

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ÁREA DE POSGRADO**

**MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS E INGENIERÍA**



**OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE MONTAJE DE TRACTOCAMIONES A  
TRAVÉS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA DMAIC-DOE**

**T E S I S**

**que presenta para obtener el grado de MAESTRA EN CIENCIAS  
KAREN MARBELLA MORGA ARGUETA**

**DIRECTORA DE TESIS:  
DRA. KARLA ISABEL VELÁZQUEZ VICTORICA**

**MEXICALI, B. C.**

**SEPTIEMBRE, 2017**

## **Dedicatoria**

Quiero dedicar este trabajo principalmente a Dios, quien es el responsable de cada meta alcanzada a lo largo de mi vida.

A mis padres, María Donila Argueta y Alvaro Isaías Morga por su apoyo incondicional, palabras de aliento y sabios consejos.

A mi esposo, Kelvin Espinoza por su paciencia, amor y soporte a lo largo de este proceso.

A mis hermanos, Alvaro y Mabel, mi sobrina María por recordarme sonreír.

Y muy especialmente a mi tutora, doctora Karla Isabel Velázquez, quien además de ofrecerme su guía profesional para la culminación de este trabajo de investigación ha sabido brindarme su comprensión y apoyo.

## **Agradecimientos**

Agradezco profundamente al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), quienes mediante las becas otorgadas para estudios de posgrado brindan una oportunidad de desarrollo y superación a cada estudiante beneficiado.

A la Universidad Autónoma de Baja California (UABC) y su Coordinación de Posgrado e Investigación por brindarme la oportunidad de desarrollar el presente trabajo de investigación y culminar mis estudios como maestra en ciencias.

A cada docente de la Facultad de Ingeniería industrial, quienes se esfuerzan diariamente por ofrecer una educación de calidad y especialmente agradezco a aquellos que formaron parte esencial de mi formación, entre ellos: Dra. Karla Isabel Velázquez, Dra. Margarita Gil Samaniego, M.Sc Juan Ceballos, Dr. Juan Carlos Ling y M.Sc Aida López.

Finalmente agradezco a Mexicana Logistics y su equipo de trabajo en el área de ingeniería sin quienes no habría sido posible la culminación de este proyecto.

A todos, gracias.

## **Índice de contenido**

Introducción.....	I
Justificación.....	II
Objetivos.....	III
Metas .....	III
Hipótesis.....	IV
Metodología.....	IV

## **Capítulo I. Estado del arte**

1.1 Descripción del proceso de montaje de tractocamiones.....	1
1.1.1 Problemática proceso de montaje de tractocamiones. ....	5
1.2 Antecedentes.....	7
1.3 Seis Sigma y su metodología DMAIC .....	8
1.4 Diseño de experimentos en la industria.....	9
1.5 Metodología DMAIC-DoE.....	10
1.6 Simulación de procesos .....	12
1.6.1 Ventajas del uso de la simulación.....	13
1.6.2 PROMODEL como herramienta para la simulación. ....	13
1.6.3 Aplicación de técnica de simulación de procesos.....	14

## **Capítulo II. Marco Teórico**

2.1 Introducción.....	15
2.2. Herramientas para la optimización de procesos .....	16
2.2.1 Productividad.....	16
2.2.2 Optimización.....	17

2.2.3 Siete herramientas de la calidad.....	17
2.3 Metodología Seis-Sigma. ....	22
2.3.1 Ventajas de la implementación de la metodología .....	23
2.4 Diseño de experimentos. ....	24
2.4.1 Aplicaciones típicas del diseño de experimentos. ....	24
2.4.2 Etapas y actividades de la planeación y análisis de un experimento. ....	26
2.5.3 Prueba de hipótesis .....	27
2.5 Simulación de procesos como técnica de experimentación.....	28
2.5.1. Concepto y utilidad de la simulación de procesos. ....	28
2.5.2. Metodología para conducir un estudio de simulación. ....	29
2.6 Normativa/requerimientos generales para el transporte de cargas. ....	31

### **Capítulo III. Metodología**

3.1 Metodología para la optimización de procesos. ....	33
3.2 Simulación de procesos como complemento de la metodología propuesta DMAIC-DoE. .....	39
3.3 Fase de definición. ....	40
3.4 Fase de planeación.....	41
3.4.1 Mapeo del proceso. ....	41
3.4.2 Plan de capacitación.....	44
3.5 Fase de Medición.....	45
3.5.1 Recolectar información, definir supuestos.....	45
3.5.2 Toma de tiempos del proceso. ....	46
3.5.3 Construcción del modelo de simulación. ....	48
3.5.4 Validar el modelo programado. ....	53

3.6 Planteamiento de alternativas de optimización. ....	54
3.6.1 Determinación de factores significativos para la variable respuesta. ....	54
3.7 Estudio preliminar. ....	56
3.7.1 Evaluación de alternativas de optimización en software Promover. ....	56
3.8 Experimentar. ....	58
3.9 Analizar. ....	59
3.10 Mejorar. ....	59
3.11 Controlar. ....	59

## **Capítulo IV. Resultados**

4.1 Análisis estadístico de datos obtenidos mediante simulación. ....	60
4.2 Análisis estadístico de datos del sistema real. ....	63
4.3 Validación de la simulación de procesos como herramienta de pre experimentación. ..	68
4.4 Impacto de la optimización en el área de calidad/costos. ....	69
4.5 Análisis de regresión. ....	70

## **Capítulo V. Conclusiones y Recomendaciones**

5.1 Conclusiones. ....	73
5.2 Recomendaciones. ....	74
Referencias .....	75
Anexos .....	80

## Índice de figuras

Figura 1.1	Diagrama de proceso de montaje de tractocamiones en quinta rueda.	2
Figura 1.2	Ilustración de cuatricuerna.	3
Figura 1.3	Diagrama de proceso de montaje de tractocamiones en chasis.	4
Figura 1.4	Tiempos de ciclo para el proceso de montaje.	5
Figura 1.5	Montajes rechazados durante 2015.	6
Figura 1.6	Tiempo promedio de operación por operario.	6
Figura 1.7	Modelo de la metodología para aplicar Diseño de Experimentos.	10
Figura 1.8	Modelo de metodología DMAIC-De.	11
Figura 2.1	Esquema de un proceso.	16
Figura 2.2	Consecuencias de la optimización de procesos.	17
Figura 2.3	Estructura diagrama causa-efecto.	18
Figura 2.4	Ejemplo planilla de inspección.	19
Figura 2.5	Ejemplo gráfica de control.	20
Figura 2.6	Gráfico de dispersión.	21
Figura 2.7	Flujo de la metodología Seis-Sigma DMAIC.	23
Figura 2.8	Ciclo de Deming.	26
Figura 2.9	Metodología para conducir un estudio de simulación.	30
Figura 3.1	Modelo metodología DMAIC-DoE en el proceso de montaje de tractocamiones.	34
Figura 3.2	Distribución de la varianza en ANOVA.	38
Figura 3.3	Diagrama de proceso instalar pernos.	42
Figura 3.4	Concesionarios Kenworth.	45
Figura 3.5	Modelo de simulación para el proceso de montaje de tractocamiones en ProModel.	47
Figura 3.6	Gráfica del tiempo de ciclo para primer escenario.	49
Figura 3.7	Gráfica del tiempo de ciclo para segundo escenario.	50
Figura 3.8	Porcentaje de utilización para operarios en primer escenario.	50
Figura 3.9	Porcentaje de utilización para operarios en segundo escenario.	51
Figura 3.10	Diagrama causa-raíz proceso de montaje de tractocamiones.	54
Figura 4.1	Diagrama de Pareto de efectos estandarizados.	60

Figura 4.2	Gráfica de interacción.	60
Figura 4.3	Gráfica de superficie de respuesta.	61
Figura 4.4	Gráfica de medias/efectos principales.	61
Figura 4.5	Análisis de Pareto, efectos estandarizados/sistema real.	64
Figura 4.6	Gráfica interacción/sistema real.	64
Figura 4.7	Gráfica superficie respuesta/sistema real.	65
Figura 4.8	Gráfica medias, efectos principales/sistema real.	65
Figura 4.9	Puntos óptimos del sistema.	66
Figura 4.10	Tiempo de ciclo, proceso de montaje optimizado.	66
Figura 4.11	Rendimiento por operario, proceso de montaje optimizado.	67
Figura 4.12	Gráfica caja comparación sistema real/sistema simulado.	68
Figura 4.13	Gráfica valores individuales sistema real/sistema simulado.	69
Figura 4.14	Diagrama dispersión Y vs X1.	71
Figura 4.15	Diagrama dispersión Y vs X2.	71

## Índice de tablas

Tabla 2.1	Clasificación de las cargas.	31
Tabla 3.1	Resumen actividades para implementación de Metodología DMAIC- De en el proceso de montaje de tractocamiones.	35
Tabla 3.2	Metodología DMAIC-DoE y simulación de procesos.	40
Tabla 3.3	Project Charter.	41
Tabla 3.4	Formato para elaboración de diagrama de flujo del proceso.	43
Tabla 3.5	Plan de capacitación.	44
Tabla 3.6	Tiempo de ciclo cuatricuernas.	44
Tabla 3.7	Formato para la toma de tiempos del proceso.	46
Tabla 3.8	Procesamiento de los datos obtenidos en la toma de tiempos.	47
Tabla 3.9	Redistribución de las actividades del proceso.	55
Tabla 3.10	Factores DoE para el proceso de montaje.	56
Tabla 3.11	Matriz de experimentación.	56
Tabla 3.12	Matriz de experimentación codificada.	57
Tabla 4.1	Resultados de la experimentación en el Software.	58

Tabla 4.2	Resultados de experimentación en el sistema real.	58
Tabla 4.3	Datos análisis correlación % utilización/defectos.	69
Tabla 4.4	Resumen análisis regresión Excel.	72
Tabla 4.5	Detalles coeficientes análisis de regresión.	72
Tabla 4.6	Pronósticos para Y.	72

## **Índice de anexos**

Anexo 1.1	Formato de elaboración diagramas de flujo procesos/subprocesos.	80
Anexo 1.2	Formato estudio de tiempos.	81
Anexo 1.3	Diagrama de flujo instalación pernos.	82
Anexo 1.4	Diagrama de flujo instalación ejes.	82
Anexo 1.5	Diagrama de flujo instalación luces.	83
Anexo 1.6	Diagrama de flujo instalación frenos.	83
Anexo 1.7	Matriz habilidades.	84

## Introducción

Seis Sigma fue propuesta por Motorola, a mediados de la década de 1980, como un enfoque para mejorar la producción, la productividad y la calidad, así como para reducir los costes operativos. El nombre Sigma se origina a partir del alfabeto griego, y en términos de control de calidad Sigma ha sido utilizado para medir la variación en un proceso o su salida. Uno de los enfoques distintivos de Seis Sigma para procesar y mejora de la calidad es DMAIC. El modelo DMAIC se refiere a las cinco etapas interconectadas (es decir, definir, medir, analizar, mejorar y controlar) que ayudan a las organizaciones a resolver de forma sistemática problemas y mejorar sus procesos <sup>[1]</sup>.

Algunos autores sostienen que los programas de calidad seis sigma representan el estado del arte en la gerenciación de la calidad en las organizaciones, debido a que tales programas nacen como una evolución natural y conceptual de los precursores de la calidad, y que posee características únicas <sup>[2]</sup>, es por ello que se debe apoyar con diseño experimental para representar, analizar y evaluar las oportunidades de mejoramiento identificadas; así mismo el uso de herramientas como la simulación para evaluar las diferentes alternativas y apoyar la toma de decisiones <sup>[3]</sup>. Sin importar la técnica de simulación utilizada, la literatura demuestra que está constituye una herramienta fundamental para optimizar los procesos productivos de las empresas <sup>[4]</sup>.

La industria de tractocamiones, por ejemplo, se conoce por ser líder en calidad y por el continuo interés en la optimización y mejora de sus procesos, desde la fabricación hasta el transporte de los mismos. En México esta industria ha constituido una pieza fundamental para el desarrollo del país, ya que la necesidad de movimiento de insumos, alimentos y mercancías a través de territorios y fronteras es creciente. Según nos muestra la Asociación de productores de autobuses, camiones y tractocamiones (ANPACT), la producción de vehículos pesados mantiene una tendencia al alza y las exportaciones superan el 74% del total de la producción con lo que aportan un gran porcentaje al producto interno bruto y la coloca como la industria más importante en el país <sup>[5]</sup>.

Particularmente, Kentworth, empresa dedicada a la fabricación de camiones y tractocamiones en Mexicali, Baja California, encabeza el mercado en México con una participación mayoritaria, además de exportar a los Estados Unidos y a otros países sus distintos modelos en las categorías: tractocamiones, de rango medio y para aplicaciones especiales, por lo que la optimización de sus procesos representa un importante aporte al crecimiento de esta industria y por ende del país.

## **Justificación**

La logística es parte fundamental para toda empresa, entendiéndola a esta como la parte de la administración de la cadena de suministros que planea, implementa y controla la eficiencia y efectividad del flujo, almacenamiento, y la información relacionada, entre el punto de origen y el punto de consumo de un producto, con el propósito de satisfacer los requerimientos del consumidor, por lo que las operaciones incluidas dentro de este proceso deben ser optimizadas <sup>[6]</sup>.

La industria de tractocamiones maneja el proceso de logística de manera externa, en el caso de Kenworth realiza el almacenamiento, montaje y despacho de sus camiones a través de la empresa mexicana Logistics, quienes son responsables de llevar los tractocamiones desde Mexicali hasta las distintas concesionarias nacionales y extranjeras. Esto se logra a través de una configuración vehicular conformada por un tractocamión que, mediante tres mecanismos de articulación arrastra tres tractocamiones, configuración denominada cuatricuerna.

Con la intención de analizar el proceso de logística y mediante un estudio de tiempos se determinó que el proceso de montaje tarda aproximadamente 1.05 horas (Ver anexo 1.2). Además, las cargas de trabajo entre los cinco operarios que participan en el proceso de montaje (quintero, luces, accesorios, frenos y ejes) se encuentran desbalanceadas, lo que además de afectar la culminación del proceso, influye en la satisfacción de los empleados con mayor carga de trabajo. A su vez el porcentaje de utilización promedio del sistema es

bastante bajo, 61.25% en el escenario más común y los tiempos de ciclo entre líneas de montaje son muy variantes, aunque se manejen cargas similares.

Derivado de lo anterior vemos la necesidad de optimizar el proceso, de manera que sea posible el aumento del porcentaje de utilización promedio del sistema y el balanceo de las líneas de trabajo a través de la implementación de la metodología propuesta DMAIC-DoE.

## **Objetivos**

### **General**

Optimizar el proceso de montaje de tractocamiones incrementando al menos un 20% del porcentaje de utilización del sistema mediante la implementación de la metodología DMAIC-DoE.

### **Específicos**

Simular el proceso de montaje para determinar las medidas actuales de rendimiento del proceso, hasta ahora desconocidas por la empresa.

Balancear las líneas de trabajo, porcentajes de utilización por operarios similares.

Determinar los niveles óptimos bajo los que debe funcionar el sistema.

## **Metas**

1. Identificar los parámetros de análisis para el proceso de montaje de tractocamiones.
2. Identificar los límites o especificaciones para cada uno de los parámetros.
3. Medir el desempeño actual del proceso.
4. Seleccionar las variables de respuesta.
5. Construir el modelo conceptual para la simulación.

6. Desarrollar modelo de simulación del proceso.
7. Analizar mediante herramientas estadísticas los datos.
8. Realizar pruebas para la validación del modelo.
9. Crear alternativas de optimización.
10. Seleccionar diseño de experimentos adecuado para el proceso en estudio.
11. Realizar la matriz de diseño de experimentos.
12. Realizar las pruebas experimentales.
13. Analizar estadísticamente de los datos del sistema real.
14. Obtener los niveles óptimos relacionados a la variable de respuesta.
15. Realizar el análisis de superficie de respuesta.
16. Validar la metodología y procedimiento implementado.

## **Hipótesis**

Si se optimiza el proceso de montaje de tractocamiones utilizando la metodología propuesta DMAIC-DoE, se logrará aumentar al menos en un 20% el porcentaje de utilización promedio del sistema.

## **Metodología**

Para el cumplimiento de las dos primeras metas fue necesario analizar minuciosamente y de manera crítica el proceso de montaje de tractocamiones a fin de encontrar los parámetros potenciales y que afecten significativamente el porcentaje de utilización del sistema. Una vez definido esto, es necesario determinar las condiciones actuales del sistema, medir su

desempeño y así delinear las posibles alternativas de solución y establecer los criterios de evaluación.

Finalmente se construyó el modelo conceptual y valido con el apoyo de expertos en el tema, para proceder a la construcción del programa de computadora. Luego de contar con el sistema simulado en su condición actual, se continuo con la parte experimental, determinando diseños alternativos y con las corridas de producción determinar cuáles son las mejores alternativas e implementarlas para la optimización del proceso.

# Capítulo I. Estado del arte

## 1.1 Descripción del proceso de montaje de tractocamiones.

El proceso de montaje de tractocamiones inicia con la llegada de las unidades al área de preparación, donde tardan aproximadamente quince minutos en colocar accesorios necesarios para el armado de las cargas.

Posteriormente el chofer de patio ingresa las unidades a las líneas de montaje, según previa asignación del jefe de taller. En la línea se encuentran los operadores que se harán cargo del proceso, quienes son nombrados según la operación que realizan (quintero, luces, accesorios, frenos y ejes). Mismas que se describen a continuación: Quintero es el encargado de la instalación de los pernos en quinta rueda o en chasis, luces instala el cableado de manera que la cuarta unidad responda al motriz, accesorios se encarga de cubrir las partes débiles del tractocamión que pueden sufrir daños en el traslado, frenos es el encargado del sistema de frenado y ejes retira las fechas de las llantas.

Con la llegada de los camiones a la línea de montaje se inicia simultáneamente las actividades de quitar tornillos de la quinta rueda, preparar el cableado de luces, proteger defensa, posicionar mangueras de frenos y posicionar accesorios de ejes. Cada operario por su cuenta continúa realizando sus actividades, si estas no dependen de la actividad que realiza otro compañero. El quintero luego de haber quitado los tornillos de la quinta rueda continúa ajustando y clavando la madera para poder apretar los tornillos en el perno e instalar las cadenas en el eje suspendido, además de esto deberá subir las unidades para lo que el encargado de luces debió haber fletado los rines y ejes.

El encargado de las luces luego de haber preparado el cableado continúa el flujo normal de sus actividades hasta el momento de flejar rines y ejes, donde necesita que el encargado de ejes haya quitado y posicionado las flechas, para instalar el rockguard y conectar el cableado al estar las unidades en posición. Esta última condición también es una limitante para el de accesorios ya que debe esperar a que esta condición se cumpla para poder revisar el nivel de diésel, así también para frenos, quien debe esperar para poder conectar las mangueras y asegurarlas con cinchos para dar por terminado el proceso. Para mejor comprensión del proceso descrito ver figura 1.1

