5. Área de las propuestas de distribución 1,2 y 3 en inspección inicial.

Para cada propuesta se realizaron un número diferente de corridas por cada simulación⁷, con base en Badii *et al.* (2008), se corrieron un total de 49 corridas entre las tres primeras propuestas, distribuidos de la siguiente manera:

Propuesta	Número de corridas de simulación
Propuesta 1	18
Propuesta 2	16
Propuesta 3	15

Tabla 4.3. Número de corridas necesarias por cada propuesta 1-3

⁷ Como se mencionó en el punto de observaciones necesarias para los tiempos y movimientos, se realizó el mismo procedimiento para obtener las corridas para cada propuesta.

4.2.2 Resultados de las propuestas

Con los cambios antes mencionados, se redujeron los cruces, distracciones (en *Flexsim* choques) e interrupciones de los demás operadores, las propuestas reducen los tiempos de ocio hasta un 63% para el operador de la máquina 1 y un 48% para el operador de la máquina 2.

PROPUESTA	TIEMPO DE OCIO EL OPERADOR DE LA MÁQUINA 1	TIEMPO DE OCIO EL OPERADOR DE LA MÁQUINA 2
Propuesta 1	17.070%	24.020%
Propuesta 2	13.660%	19.660%
Propuesta 3	9.540%	14.020%
Tiempo de ocio real	27%	50%
% disminuido en la propuesta 1	63.222%	48.040%
% disminuido en la propuesta 2	50.593%	39.320%
% disminuido en la propuesta 3	35.333%	28.040%

Tabla 4.5. Simulación en los tiempos de ocio, bajo la propuestas 1,2 y 3.

Una vez obtenido este tiempo, se redujeron los tiempos de producción que se ingresó a SIMIO, por ejemplo en la simulación actual se trabaja solo 13.53 horas de las 22 que se debiera tener, ahora con esta nueva propuesta se tiene un aumento de tiempo de producción. En la tabla 4.6 se muestran los incrementos o decrementos de las simulaciones con base en la producción con la que opera la empresa.

Incremento (% de Llantas)	Propuesta 1	Propuesta 2	Propuesta 3
Minimo de Llantas que puede revisar la maq1	6.329%	-0.794%	9.921%
Maximo de llantas que puede revisar la maquina1	3.957%	1.730%	5.882%
Promedio de llantas que puede revisar la máquina 1	1.826%	3.375%	9.276%
Minimo de Llantas que puede revisar la maq2	-3.629%	9.623%	18.410%
Maximo de llantas que puede revisar la maquina2	2.439%	2.381%	9.184%
Promedio de llantas que puede revisar la máquina 2	-0.995%	6.761%	11.211%
Minimo de Llantas que puede revisar Inspección Inicial	-3.327%	8.907%	14.575%
Maximo de llantas que puede revisar Inspección Inicial	1.795%	4.586%	8.995%
Promedio de llantas que puede revisar Inspección Inicial	0.361%	5.092%	10.271%

Tabla 4.6. Resultados de la simulación en la propuestas 1,2 y 3.

Para estas primeras propuestas se observa que la propuesta número tres, es el mejor debido a que incrementa su producción en ambas máquinas, es decir, con esta propuesta se podría tener un aumento en la producción del 10.271%.

Las propuestas 4, 5 y 6 se realizaron con los criterios arriba mencionados, pero, con diferente área, modificando esto algunos resultados; las áreas corresponden a la figura 4.6.

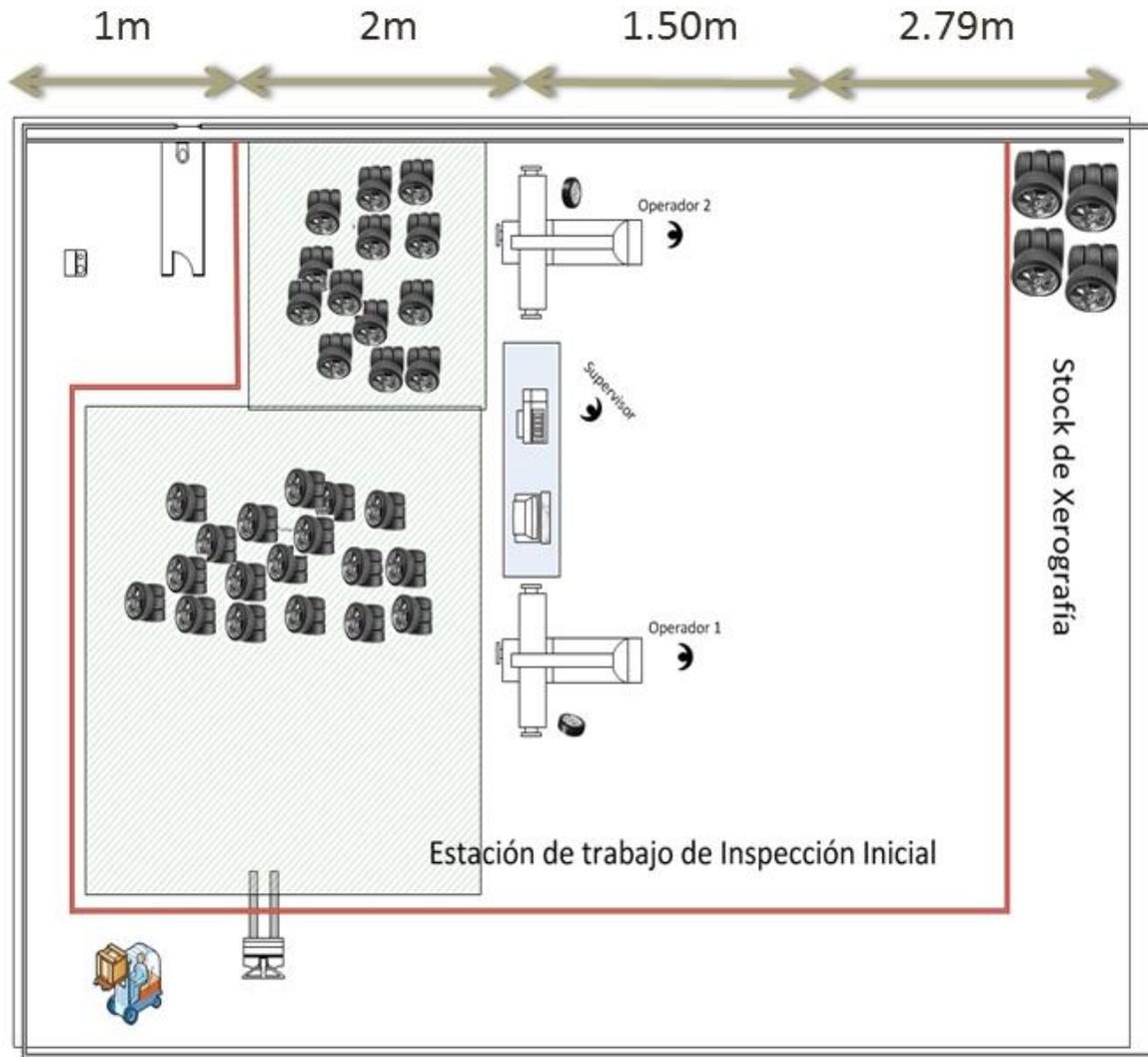


Figura 4.6. Área de las propuestas de distribución 4,5 y 6 en inspección inicial.