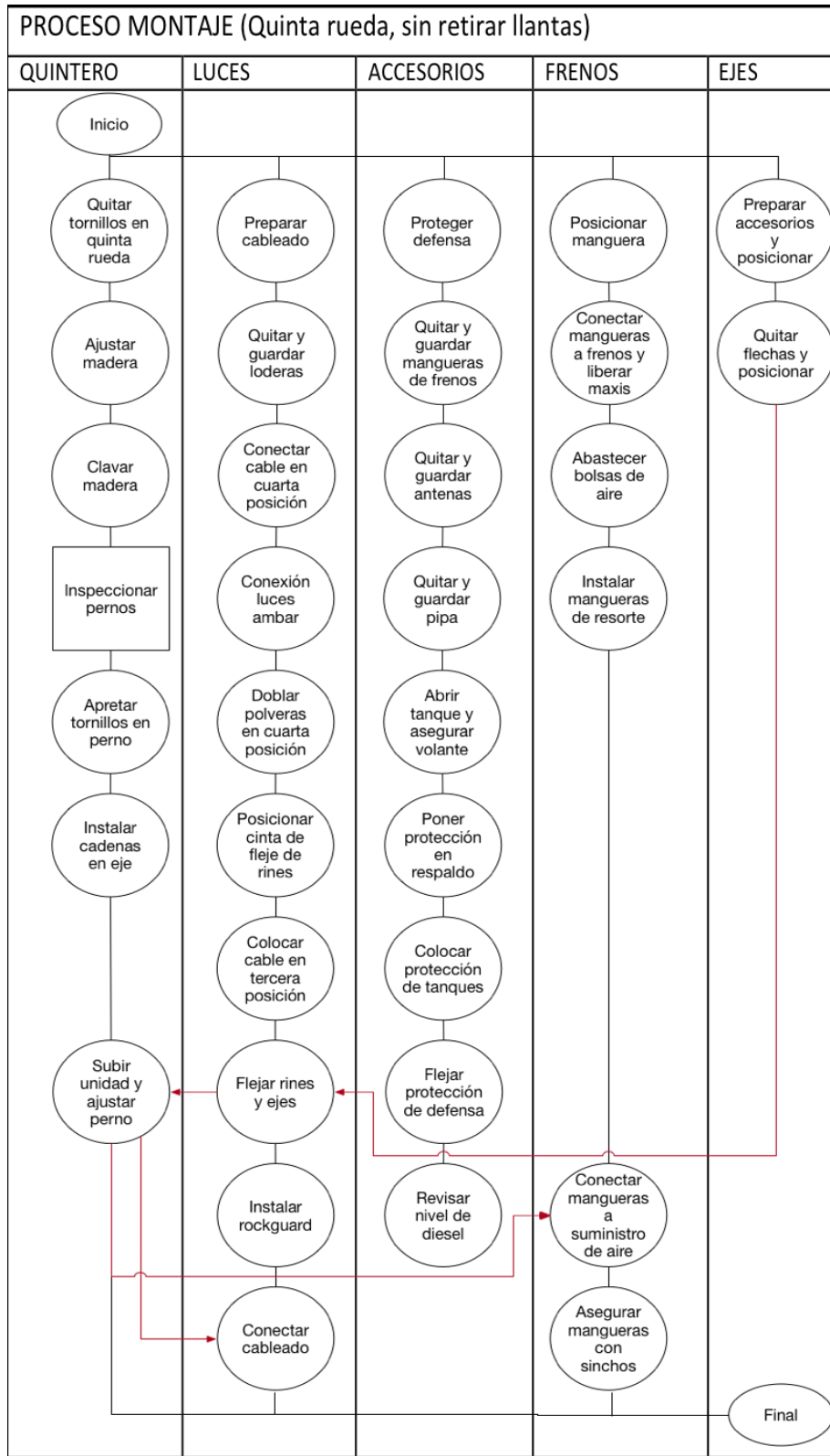
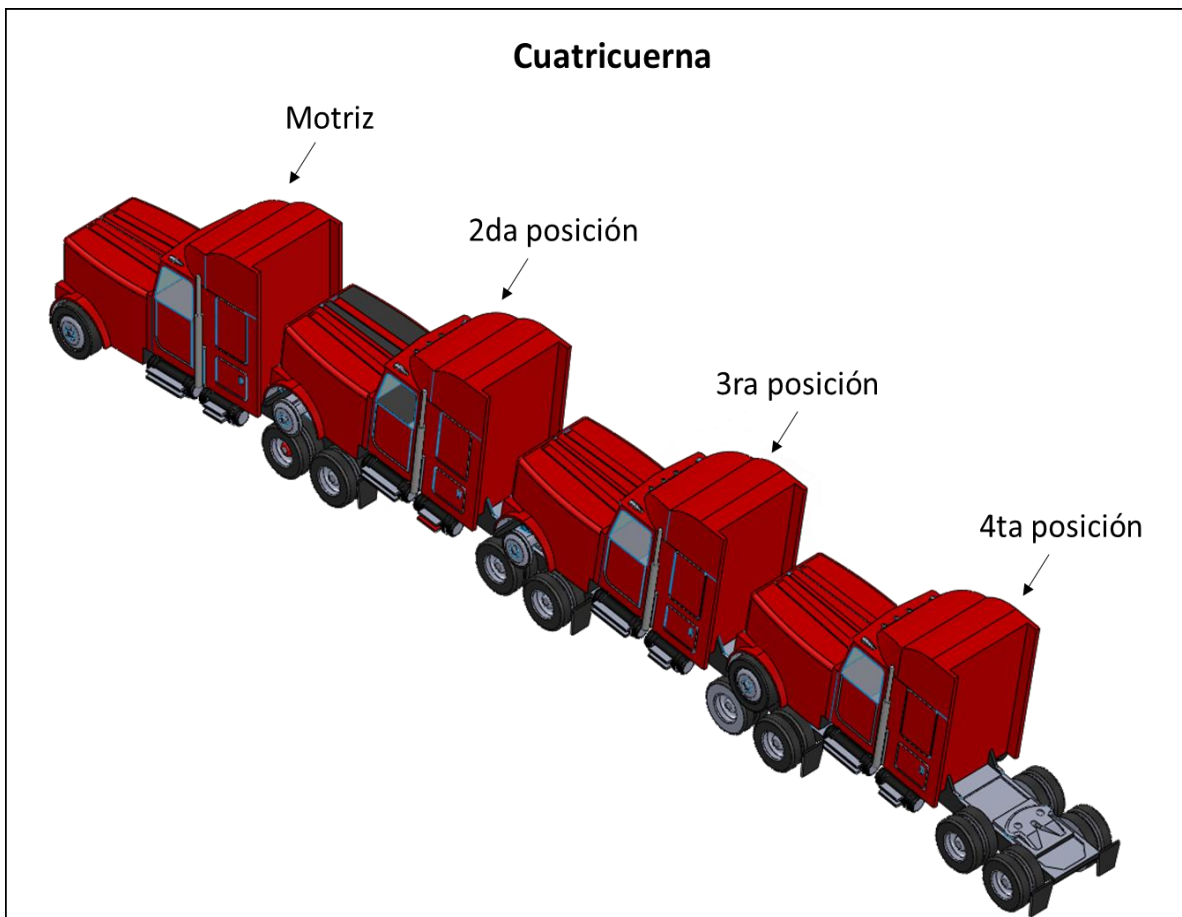


Figura 1.1 Diagrama de proceso de montaje de tractocamiones en quinta rueda. Fuente: [Elaboración propia].

En el proceso mostrado en la figura 1.1 se considera que el perno vaya en la quinta rueda del camión, pero existen casos donde el perno debe ir colocado en el chasis y esto a su vez indica quitar las llantas del camión para que este no exceda la altura máxima.

De allí que se decidiera hacer el análisis sobre este escenario, siendo el más problemático para la empresa. En la figura 1.2 se muestra la estructura de una cuatricuerna para entender mejor los términos empleados y posteriormente en la figura 1.3 se muestra el diagrama del proceso a realizar en el segundo escenario.



*Figura 1.2 Ilustración de cuatricuerna. Fuente: [Elaboración propia].*

Cuatricuerna: Configuración vehicular conformada por un camión o tractocamión que, mediante tres mecanismos de articulación, arrastra tres camiones o tractocamiones.

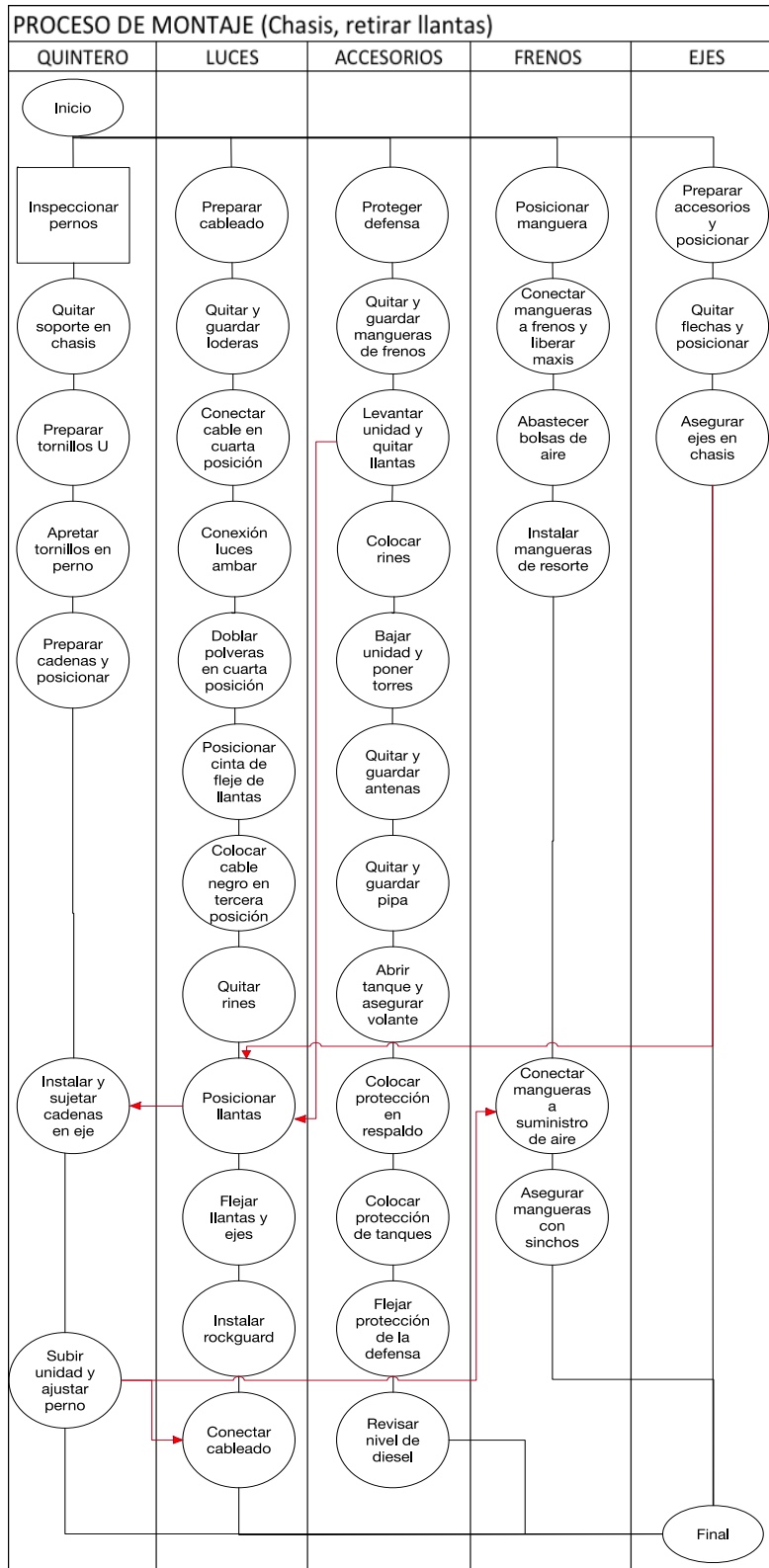


Figura 1.3 Diagrama de proceso de montaje de tractocamiones en chasis. Fuente: [Elaboración propia].

### 1.1.1 Problemática del proceso de montaje de tractocamiones.

El porcentaje de utilización del sistema es la capacidad ocupada en promedio, este valor corresponde al tiempo ocupado acumulado entre Capacidad\*Tiempo programado. El tiempo ocupado acumulado hace referencia a la suma de los tiempos en que la estación se encuentra en un estado en el que no es posible ser utilizada (Procesando, esperando, bloqueada, en tiempo de preparación o tiempo inactiva) y para el proceso de montaje de tractocamiones este porcentaje está bajo, 61.25% de la capacidad está ocupada.

Todo esto se ve influenciado por la secuencia de las actividades que causa retrasos y aumenta el tiempo de ciclo (ver figura 1.4), además de que el 16% de los montajes fueron rechazados en el 2015 (ver figura 1.5).

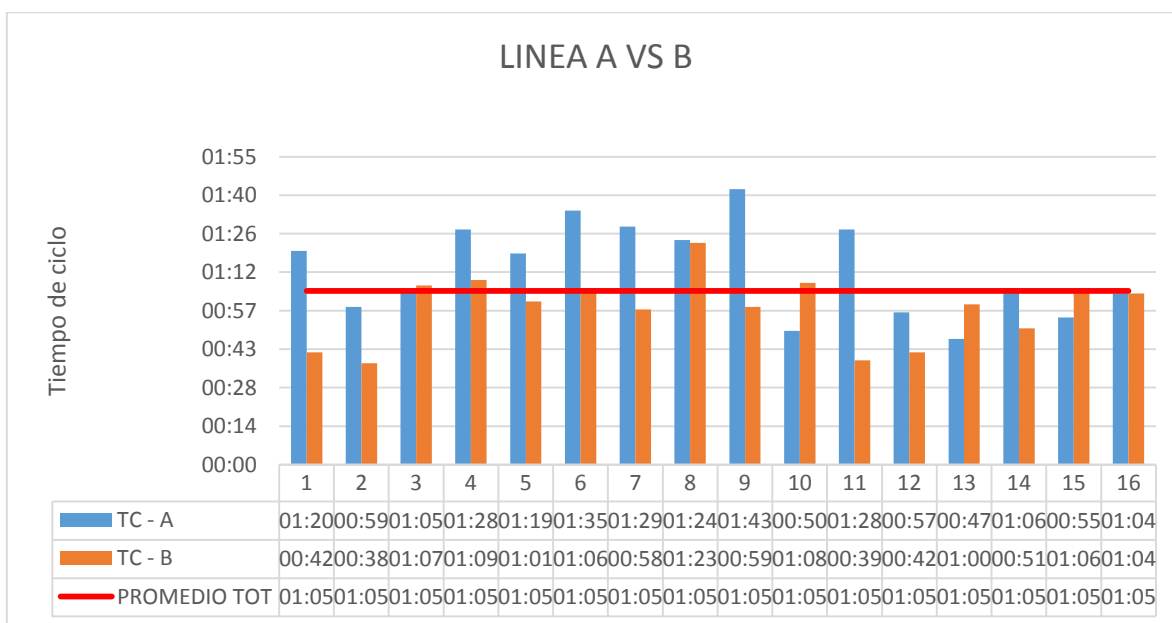


Figura 1.4 Tiempos de ciclo para el proceso de montaje. Fuente: [Elaboración propia].

La figura muestra el comportamiento de los tiempos de ciclo del proceso de montaje de tractocamiones (min/cuatricuerna), además refleja la diferencia que hay entre líneas debido a que no existe una descripción y orden estandarizado de cómo deben realizarse las actividades. La línea roja de la gráfica marca el tiempo promedio, por lo que se observa que los tiempos entre cargas no son constantes.

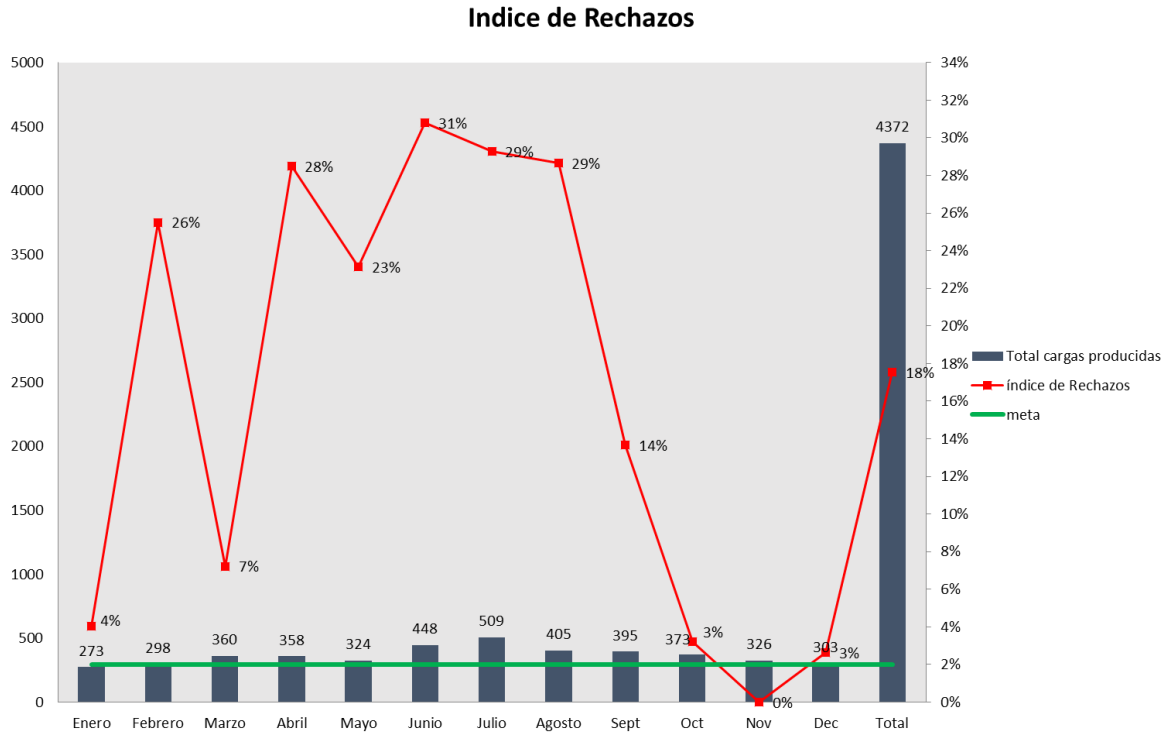


Figura 1.5 Montajes rechazados durante 2015. Fuente: [Elaboración propia].

La línea verde que se observa en la gráfica delimita la meta en % de rechazos que tiene la empresa (2%), mismo que es mayor en todos los meses a excepción de noviembre, donde el porcentaje de rechazos fue de 0%. Y en promedio fue del 16% como se mencionó anteriormente. Además de lo expuesto es importante mencionar que las cargas de trabajo por operarios están desbalanceadas lo que además de afectar el tiempo de terminación del proceso, influye en la satisfacción de los empleados (ver figura 1.6).

### TIEMPO PROMEDIO DE OPERACIÓN

■ Quintero ■ Accesorios ■ Luces ■ Ejes ■ Frenos

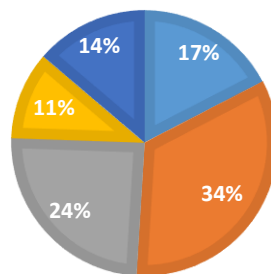


Figura 1.6 Tiempo promedio de operación por operario. Fuente: [Elaboración propia].

En la figura 1.6 se puede observar que el operario de accesorios ocupa el 34% del tiempo de operación, 24% luces, 17% quintero, 14% frenos y 11% ejes. La diferencia en los tiempos promedios de operación por operario es considerable por lo que la optimización deberá a su vez maximizar la eficiencia de los operarios, considerando a este un indicador de rendimiento.

## **1.2 Antecedentes.**

Conociendo la problemática anterior es necesario encontrar la herramienta adecuada que permita la optimización del proceso de montaje de tractocamiones y mediante revisión bibliográfica vemos que la metodología seis sigma ha sido adoptada en muchas compañías, la cual se centra en la mejora de los procesos mediante la eliminación de la variación.

Esta metodología se originó en Motorola en enero de 1987 como una iniciativa para el mejoramiento de la calidad de largo plazo. El enfoque mayormente utilizado por Seis Sigma es el método Definir – Medir – Analizar – Mejorar – Controlar (DMAIC) <sup>[7]</sup>.

Ha sido implementada por muchas empresas, en Talcahuano, por ejemplo, una empresa del rubro metalmecánico logro reducir la variabilidad del espesor de los recubrimientos de zinc de los materiales galvanizados <sup>[8]</sup>. En Sabaneta fue utilizada para la preservación energética en el parque industrial de Sumicol, donde lograron la optimización del gasto energético eléctrico por tonelada <sup>[9]</sup>. Esto muestra su versatilidad para adaptarse a cualquier proceso o industria.

Pero para facilitar la etapa de análisis y mejora se incluye una parte experimental para garantizar que las mejoras propuestas son las óptimas. La metodología propuesta DMAIC-DoE muestra esta combinación y el éxito fue inminente en la industria aeroespacial, por lo que se espera que, siendo esta metodología aplicable a cualquier proceso, los resultados en la industria de tractocamiones sean igual de favorables.

La metodología DMAIC-DoE nos permite desarrollar adecuadamente un proyecto de optimización de procesos bajo una perspectiva de experimentación a fondo con el análisis estadístico de los datos a través la aplicación de diseño de experimentos. De igual forma

recomienda el uso de diversas herramientas estadísticas para sustentar los resultados de la investigación <sup>[10]</sup>.

Particularmente en esta investigación se pretende llevar a cabo la etapa de pre experimentación mediante la simulación de procesos, ya que resultados obtenidos en diferentes investigaciones demuestran la efectividad que tiene la integración de las técnicas de diseño de experimentos y simulación discreta en la definición de parámetros operacionales de los procesos con una consideración estadística <sup>[11]</sup>.

### **1.3 Seis Sigma y su metodología DMAIC.**

La fuerte competencia que se presenta en los mercados de hoy ha llevado a las empresas a realizar un gran esfuerzo para crear valor, reducir los costos y enlazarse mejor con los actores externos como clientes, proveedores y contratistas. De allí que las compañías se esmeren por crear nuevas formas de desarrollo empresarial. En esta tarea se ha dedicado tiempo a conseguir altos niveles de perfección, y como prueba de esto, un número no despreciable de firmas ha logrado cumplir el viejo sueño de Crosby de estar próximos a cero defectos, precisamente el fin último de seis sigma <sup>[12]</sup>.

Esta metodología, mediante la correcta generación y análisis de datos, promueve el que se dejen de tomar decisiones basadas únicamente en la intuición o presentimientos, para que éstas se conviertan en decisiones basadas en hechos, los cuales surgirán del análisis de los datos <sup>[13]</sup>.

Dale et al. (2007) define brevemente DMAIC como sigue:

- Definir: Esta etapa dentro del proceso DMAIC implica la definición del equipo, el alcance del proyecto y los límites, requisitos y expectativas del cliente y las metas de los proyectos seleccionados.
- Medir: Esta etapa incluye la selección de los factores de medición que deberán mejorar y proporcionar una estructura para evaluar el desempeño actual, así como la evaluación, la comparación y el seguimiento de las mejoras posteriores y su capacidad.

- Analizar: Esta etapa se centra en determinar la causa raíz de los problemas (defectos), para entender por qué los defectos han tenido lugar, así como la comparación de y priorizar las oportunidades de mejora antelación.
- Mejorar: Este paso se centra en el uso de la experimentación y la estadística técnicas para generar posibles mejoras para reducir la cantidad de la calidad problemas y / o defectos.
- Controlar: Por último, esta última etapa dentro del proceso DMAIC asegura que las mejoras se mantengan y que el rendimiento en curso se controla, las mejoras en los procesos también se documentan y se institucionalizaron <sup>[14]</sup>.

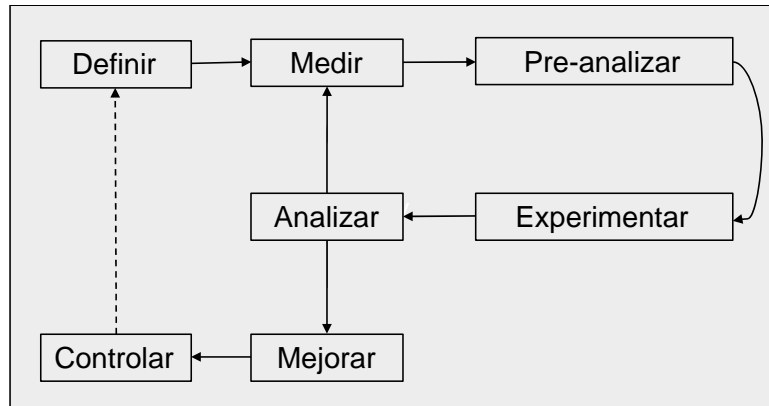
Cada una de las fases de esta metodología contribuye al desarrollo de cualquier proyecto, así como al inicio de una cultura de mejora continua. Por lo tanto, se busca establecerla en el proceso de montaje de tractocamiones, además de documentar el proceso realizado en la terminal de Mexicali para seguidamente replicarse en las demás terminales.

#### **1.4 Diseño de experimentos en la industria.**

El diseño de experimentos es una herramienta que permite planear una prueba o serie de pruebas para obtener conclusiones válidas y objetivas a cerca de los procesos, a partir del análisis de datos recolectados. En el campo de la ingeniería el Diseño de Experimentos cumple un papel importante en los procesos de manufactura en los diversos aspectos, incluyendo la mejora y desarrollo de procesos y el diseño de nuevos productos. En general, en la actualidad se requieren procesos óptimos en términos de la menor variabilidad, con el fin de garantizar calidad <sup>[15]</sup>.

Tanco, et al, (2009), realiza un estudio en una reconocida empresa del sector de la automoción, en la cual el proceso de soldadura láser aplicada para unir los laterales del auto y su techo presentaba problemas de calidad, ya que la aparición de poros en ambos cordones de la soldadura era frecuente. Con la aplicación del Diseño de Experimentos (DoE) se obtuvo una reducción del 97% de los poros, lo cual muestra la efectividad de la metodología <sup>[16]</sup>.

También Tanco (2009), expone la necesidad del diseño de experimentos en la industria como una clave para la aplicación de DMAIC, y presenta un modelo que facilita la aplicación del DoE (ver figura 1.7) <sup>[17]</sup>.



*Figura 1.7 Modelo de la metodología para aplicar Diseño de Experimentos. Fuente: [17].*

En esta metodología se adhieren dos pasos más: Pre-Analizar y experimentar. Estos pasos incluyen dentro de la etapa de pre analizar la caracterización de los factores, definición de las características necesarias para el diseño, elección de un diseño experimental y selección de los niveles. Además, en la etapa experimental se debe elaborar un esquema del experimento, evaluar ejecuciones de prueba y finalmente realizar el experimento y recolectar datos. Pasos importantes para hacer científico el proceso de mejora, no solo plantear soluciones sino llevarlas a cabo para determinar cuál de ellas es la que mejora el rendimiento de nuestro sistema, optimizarlo y desarrollar medidas para controlar y mantener las mejoras.

## **1.5 Metodología DMAIC-DoE.**

A lo largo de los años se han desarrollado metodologías y filosofías con el fin de maximizar el valor para las empresas, sin embargo, los enfoques y objetivos de estas metodologías y filosofías han sido limitados al área productiva, al igual que sus herramientas <sup>[18]</sup>. Es por ello que se vuelve necesario el desarrollo de metodologías que sean aplicable a cualquier proceso, en cualquier área de la empresa.

DMAIC-DoE es una metodología desarrollada en 2015 por la doctora Karla Velázquez, esta metodología permite agilizar la aplicación de las actividades de un Diseño de Experimentos y facilite el proceso de experimentación logrando integrar a todo el equipo de trabajo en actividades específicas. El modelo propuesto incluye etapas como la planeación, estudio preliminar y la experimentación para la optimización de procesos. (Ver figura 1.7)

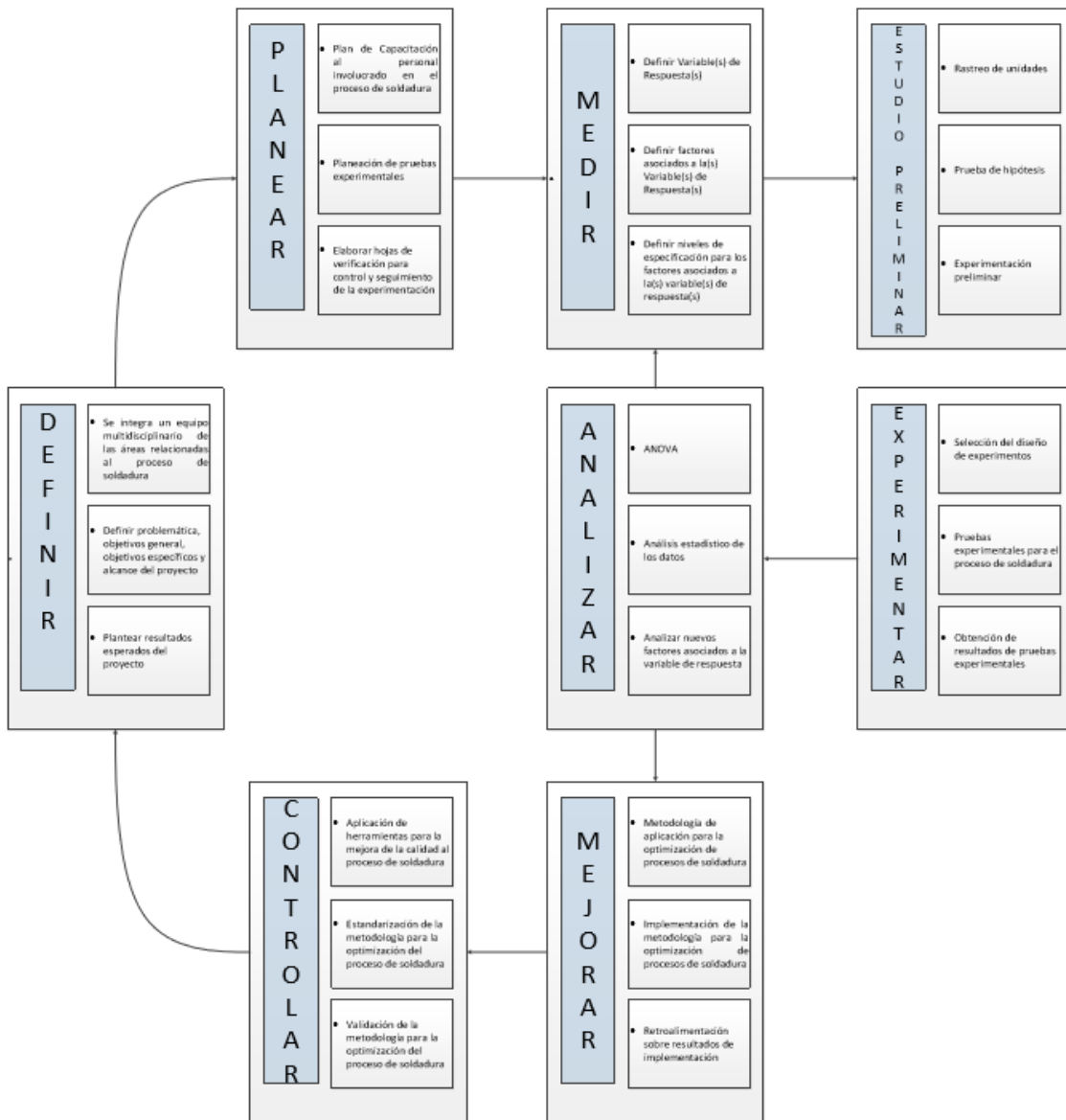


Figura 1.8 Modelo de metodología DMAIC-DoE. Fuente: [19]

Como nos muestra la figura, la tarea final del modelo requiere la validación del mismo, sin embargo, esto no significa que las fases del modelo aquí concluyen sino más bien es un aprendizaje continuo en la filosofía de la mejora continua <sup>[19]</sup>. Y aunque la metodología es implementada en un proceso de soldadura de la industria aeroespacial, Velázquez (2015), propone su uso en distintos procesos.

Específicamente para la realización de esta investigación, con la aplicación de técnicas de simulación discreta y diseño de experimentos en el estudio del proceso de montaje de tractocamiones, se pretende evaluar independientemente la interacción de las variables del proceso con el objeto de mejorar su eficiencia operativa. Para esto se seguirán cada una de las etapas propuestas por esta metodología adaptada al proceso de montaje de tractocamiones y utilizando la simulación en la etapa de experimentación.

Lo anterior considerando que recientemente se ha discutido acerca de la utilidad que brindan las técnicas de diseño de experimentos para el análisis de modelos de simulación, principalmente cuando se cuenta con muchos factores o se quiere analizar si existen iteraciones importantes entre ellos o alguna relación no lineal influyente y los resultados han sido exitosos <sup>[20]</sup>.

## **1.6 Simulación de procesos.**

En el sentido general, la simulación trata con el estudio de sistemas dinámicos en el tiempo. Los modelos de simulación se diseñan para que el analista observe las características del sistema que se representan en el modelo simulado y subsecuentemente recolecte información pertinente <sup>[21]</sup>.

Según Coss Bu (1993), con el advenimiento de la computadora digital a principios de la década de los 50's, se han desarrollado una gran cantidad de herramientas analíticas que han tenido un profundo impacto en el campo científico, una de estas herramientas es precisamente la simulación. La simulación se basa en el análisis de un modelo del sistema real permitiendo experimentar con él de manera que se puedan hacer cambios que ayuden o mejoren el proceso mismo, sin que se afecte el sistema real <sup>[22]</sup>.

Existe una metodología de simulación propuesta por Law y Kelton (2000), que incluye: definición del problema, recolección y análisis estadístico de los datos del sistema, determinación de medidas de desempeño a evaluar, construcción del modelo de simulación verificación y validación del modelo, diseño de experimentos para determinar el número óptimo de corridas, el análisis de resultados y análisis de las alternativas que se proponen. Esta metodología será la que se utilizará para la optimización del proceso de montaje de tractocamiones.

### **1.6.1 Ventajas del uso de la simulación.**

La simulación presenta muchas ventajas en su aplicación, entre ellas:

- Es una técnica efectiva para construir pronósticos, evaluar riesgos, animar e ilustrar la evolución de un sistema en muchas áreas <sup>[23]</sup>.
- La utilización de herramientas de simulación permite el análisis de sistemas complejos y de las variables implicadas en el proceso <sup>[24]</sup>.
- Permite ilustrar el desempeño de las diferentes configuraciones propuestas sin dañar el sistema o interrumpirlo <sup>[25]</sup>.

Además de las mencionadas anteriormente es importante mencionar que existen softwares amigables que hacen de esta una técnica fácil de usar, entre ellos, ProModel, que nos permite simular eventos discretos y es compatible con otras herramientas computacionales como Excel <sup>[26]</sup>.

### **1.6.2 PROMODEL como herramienta para la simulación.**

ProModel es un simulador con animación para computadoras personales. Permite simular cualquier tipo de sistemas de manufactura, logística, manejo de materiales, etc., así como simular bandas de transporte, grúas viajeras, ensamble, corte, talleres, logística, simular Justo a Tiempo, Teoría de Restricciones, Sistemas de Empujar, Jalar, Logística, etc.

Una vez hecho el modelo, éste puede ser optimizado para encontrar los valores óptimos de los parámetros claves del modelo. Algunos ejemplos incluyen determinar la mejor combinación de factores para maximizar producción minimizando costo, minimizar el número de camiones sin afectar el servicio, etc <sup>[27]</sup>.

Este software además de permitir la creación de modelos en forma rápida, sencilla y flexible nos facilita la importación del plano de Autocad, y cualquier herramienta de CAD / CAE / Diseño, así como de fotografías digitales y generar en automático las gráficas en 3 dimensiones para visualización en el espacio tridimensional. Considerando lo anterior y la disponibilidad de la herramienta para la investigación, se vuelve esta la mejor opción para simular el proceso de montaje de tractocamiones.

### **1.6.3 Aplicación de técnica de simulación de procesos.**

La simulación es una técnica computacional que ha sido usada en distintas áreas, entre ellas la medicina, Quiroga, et al, (2015) desarrollo una investigación titulada “Diseño y simulación de un filtro de células de tipo linfocitos T en un sistema de micro fluidos”, donde se probó el sistema de filtraje con partículas de varios diámetros (5 µm, 10 µm, 15 µm) que fluían por el sistema a probar para la detección del VIH <sup>[28]</sup>.

También en la industria de la construcción la simulación ha sido de utilizada para mejorar la productividad, dar solución a problemas reales, describiendo y analizando comportamientos de lo que denota en el comportamiento del sistema, estableciendo incógnitas y logrando responder a estas, para establecer criterios para diseñar procesos reales <sup>[29]</sup>. Y así sería posible enumerar su contribución en otras áreas, pero considerando el tema de interés en la investigación, la industria de tractocamiones, cabe mencionar que esta técnica no ha sido aplicada. La simulación a realizar incluirá el proceso de montaje desde la preparación de las unidades, hasta su salida de la línea de montaje. Con lo que podremos conocer las medidas actuales de desempeño del sistema y experimentar mediante la creación de distintos escenarios que permitan la optimización del proceso.

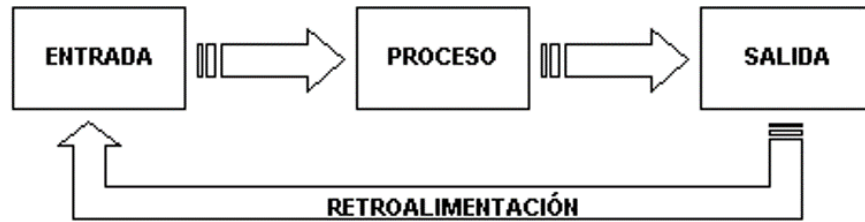
## Capítulo II. Marco Teórico

### 2.1 Introducción.

La logística es la parte de la gerencia de la cadena de suministro que planifica, implementa y controla los flujos de distribución, ya sea hacia el cliente o hacia el proveedor, para que sean eficientes y eficaces, así como el almacenamiento de productos, los servicios y la información relacionada entre el punto de partida y el punto de consumo, todo esto a fin de responder a las exigencias de los clientes <sup>[30]</sup>.

De esta forma, todas aquellas actividades que involucran el movimiento de materias primas, materiales y otros insumos forman parte de los procesos logísticos, al igual que todas aquellas tareas que ofrecen un soporte adecuado para la transformación de dichos elementos en productos terminados: las compras, el almacenamiento, la administración de los inventarios, el mantenimiento de las instalaciones y maquinarias, la seguridad y los servicios de planta (suministros de agua, gas, electricidad, combustibles, aire comprimido, vapor, etc.). Las actividades logísticas deben coordinarse entre sí para lograr mayor eficiencia en todo el sistema productivo. Por dicha razón, la logística no debe verse como una función aislada, sino como un proceso global de generación de valor para el cliente, esto es, un proceso integrado de tareas que ofrezca una mayor velocidad de respuesta al mercado, con costos mínimos <sup>[31]</sup>.

Desde el punto de vista del cliente, las empresas existen para proveer un producto material o inmaterial, un bien o un servicio, ya que ellos necesitan productos que satisfagan sus necesidades y expectativas. Estos productos son resultado de un proceso (ver figura 2.1), que es un conjunto de actividades mutuamente relacionadas que interactúan, las cuales transforman elementos de entrada en resultados <sup>[32]</sup>. Para cada proceso es importante determinar estos componentes, cual es la entrada (materia prima), el proceso que se lleva a cabo y la salida (producto terminado), conociendo esto se puede mejorar de manera de aumentar la satisfacción del cliente, rendimiento operativo de la empresa.



*Figura 2.1 Esquema de un proceso. Fuente: [32].*

Para el montaje de tractocamiones la llegada son las unidades recibidas diariamente en la terminal, el proceso es el montaje de las unidades y la salida son las cuatricuernas enviadas a los diferentes destinos.

## **2.2. Herramientas para la optimización de procesos.**

Una herramienta es un objeto elaborado a fin de facilitar la realización de una tarea. Para la mejora u optimización de los procesos se han desarrollado diversas herramientas que facilitan este proceso. Es importante mencionar que la implementación de cada metodología o herramienta se debe seleccionar de acuerdo a las necesidades de la empresa para realizar mejoras duraderas <sup>[33]</sup>. La optimización trae consigo un aumento en la productividad, por lo que es importante entender ambos conceptos.

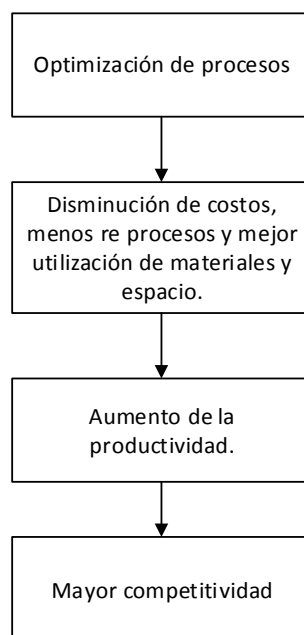
### **2.2.1 Productividad.**

La productividad por su parte es la relación entre lo producido y los medios utilizados, por lo tanto, se mide mediante el coeficiente: resultados logrados entre recursos empleados. Los resultados logrados pueden medirse en unidades producidas, piezas vendidas, clientes atendidos o utilidades. Mientras que los recursos empleados se cuantifican por medio del número de trabajadores, tiempo total empleado, horas-maquina, costos, etc. De manera que mejorar la productividad es optimizar el uso de los recursos y maximizar los resultados <sup>[34]</sup>.

### 2.2.2 Optimización.

La palabra “optimización” utilizada en el sentido estricto se refiere a buscar mejores resultados, más eficacia o mayor eficiencia en el desempeño de alguna tarea. De allí que términos sinónimos sean mejorar, optimar o perfeccionar <sup>[35]</sup>.

Por lo que para aumentar la productividad de las empresas se optimizan los procesos, sinónimo de, disminuir los costos por re trabajos, mal uso de los materiales y herramientas e incluso la reducción del tiempo de ciclo del producto. Lo cual permite a la empresa ser competitiva en el actual mundo globalizado. Se muestran consecuencias de la optimización de los procesos como un flujo (ver figura 2.2).



*Figura 2.2 Consecuencias de la optimización de procesos. Fuente: [35].*

### 2.2.3 Siete herramientas de la calidad.

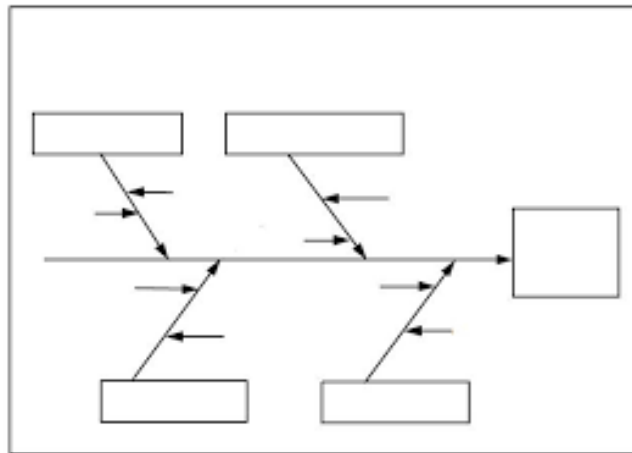
Existen algunas características que se denominan críticas para establecer la calidad de un producto o servicio. Lo más común es efectuar mediciones de estas características, obteniendo así datos numéricos. Si se mide cualquier característica de calidad de un

producto o servicio, se observará que los valores numéricos presentan una fluctuación o variabilidad entre las distintas unidades del producto fabricado o servicio prestado <sup>[36]</sup>.

Para realizar un mejor análisis de estos datos resulta útil apoyarse en lo que se denominan técnicas gráficas de calidad, como lo son las siete herramientas básicas de calidad, utilizadas para la solución de problemas atinentes a la calidad, mencionadas por primera vez por Kaoru Ishikawa.

Las siete herramientas de la calidad son:

- Diagramas de Causa-Efecto: es la representación gráfica de las relaciones múltiples de causa-efecto entre las diversas variables que intervienen en un proceso. En teoría general de sistemas, un diagrama causal es un tipo de diagrama que muestra gráficamente las entradas o inputs, el proceso, y las salidas u outputs de un sistema (causa-efecto), con su respectiva retroalimentación (feedback) para el subsistema de control. Su estructura se muestra en la figura 2.3



*Figura 2.3 Estructura diagrama causa-efecto. Fuente: [37].*

Esta herramienta es muy utilizada por ser muy práctica y útil para conocer las raíces de un problema antes de tratarlo.

- Planillas de inspección: Las planillas de inspección son una herramienta de recolección y registro de información. La principal ventaja de éstas es que dependiendo de su diseño sirven tanto para registrar resultados, como para observar tendencias y dispersiones, lo cual hace que no sea necesario concluir con la recolección de los datos para disponer de

información de tipo estadístico. El diseño de una planilla de inspección precisa de un análisis estadístico previo, ya que en ella se preestablece una escala para que en lugar de registrar números se hagan marcaciones simples. (Ver figura 2.4)

**PLANILLA DE INSPECCIÓN**

Producto: \_\_\_\_\_ N°: \_\_\_\_\_

Característica de Calidad: \_\_\_\_\_

Magnitud: \_\_\_\_\_

Fecha \_\_\_\_\_

Proceso \_\_\_\_\_

N° de lote \_\_\_\_\_

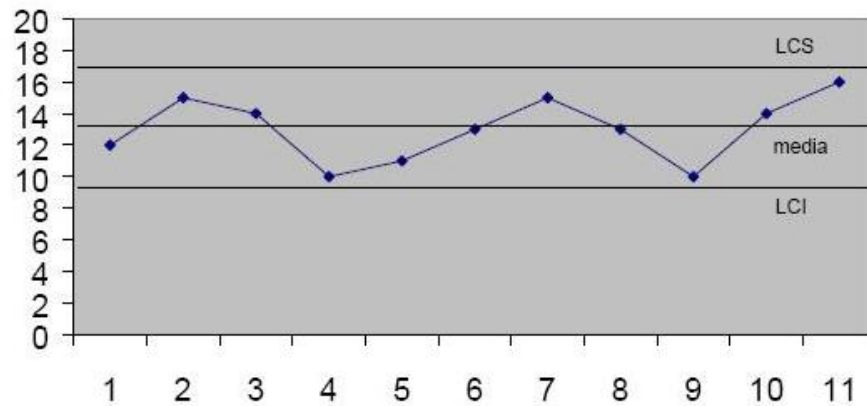
Inspector \_\_\_\_\_

Escala	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0
Frecuencia																
30																
25																
20							+	+								
15							+	+	+	+						
10						+	+	+	+	+	+					
5				+	+	+	+	+	+	+	+	+	+			
0		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
Frecuencia	0	1	1	5	5	13	20	21	17	18	10	10	5	2	1	0

Figura 2.4 Ejemplo planilla de inspección. Fuente: [37].