Nuevamente, utilizando la metodología de Badii *et al.* (2008) se observó que se necesitarían un total de 45 corridas, distribuidos de la siguiente manera:

Propuesta	Número de corridas de simulación
Propuesta 4	15
Propuesta 5	12
Propuesta 6	18

Tabla 4.7. Número de corridas necesarias para las propuestas 4,5 y 6

Para los tiempos de ocio, estos fueron mayores a las propuestas anteriores, es decir se tiene menos tiempo en la primer distribución, aunque las áreas no difieren en más de un metro una de otra, se tiene un tiempo de ocio diferente, prefiriendo tener un mayor stock al inicio del proceso que en su final; esto se muestra en la tabla 4.8.

Propuesta	Tiempo de ocio el operador de la máquina 1	Tiempo de ocio el operador de la máquina 2
Propuesta 4	19.500%	26.700%
Propuesta 5	15.750%	20.600%
Propuesta 6	10.760%	15.850%

Tabla 4.8. Simulación en los tiempos de ocio, bajo la propuestas 4,5 y 6

Para las propuestas 4,5 y 6 el incremento de las llantas revisadas, tanto de la máquina 1 y 2 se ven reflejadas en la tabla 4.9, donde muestra que la propuesta 6 es la mejor opción debido a que en ella se muestra un aumento notorio en la producción de llantas inspeccionadas, en promedio, hasta un 9.898%, en la misma tabla se detalla el mínimo y máximo de llantas que se pueden revisar en ambas máquinas.

Incremento (% de Llantas)	Propuesta 4	Propuesta 5	Propuesta 6
Minimo de Llantas que puede revisar la maq1	0.000%	3.571%	9.524%
Maximo de llantas que puede revisar la maquina1	-4.152%	0.000%	7.266%
Promedio de llantas que puede revisar la máquina 1	-1.500%	2.620%	9.078%
Minimo de Llantas que puede revisar la maq2	5.858%	10.460%	15.900%
Maximo de llantas que puede revisar la maquina2	-3.061%	1.701%	9.184%
Promedio de llantas que puede revisar la máquina 2	0.220%	4.681%	10.663%
Minimo de Llantas que puede revisar Inspección Inicial	3.644%	7.490%	13.158%
Maximo de llantas que puede revisar Inspección Inicial	-1.940%	2.646%	9.171%
Promedio de llantas que puede revisar Inspección Inicial	-0.617%	3.688%	9.898%

Tabla 4.9. Resultados de la simulación en la propuestas 4,5 y 6

El número de llantas revisadas de todas las propuestas y la actual, es como se muestra en la siguiente figura; correspondiéndole a la propuesta 1 una disminución de dos llantas contra lo que hoy producen; para la propuesta 2 se pueden revisar 28 llantas más y por

último el aumento del 10.27% se traduce en 55 llantas más, que pueden ser revisadas, llegando hasta 591 llantas inspeccionadas, la propuesta 6 también muestra un aumento considerable, haciendo que estas dos propuestas harían mejorar su número de llantas revisadas en el proceso de inspección inicial.

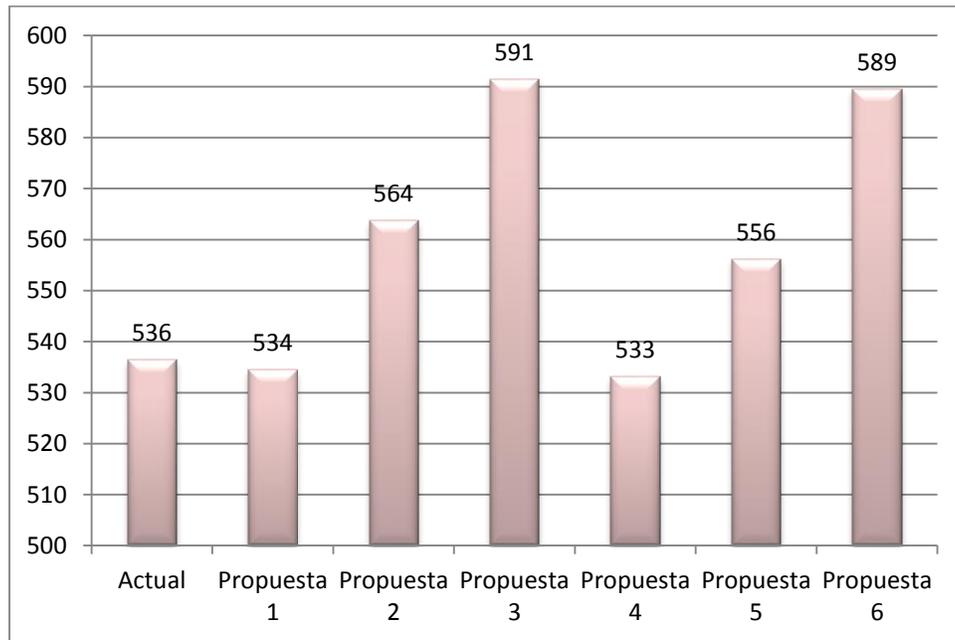


Figura 4.6. Gráfica del promedio de llantas que pueden ser revisadas en inspección inicial, según las propuestas 1, 2, 3, 4, 5 y 6.

En conclusión se recomienda que estas seis propuestas, la opción número tres, donde se especifica las áreas que debe tener para reducir estos tiempos de ocio, en esta propuesta sin mucha diferencia que en la opción seis, se tendría un aumento de más del 10 % en la inspección de las llantas, solucionando el problema de rendimiento de producción, junto con los problemas de equipo obsoleto, áreas no confinadas y tiempos de ocio.

4.3 Distribución de raspado

La distribución actual del área de raspado se encuentra después de la estación de Xerografía, quiere decir que las llantas que llegan a este proceso son aptas para ser renovadas, son llantas con daños que aunque puedan ser notorios no afectan la estructura de la llanta. La estación de raspado comprende un área de 106.00m², compuesta por tres máquinas, de las cuales se distribuyen como se aprecia en la figura 16.



Figura 4.7. Proceso de raspado

Estas máquinas no son manuales, son semi-automáticas, es necesario que el operador monte la llanta en la máquina para que esta raspe la banda y al terminar la desmonte el operador. Los tiempos que se tomaron corresponden a los movimientos que tiene que realizar cada operador desde trasladar la llanta de Xerografía para montar la llanta en la máquina, hasta trasladar la llanta ya raspada al siguiente stock del proceso de cardeado.

En la tabla 4.10 se muestran los tiempos promedios de cada movimiento de la estación de raspado; como vemos en la máquina dos no se puede apreciar el tiempo de montar la llanta en la máquina dos; de igual manera no podemos observar los tiempos de ocio de los operadores, como lo dice Márquez y Gutiérrez (2007) “los tiempos y movimientos” es una herramienta para la medición del trabajo y sólo se debe considerar los movimientos relevantes que son permitidos.

MOVIMIENTO	MÁQUINA 1	MÁQUINA 2	MÁQUINA 3
Tiempo de traslado del stock a la máquina de raspado	00:00:08	00:00:07	00:00:23
Tiempo de montar la llanta en la máquina de raspado	00:00:33		00:00:11
Tiempo de proceso de la máquina	00:07:05	00:05:35	00:04:55
Tiempo de traslado de dejar la llanta al siguiente riel	00:00:08	00:00:21	00:00:11
Tiempo de traslado al stock de raspado	00:00:04	00:00:11	00:00:19
Tiempo de traslado por material	00:00:12	00:00:00	00:00:43
Tiempo de ocio	00:00:00	00:00:00	00:00:00
Tiempo total del procesos	00:08:09	00:06:07	00:06:41

Tabla 4.10. Promedio de los tiempos y movimiento del proceso de raspado.

Los problemas que se plantean en esta estación de trabajo son la **mala distribución de las máquinas y equipo innecesario**, en la siguiente Tabla 4.11 se muestran los problemas que está generando, se muestra el indicador o criterio que se pretende obtener, y las razones por las que se cambiaría para una nueva propuesta.

PROBLEMAS	RAZONES PARA UN CAMBIO EN LA DISTRIBUCIÓN	MEJORA
1. La máquina número 3 solo se utiliza, cuando la demanda es alta, es un equipo innecesario.	<ul style="list-style-type: none"> No se utiliza de manera constante; La razón de operación de la máquina 3 es muy baja, es alrededor de 8.68%. 	<ul style="list-style-type: none"> Aumentar el espacio para las llantas, ya que su stock es el riel que se abastece rápidamente; Aumentar la razón de operación de las máquinas.
2. Al igual que todas las máquinas en la planta, se realiza un mantenimiento periódico, a esta máquina se lo realizan cada seis meses.	<ul style="list-style-type: none"> Genera un costo de operación por el mantenimiento. La razón de movilidad ideal debe ser al 100% y para lograrlo se le debe dar mantenimiento a la máquina para evitar fallas, sin embargo este mantenimiento debiera de dársele a las máquinas más utilizadas. 	<ul style="list-style-type: none"> Reducir costos de operación, eliminando su mantenimiento.
3. Al eliminar la máquina 1 se podría aprovechar este espacio para un mejor manejo de las llantas raspadas.	<ul style="list-style-type: none"> Se puede confinar un área para un nuevo stock, sería más seguro el manejo de las llantas, ambas máquinas son peligrosas, y esto ayudaría a la seguridad del operador. 	<ul style="list-style-type: none"> Ampliar el área de la estación de raspado para mayor seguridad entre las máquinas.

Tabla 4.11. Problemas en la distribución de Raspado

4.3.1 Propuestas de distribución

Las propuestas de la nueva distribución se realizaron bajo los siguientes cambios:

- Quitar alguna máquina, quedando solo dos, para poder tener un área más amplia.
- Delimitar el área del proceso de raspado, marcando un nuevo stock para poner las llantas sobre los rieles, y no se saturan como pasa actualmente.

Aunque la máquina 3 es la que menos se utiliza, se estarán realizando las siguientes combinaciones:

Propuesta	Máquinas a simular
Propuesta 1	Dos y tres
Propuesta 2	Uno y tres
Propuesta 3	Uno y dos

Tabla 4.12. Propuestas de las máquina a utilizar para la estación de raspado.

Como se ha comentado se considera la metodología de Badii *et al.* (2008), para saber cuántas corridas son necesarias para las tres propuestas, realizando 89 corridas dividida en las tres propuestas, las cuales se presentan en la tabla 4.13.

Número de corridas	Propuesta
30	Propuesta 1
29	Propuesta 2
30	Propuesta 3

Tabla 4.13. Número de corridas óptimas para las simulaciones de las propuestas

Con base en los cambios establecidos en el capítulo anterior se muestra en el siguiente punto los resultados de cada propuesta.

4.3.2 Resultados de las propuestas

Para medir estas propuestas vamos a considerar la razón de operación, ya que se refiere a cuántas horas durante un día de trabajo la máquina es utilizada para producir. Si la capacidad de una máquina es de 100 llantas por hora y hoy produjo 50 llantas por hora, entonces tiene una razón de operación de 50%. La razón de operación varía de acuerdo con la demanda, ya que en algunas ocasiones es baja y no es posible utilizar todas las horas-máquina, pero en otras es muy alta y puede llegar a excederlas.

Ahora podemos analizar los resultados de las propuestas, para la primera propuesta, se tiene la simulación de la máquina dos y tres, arrojando los resultados que muestra la tabla 26.

Número de corridas	Máquina 2			Máquina 3	
	Llantas Revisadas por el proceso de Raspado	% utilizada	Llantas raspadas	% utilizada2	Llantas raspadas3
30	402.2666667	138.30%	203.9333333	108.29%	198.4

Tabla 4.14. Promedio de las simulaciones de las llantas en el proceso de raspado, propuesta .

Como se observa se satura ambas máquinas usando más de su capacidad, el número de llantas necesarias 246 datos es de llantas raspadas, es decir, tan solo son necesarias 123 llantas que raspe cada máquina, estas simulaciones superan casi el 60% de las llantas requeridas.