Las plantillas de inspección son prácticas de realizar y nos brindan información importante a la mano.

- Gráficos de control: son diagramas preparados donde se van registrando valores sucesivos de la característica de calidad que se está estudiando. Estos datos se registran durante el proceso de elaboración o prestación del producto o servicio. Cada gráfico de control se compone de una línea central que representa el promedio histórico, y dos límites de control (superior e inferior) como se muestra en la figura 2.5.



*Figura 2.5 Ejemplo gráfica de control. Fuente: [37].*

Estos gráficos nos sirven para mantenernos alerta del cumplimiento de las especificaciones de calidad de los productos.

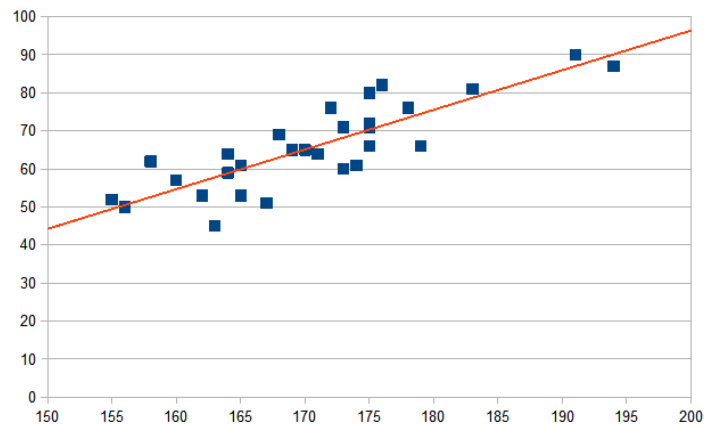
- Diagramas de flujo: es una representación gráfica de la secuencia de etapas, operaciones, movimientos, esperas, decisiones y otros eventos que ocurren en un proceso. Su importancia consiste en la simplificación de un análisis preliminar del proceso y las operaciones que tienen lugar al estudiar características de calidad. Ésta representación se efectúa a través de formas y símbolos gráficos usualmente estandarizados, y de conocimiento general, como los utilizados en las primeras etapas de la investigación.

- Histogramas: es un gráfico que muestra la frecuencia de cada uno de los resultados cuando se efectúan mediciones sucesivas. Éste gráfico permite observar alrededor de qué valor se agrupan las mediciones y cuál es la dispersión alrededor de éste valor. La utilidad en función del control de calidad que presta ésta representación radica en la posibilidad de visualizar rápidamente información aparentemente oculta en un tabulado inicial de datos.

Esta herramienta al igual que la anterior fue utilizada en las etapas iniciales de la investigación, al representar los tiempos de ciclo por línea, permite observar el comportamiento de los datos. Vemos si los datos obtenidos obedecen a una distribución normal o a que distribución se ajustan.

- Gráficos de Pareto: es una variación del histograma tradicional, puesto que en el Pareto se ordenan los datos por su frecuencia de mayor a menor. El objetivo entonces de un diagrama de Pareto es el de evidenciar prioridades, puesto que en la práctica suele ser difícil controlar todas las posibles inconformidades de calidad de un producto o servicios.

- Diagramas de dispersión: También conocidos como gráficos de correlación, estos diagramas permiten básicamente estudiar la intensidad de la relación entre 2 variables. Dadas dos variables X y Y, se dice que existe una correlación entre ambas si éstas son directa o inversamente proporcionales (correlación positiva o negativa). En un gráfico de dispersión se representa cada par (X, Y) como un punto donde se cortan las coordenadas de X y Y <sup>[37]</sup>.



*Figura 2.6 Grafico de dispersión. Fuente: [37].*

La figura anterior muestra un diagrama de dispersión, para términos de la investigación podría ser utilizado para verificar si existe una relación entre el factor operario y el tiempo de ciclo de cada línea de montaje, otros factores importantes dentro del proceso.

## 2.3 Metodología Seis-Sigma.

El término ' Seis Sigma ' define la medida óptima de calidad, conocida como 3,4 defectos por un millón de acontecimientos. La  $\sigma$  de carta griega (sigma) es un término matemático que simplemente representa una medida de variación, como la extensión alrededor del promedio de cualquier proceso. El valor de sigma, o la desviación estándar, indican cómo cualquier proceso funciona. Mientras más alto el valor, menos serán los defectos por millón de oportunidades.

Seis Sigma también es el uso disciplinado de las herramientas estadísticas de resolución de problemas que indican gastos derrochadores y dirige pasos exactos para la mejora. La puesta en práctica de la metodología Seis Sigma está arraigada dentro de DMAMC, un acrónimo que significa: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y el Controlar. Estos instrumentos aplican una metodología refinada de medida y descubrimiento para entender totalmente tanto el funcionamiento como las variables claves que afectan la calidad de productos y servicios. <sup>[38]</sup>

Esta metodología está basada en el ciclo PHVA de Deming: planear, hacer, verificar y actuar. Dentro de la primera fase se debe definir el problema, el proceso y equipo de trabajo para el desarrollo de un mapa detallado del proceso como parte de la etapa de medición, además de identificar las variables del sistema, evaluar sistemas de medición y la capacidad inicial del proceso. Posteriormente, analizar las entradas críticas del proceso, ajustar y evaluar las capacidades del proceso ajustado, para así optimizar las variables críticas del proceso. También generar y probar soluciones posibles e implementarlas dentro de la organización para finalmente desarrollar un plan de control y monitoreo que permita la mejora continua <sup>[39]</sup>.

La figura 2.7 muestra el flujo del proceso de implementación de la metodología Seis-sigma DMAIC, secuencia de las actividades a realizar en cada etapa, decisiones importantes dentro del flujo.

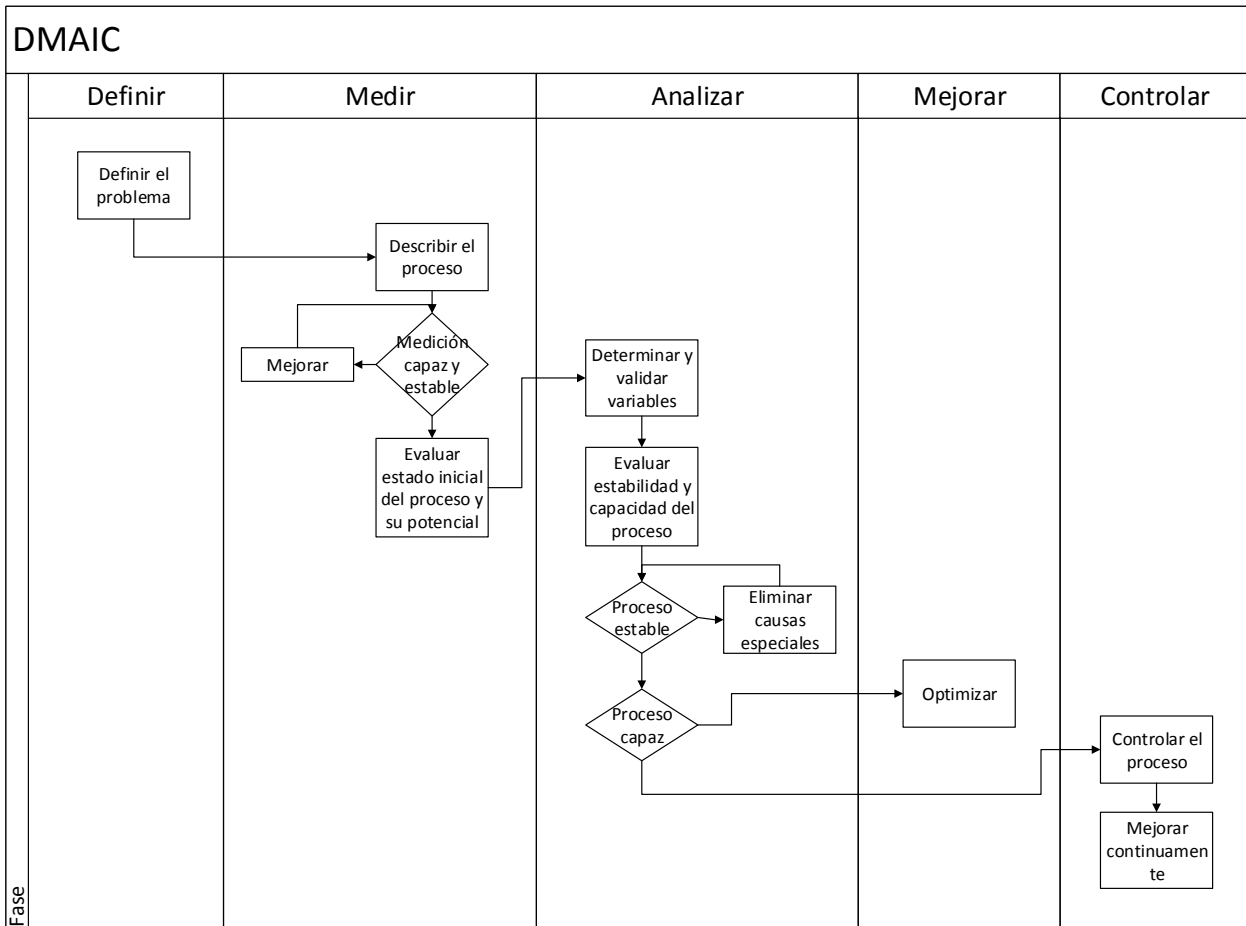


Figura 2.7 Flujo de la metodología Seis-Sigma DMAIC. Fuente: [39].

### 2.3.1 Ventajas de la implementación de la metodología.

Entre las ventajas de la implementación de la metodología es posible mencionar:

- Aumenta la participación de los empleados: a través de su inclusión en los equipos de mejora de procesos, por lo que adquieren un mayor aprecio por el impacto de la labor que realizan en los resultados empresariales, así como una apreciación de cómo el trabajo de otros empleados y departamentos también contribuyen al éxito.
- Reduce costos: a través de la reducción de tiempo y recursos empleados en corregir los defectos o errores. Además, mediante el examen de las distintas etapas de un proceso, la comprensión de lo que los clientes valoran y luego tomar medidas para eliminar los pasos innecesarios al tiempo que aumenta el valor.

- Mayor satisfacción del cliente: por su enfoque en las necesidades y requerimientos del cliente y el valor de la entrega a los clientes, uno de los beneficios del uso de estas técnicas es un aumento de la satisfacción del cliente. Seis-sigma se centra no sólo en la mejora de productos, sino también la mejora de los métodos de entrega de productos y otras actividades de servicio al cliente que pueden afectar a la satisfacción del cliente.

Entre otras, es por eso que se considera su implementación dentro del proceso de montaje de tractocamiones y reducir así el tiempo de ciclo del montaje, además de la reducción de los rechazos de cargas por el departamento de calidad <sup>[40]</sup>.

## **2.4 Diseño de experimentos.**

El diseño estadístico de experimentos, desde su introducción por Ronald A. Fisher en la primera mitad del siglo XX en Inglaterra, se ha utilizado para conseguir el aprendizaje acelerado. El trabajo de Fisher también incluyó el desarrollo de experimentos con varios factores.

En el campo de la industria es frecuente el uso de esta herramienta con la intención de resolver problemas o comprobar una idea. Consiste en planear y realizar un conjunto de pruebas con el objetivo de generar datos que, al ser analizados estadísticamente, proporcionen evidencias objetivas que permitan responder interrogantes planteadas por el experimentador sobre determinación situada. El saber diseño de experimentos y otras técnicas estadísticas, en combinación con conocimientos del proceso, sitúan al responsable del mismo como un observador perceptivo y proactivo que es capaz de proponer mejoras y de observar algo interesante (oportunidades de mejora) en el proceso y en los datos donde otra persona no ve nada <sup>[41]</sup>.

### **2.4.1 Aplicaciones típicas del diseño de experimentos.**

Los métodos del diseño experimental han encontrado una amplia aplicación en diversas disciplinas. De hecho, la experimentación puede considerarse por parte del proceso científico y uno de los medios para conocer el funcionamiento de sistemas y procesos. En general, el aprendizaje ocurre a través de una serie de actividades en las que se hacen conjeturas acerca de un proceso, se lleva a cabo la experimentación para generar datos del proceso y después usar la información del experimento para establecer nuevas conjeturas, lo que lleva a nuevos experimentos, y así sucesivamente.

El diseño experimental es una herramienta de importancia fundamental en el ámbito de la ingeniería para mejorar el desempeño de un proceso de manufactura. También tiene múltiples aplicaciones en el desarrollo de procesos nuevos. La aplicación del diseño experimental en las fases iniciales del desarrollo de un proceso puede redundar en:

- Mejorar el rendimiento del proceso.
- Variabilidad reducida y conformidad más cercana con los requerimientos nominales o proyectados.
- Reducción del tiempo de desarrollo.
- Reducción de los costos globales.

Los métodos de diseño experimental desempeñan también un papel importante en las actividades de diseño de ingeniería donde se desarrollan productos nuevos y se hacen mejoramiento en los productos existentes. Entre las aplicaciones del diseño experimental en el diseño industrial se encuentran:

- La evaluación y comparación de configuración de diseños básicos.
- La evaluación de materiales alternativos.
- La selección de los parámetros de diseño para que el producto tenga un buen funcionamiento en una amplia variedad de condiciones de campo, es decir, para que el producto sea robusto.
- La determinación de los parámetros clave del diseño del producto que afectan el desempeño del mismo.

El uso del diseño experimental en estas áreas puede redundar en productos cuya fabricación sea más sencilla, en productos que tenga buen desempeño y confiabilidad de campo mejorado, en costos de producción más bajos y en tiempos más cortos para el diseño y desarrollo de productos <sup>[42]</sup>.

#### 2.4.2 Etapas y actividades de la planeación y análisis de un experimento.

Muchas estrategias de optimización y de mejora continua, en particular el DoE siguen el llamado ciclo de Deming (PHVA), que consiste en cuatro etapas: planear, hacer, verificar y actuar, como se muestra en la figura 2.8.



*Figura 2.8 Ciclo de Deming. Fuente: [43].*

Específicamente las etapas y actividades de la planeación y análisis de un experimento son:

- Definir el problema u objetivo: asignar un título al estudio experimental, describir el problema o situación destacando los argumentos de por qué es importante hacer el estudio, especificar la manera en que se mediría el éxito del proyecto experimental, definir uno o varios indicadores que ayuden a ello, comentar qué se hace actualmente para atenuar el problema o si se cuenta con experiencias de experimentos anteriores.
- Hacer un esquema del estudio donde se señale el problema planteado: destacar las variables de salida (respuestas), las variables de operación (parámetros) del proceso y las principales entradas (materiales, sustancias, etcétera).

- Determinar los factores que deben investigarse, de acuerdo a su posible impacto en el problema.
- Elegir la variable de respuesta que será medida en cada punto del diseño y verificar que se miden de manera confiable. Estas variables son el objetivo del experimento, ya que son las variables de salida o críticos de la calidad que se quiere en corregir o impactar.
- Seleccionar el diseño experimental adecuado a los factores que se tienen y al objetivo del experimento. Aquí se debe elegir el conjunto de pruebas que se van a correr, y esto resulta de la cantidad de factores y niveles seleccionados; también considerar el costo y tiempo necesarios.
- Planear y organizar el trabajo experimental. A partir del diseño seleccionado, organizar y planear con detalle el trabajo experimental.
- Realizar el experimento. Aplicar el plan pre visto en la etapa previa, y en caso de algún imprevisto no contemplado, reportarlo a los responsables para que se decida qué hacer.
- Hacer un análisis detallado de los resultados experimentales con el apoyo del software MiniTab el cual facilita el proceso de obtención de resultados.
- Interpretar resultados. Una vez que se ha depurado el modelo, y se tiene el mejor ANOVA, es preciso analizar con detalle lo que ha pasado en el experimento.
- Hacer corridas confirmatorias del proceso en el mejor tratamiento. Emplear suficientes repeticiones para que se tenga una buena estimación de lo logrado <sup>[43]</sup>.

### **2.4.3 Prueba de hipótesis.**

La experiencia sobre el comportamiento de algún índice de un proceso o la exigencia del cumplimiento de alguna norma nos lleva a realizar proposiciones sobre el valor de algún parámetro estadístico. Estas proposiciones se deben contrastar con la realidad (mediante el muestreo de datos) para tomar una decisión entre aceptar o rechazar la proposición

Estas proposiciones se denominan Hipótesis y el procedimiento para decidir si se aceptan o se rechazan se denomina Prueba de Hipótesis. Una prueba de hipótesis es una herramienta de análisis de datos que puede en general formar parte de un experimento comparativo más completo <sup>[44]</sup>.

En diseño de experimentos se utilizan las pruebas de hipótesis para simplificar el número de corridas y en base a la interpretación de resultados se propondrán mejoras que satisfagan el objetivo de optimizar el proceso de montaje de tractocamiones <sup>[45]</sup>.

## **2.5 Simulación de procesos como técnica de experimentación.**

### **2.5.1. Concepto y utilidad de la simulación de procesos.**

La simulación es una representación ficticia de una situación real, que se experimenta mediante modelos que son abstracciones de la realidad; el conocimiento adquirido en la simulación se aplica en el mundo real. Cuando mayor sea el grado de aproximación de la simulación a la realidad, mayor será su utilidad. La primera acción, y requisito previo a cualquier situación para analizarlo, necesita entender muy bien las condiciones reales, sus elementos, relaciones y metas, e imaginarlas como un sistema.

En conclusión, la simulación es una herramienta de análisis de sistemas complejos, que bien utilizada puede generar desde ahorros considerables de dinero hasta el mejoramiento de la planeación y control de los sistemas productivos, pasando por el descubrimiento de muchas de las restricciones reales del sistema <sup>[46]</sup>.

Hacer ensayos en los sistemas productivos o logísticos reales es prácticamente imposible por los altos costos y riesgos que genera, por lo que la simulación es una técnica ideal para llevar a cabo la experimentación sin afectar el sistema.

Entre sus ventajas podemos mencionar:

- En sistemas complejos del mundo real con elementos aleatorios que no pueden ser resueltos analíticamente, la simulación, frecuentemente es la única opción para encontrar un resultado.
- Permite la estimación del rendimiento de un sistema existente bajo una serie de condiciones de operación proyectadas.
- Pueden ser comparados diseños de sistemas alternativos propuestos, para ver si reúnen algún requerimiento específico.
- Se puede mantener mucho mejor control sobre condiciones experimentales.
- Permite estudiar un sistema a largo plazo <sup>[47]</sup>.

### **2.5.2. Metodología para conducir un estudio de simulación.**

Entre las etapas para la conducción de un estudio de simulación se encuentran:

- **Formulación del problema:** Establecer objetivos de estudio, delinear las posibles alternativas de solución y establecer los criterios de evaluación.
- **Construcción del modelo conceptual:** Los datos deben ser colectados en el sistema de interés y usados para estimar los parámetros de entrada y obtener las distribuciones de probabilidad para las variables aleatorias usadas en el modelo.
- **Validación del modelo conceptual:** Es necesario que los modeladores envuelvan a la gente que está familiarizada con las operaciones del sistema actual.
- **Construcción del programa de computadora y verificación correcta de su ejecución:** El modelador debe elegir si el modelo se va a programar en un lenguaje de propósito general o en un lenguaje de simulación.
- **Hacer corridas piloto:** Son hechas con el propósito de verificación en el siguiente paso.
- **Validación del modelo de simulación:** Las corridas piloto se utilizan para probar la sensibilidad de la salida cuando hay pequeños cambios en el parámetro de entrada, si un

sistema similar existe, la salida de los datos del programa piloto puede ser comparada con la salida del sistema real.

- Diseño y ejecución de experimentos: Determinar diseños alternativos para simularlos.
- Hacer corridas de producción: Observar el rendimiento de los datos en los diseños alternativos del sistema de interés.
- Análisis de datos de salida: Utilizar técnicas estadísticas para analizar la salida de la corrida de producción y determinar cuál de los sistemas alternativos es mejor.
- Documentación e implementación de resultados: Un estudio de simulación cuyos resultados no se implementan, es casi seguro que fallará [48].

Para una mejor comprensión de las fases de la metodología se presenta el diagrama de flujo que sigue la metodología (ver figura 2.9)

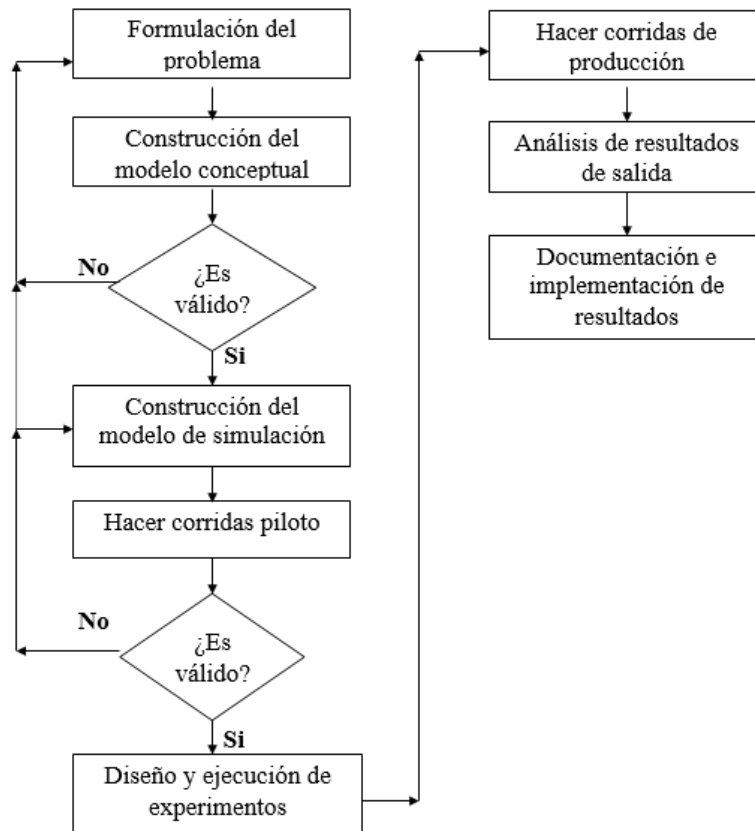


Figura 2.9 Metodología para conducir un estudio de simulación. Fuente: [48].

## 2.6 Normativa/requerimientos generales para el transporte de cargas.

Para el traslado de tractocamiones en configuraciones como la cuatricuerna existe una normativa a seguir, la cual está contenida en la NORMA Oficial Mexicana NOM-012-SCT-2-2014. Norma que inicialmente nos brinda definiciones importantes como son:

- Tractocamión: Vehículo automotor destinado a soportar y arrastrar semirremolques.
- Cuatricuerna: Configuración vehicular conformada por un camión o tractocamión que, mediante tres mecanismos de articulación, arrastra tres camiones o tractocamiones nuevos.

Para la comprensión de la norma es importante clasificar el tipo de carga que la empresa Mexicana Logistics traslada, tractocamión doblemente articulado, según las expuestas en la siguiente tabla.

*Tabla 2.1 Clasificación de las cargas. Fuente: [49].*

<b>Clase: Vehículo o configuración</b>	<b>Nomenclatura</b>
Autobús	B
Camión Unitario	C
Camión Remolque	C-R
Tractocamión Articulado	T-S
Tractocamión Doblemente Articulado	T-S-R y T-S-S

Conociendo lo anterior se extraen de la norma cada artículo aplicable a este tipo de carga.

Tenemos:

- Contar con espejos auxiliares en la parte delantera, ubicados en las salpicaderas (guarda fangos) y/o cubierta del motor, dependiendo del diseño de la carrocería.
- Estar equipadas con tecnología que abone a la seguridad, tales como, Sistemas de Posicionamiento Global (GPS, por sus siglas en inglés).
- Deberá contar con freno auxiliar de motor o retardador o freno libre de fricción.
- Longitud total máxima autorizada de 31,00 m.
- Con el ancho máximo autorizado de hasta 2,60 m., sin incluir los espejos retrovisores.
- Altura máxima de hasta 4,25 m.

- Equipo de acoplamiento y montaje adecuado que garantice la seguridad durante su circulación en las carreteras.
  - Habilitación de frenos en todos los ejes que tengan contacto con la superficie de rodamiento.
  - Instalación de Indicadores de Peligro para Carga Sobresaliente Posterior, así como luces demarcadoras y de frenado en el último vehículo de la configuración.
  - Portación de placas de traslado en cada uno de los vehículos que conformen la configuración.
  - Portación de la póliza de seguro de responsabilidad civil por daños a terceros.
  - Velocidad máxima de 80 km/hr., o la que se indique en el señalamiento, cuando ésta sea menor.
  - Circular confinado al carril de la extrema derecha, excepto en maniobra de rebase.
  - Circular con las luces encendidas permanentemente.
  - El vehículo o vehículos remolcados intermedios, en las combinaciones de tricuerna y cuatricuerna, deberán tener una lámpara lateral en cada lado, ubicada cerca de la parte trasera del vehículo, las cuales deberán estar encendidas permanentemente.
  - Circular con un mínimo de 100 m de separación respecto de otros vehículos pesados.
- Además de estas descritas puntualmente vemos otras especificaciones también importantes como el torque mínimo <sup>[49]</sup>.

## **Capítulo III. Metodología propuesta DMAIC-DoE en el proceso de montaje de tractocamiones.**

### **3.1 Metodología para la optimización de procesos.**

Optimización, término considerado demasiado ambicioso para la dinámica de las empresas de hoy las cuales se ven obligadas a ajustarse al entorno, nuevos estándares y normativas. Por esta razón y en el sentido estricto, optimizar procesos es un desafío muy doloroso para la industria <sup>[50]</sup>.

De allí la importancia de implementar metodologías que se ajusten a su ritmo acelerado y permitan mejorar sus procesos ajustando el flujo de tareas, entradas y salidas para entregar la mejor calidad al menor costo y en el menor tiempo. Partiendo de este punto se consideró como fundamento para la optimización del proceso de montaje de tractocamiones la metodología propuesta DMAIC-DoE.

Esta metodología fue diseñada en 2015 por la doctora Karla Isabel Velázquez e implementada en una empresa del ramo aeroespacial, donde los resultados obtenidos fueron satisfactorios. Martín Tanco y colaboradores (2009), con su investigación sobre la importancia del uso del diseño de experimentos en la industria dio inicio al desarrollo de la misma. (Ver figura 1.7).

Este nuevo modelo de una metodología DoE incluye las etapas del proceso DMAIC, pero a futuro se planteó en la metodología DMAIC-DoE no solo estas cinco etapas y la experimentación sino también etapas tan importantes como la planeación. La figura 1.8 muestra con mayor claridad el modelo ya expuesto en el estado del arte de este documento.

Luego de definir el equipo, objetivos y alcance del proyecto, la metodología propone una etapa de planificación donde se realiza un plan de capacitación, elaboración de las hojas para control y seguimiento. Lo anterior para realizar el proceso de medición de la manera más ordenada. Medición, estudio preliminar, experimentación son las siguientes etapas para poder analizar los datos estadísticos y determinar si existen otros factores que están influyendo en la variable respuesta y así validar la metodología.

Específicamente para la optimización del proceso de montaje de tractocamiones se debe ajustar de manera que puedan aplicarse (ver figura 3.1).

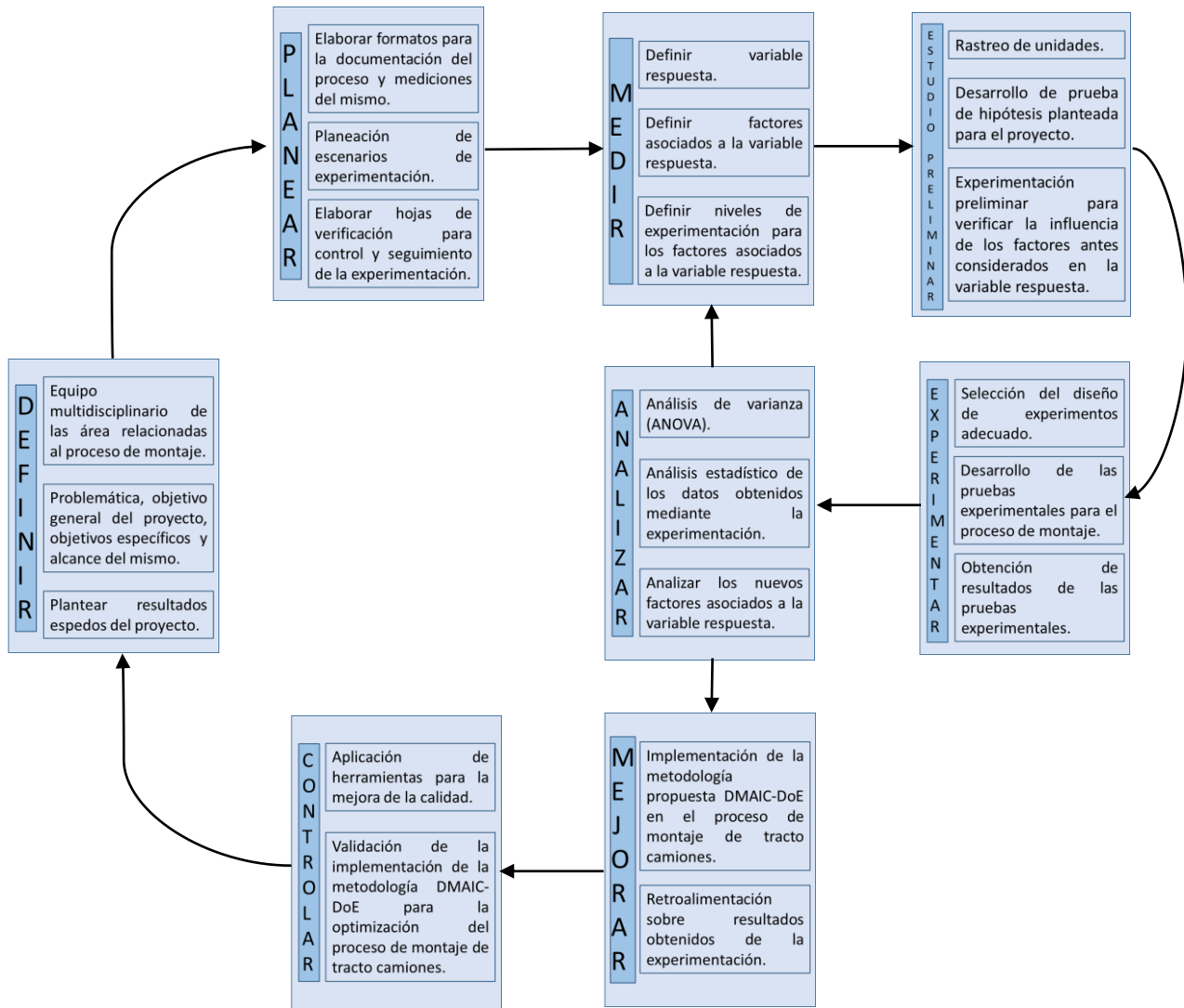


Figura 3.1 Modelo metodología DMAIC-DoE en el proceso de montaje de tractocamiones.

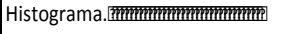
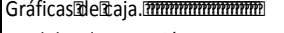
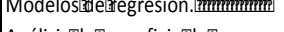
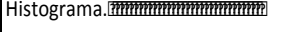
Fuente: [Elaboración propia].

Cada etapa ha sido adecuada a las necesidades del proceso, donde será necesaria la aplicación de herramientas para la realización de cada actividad, como resumen de las herramientas a utilizar se presenta la siguiente tabla (ver tabla 3.1).

Tabla 3.1 Resumen actividades para implementación de Metodología DMAIC-De en el proceso de montaje de tractocamiones (Ver formato en anexos).

	ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	HERRAMIENTAS A UTILIZAR
DEFINIR	Problemática	Se integra un equipo de trabajo multidisciplinario de acuerdo a las habilidades con el apoyo del encargado del proyecto y demás personal involucrado en las actividades contempladas para cada fase del modelo para optimización del proceso de montaje de tracto camiones.	Técnica de lluvia de ideas.
		Se plantean los antecedentes de partir de datos históricos manejados dentro del área de taller, así como el departamento de calidad y define el impacto que se espera en términos de reducción de tiempo de ciclo del proceso incrementando el % de utilización de los operadores y simplificando las tareas.	Formato de definición del proyecto.
	Objetivo(s)	Tomando como referencia los antecedentes del proyecto, se define el objetivo general, objetivos específicos, los cuales deben ser expresados en métricas cuantificables y fáciles de medir por el personal involucrado en el proceso. Se plantea el alcance del proyecto en los fases, una de implementación y desarrollo de la metodología y otra fase de validación de los resultados obtenidos.	Formato de definición del proyecto.
Resultados esperados	Elaborar un listado de las metas o productos entregables que ayuden a resolver la problemática planteada previamente. Las metas deben ser planteadas en base al objetivo general de la investigación y de los objetivos específicos.	Formato de definición del proyecto.	
PLANEAR	Plan de capacitación	Establecer un programa de capacitación para el personal que estará involucrado en el proyecto y durante la experimentación. En la capacitación se debe informar al personal sobre la problemática a tratar, métricas del proyecto e impacto esperado mediante una presentación formal, donde también se incluyan las actividades de desarrollar y reuniones programadas para dar seguimiento al avance.	Gráfica de Gantt. Gráfica circular.
	Plan de pruebas experimentales	Para el desarrollo de las pruebas experimentales es importante la previa elaboración de formatos donde se recaudarán los datos. Los formatos permiten el correcto y ordenado levantamiento de la información, se recomienda el uso de los formatos F-001, F-002 que se encuentran en el apartado de anexos.	Hojas de verificación. Formato F-001 Formato F-002
	Planeación de escenarios de experimentación.	Como apoyo de la metodología se utilizará la simulación de procesos, por lo que es importante determinar las condiciones de las pruebas a realizar a la simulación.	Metodología de desarrollo para una simulación de procesos.
	Instrumentos de control	Para el seguimiento de las pruebas experimentales es necesario elaborar instrumentos de medición los cuales nos aseguren que se lleven a cabo según las condiciones descritas para cada una de las pruebas. Se recomienda utilizar el formato F-001 para verificar el flujo de las actividades, mismo que se encuentra en el apartado de anexos.	F-001

MEDIR	Variable(s) Respuesta(s)	Iniciando la etapa de medir es necesario realizar un análisis de los datos históricos del tiempo de ciclo para el montaje de tracto camiones. Análisis en el que se incluirá al personal involucrado, desde operarios, jefe de taller, subgerente de ingeniería e inspectores de calidad para determinar cuáles son los factores que afectan en nuestra variable respuesta (% Utilización del sistema) mediante el uso de herramientas para la calidad.	Histograma de tiempos de ciclo históricos.  Diagrama de causa-efecto.  Análisis de correlación.
	Factores potenciales	Tomando como referencia la(s) variable(s) respuesta y con la participación del grupo disciplinario de trabajo se elabora un listado de los factores que estén asociados a la variable respuesta y se crea que puedan influir y hacer un análisis de correlación para verificar.	Técnica de lluvia de ideas.  Análisis de correlación.
	Niveles de especificación	Generalmente en el diseño de experimentos se recomienda analizar los factores en los niveles, pero no significa que no se pueda hacer un arreglo distinto. Para el proceso de montaje de tracto camiones se recomienda trabajar en los niveles.	Técnica de lluvia de ideas. 
ESTUDIO PRELIMINAR	Rastreo de unidades	Con el objetivo de justificar la designación de los factores asociados a la variable respuesta, se recomienda realizar el rastreo donde se recopile información relacionada. Para el proceso de montaje de tracto camiones se recomienda hacer mediciones de los tiempos de cada actividad del proceso, al menos 15 mediciones, para identificar el tiempo promedio de duración de cada una.	Tiempos promedio por actividad.  Formato F-002
	Pruebas de hipótesis	Para el caso particular de los factores donde se requiera comprobar estadísticamente si existe o no diferencia en términos de medias, se recomienda el uso de prueba de hipótesis.	Prueba de hipótesis.
	Experimentación preliminar	Conociendo la(s) variable(s) respuesta, los factores, niveles de los factores, rastreo de las unidades y la prueba de hipótesis, se recomienda hacer pequeñas modificaciones al sistema con el apoyo de los operarios para encontrar hallazgos previos de la experimentación que nos sirvan como referencia para la siguiente etapa.	Diagrama de causa-efecto.  Histogramas. 
EXPERIMENTAR	Diseño de experimentos	Parte fundamental de la implementación de la metodología ya que sustenta el análisis estadístico de los datos y ayuda a la toma de decisiones para la mejora del proceso. En esta etapa para la elección de la metodología de diseño de experimentos se utiliza se recomienda iniciar con la metodología de diseño de experimentos de Taguchi.	Diseño de experimentos con metodología Taguchi.
	Pruebas experimentales	Ya que se tiene definida la metodología de diseño de experimentos a utilizar, se lleva a cabo las pruebas experimentales.	Hoja de verificación. 
	Resultados de las pruebas experimentales	El registro de los resultados obtenidos de las pruebas experimentales debe realizarse de manera precisa y con el apoyo del personal responsable del registro de los resultados, asegurándose que se llevaron a cabo las condiciones del experimento.	Hojas de verificación.  Formato de registro de resultados.

ANALIZAR	ANOVA	Una vez registrado los resultados de las pruebas experimentales se procede a realizar el análisis de la variancia y la determinación de los factores que son estadísticamente significativos para el diseño de los experimentos realizado.	ANOVA
	Análisis estadístico de los datos	Para el análisis estadístico de los datos se vuelve necesario el uso de los softwares estadísticos que generen resultados gráficos para un mejor análisis. Diagramas de caja, histogramas, ayudan para una mejor comprensión del comportamiento de los datos. Como resultado del análisis se realizará un modelo de regresión lineal que simule el comportamiento del proceso estudiado.	Histograma.  Gráficas de caja.  Modelos de regresión.  Análisis de superficie de respuesta.
	Nuevos factores	Concluida la primera fase de la experimentación y análisis, y una vez encontrados los factores significativos utilizando la metodología de diseño de experimentos, se recomienda realizar un segundo diseño de experimentos con el objetivo de comprobar que los factores que resultaron significativos en la etapa anterior continúan siendo significativos, y de igual forma descubrir nuevos factores que puedan ser significativos para el tiempo de ciclo del proceso de montaje de tractocamiones.	Diseño de experimentos.
MEJORAR	Modelo de aplicación	En esta etapa es necesario realizar los ajustes necesarios de la metodología propuesta DMAIC-DoE para que se deducen el proceso de montaje de tractocamiones.	Metodología propuesta DMAIC-DoE.
	Implementación de la metodología propuesta	Una vez realizados los ajustes necesarios de la metodología para la optimización del proceso de montaje de tractocamiones se deben implementar las actividades necesarias para completar el análisis.	Histograma.  Gráficas circular.
	Retroalimentación de los resultados	En esta fase es importante la comunicación con el equipo de trabajo y demás personas involucradas en el proceso por lo que se recomienda tener una reunión de tierra para mostrar los resultados obtenidos, hallazgos encontrados, aprendizajes, conclusiones y recomendaciones del proyecto. Así obtener referencias para futuras investigaciones.	
CONTROLAR	Aplicación de las herramientas de la calidad	En esta fase se debe asegurar que el proceso quede controlado con las mejoras implementadas por lo que se recomienda utilizar herramientas de la calidad que aseguren el adecuado seguimiento.	Diagramas de Pareto.
	Validación del modelo	Realizar la corrida piloto considerando los niveles sugeridos para cada uno de los factores significativos que fueron como resultado en la fase de experimentación.	Instrucciones de trabajo.

Lo anterior para facilitar la comprensión de las actividades a desarrollar durante el proyecto de optimización en el proceso de montaje de tractocamiones, desde su concepción, implementación y control. Con el objetivo de que pueda replicarse en otras terminales de montaje de tractocamiones o investigaciones futuras.

Las herramientas de calidad mencionadas fueron definidas anteriormente, pero también es importante definir técnicas estadísticas por emplear, entre ellas:

- **Análisis de correlación:** La correlación entre dos variables es - otra vez puesto en los términos más simples - el grado de asociación entre las mismas. Este es expresado por un único valor llamado coeficiente de correlación ( $r$ ), el cual puede tener valores que oscilan entre  $-1$  y  $+1$ . Cuando  $r$  es negativo, ello significa que una variable (ya sea  $x$  o  $y$ ) tiende a decrecer cuando la otra aumenta (se trata entonces de una “correlación negativa”, correspondiente a un valor negativo de “ $b$ ” en el análisis de regresión). Cuando “ $r$ ” es positivo, en cambio, esto significa que una variable se incrementa al hacerse mayor la otra (lo cual corresponde a un valor positivo de “ $b$ ” en el análisis de regresión). <sup>[51]</sup> El análisis de correlación se encuentra estrechamente vinculado con el análisis de regresión y ambos pueden ser considerados de hecho como dos aspectos de un mismo problema.

- **Análisis de regresión:** es una técnica que permite cuantificar la relación que puede ser observada cuando se grafica un diagrama de puntos dispersos correspondientes a dos variables, cuya tendencia general es rectilínea; relación que cabe compendiar mediante una ecuación “del mejor ajuste” de la forma  $y = a + bx$  <sup>[52]</sup>.

- **Análisis de varianza (ANOVA):** Es la técnica central en el análisis de datos experimentales. La idea general de esta técnica es separar la variación total en las partes con las que contribuye cada fuente de variación en el experimento. Si la variación debida a los tratamientos es mayor a la variación del error concluimos que si hay efecto del tratamiento sobre la variable respuesta como se muestra en la figura.



*Figura 3.2 Distribución de la varianza en ANOVA. Fuente: [53].*

- Gráficas de caja: es un tipo de gráfico que nos permite interpretar los datos para las variables, muestra los cinco estadísticos: la mediana, los percentiles 25 y 75 mínimo y máximo que resultan muy útiles para mostrar la distribución de una variable de escala y una serie de valores (atípicos y extremos) que junto con la mediana y la propia caja proporcionan información bastante completa sobre el grado de dispersión de los datos y el grado de asimetría de la distribución <sup>[53]</sup>.

### **3.2 Simulación de procesos como complemento de la metodología propuesta DMAIC-DoE.**

Como apoyo a la implementación de DMAIC-DoE la investigación utilizó la simulación de procesos para simular un modelo que permita la pre experimentación en computadora y con mayor certeza poder realizar pruebas en el sistema real. La metodología para conducir un estudio de simulación se muestra en la figura 2.9 del capítulo anterior.

Esta metodología inicia con la formulación del problema, que consiste en establecer objetivos de estudio, delinear las posibles alternativas de solución y establecer los criterios de evaluación. Seguidamente se procede a la construcción del modelo conceptual donde los datos deben ser colectados en el sistema de interés y usados para estimar los parámetros de entrada y obtener las distribuciones de probabilidad para las variables aleatorias usadas en el modelo y de ser posible, datos sobre el rendimiento del sistema deben ser colectados con el fin de validarlos y así proceder a la construcción del programa de computadora y verificación correcta de su ejecución. La experimentación también forma parte de esta metodología ya que se deben determinar diseños alternativos para simularlos y así determinar cuál de los sistemas alternativos es mejor. Conociendo lo anterior se documentan e implementan los resultados sino el estudio no estaría completo.

Se busca complementar la metodología DMAIC-DoE con la simulación como muestra la siguiente tabla.

Tabla 3.2 Metodología DMAIC-DoE y simulación de procesos..


DMAIC-DoE	Simulación
1. Definir el problema.	1. Formular el problema.
2. Medir el desempeño actual.	2. Recolectar información definir supuestos.
3. Planear.	3. Validar el modelo conceptual
4. Estudio preliminar, analizar el sistema y determinar causas.	4. Construir (programar el modelo).
	5. Validar el modelo programado.
5. Experimentación, mejorar el desempeño del sistema.	6. Diseñar, conducir y analizar experimentos.
6. Controlar y mantener el desempeño.	7. Documentar y presentar resultados.