De la propuesta número dos se tienen los siguientes promedios:

Número de Corridas	Maquina 1			Máquina 3	
	Llantas Revisadas por el proceso de Raspado	% utilizada	Llantas raspadas	% utilizada	Llantas raspadas3
29	403.62	14.727%	199.45	111.764%	204.24

Tabla 4.15. Promedio de las simulaciones de las llantas en el proceso de raspado, propuesta 2

Las propuesta 2 puede cubrir una demanda superior a la que se estima, sin embargo, la máquina 1 casi no es utilizada cubriendo casi 200 llantas, este es un resultado que no se esperaba, especulando que la máquina que no es la más usada resultó ser la máquina más eficiente.

Para la propuesta número tres, haciendo 30 corridas, se obtiene los promedios de las simulaciones de la máquina 1 y 2.

Número de Corridas	Maq1			Maq2	
	Llantas Revisadas por el proceso de Raspado	% utilizada	Llantas raspadas	% utilizada	Llantas raspadas3
30	379.00	14.150%	192.00	126.480%	187.00

Tabla 4.16. Promedio de las simulaciones de las llantas en el proceso de raspado, propuesta 3.

Como vemos la máquina 1 sigue teniendo una razón de operación muy bajo, aunque cubra con la demanda, muestra una eficiencia mejor a comparación de las máquinas 2 y 3, por lo que se realizó una última propuesta, en la que se muestra que es suficiente con la máquina 1, estas simulaciones tienen los siguientes resultados:

Máquina 1			
Número de corridas	Llantas Revisadas por el proceso de Raspado	% utilizada	Llantas raspadas
30	573	44.996%	573

Tabla 4.17. Promedio de las simulaciones de las llantas en el proceso de raspado, propuesta 4

Podemos concluir que sería suficiente tener la máquina 1 en funcionamiento (sin abastecer su razón de operación), con una razón de movilidad al 100% ya que se encuentra en perfecta operación, también debe considerar que es el modelo más reciente entre las tres máquinas de esta estación de trabajo.

CONCLUSIONES

El desarrollo de este trabajo fue con base en los resultados del diagnóstico sistémico que se realizó a la empresa, mediante este proceso se conoció los problemas que tiene la empresa, en todas las áreas: ventas, compras, recursos humanos, producción, se dieron propuestas de mejora, es en esta última área en la que se priorizó el desarrollo del presente trabajo.

Es durante el proceso del diagnóstico que se empezó a utilizar herramientas de la Investigación de Operaciones, de manera inicial con métodos blandos, con la metodología de sistemas suaves, que si bien, son más estudiadas por otras áreas como la planeación, es importante que el investigador operativo tenga conocimiento de todas las herramientas que pueda utilizar. Parte importante de este trabajo es mostrar la diversidad de herramientas que puede utilizar el investigador operativo: técnicas cualitativas, cuantitativas buscando métodos exactos, aproximados, heurísticas, híbridos, etc. Son muchas herramientas las que podemos utilizar y se hace imperativo que se comparta el conocimiento de estas metodologías.

El uso de la simulación es una herramienta que implica un análisis del sistema para que al modelarlo se pueda utilizar, es por ello que el modelo debe estar representando la realidad, de manera muy sencilla, pero, que sea suficiente para realizar experimentos que puedan llegar a contestar las preguntas de simulación que empiezan con: ¿Qué pasaría si...?

Cabe resaltar que se mostró las diferentes técnicas con las que se ha resuelto el problema de distribución de planta, desde el punto de vista del ingeniero industrial para comparar las metodologías y se podría concluir que el utilizar una técnica debe de ser con base en el objetivo que se desea resolver, si es para reducir flujo de material, economizar costos, mejorar áreas determinadas, ya que es a partir de ahí el criterio para calificar una técnica contra otra, sin embargo se considera que en casos prácticos, donde se tenga contacto con una empresa es necesario la validación de los tomadores de decisión y/o expertos.

Logramos adaptar varias metodologías para tener una base en el cumplimiento de este trabajo, ya que en general el poder resolver un problema se realiza con una base técnica y el desarrollo cumpliendo las necesidades del problema cumpliendo con el objetivo establecido para esta tesis.

Se estuvo en contacto constante con los tomadores de decisiones y con los expertos para que las propuestas fueran consideradas y se pudieran implementar, ya que ese es uno de los objetivos que debe tener una tesis práctica, que los resultados se puedan llevar a cabo.

Así como lo expone Reyes (2013), el problema de distribución de planta, es considerado como uno de los problemas más complejos en empresa pequeñas y medianas, y usualmente su resolución se produce de manera empírica, como es el caso de muchas organizaciones públicas y privadas, lo que implica el surgimiento de algunos conflictos al paso del tiempo, este fue el caso de mi objeto de estudio. Este documento no sólo persigue el interés académico, sino que además, busca su aplicación a los problemas actuales en empresas como Renovadora de México, S.A de C.V.

Considerando la literatura revisada se resolvió los problemas de distribución con base en los siguientes autores:

- Baca (2006), proporcionando condiciones de trabajo apropiadas para el bienestar y por la seguridad de los operadores, concluyendo en propuestas con una operación más económica.
- La mejora continua que cita James Harrington (1993) que se refleja en el incremento de la productividad, considerando otros indicadores para evaluar las propuestas.
- Gisbert V. (2015) indica que el modelo de *Lean Manufacturing* recomienda que en caso de tener que seleccionar una máquina de alto o bajo costo, simplemente se debe seleccionar la que tenga los costos de operación más bajos, esto incluiría que si la máquina no está dando un valor agregado al sistema y que al contrario esté generando un costo, esta debería eliminarse y este criterio se utilizó para la recomendación de eliminar máquinas en las estaciones de trabajo.

APÉNDICE I

METODOLOGÍA DE SISTEMAS SUAVES

Se realizó un diagnóstico empresarial a Renovadora de México, S. A de C. V. mediante la aplicación de la Metodología de Sistemas Suaves del Dr. Peter Checkland, para detectar la problemática de la empresa.



Figura 14. Dr. Peter Checkland

Para agrupar los problemas que enfrenta una empresa, se toma como base la metodología de sistemas suaves (MSS) propuesta por Peter Checkland, que “propone la construcción de un modelo conceptual que represente lo que el sistema deberá hacer” (Callejas Ávila, 2013, p.15)

La Metodología de Sistema Suaves (MSS) es una técnica cualitativa, en donde se abordan problemas no estructurados, se ocupa de problemas donde existe un alto componente social, político y humano. Fue desarrollada por Peter Checkland con el propósito de ocuparse de los problemas suaves, estos se pueden definir de la siguiente manera:

“Los problemas suaves son difíciles de definir, ya que tienen una componente social y política grande. Los problemas suaves generalmente son situaciones problemáticas, donde las cosas no están trabajando de la forma que se desea y se quiere averiguar porqué y ver si hay alguna cosa que se pueda hacer para aliviar la situación”(Checkland, 1999).