### 3.3 Fase de definición.

Para la realización de la investigación inicialmente es necesario definir el problema, establecer objetivos de estudio, delinear las posibles alternativas de solución y establecer los criterios de evaluación. Para sintetizar los puntos anteriores se realizó un formato de descripción del proyecto (Project Chárter) donde también se dan a conocer el equipo de apoyo a la investigación, las métricas del proyecto y resultados esperados. Ver tabla 3.3.

Esta herramienta es una declaración de los propósitos, objetivos y participantes en un proyecto. Proporciona una delimitación preliminar de las funciones y responsabilidades, se exponen los objetivos del proyecto, se identifican los principales grupos de interés, y define la autoridad del director del proyecto. Sirve como una referencia de la autoridad para el futuro del proyecto. Además, debe ser documentada por el departamento de calidad siendo esta una mejora para el proceso de montaje.

Tabla 3.3 Project Charter. Fuente: [Elaboración propia].

		Mexicana Logistics					
		Project Charter					
Elemento	Descripción				Equipo de trabajo		
Proceso:	Montaje de tracto camiones				<b>Función</b>	<b>Nombre</b>	
Definición del proyecto:	Optimización del proceso de montaje de tracto camiones.				Líder	Karen Morga	
Problema u oportunidad central:	Porcentaje de utilización del sistema y operarios bajo.				Mentor	Dra. Karla Velázquez	
					Facilitador	Ing. Yoshira de la Paz	
					Apoyo	Ramsses Balnco	
						Vicente Navarro	
Objetivos:	Balancear el porcentaje de utilización de los operarios. Reducir el tiempo de ciclo del proceso. Establecer tiempos estandares del proceso.					Mario Lomeli	
					<b>Métricas</b>	<b>Base line</b>	<b>Objetivo</b>
					% ut sistema	61.25	80
	% ut operario	65.12	80				
Área de impacto:	<b>Productividad</b>	<b>Seguridad</b>	<b>Inventarios</b>	<b>Otros</b>			
	X						
<b>Entregables</b>		<b>Responsable</b>		<b>Impacto esperado (\$)</b>			
Diagramas de flujo del proceso.		Equipo de trabajo					
Estudio de tiempos/ Tc del proceso.		Equipo de trabajo		<b>Fecha inicio:</b>			
Análisis del porcentaje de utilización de operarios.		Equipo de trabajo		15/02/16			
Alternativas para la optimización del proceso.		Equipo de trabajo		<b>Fecha terminación:</b>			
				08/12/16			

### 3.4 Fase de planeación.

#### 3.4.1 Mapeo del proceso.

Para la elaboración del mapeo se integró al personal operativo de la terminal, quienes son elementos básicos para la obtención de la información, así como la observación exhaustiva del proceso. Esta información se registra de manera ordenada en formato previamente elaborado (ver tabla 3.4) en el cual primero se registraron las actividades de cada operario y al final se utilizó para elaborar el diagrama de flujo del proceso del proceso.

Con esta información fue posible no solo la elaboración del diagrama de flujo del proceso, sino también diagramas de sub procesos, actividades de quinteros y así para cada operario (ver figura 3.3). Esto facilitará en el futuro la actualización del manual de procedimientos, siendo estos una herramienta para aclarar el procedimiento descrito.

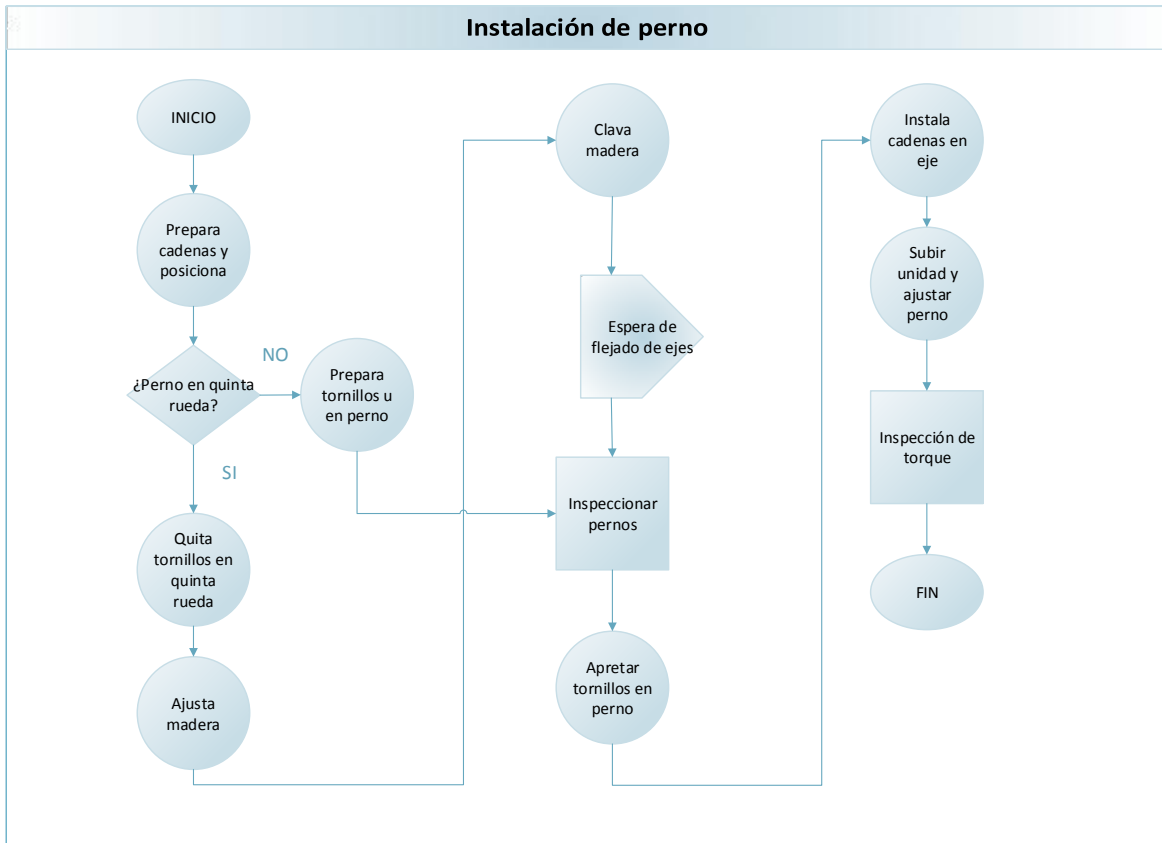


Figura 3.3 Diagrama de proceso instalar pernos. Fuente: [Elaboración propia].

El proceso del encargado de instalar los pernos (Quintero) inicia con la preparación de las cadenas y posicionarlas sobre las unidades (tractocamiones), si el perno va en quinta rueda se deben retirar los tornillos, ajustar y clavar la madera en la quinta rueda, en cambio sí va en chasis deberá preparar los tornillos en perno. Completadas las actividades anteriores deberá inspeccionar y apretar los tornillos en el perno, instalar las cadenas en el eje suspendido para poder subir las unidades (segunda unidad, tercera y cuarta, para no exceder capacidad de la grúa).

Culminadas las actividades anteriores nada más se debe inspeccionar el torque para asegurarse de que el perno está correctamente sujetado y evitar así accidentes, así este proceso estará finalizado.



Los diagramas de flujo del proceso de los dos tipos de montaje más comunes fueron descritos en el primer capítulo de este documento. Los sub procesos fueron descritos como el ejemplo anterior “Instalación de perno” y se encuentran en el apartado de anexos.

### 3.4.2 Plan de capacitación.

#### I. Alcance

El presente plan de capacitación involucra al personal relacionado al área de operación durante la realización del proyecto de optimización del proceso de montaje de tractocamiones a través de la metodología propuesta DMAIC-DoE y simulación discreta.

#### II. Objetivos

##### Objetivo general

- Brindar al personal relacionado al proceso de montaje de tractocamiones la información necesaria para la comprensión de la finalidad del proyecto, términos utilizados y resultados esperados.

##### Objetivos específicos

- Proporcionar orientación e información relacionada al proyecto, duración, finalidad.
- Animar la participación entre los involucrados para generar ideas de mejora en el proceso y desarrollo del proyecto.
- Fomentar el trabajo en equipo, involucrando los operadores con empleados del área administrativa a través de un fin común.

*Tabla 3.5 Programa capacitación MexLog. Fuente: [Elaboración propia].*

Actividad	Fecha	Duración	Participantes
Metodología DMAIC-DoE (Definición, pasos, resultados esperados).	10/03/16	1 hora	- Mentores UABC. - Gerencia MexLog. - Equipo ingeniería MexLog.
Metodología DMAIC-DoE (Definición, pasos, resultados)	25/03/16	15 min	- Equipo ingeniería. - Personal operativo.

esperados).			- Jefe taller.
Introducción, métricas del proyecto.	01/04/16	30 min	- Equipo ingeniería. - Personal operativo. - Jefe taller.
Estudios de tiempo, simulación de procesos en el proceso de montaje.	08/04/16	15 min	- Equipo ingeniería. - Personal operativo. - Jefe taller.
Presentación simulación modelo actual, alternativas de experimentación.	02/06/16	30 min	- Equipo ingeniería. - Personal operativo. - Jefe taller.
Condiciones de experimentación, secuencia de actividades.	05/08/16	30 min	- Equipo ingeniería. - Personal operativo. - Jefe taller.
Presentación final, resultados, retroalimentación.	05/12/16	1 hora	- Equipo ingeniería. - Personal operativo. - Jefe taller.

### **3.5 Fase de Medición.**

Esta fase es de vital importancia ya que definimos el estado actual del proceso, grado en el que un problema afecta la variable respuesta para seguidamente analizar posibles soluciones.

#### **3.5.1 Recolectar información, definir supuestos.**

En una hoja de Excel se recopilaron los datos que se consideraron relevantes, considerando que no se cuenta con un registro histórico de tiempos de ciclo o porcentajes de utilización de los operarios. Los registros capturados se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 3.6 Tiempo de ciclo cuatricuernas. Fuente: [Elaboración propia].

FECHA	LINEA	DESTINO	DURACIÓN	PROTECCIÓN	COMENTARIO
09/03/2016	A	27	01:05	NO	
09/03/2016	A	38/6	01:28	SI	Protección
09/03/2016	B	3/2	01:07	NO	
09/03/2016	B	3/501/5	01:09	SI	Protección en 1
09/03/2016	B	3/17	01:01	NO	
10/03/2016	B	32/6	01:06	SI	Protección/ Quita llantas T680-2
10/03/2016	A	38/6	01:35	SI	Protección/ Quita llantas T680-2-3

Donde el código del destino pertenece a un concesionario nacional (Ver figura 3.6), estos registros se realizaron durante 2 meses para conocer los tiempos de duración de una cuatricuerna y ver sus variantes según el modelo de la unidad, destino, concesionario, identificando así las cargas críticas.



Figura 3.4 Ubicación concesionarios Kenworth. Fuente: [54].

### 3.5.2 Toma de tiempos del proceso.

Los procedimientos más conocidos son los de cronometraje, sistemas de tiempos predeterminados, muestreo del trabajo. No obstante, la variabilidad representada, el más utilizado debido a su simpleza y confiabilidad es el primero de ellos. Este método consiste en la aplicación de técnicas para determinar el tiempo empleado por un operario calificado



Conociendo estos valores también importantes para el análisis del proceso de montaje de tractocamiones ya se puede enriquecer los diagramas de flujo previamente elaborados, y así comenzar con el planteamiento de alternativas de optimización mediante el análisis de las tareas críticas, actividades dependientes.

La toma de tiempos de igual forma permite observar detalladamente la realización de las actividades, inexistencia de herramientas u otros aspectos que produzcan retrasos en la misma.

Tabla 3.8 Procesamiento de los datos obtenidos en la toma de tiempos (min/actividad).  
Fuente: [Elaboración propia].

No.		Mexicana Logistics															Hoja de registro de tiempos				
		MEXLOG																			
Proceso: Montaje de tractocamiones		Puesto analizado: Quintero										Elaborado por: Karen Morga									
Operación: Instalación de perno		Responsable:										Fecha:									
No.	Actividad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Total	Media	Mínimo	% var	Desv estn.
1	Preparar cadenas y posicionar	2.16	2.48	2.37	2.36	2.15	2.46	2.03	2	2.27	2.36	2.01	2.1	2.02	2.11	2.3	33.176	2.2117	2	10.59	0.169
		2.16	4.64	7.01	9.37	11.5	14	16	18	20.3	22.6	24.6	26.7	28.8	30.9	33.2					
2	Quitar tornillos en quinta rueda	3.1	3.27	4	3.21	3.57	3.47	3.21	3.11	3.59	2.55	3.21	3.12	3.15	3.14	3.58	49.28	3.2853	3.1	5.98	0.327
		3.1	6.37	10.4	13.6	17.2	20.6	23.8	26.9	30.5	33.1	36.3	39.4	42.6	45.7	49.3					
3	Ajustar madera en quinta rueda	6.27	6.56	8.23	7.04	7.51	8.02	6.24	6.52	6.23	6.32	7.21	6.42	8.12	7.12	7.36	105.17	7.011	6.23	12.54	0.716
		6.27	12.8	21.1	28.1	35.6	43.6	49.9	56.4	62.6	68.9	76.2	82.6	90.7	97.8	105					
4	Clavar maderas	3.54	4.38	4	4.12	4.39	4.06	6.21	4.33	3.31	4.42	4.51	3.46	3.39	3.26	4.11	61.49	4.099	3.26	25.75	0.732
		3.54	7.92	11.9	16	20.4	24.5	30.7	35	38.3	42.8	47.3	50.7	54.1	57.4	61.5					
5	Inspeccionar pernos	1.28	1	1	1.1	1.28	1.12	1.22	1.36	1.16	1.04	1.08	1.02	1.23	1.15	1.06	17.1	1.14	1	14.00	0.113
		1.28	2.28	3.28	4.38	5.66	6.78	8	9.36	10.5	11.6	12.6	13.7	14.9	16	17.1					
6	Apretar tornillos en quinta rueda	1.32	1.43	1.18	1.29	1.44	1.3	1.15	1.16	1.37	1.02	1.28	1.16	1.17	1.15	1.32	18.74	1.2493	1.02	22.48	0.119
		1.32	2.75	3.93	5.22	6.66	7.96	9.11	10.3	11.6	12.7	13.9	15.1	16.3	17.4	18.7					
7	Instalar cadenas en eje suspendido	3.31	3.37	3.25	3.17	3.07	3.36	3.45	3.19	3.17	3.19	3.44	4.23	4.07	3.48	3.27	51.02	3.4013	3.07	10.79	0.327
		3.31	6.68	9.93	13.1	16.2	19.5	23	26.2	29.3	32.5	36	40.2	44.3	47.8	51					
8	Subir unidad y ajustar perno	13	13.5	12.5	13.5	13.2	12.5	12.3	12.6	15.6	17.2	14	16.5	12.2	13.3	14.5	206.18	13.745	12.2	12.67	1.553
		13	26.5	39	52.5	65.7	78.1	90.4	103	119	136	150	166	178	192	206					
9	Inspección de torque	2.39	2.12	2.47	2	2.23	2.42	2.17	2.31	2.09	2.26	2.42	2.15	2.18	2.44	2.1	33.75	2.25	2	12.50	0.150
		2.39	4.51	6.98	8.98	11.2	13.6	15.8	18.1	20.2	22.5	24.9	27	29.2	31.7	33.8					
<b>TOTAL</b>																	<b>575.91</b>	<b>38.394</b>	<b>33.88</b>	<b>11.57</b>	

### 3.5.3 Construcción del modelo de simulación.

Conociendo el flujo del proceso y los tiempos del mismo se inicia la construcción del modelo en el software ProModel, modelo que luego se evaluará. En el software primero se define el número de locaciones, entidades, recursos del proceso para luego programar la lógica del proceso. Se diseñarán dos modelos, para los dos escenarios antes expuestos y de

allí analizar el tiempo de ciclo, porcentaje de actualización de los operarios del sistema real. El modelo de forma básica se visualiza de la siguiente forma:



*Figura 3.5 Modelo de simulación para el proceso de montaje de tractocamiones en ProModel. Fuente: [Elaboración propia].*

En términos de simulación debemos determinar cuántas réplicas debe tener el sistema para que los datos proporcionados sean correctos (apegados a la realidad). Para ello se debemos seguir los siguientes pasos:

- Establecer
  - n: número inicial de réplicas.
  - $\gamma$ : precisión relativa.
  - $\alpha$ : nivel de significancia.
- Correr el sistema con n réplicas.
- Obtener promedio ( $\bar{X}$ ) y desviación estándar ( $S$ ) para la medida de rendimiento.
- Calcular el error ( $e$ ) mediante  $e = \frac{(t_{\frac{\alpha}{2}}, n-1)s}{\bar{n}}$
- Calcular la proporción  $\frac{e}{\bar{X}}$
- ¿Es la proporción menor que  $\gamma$  ?
  - Si: El resultado es  $\bar{X} - e \leq \mu \leq \bar{X} + e$
  - No: Hacer  $n = n+1$  e ir al segundo paso.

Considerando lo anterior para ambos escenarios del proceso de montaje de tractocamiones tenemos:

- Primer escenario (Protecciones, perno en quinta rueda)

$$n = 3$$

$$\gamma = 0.05$$

$$\alpha = 0.05 \qquad X=55.42 \qquad S=0.57$$

$$e = \frac{4.3026 \cdot 0.57}{\sqrt{3}} = 1.4159$$

$$\frac{e}{X} = \frac{1.4149}{55.42} = 0.0255$$

¿Es  $\frac{e}{X} < \gamma$ ? Sí;  $54.00 \leq \mu \leq 56.84$

- Segundo escenario (Protecciones, perno en chasis)

$$n = 3$$

$$\gamma = 0.05$$

$$\alpha = 0.05 \qquad X=93.98 \qquad S=0.96$$

$$e = \frac{4.3026 \cdot 0.96}{\sqrt{3}} = 2.3847$$

$$\frac{e}{X} = \frac{2.3847}{93.98} = 0.02537$$

¿Es  $\frac{e}{X} < \gamma$ ? Sí;  $91.6 \leq \mu \leq 96.35$

Del análisis anterior podemos concluir que se necesitan 3 réplicas del modelo simulado para garantizar que los datos obtenidos se apegan al sistema real. Y de allí se han determinado los tiempos de ciclo para cada tipo de montaje, así como el % de utilización por operario como se muestra en las siguientes gráficas.

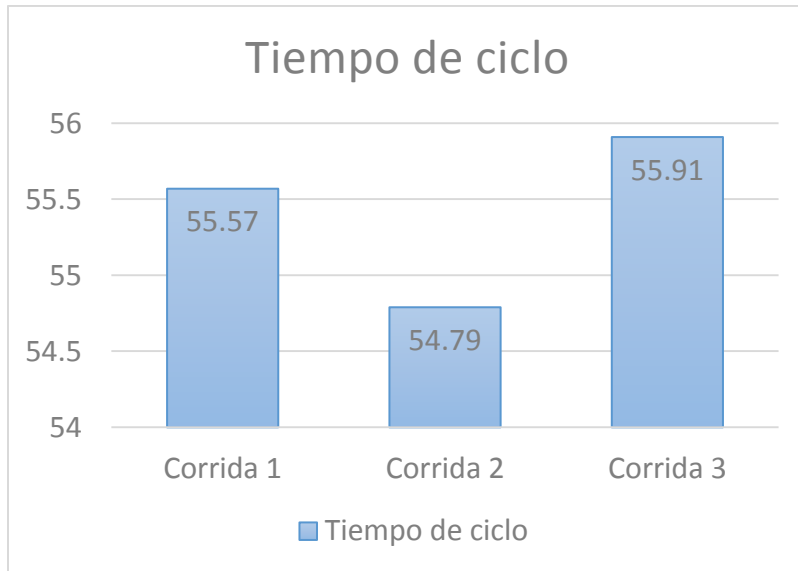


Figura 3.6 Gráfica del tiempo de ciclo para primer escenario. Fuente: [Elaboración propia].