Para entender la MSS, Checkland aclara la diferencia entre método y metodología:

- Un método es algo más cercano a una técnica, es una secuencia de pasos que lleva a un resultado específico, y
- La metodología, es el estudio del método, se puede decir que la diferencia fundamental es la flexibilidad, un método es rígido, y aplicable a casos con ciertas características específicas, que representará un conjunto menor de las que podrían ser tratadas en una metodología.

El origen de la metodología.

Esta metodología se originó al comprender a los sistemas duros, que eran netamente aplicados a lo tecnológico y a operaciones técnicas, siendo muy inadecuados para investigar a los sistemas organizacionales grandes y complejos.

Etapas de la metodología.

La metodología 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 raíz⁸.
- 4) Construcción de modelos conceptuales, contruidos de lo que hace el sistema, teniendo como guía una de las definiciones de 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.

⁸ La definición de 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?

Descripción de las etapas:

Etapas 1. Consiste en detectar la necesidad de un cambio de tareas, se acepta que puede haber un problema y se ve la posibilidad de mejorar.

Etapas 2. Consiste en la recolección y clasificación de la información, para dar una descripción de la situación problema. Según el autor, básicamente la información que se busca es la siguiente:

- La estructura de la organización: esos factores que no cambian fácilmente (las construcciones, las localizaciones, el ambiente, etc.).
- Procesos o transformaciones que se realizan dentro del sistema: algunos están cambiando constantemente.
- Hechos que son expresados o sentidos por los miembros de organización (quejas, críticas, sugerencias, etc.).

Es importante en esta etapa representar a la estructura, a los procesos y a los hechos de la organización que podrían ser relevantes en la definición de problema, e intentar dar una impresión del clima de la organización.

Etapas 3. Se nombra a los sistemas relevantes para escribirlos de manera que un modelo pueda ser construido basado en cada nombramiento. Estos nombramientos se conocen como definiciones raíz. El propósito de la definición raíz es expresar el propósito central de un cierto sistema útil de actividad.

Etapas 4. Consiste en la construcción de modelos conceptuales a partir de una definición raíz aplicando el pensamiento sistémico. Este modelo conceptual de un sistema cubre un proceso de monitoreo, en donde el sistema consiste en una actividad central y algunas actividades pre - requisitos que se requieren para que la actividad central se lleve a cabo.

Etapas 5. En esta etapa se compara el modelo conceptual con la etapa 2. En este trabajo de comparación se hace una reiteración de las etapas 3 y 4.

Etapas 6. Se detectan los cambios que son posibles de realizar, dichos cambios pueden ser evaluados y aprobados por las personas que conforman el sistema humano, para garantizar que sean deseables y viables.

Etapa 7. Consiste en la implantación de los cambios que fueron detectados en la etapa anterior, estos cambios pueden ser de tres tipos:

- Cambio en la estructura: son los cambios realizados en las partes estáticas del sistema.
- Cambio en el procedimiento: son los cambios en los elementos dinámicos del sistema.
- Cambio en la actitud: son los cambios en el comportamiento del sistema.

La metodología de sistemas suaves, tiene entre otras las siguientes fortalezas:

- Proporcionar una estructura a situaciones problemáticas en entornos organizacionales y políticos complejos.
- Ayuda a intervenir de manera organizada a un entorno problemático.
- Fuerza al usuario a buscar una solución que no sea sólo técnica.
- Ayuda en la organización del problema.
- Ayuda que las personas que usen la metodología para crear nuevas alternativas de solución.
- Herramienta que facilita a ver un problema como un todo integrado a la realidad y no como algo específico.

Algunos riesgos y limitaciones de la metodología:

- Requiere siempre del factor humano.
- No se especula en la respuesta del problema demasiado pronto, puede caerse en errores.
- La mayoría de las veces se hace un tipo de gráfico, para ver la estructura y determinar la situación del problema.

APÉNDICE II

EASY FIT

Es un programa que permite realizar pruebas de bondad de ajuste, ya que se trabaja con la base de datos obtenida por el analista, y se aplica las pruebas de manera automática y rápidamente la distribución de probabilidades que mejor se ajuste a los datos recolectados. Las tres pruebas de bondad de ajuste con las que trabaja son:

- Test de Kolmogorov –Smirnov
- Test de Anderson Darling
- Test de Chi-Squared

Las características principales de este software son las siguientes:

- Pruebas de bondad de ajuste;
- Compatibilidad con más de 55 distribuciones (Distribuciones discretas y continuas);
- Modo eficaz de ajuste automático de datos;
- Capacidad de ajuste manual de distribución;
- Gráficos interactivos (se puede comparar entre distribuciones).

Estas características hacen que sea un software flexible y sea utilizado como herramienta adicional para analizar datos aun cuando sean muy grades además de desarrollar mejores modelos usando distribuciones avanzadas, por su amplio catálogo que permite comparar entre más de 50 distribuciones, tanto discretas como continuas; además, EasyFit permite ver gráficos de distribuciones y examinar sus propiedades sin introducir datos, generar números aleatorios, calcular estadísticas descriptivas y mucho más.

Se trabajó con la versión 5.6, para poder trabajar con este software se deben considerar las siguientes características:

EasyFit

[Descargar](#)

Versión: 5.6
Tamaño del archivo: 3.6 MB

Requisitos del sistema:
Windows 8/7/Vista/XP/2000, Windows Server 2003/2008
20 MB de espacio libre en el disco duro
128 MB de memoria

Note: EasyFitXL add-in (a part of EasyFit Professional) is currently compatible with 32-bit versions of Excel (support for 64-bit Excel coming soon)

EasyFit carga los datos seleccionados por el usuario y muestra un resumen con las tres pruebas de bondad de ajuste para cada distribución de probabilidad, enlistando cuales son las que mejor ajuste tienen a cierta probabilidad, una vez que el usuario escoge la distribución se detalla en una ficha los valores críticos, nivel de significancia, que corresponden a dicha distribución.

De las tres pruebas de bondad de ajuste, en este trabajo se trabajó con la prueba de Kolmogorov-Smirnov

Prueba de Kolmogorov-Smirnov (KS)

Definición

La estadística de Kolmogorov-Smirnov es una prueba no paramétrica que se utiliza para determinar la bondad de ajuste de dos distribuciones de probabilidad entre sí.

$$D = \max_{1 \leq i \leq n} \left(F(x_i) - \frac{i-1}{n}, \frac{i}{n} - F(x_i) \right)$$

Prueba de la hipótesis

Las hipótesis nulas y alternativas son:

- H_0 : los datos siguen la distribución especificada;
- H_A : los datos no siguen la distribución especificada.

La hipótesis con respecto a la forma distribucional se rechaza en el nivel elegido de significancia (α) si la estadística de la prueba, D , es mayor que el valor crítico obtenido de una Tabla. Los valores fijos de α (0.01, 0.05 etc.) se utilizan generalmente evaluar la

hipótesis nula (H_0) en los varios niveles de la significación. Un valor de 0.05 se utiliza típicamente para la mayoría de los usos, sin embargo, en algunas industrias críticas, un más bajo α el valor puede ser aplicado.

Nivel de confianza ($1-\alpha$)

El nivel de confianza se indica por $1-\alpha$ y habitualmente se da en porcentaje ($1-\alpha$) %. Hablamos de nivel de confianza y no de probabilidad (la probabilidad implica eventos aleatorios) ya que una vez extraída la muestra, el intervalo de confianza estará definido al igual que la media poblacional (μ) y solo se confía si contendrá al verdadero valor del parámetro o no, lo que si conlleva una probabilidad es que si repetimos el proceso con muchas medias muestrales podríamos afirmar que el ($1-\alpha$) % de los intervalos así construidos contendría al verdadero valor del parámetro.

Los valores que se suelen utilizar para el nivel de confianza son el 95%, 99% y 99,9%

En EasyFit se consideran 80%, 90%, 95%, 98% y 99%

P-Valor

Se rechaza la hipótesis nula si el valor p asociado al resultado observado es igual o menor que el nivel de significación establecido, convencionalmente 0,05 ó 0,01. Es decir, el valor p nos muestra la probabilidad de haber obtenido el resultado que hemos obtenido **si suponemos que la hipótesis nula es cierta.**

Si el valor p es inferior al nivel de significación nos indica que lo más probable es que la hipótesis de partida sea falsa. Sin embargo, también es posible que estemos ante una observación atípica, por lo que estaríamos cometiendo el error estadístico de rechazar la hipótesis nula cuando ésta es verdadera basándonos en que hemos tenido la mala suerte de encontrar una observación atípica. Este tipo de errores se puede subsanar rebajando el valor p; un valor p de 0,05 es usado en investigaciones habituales sociológicas mientras que valores p de 0,01 se utilizan en investigaciones médicas, en las que cometer un error puede acarrear consecuencias más graves. También se puede tratar de subsanar dicho error aumentando el tamaño de la muestra obtenida, lo que reduce la posibilidad de que el dato obtenido sea casualmente raro.

El valor p es un valor de probabilidad, por lo que oscila entre 0 y 1. Así, se suele decir que valores altos de p NO RECHAZAN la hipótesis nula o, dicho de forma correcta, no permiten rechazar la H_0 . De igual manera, valores bajos de p rechazan la H_0 .

Es importante recalcar que un contraste de hipótesis nula no permite aceptar una hipótesis; simplemente la rechaza o no la rechaza, es decir que la tacha de verosímil (lo que no significa obligatoriamente que sea cierta, simplemente que es más probable de serlo) o inverosímil.

Valor crítico

En las pruebas de hipótesis, un valor crítico es un punto en la distribución de la prueba que se compara con el estadístico de prueba para determinar si puede rechazarse la hipótesis nula. Si el valor absoluto del estadístico de prueba es mayor que el valor crítico, usted puede declarar significancia estadística y rechazar la hipótesis nula. Los valores críticos están asociados con el nivel de significancia (α), así que sus valores se fijan cuando se elige el α de la prueba.

EasyFit exhibe parámetros basados en la estadística de la prueba de Kolmogorov-Smirnov (d) calculada para cada distribución:

Exponential [#11]					
Kolmogorov-Smirnov					
Sample Size	39				
Statistic	0.38985				
P-Value	7.5346E-6				
Rank	52				
α	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Critical Value	0.16753	0.19148	0.21273	0.23786	0.25518
Reject?	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes

Figura. Ejemplo del resultado de la Prueba de Kolmogorov-Smirnov.

ANEXO DEL DIAGNÓSTICO

1. Cuestionarios

1.1. Diagnóstico Producción

2. Resultados Detallados del Diagnóstico por áreas

2.1. Área: producción



“Diagnóstico Producción - Etapa I”

Cuestiones a tratar:

- Nombre de los puestos (Puesto-Nombre),
- A qué área reporta y/o a quién,
- Procedimientos operativos, explicación de los procedimientos de trabajo, tipos de proceso, etc.,
- Descripción de puestos de trabajo ¿Quién hace qué, dónde y cuándo?
- ¿Cómo se gestiona el inventario? de producto terminado y stock en cada parte del proceso,
- ¿Cómo se determina la cantidad de materia prima necesaria para llevar a cabo el proceso? ¿Cada cuánto se pide la materia prima a los proveedores?
- Existen sanciones al incumplimiento al reglamento interno de trabajo,
- ¿Existen indicadores que midan el desempeño de los trabajadores? ¿Cuáles? ¿Quién los define?
- ¿Existen índices de producción? En promedio ¿Cuánto se produce al día?
- La capacidad instalada de la planta, es decir volumen de producción que se puede obtener con los recursos disponibles en determinado momento (recursos como dinero, equipos, personal, instalaciones, etc.),
- ¿Cómo evalúa el personal las condiciones de sus puestos de trabajo? Calidad y cantidad de las posibilidades de espacio y de los puestos de trabajo del personal
- ¿Cómo se evalúa el rendimiento del trabajo?
- ¿La gerencia participa en las actividades operativas de la empresa?
- ¿Cómo se informa a la gerencia de los resultados obtenidos y de los costos ocasionados?