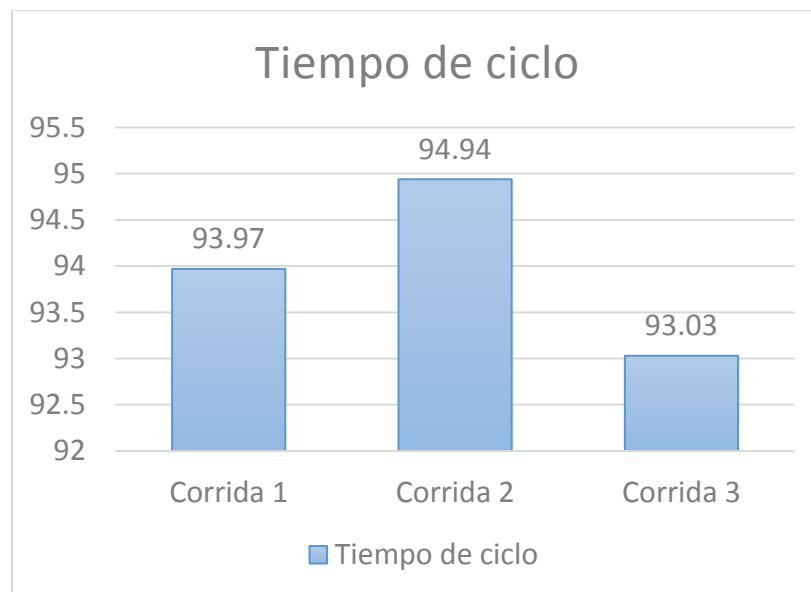
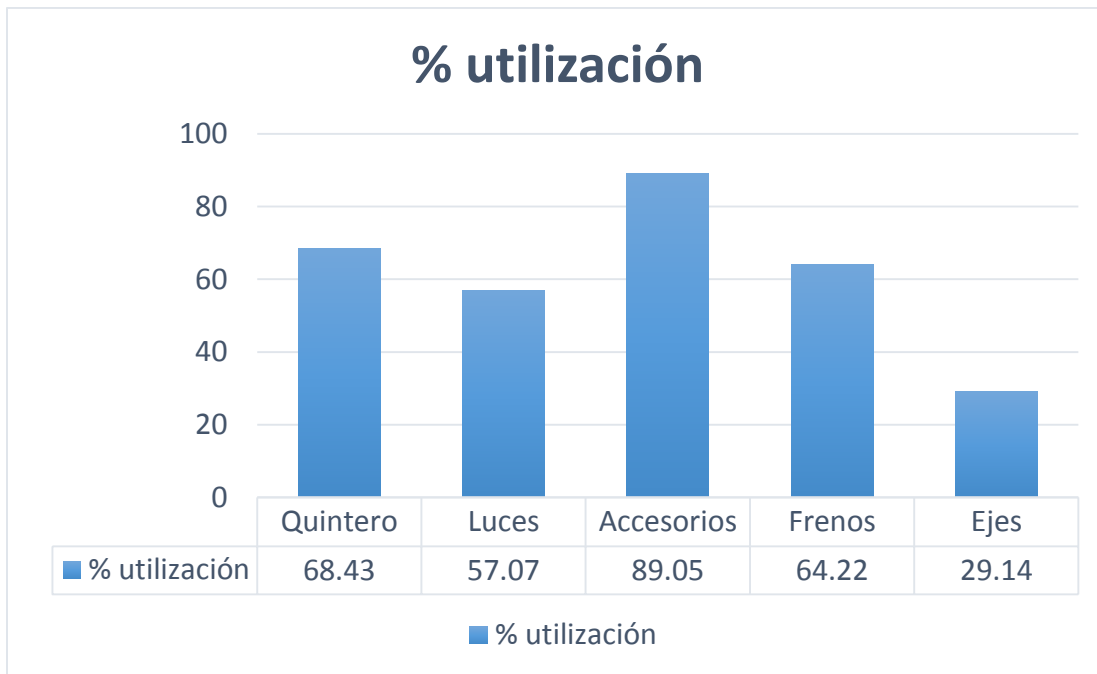
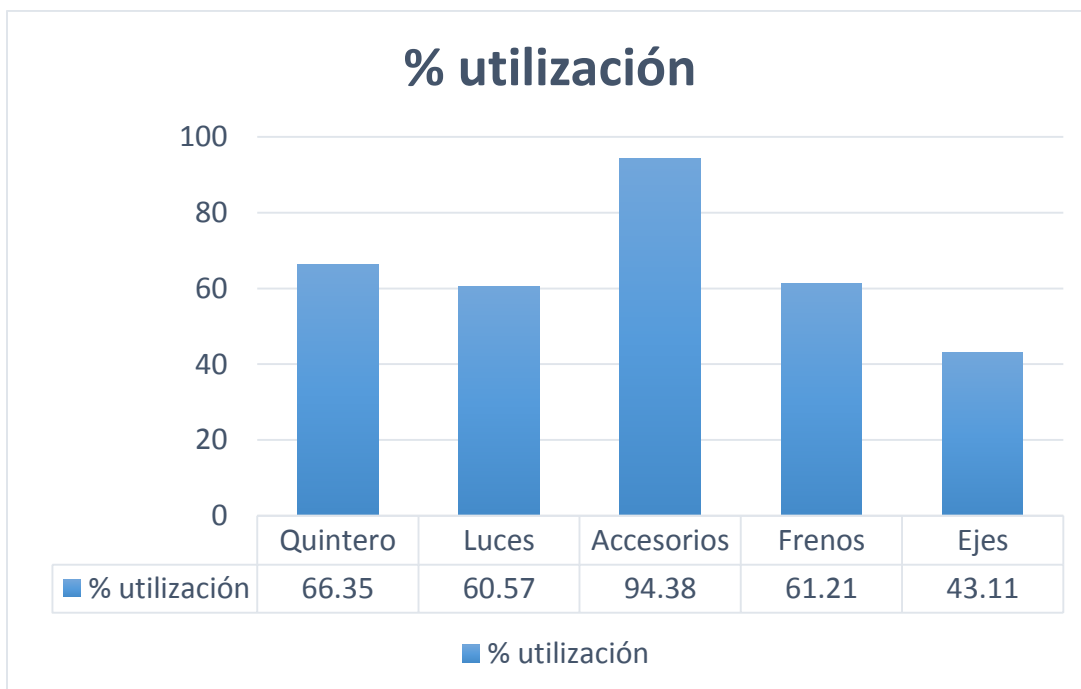


Figura 3.7 Gráfica del tiempo de ciclo para segundo escenario. Fuente: [Elaboración propia].

Como se observa en las gráficas anteriores el tiempo de ciclo se encuentra entre los valores pre establecidos. Además, será fundamental para la investigación el porcentaje de utilización que se muestra a continuación:



*Figura 3.8 Porcentaje de utilización para operarios en primer escenario. Fuente: [Elaboración propia].*



*Figura 3.9 Porcentaje de utilización para operarios en segundo escenario. Fuente: [Elaboración propia].*

Si observamos las gráficas anteriores podemos ver las diferencias entre cargas de trabajo por operario, lo que ha traído insatisfacción a aquellos que tienen mayor tiempo efectivo. Las alternativas de optimización deberán balancear la carga de trabajo, considerando el tiempo de ciclo de igual forma.

### 3.5.4 Validar el modelo programado.

Previo a determinar alternativas o programarlas, es importante validar el modelo simulado. Lo anterior mediante una prueba de hipótesis donde se afirma una igualdad entre la media del modelo real y el modelo simulado. Considerando el tiempo de ciclo registrado en formatos antes mostrados y tiempos de ciclo arrojados por el modelo de simulación se realizó la prueba.

Con la ayuda del software MiniTab tenemos:

- Validación primer escenario.  
T de dos muestras sistema simulado/sistema real

	N	Mean	S	Media SE
Simulado	3	55.423	0.574	0.33
Real	12	57.42	3.94	1.1

Diferencia =  $\mu$  (Simulado) -  $\mu$  (Real)

Estimación por diferencia: -1.99

95% CI por diferencia: (-4.58, 0.59)

Prueba T de diferencia = 0 (vs  $\neq$ ): Valor-T = -1.68 Valor-P = 0.118 DF = 12

Conclusión: Con 95% de confianza podemos afirmar que la media de los datos simulados es igual a la media de los datos reales.

- Validación segundo escenario.  
T de dos muestras sistema real/sistema simulado

	N	Mean	S	Media SE
Real	3	89.00	6.00	3.5
Simulado	3	93.980	0.955	0.55

Diferencia =  $\mu$  (real) -  $\mu$  (Simulado)

Estimación de diferencia: -4.98

95% CI para diferencia: (-20.07, 10.11)

Prueba-T de diferencias = 0 (vs  $\neq$ ): Valor-T = -1.42 Valor-P = 0.292 DF = 2

Conclusión: Con 95% de confianza podemos asegurar que la media de los datos simulados es igual a la media de los datos reales.

Validados ambos escenarios podemos asegurar que el modelo de simulación es igual al sistema real, por lo que las alternativas de optimización empleadas y exitosas en el modelo deberían responder de igual forma en la realidad.

De allí que una de las ventajas de la simulación es poder experimentar sin dañar el sistema o detenerlo.

### **3.6 Planteamiento de alternativas de optimización.**

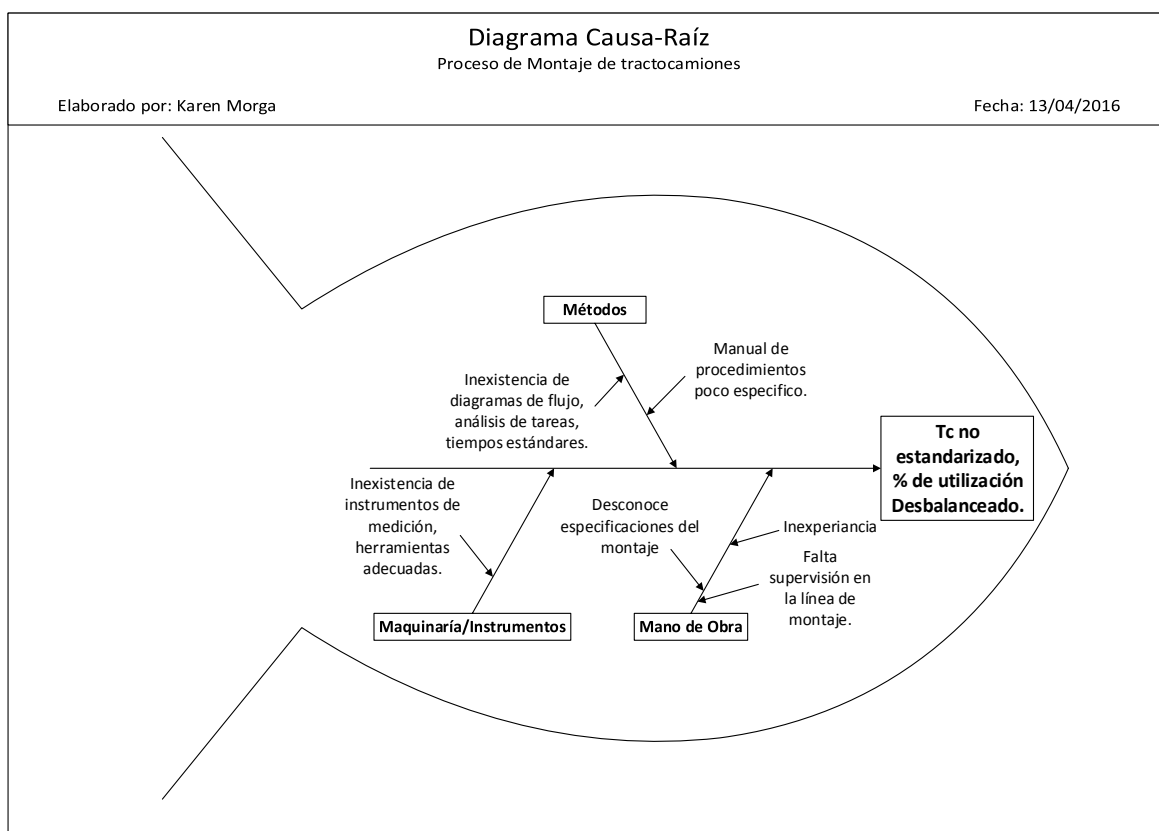
Con los datos obtenidos podemos analizar alternativas de mejora en el proceso de montaje de tractocamiones. En esta etapa se realizó una reunión planificada para generar una lluvia de ideas con posibles alternativas de solución.

#### **3.6.1 Determinación de factores significativos para la variable respuesta.**

Para el análisis de los factores que influyen en los problemas de elevado tiempo de ciclo, desbalanceo de las actividades se realizó un diagrama causa-raíz (Ver figura 3.10). Este es

un método para la resolución de problemas que intenta evitar la recurrencia de un problema o defecto a través de identificar sus causas.

Esta es una metodología preventiva y permite pronosticar eventos probables antes de que sucedan. Los factores propuestos en el diagrama para el análisis del proceso de montaje de tractocamiones se obtuvieron de una reunión con el equipo implicado y el personal operativo que maneja el proceso. Cada uno de los factores significa una oportunidad de mejora para la organización, generalmente de este análisis se despliega un plan de acción.



*Figura 3.10 Diagrama causa-raíz proceso de montaje de tractocamiones. Fuente: [Elaboración propia].*

La problemática causada por los tiempos de ciclo inconsistentes entre líneas y porcentajes de utilización desbalanceados provienen de la mano de obra, instrumentos y métodos, los cuales se subdividen en los puntos mostrados en la figura anterior.

Para tratar estos factores se propone como primera alternativa realizar un análisis de las tareas y reasignación de las mismas, sabiendo que el operario es capaz de realizar la actividad que se le asignará (Ver en anexos matriz de habilidades), y así balancear el porcentaje de utilización de los operarios, estableciendo tiempos estándares para cada actividad.

Otra alternativa considerada para este sistema es la reducción del número de operarios en la línea de montaje, trabajar nada más con 4 operarios y ver el comportamiento del sistema bajo este cambio, aumento o disminución de su tiempo de ciclo y % de utilización.

Estas serán las alternativas a evaluar, pero simultáneamente se realizarán otras actividades para la contribución a la reducción de esta problemática como la propuesta de instrumentos de medición en un manual de criterios de calidad (Inexistente en la empresa).

### **3.7 Estudio preliminar.**

Como parte del estudio preliminar se planificó el desarrollo de la prueba de hipótesis planteada y pre experimentación en el software para determinar si los factores número de operario y secuencia son significativos en el porcentaje de utilización promedio del sistema.

#### **3.7.1 Evaluación de alternativas de optimización en software Promodel.**

Las alternativas de optimización consideradas fueron la secuencia de las actividades y número de operarios. La secuencia A, actual, consiste en proteger defensa en cada camión y luego regresar a proteger respaldo y así para cada protección, la propuesta es cubrir la última unidad por completo y así ir avanzando hasta el frente.

El factor número de operarios se considera el actual con cinco, y la propuesta con 4 operarios. La redistribución de las actividades para completar el proceso con 4 operarios se realizó con la ayuda del equipo multidisciplinarios, conocedores del proceso (Ver tabla 3.9).

Tabla 3.9 Redistribución de las actividades del proceso con cuatro operarios. Fuente: [Elaboración propia].

<b>PROCESO DE MONTAJE (CHASIS)</b>	
<b>QUINTERO</b>	<b>LUCES</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>•Inspeccionar pernos</li> <li>•Preparar tornillos en perno</li> <li>•Ajustar tornillos U</li> <li>•Preparar cadenas y posicionar</li> <li>•Instalar cadenas en eje suspendido</li> <li>•Subir unidad y ajustar perno</li> <li>•Inspección de torque</li> <li>•Fleje de protección de defensa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Preparar cableado.</li> <li>•Quitar y guardar polveras.</li> <li>•Conectar cable en cuarta posición.</li> <li>•Conexión luces ámbar.</li> <li>•Doblar polveras en 4ta posición.</li> <li>•Posicionar fleje de llantas</li> <li>•Pasar cable y conectar.</li> <li>•Colocar cable negro en 3era posición.</li> <li>•Quitar rines.</li> <li>•Preparar accesorios y posicionar.</li> <li>•Quitar ejes y posicionar.</li> <li>•Asegurar ejes.</li> </ul>
<b>ACCESORIOS</b>	<b>FRENOS</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>•Proteger defensas.</li> <li>•Quitar, instalar y guardar puntas aroca.</li> <li>•Quitar y guardar antenas.</li> <li>•Poner protección de respaldo.</li> <li>•Revisar nivel de Diésel.</li> <li>•Abrir tanque y asegurar volante.</li> <li>•Levantar unidad, quitar llantas y bajar.</li> <li>•Quitar y guardar pipa.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Posicionar mangueras.</li> <li>•Instalar conexiones X y T, liberar maxis.</li> <li>•Conectar mangueras.</li> <li>•Asegurar mangueras con cinchos.</li> <li>•Revisar nivel de diésel.</li> <li>•Posicionar llantas con montacargas.</li> <li>•Flejar llantas.</li> </ul>

Considerando lo anterior se desarrolla la matriz de experimentación, matriz codificada, como se muestra en las siguientes tablas (3.10, 3.11 y 3.12).

Tabla 3.10 Factores De para el proceso de montaje. Fuente: [Elaboración propia].

Factores	Niveles	Símbolo
Número de operarios	4	A1
	5	A2
Secuencia de las actividades	Sec A	B1
	Sec B	B2

*Tabla 3.11 Matriz de experimentación. Fuente: [Elaboración propia].*

Exp	Factores	
	Núm op	Sec actvs
1	A1	B1
2	A2	B1
3	A1	B2
4	A2	B2
5	A1	B1
6	A2	B1
7	A1	B2
8	A2	B2

*Tabla 3.12 Matriz de experimentación codificada. Fuente: [Elaboración propia].*

Exp	Factores	
	Núm op	Sec actvs
1	-1	-1
2	+1	-1
3	-1	+1
4	+1	+1
5	-1	-1
6	+1	-1
7	-1	+1
8	+1	+1

### **3.8 Experimentar.**

La experimentación en el sistema real se realizará considerando los resultados obtenidos en la simulación y manteniendo estrictamente las condiciones, por lo que fue necesario hacer una presentación al personal de montaje para explicar detalladamente las condiciones de la

experimentación. Para la recolección de los datos se utilizarán los formatos elaborados previamente.

### **3.9 Analizar.**

En la etapa de análisis se desarrolla el análisis de varianza para determinar si los factores son significativos para la variable respuesta, así como el análisis estadístico de los datos obtenidos. Con la ayuda del software Minitab estas tareas se facilitan y nos permite analizar nuevos factores asociados, continuando así el ciclo de mejora continua. Ver detalles en sección de resultados.

### **3.10 Mejorar.**

La etapa de mejora consiste en la retroalimentación de los datos obtenidos mediante la experimentación, medir y verificar el desempeño mejorado dentro del proceso, valoración del equipo involucrado en el proyecto.

### **3.11 Controlar.**

Esta es una etapa fundamental dentro de la metodología ya que garantiza que los cambios implementados se mantengan y por ende las mejoras logradas. Herramientas como planes de control son de mucha utilidad porque asignan responsables para el cumplimiento de las tareas, desde el hecho de revisar el tiempo de montaje de las cargas y documentarlo de manera que en el futuro existan datos históricos que faciliten proyectos de mejora, análisis de demanda.

## Capítulo IV. Análisis de Resultados

### 4.1 Análisis estadístico de datos obtenidos mediante simulación.

Garantizando las condiciones de la experimentación mediante el software Promodel tenemos:

*Tabla 4.1 Resultados experimentación en software. Fuente: [Elaboración propia].*

Exp	Factores		Resp
	Núm op	Sec actvs	
1	-1	-1	74.28
2	+1	-1	61.28
3	-1	+1	81.79
4	+1	+1	61.79
5	-1	-1	79.28
6	+1	-1	60.16
7	-1	+1	81.16
8	+1	+1	61.82

Con el fin de lograr los objetivos planteados al inicio del trabajo, se vació la información obtenida mediante el modelo simulado en el programa estadístico Minitab.

#### Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	3	661.537	220.512	66.19	0.001
Lineal	2	655.021	327.510	98.31	0.000
A	1	638.316	638.316	191.60	0.000
B	1	16.704	16.704	5.01	0.089
Interacc	1	6.516	6.516	1.96	0.235
A*B	1	6.516	6.516	1.96	0.235
Error	4	13.326	3.332		
Total	7	674.863			

#### Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
1.82525	98.03%	96.54%	92.10%

Con estos datos podemos concluir que el número de operarios es el único factor significativo para el porcentaje de utilización promedio del sistema y en 92.10% este es el problema para el bajo porcentaje de utilización (Ver figura 4.1).

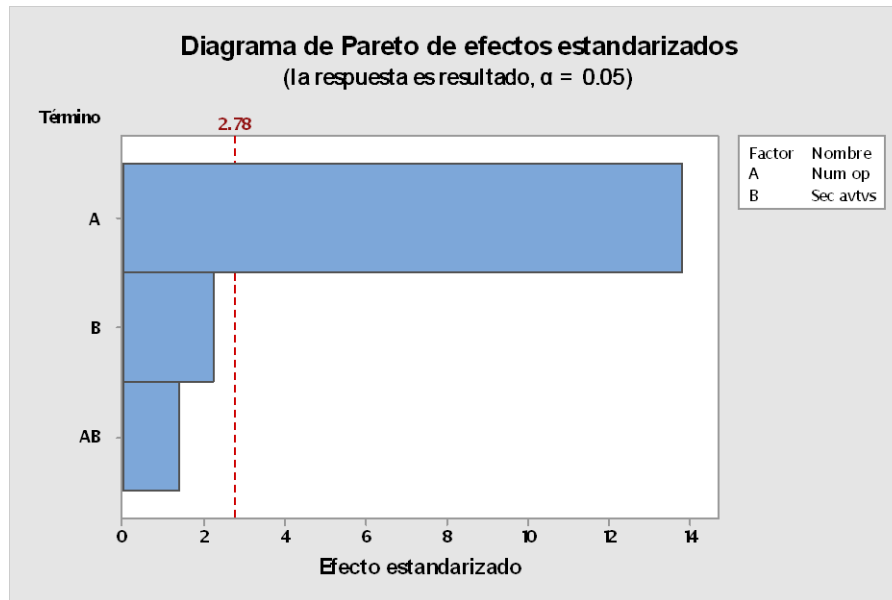


Figura 4.1 Diagrama de Pareto de efectos estandarizados. Fuente: [Elaboración propia].

Además, vemos que el efecto de la interacción entre el número de operarios y la secuencia de actividades no es significativo, ver gráfica siguiente.

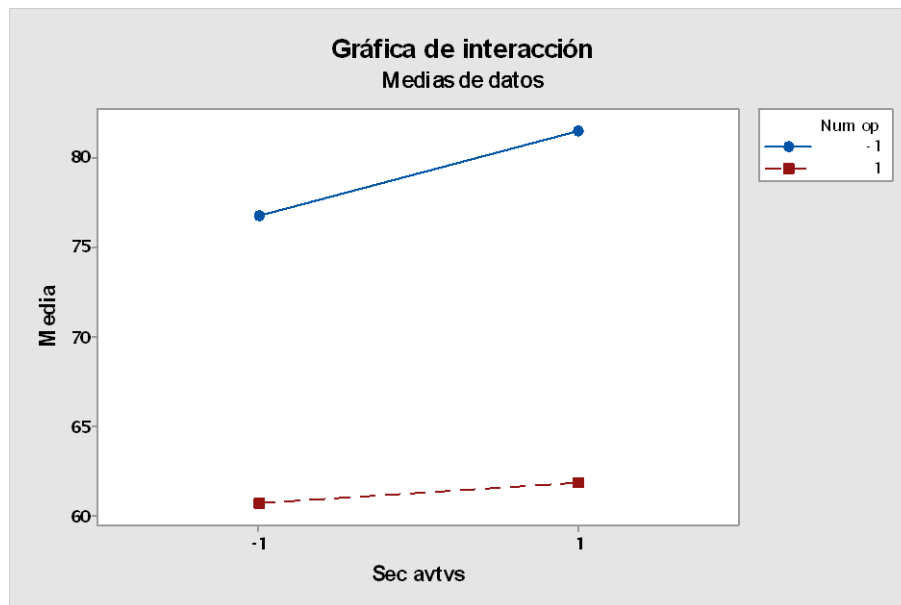


Figura 4.2 Gráfica de interacción. Fuente: [Elaboración propia].