DIAGNÓSTICO EMPRESARIAL

ÁREA: PRODUCCIÓN

INFORMACIÓN GENERAL

No.	ÁREA	FECHA DE ENTREVISTA	SUPERIOR O JEFE INMEDIATO	RESPONSABLE	PREPARACIÓN	PUESTO	EQUIPO DE TRABAJO
5	Producción	3-Diciembre-2014	Directores de la empresa	Jefe de producción	Experiencia en puestos similares	Jefe de Producción	Dos supervisores y gente de planta (24 operadores por los dos turnos)

ACTIVIDADES PRINCIPALES:

- 1) Supervisión de trabajo en planta
- 2) Asignación tarea - empleado
- 3) Evalúa a los supervisores de producción

Comentarios generales	
1) Renovador a de México, S.A de C.V cuenta con la capacidad y tecnología necesaria para hacer frente un incremento en la producción, pero trabaja con una distribución de planta limitada que ha afectado incluso de manera física a los operadores.	
Propuestas de mejora	Observaciones
<ul style="list-style-type: none"> ● Fijar los bonos de productividad o comisión con base en indicadores de productividad y desempeño. ● Hacer la simulación de la producción para prevenir escenarios extremos y falta de materia prima. ● Hacer una simulación de la distribución de la planta (<i>layout</i>) para analizar diferentes escenarios. ● Dar a conocer el reglamento interno a los trabajadores. ● Revisar las condiciones y equipo de trabajo. ● Revisión de la asignación a cada tarea según el turno. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ El jefe de producción, si se requiere una decisión importante la proporciona el Director de la empresa.

BIBLIOGRAFÍA

LIBROS

1. **Acuña** Acuña, J. (1996), *Control de calidad: Un enfoque integral y estadístico*, 2ed Cartago, Editorial Tecnológica de Costa Rica.
2. **Armour**, Gordon C. & **Buffa**, Elwood S. (1963), *A heuristic algorithm and simulation approach to relative location of facilities*, Management Science, Vol. 9 pp.294.
3. **Azarang** R.M. & **García** Dunna. E (1998), *Simulación y análisis de modelos estocásticos*, McGraw-Hill Interamericana Editores México.
4. **Baca** G. (2006), *Evaluación de Proyectos*. 5ª edición. McGraw-Hill Interamericana Editores México.
5. **Checkland**, P. (1997), *Pensamiento de sistemas, práctica de sistemas*. México; Editorial Megabyte.
6. **Checkland**, P. (2002), *La metodología de Sistemas Suaves en acción*. México, Noruega editores.
7. **Coss** Bu, R. (2003), *Simulación: un enfoque práctico*, edición número 20 ,Noriega/Departamento de Ingeniería Industrial, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey /Limusa, México
8. **De la Fuente** García D. & **Parreño** Fernández J. & **Fernández** Quesada, I. (2008), *Ingeniería de Organización en la empresa: Dirección de Operaciones*, Ediciones de la Universidad de Oviedo, España.
9. **De la Fuente** García D. & **Fernández** Quesada I. (2005), *Distribución en Planta*, Universidad de Oviedo, España.
10. **Flores** de la Mota, I. & **Elizondo** Cortés, M. (2007), *Apuntes de Simulación*, División de Ingeniería Mecánica e Industrial, Departamento de Sistemas, Sección de Investigación de Operaciones. UNAM, México.
11. **Guasch**, T & **Ramos**, J.J & **Casanovas**, J. & **Piera**, M.A (2006) *Cómo mejorar la logística de su empresa mediante la simulación*, Editorial: Díaz De Santo, Capítulo II. Buenos Aires, Argentina
12. **Helguera** y García, A., (2006) *Manual práctico de la producción de la riqueza*, Edición electrónica gratuita.
13. **Muther**, R. (1956), *Practical Plant Layout. Segundo Capítulo: Layout* 4º Editorial: McGraw-Hill. Estados Unidos
14. **Nahmias** S. (2004), *Production and Operation Analysis*, 5ª Edición, McGraw-Hill Higher Education, Singapur.

15. **Platas** García, J.A &**Cervantes** Valencia, M.I, (2014), *Planeación, diseño y layout de instalaciones*, Grupo Editorial: Patria, México.
16. **Schmidt J.W** (1979), *Análisis y Simulación de sistemas industriales*, Editorial Trillas, México.
17. **Shannon**, Robert E. (1975) *La simulación de los sistemas*. El arte y ciencia, los principios de Englewood, Prentice-Hall.
18. **Vaughn** R.C (1988), *Introducción a la Ingeniería Industrial*, Editorial Reverte, Profesor de Ingeniería Industrial en la Universidad de Iowa, Capítulo 6. Distribución en Planta, Estados Unidos.

TESIS

1. **Aparicio** Vásquez, C.A (2013), *Un enfoque Sistémico para la administración de proyectos de construcción: El caso de una empresa inmobiliaria*. Tesis Maestría UNAM. Posgrado de Ingeniería.
2. **Bolaños** Plata, O. (2014), *importancia de la simulación en la mejora de Procesos*. Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM. México.
3. **Callejas** Ávila, L.A. (2013), *Estrategia para mejorar la competitividad en una pequeña empresa: Un caso de aplicación*. Tesis Maestría UNAM. Posgrado de Ingeniería.
4. **Casar** Pérez, J. (1987), *Tipos de empresas y estructura industrial: presencia de distintos tipos de empresa en la industria mexicana*. ILET, Instituto Latinoamericano de Estudios Transnacionales.
5. **Castañeda** Sánchez, T. &**Gómez** Rodríguez, V, (2013), *Evaluación de una distribución de planta mediante simulación*, Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM. México.
6. **Diego** Mas, J.A (2006), *Optimización de la distribución en planta de instalaciones industriales mediante algoritmos genéticos. Aportación al control de la geometría de las actividades*, Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Valencia.
7. **Djabi** Porras K. (2006), *Diseño de un Sistema de manejo de materiales en Bridgestone Firestone Venezolana*, Informe Final para grado de Licenciatura, Universidad Simón Bolívar , Sartenejas, Venezuela.
8. **Márquez** Soriano, F. &**Gutiérrez** Nájera, G. (2007), *Distribución para una nueva planta industrial de la empresa "Plásticos Saljim S.A de C.V"*, Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM, México.
9. **Martínez** Aguilar, E.S. (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), UNAM. Posgrado de Ingeniería.

10. **Navarro Cruz R. & Becerril Osornio P.** (1998), *Distribución de Planta y Manejo de Materiales Aplicando la Técnica Systematic Layout Planning (S.L.P) y Systematic Handling Analysis (S.H.A)*, Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM, México.
11. **Reyes Flores, G.** (2013), *La aplicación de las técnicas Systematic Layout Planning y Systematic Handling Analysis para mejorar el movimiento de materiales en una empresa textil*, Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM. México.
12. **Sánchez Ocampo, S.L.** (2011), *Una estrategia de Intervención para empresas proveedoras de servicios de consultoría en sistemas computacionales.* UNAM. Posgrado de Ingeniería.
13. **Villaluenga Ferreiro M. & Azcárate Camio, C. & Mallor Gímenez, F.** (2011), *Simulación del proceso productivo de INASA FOIL, S.A*, Tesis de Licenciatura, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de telecomunicación, Pamplona.
14. **Villanueva Sánchez, L.V.** (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.* UNAM. Facultad de Economía.

ARTÍCULOS

1. **Badii, M.H & Castillo, J. & Guillen A.** (2008), *Tamaño óptimo de la muestra (Optimum simple size)*, Innovaciones de negocios, Universidad Nacional Autónoma de Nuevo León (UANL), San Nicolás, N.L, México.
2. **Giraldo García J. & Sarache Castro W. & Castrillón Gómez O.** (2010), *Integral methodology simulation support for the improvement of production systems job shop. Metal working applications in SMES*, Revista Ingeniería e Investigación Vol. 30 No. 1, Abril De 2010 (97-106), Universidad Nacional de Colombia, Colombia.
3. **Gisbert Soler, V.** (2015), *Lean manufacturing. What is and what is no errors in its most common application and interpretation*, Revista 3C Tecnología (Edición núm. 13) Vol.4 Nº 1 Área de Innovación y Desarrollo, S.L. España.
4. **Harrington, J.** (1993). *Mejoramiento de los procesos de la empresa.* Editorial Mc. Graw Hill Interamericana, S.A. México.
5. **Jiangjiang Zhao & Tieju Ma** (2016), *Optimizing layouts of initial AFV refueling stations targeting different drivers, and experiments with agent-based simulations*, European Journal of Operational Research, Volume 249, Issue 2, 1

- March 2016, Pages 706-716, East China University of Science and Technology, China.
6. **Lindinger O.** (2007), *Procesos Industriales*, Pontifica Universidad Católica del Perú, Perú.
 7. **Medina** León S. & **Medina** Palomera A. & **González** Ángeles A. (2010), *Reducir tiempos de espera de pacientes en el departamento de emergencias de un hospital utilizando simulación*, Revista Industrial Data, vol. 13, núm. 1, enero-julio, 2010, pp. 67-76, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.
 8. **Mejía** Moncayo, C. (2012), *Model for definition the layout of a manufacturing cell through optimization*, Optimización de sistemas de ingeniería, en el Grupo de Investigación: Grupo de Modelado y Métodos Numéricos en Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
 9. **Peñúñuri** González, S. & **Gómez** Muñoz, N. & **Sánchez** Hervert, A. (2009), *Distribución de planta para la fabricación de bloque Ecológico de una empresa en etapa de post-incubación*, Instituto Tecnológico De Sonora, II Congreso Internacional De Negocios, Ciudad Obregón, Sonora, México.
 10. **Salas** Bacalla, J. & **Mauricio**, D. & **Leyva**, M. (2013), *Una taxonomía del problema de distribución de planta por procesos y sus métodos de solución*, Industrial Data, vol. 16, núm. 2, julio-diciembre, 2013, pp. 132-143, Universidad Nacional Mayor de San Marcos Lima, Perú.
 11. **Segovia** Castro, R. (2009), *Systems simulation for optimizing storage and loading of natural gas products*, Ingeniería Industrial, núm. 27, 2009, pp. 81-98, Universidad de Lima, Perú.
 12. **Simón** Marmolejo I. & **Santana** Robles, F. & **Granillo** Macías, R. & **Piedra** Mayorga V, (2012), *The FlexSim Simulation, an Alternative Source for Decision-Making in the Operations of a Hybrid System*, Revista Científica, vol. 17, núm. 1, enero-marzo, 2013, pp. 39-49, Instituto Politécnico Nacional, México.
 13. **Tharanga** Rajapakshe & **Milind** Dawande & **Chelliah** Sriskandarajah (2011), *Quantifying the Impact of Layout on Productivity: An Analysis from Robotic-Cell Manufacturing*, International Journal of Production Research, University of Texas at Dallas, Richardson, Texas.
 14. **Vera** Méndez, F. (2011), *Propuesta de una estructura de Simulación y distribución en planta para la producción de caucho*, Scientia Et Technical, vol. XVII, núm. 47, Abril, 2011, pp. 60-64, Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia.
 15. **Zhu**, X.; **Zhang**, R.; **Chu**, F.; **He**, Z.; **Li**, J. (2014), *A FlexSim-based Optimization for the Operation Process of Cold-Chain Logistics Distribution Centre*, Journal of Applied Research and Technology, vol. 12, núm. 2, abril, 2014, pp. 270-278, Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico, UNAM, México.

PÁGINAS DE INTERNET

1. **Coupric**, D.; Goodbrand, A.; Bin Li D.Z (2012). Metodología de Sistemas Suaves. Calgary, Universidad de Calgary (11/02/2014),<http://www.ingenieria.unam.mx/javica1/planeacion/CalgarySSM/Calgary.html>
2. **Datos de Registro**(05/04/2016)<http://fichas.findthecompany.com.mx/l/127984017/Llantera-Atlas-S-A-de-C-V-en-Mexico-EDOMEX>
3. **Delgado** Lozano, A. & **Morales** Vázquez, K. (2010), Sistema de Producción Toyota (17/02/2016) <http://hemaruce.angelfire.com/SPT.pdf>
4. **Entrevista con Raúl Castillo**(05/04/2016):
<http://www.elfinanciero.com.mx/empresas/aumenta-compra-de-llantas-importadas.html>
5. **Entrevista con Rubén Albarrán** (05/04/2016)
<http://www.vanguardia.com.mx/llantachinaseimponeaneumaticosnacionales-2306905.html>
6. **Entrevista con Rubén Albarrán:**
(05/04/2016)<http://www.alianzaautomotriz.com/proveedores-2/ruben-albarran-director-general-andellac/>
7. **Página de la Cámara Nacional De La Industria Hulera.** (05/04/2016)
<http://www.cnih.com.mx/Industria%20Hulera.html>
8. **Pérez** Vargas, C.A (11/04/16):
<https://simulaciondeprocesosempresariales.wordpress.com/2011/02/20/simulacion/>
9. **Tutorial** Simio: (14/02/16):https://www.youtube.com/watch?v=4k_fxgpiclq
10. **Venegas** Carlos & **García** Diana (2011), Teoría General de Sistemas, Blog (<http://teogenesis2011.blogspot.mx/2011/04/parametros-de-los-sistemas.html>).