En este sentido y sabiendo que la secuencia de las actividades no es significativa podemos decir que con la secuencia de actividades actual (1) y con cuatro operarios (-1) tendremos el porcentaje promedio de utilización del sistema, ver figura 4.3, 4.4, análisis de superficie de respuesta.

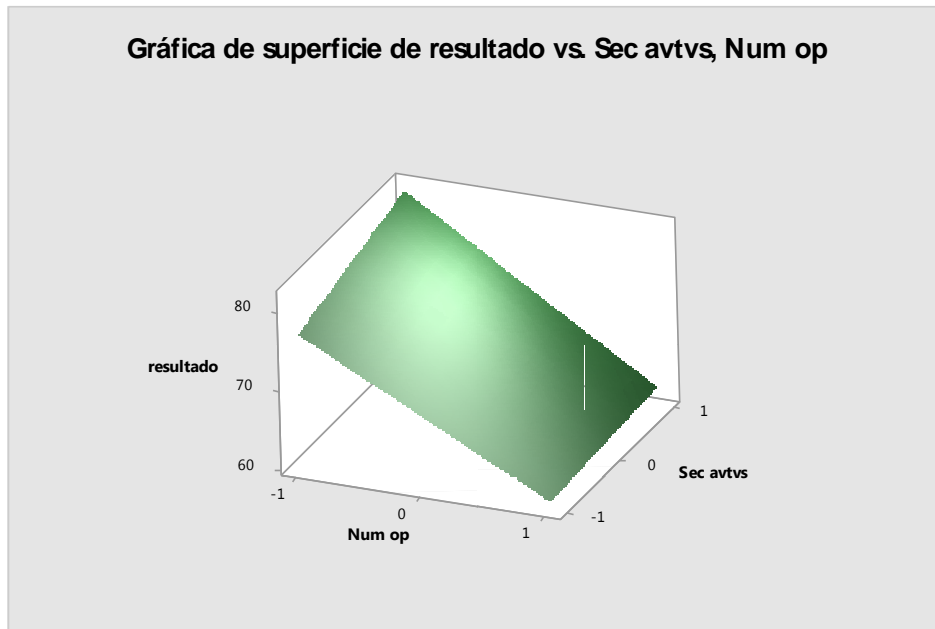


Figura 4.3 Gráfica de superficie de respuesta. Fuente: [Elaboración propia].

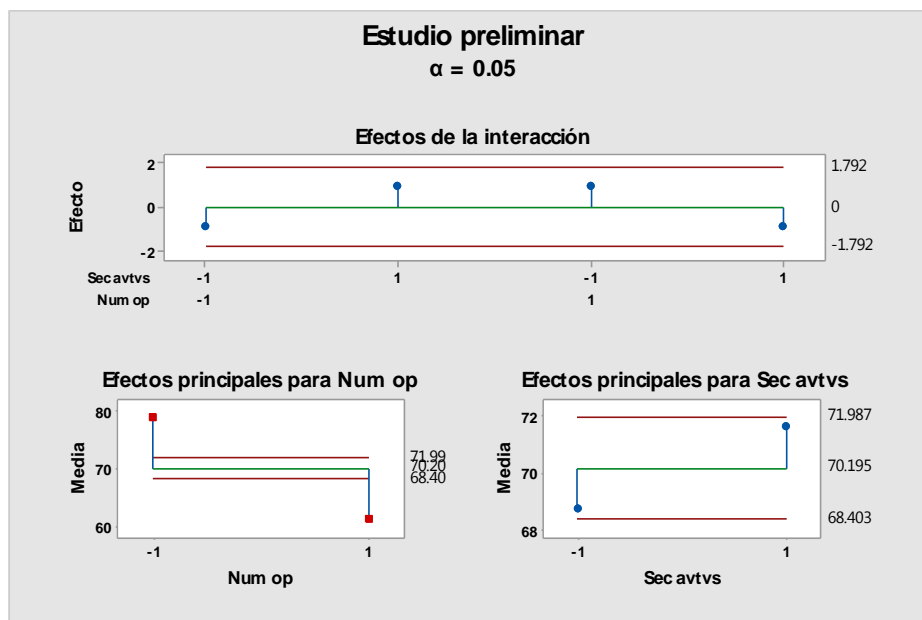


Figura 4.4 Gráfica de medias, efectos principales. Fuente: [Elaboración propia].

## 4.2 Análisis estadístico de datos del sistema real.

Tabla 4.2 Resultados de la experimentación en sistema real.

Ex	Factores		Resp
	Núm op	Sec actvs	
1	-1	-1	78.91
2	+1	-1	61.76
3	-1	+1	85.26
4	+1	+1	61.70
5	-1	-1	77.26
6	+1	-1	60.79
7	-1	+1	81.23
8	+1	+1	61.74

Con ayuda del software Minitab se realizó el Análisis de varianza, análisis de superficie de respuesta, grafica de medias y demás que se presentan a continuación:

### Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	3	761.610	253.870	102.03	0.000
Lineal	2	750.494	375.247	150.81	0.000
Num op	1	734.786	734.786	295.30	0.000
Sec avtvs	1	15.708	15.708	6.31	0.066
Interacción	1	11.116	11.116	4.47	0.102
Num op*Sec	1	11.116	11.116	4.47	0.102
Error	4	9.953	2.488		
Total	7	771.563			

### Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
1.57741	98.71%	97.74%	94.84%

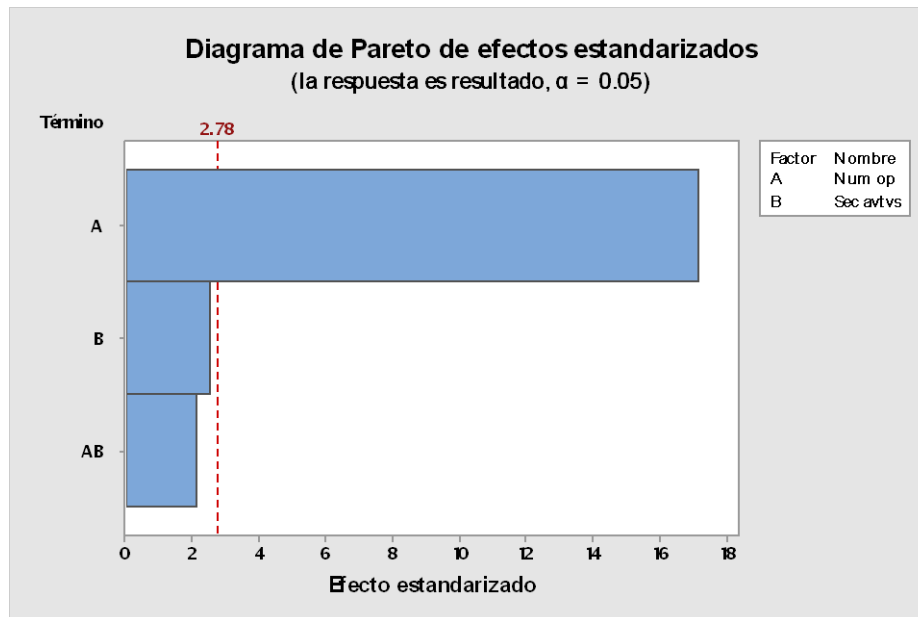


Figura 4.5 Diagrama de Pareto de efectos estandarizados sistema real. Fuente: [Elaboración propia].



Figura 4.6 Gráfica de interacción sistema real. Fuente: [Elaboración propia].

Al igual que los datos obtenidos del sistema simulado con el ANOVA y las gráficas antes presentadas vemos que nada más el factor número de operarios es significativo para el porcentaje de utilización promedio del sistema.

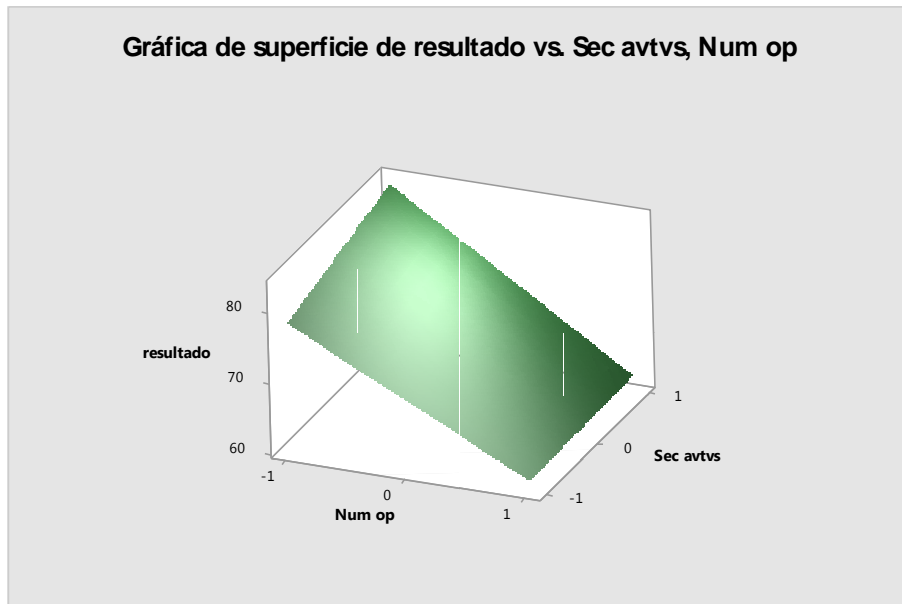


Figura 4.7 Gráfica de superficie de respuesta sistema real. Fuente: [Elaboración propia].

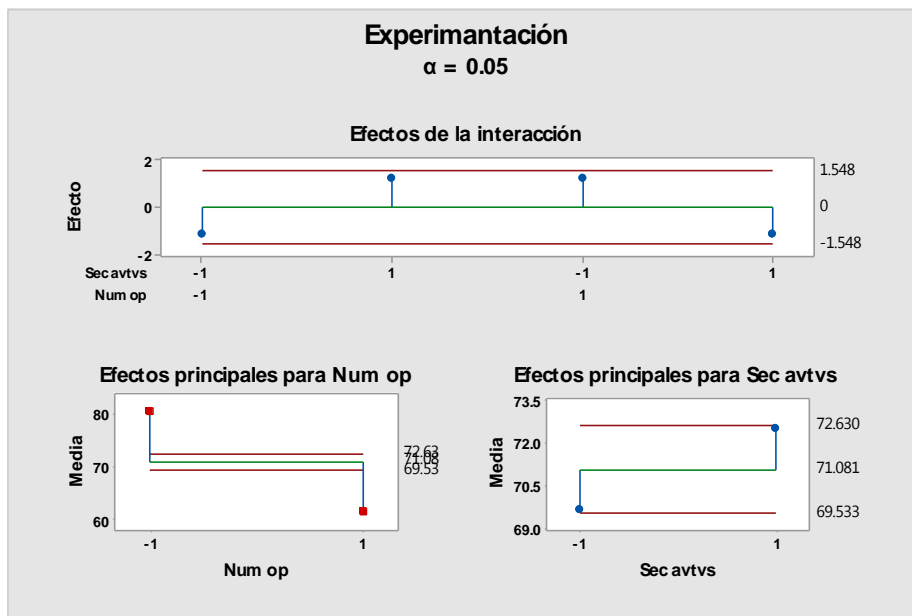


Figura 4.8 Gráfica de medias, efectos principales sistema real. Fuente: [Elaboración propia].

Observando los efectos principales y mediante el análisis de superficie de respuesta nuevamente podemos decir que el sistema debe funcionar con 4 operarios (-1) y bajo la secuencia B (1). También se muestra en la siguiente figura:

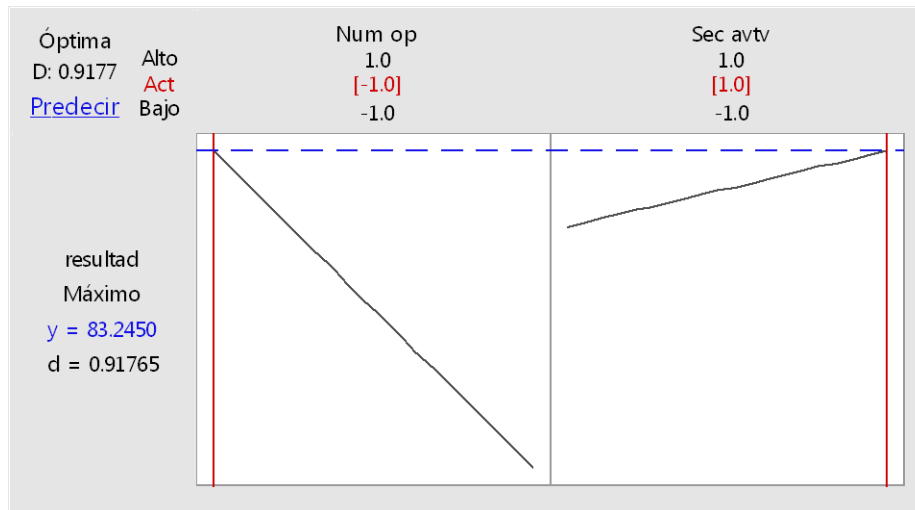


Figura 4.9 Puntos óptimos del sistema. Fuente: [Elaboración propia].

Conociendo los puntos óptimos bajo los que debe funcionar el sistema podemos alcanzar un 85.26%, es decir, 24.01% de aumento en el porcentaje de utilización promedio del sistema. Además, esta alternativa mejora significativamente la eficiencia por operario (balance) y el tiempo de ciclo no se aumenta en gran medida, como se resume en las siguientes gráficas:

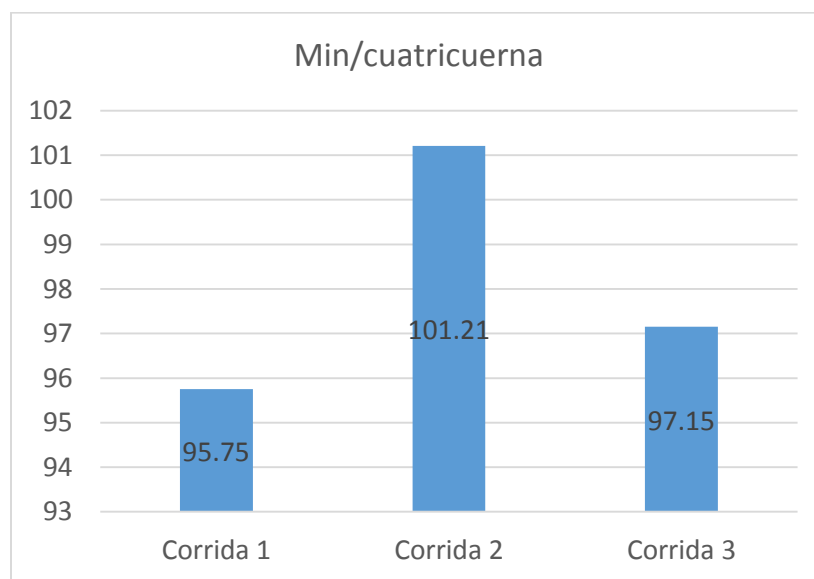
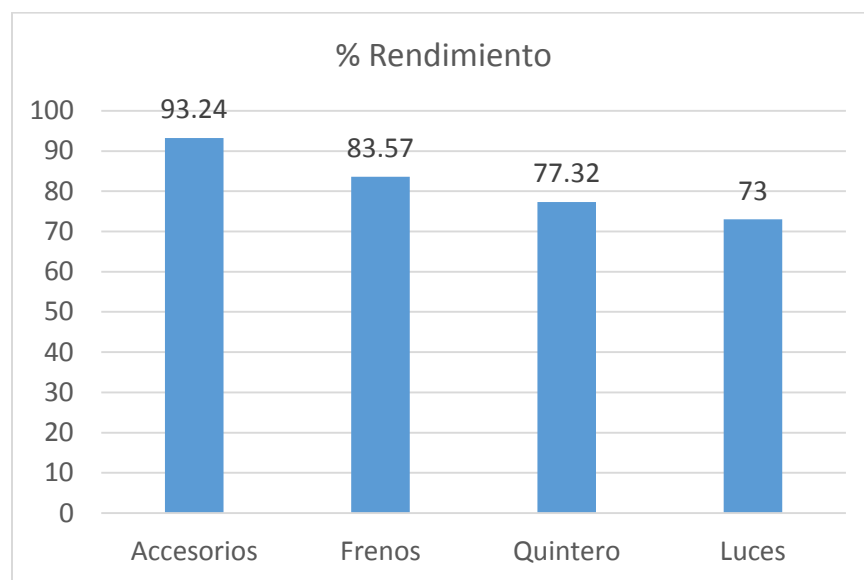


Figura 4.10 Tiempo de ciclo proceso de montaje optimizado. Fuente: [Elaboración propia].

En promedio el tiempo de ciclo es de 98.03 min/cuat a diferencia de 93.98 min/cuat anteriormente, a pesar de reducir el número de operarios el incremento en tiempo de ciclo del proceso no fue tan significativo. El rendimiento por operario, por su parte, mejoró significativamente, además de que se balanceo de acuerdo al esfuerzo físico que requieren sus actividades. (Ver figura 4.11)



*Figura 4.11 Rendimiento por operario, proceso de montaje optimizado. Fuente: [Elaboración propia].*

El rendimiento por operario aumento de 65.12% a 81.78%.

También al inicio del trabajo se mencionó que se espera la disminución de defectos ya que mediante un análisis de correlación entre el porcentaje de tiempo trabajado por operario y el porcentaje de defectos podemos ver que existe relación una relación positiva entre estos, 0.429 es el índice de correlación. De allí que la optimización del proceso impactara de manera positiva en otras áreas de la empresa.

### 4.3 Validación de la simulación de procesos como herramienta de pre-experimentación.

Parte fundamental de la investigación es determinar la eficacia del uso de la simulación de procesos dentro de esta metodología, mediante una prueba de 2t con los datos obtenidos del sistema simulado y los datos del sistema real tenemos:

T de dos muestras para Sistema simulado vs. Sistema real

	N	Media	Desv. Est.	Error S de la media
Sistema simulado	8	70.20	9.82	3.5
Sistema real	8	71.1	10.5	3.7

Diferencia =  $\mu$  (Sistema simulado) -  $\mu$  (Sistema real)

Estimación de la diferencia: -0.89

IC de 95% para la diferencia: (-11.87, 10.09)

Prueba T de diferencia = 0 (vs.  $\neq$ ): Valor T = -0.17 Valor p = 0.864 GL = 13

Con un 95% de confianza podemos decir que la media de los datos simulados es igual a la media de los datos obtenidos del sistema real.

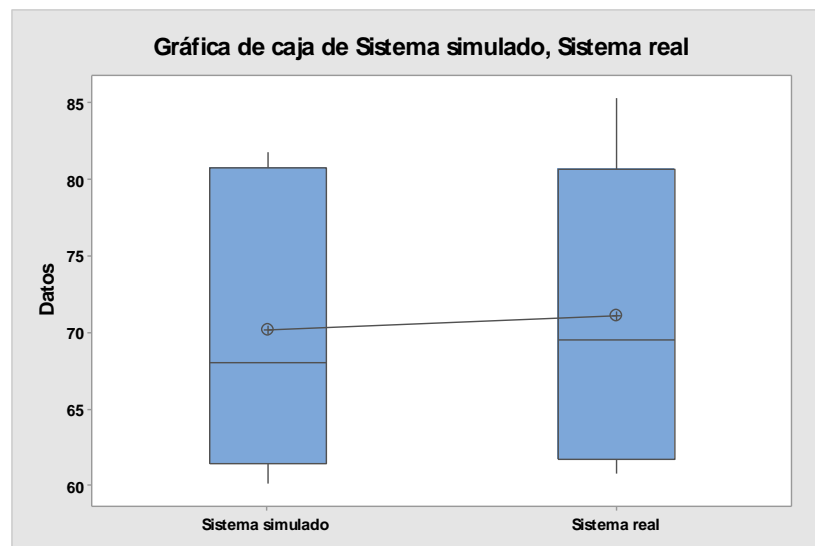


Figura 4.12 Gráfica de caja comparación sistema simulado-real. Fuente: [Elaboración propia].

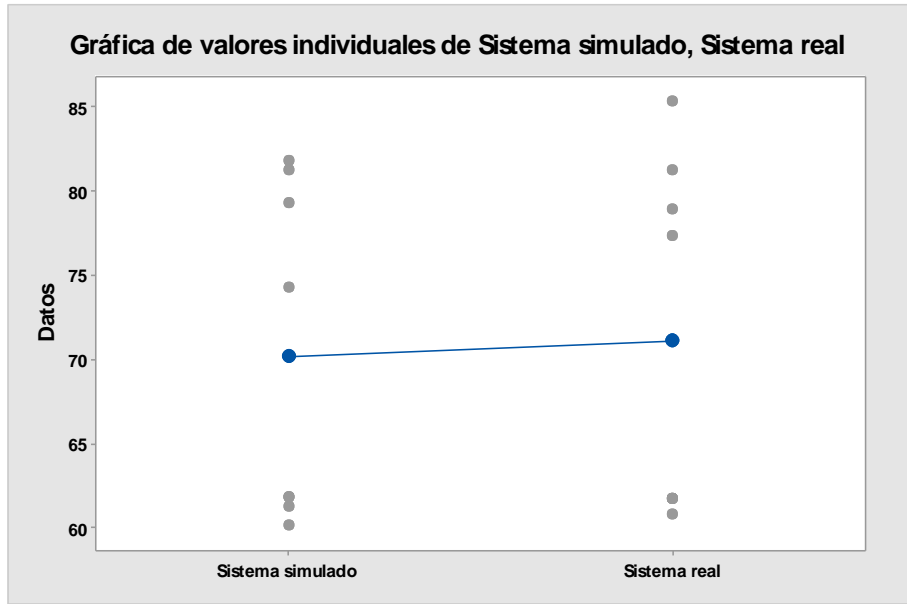


Figura 4.13 Gráfica de valores individuales comparación sistema simulado-real. Fuente: [Elaboración propia].

Podemos decir que la implementación de la simulación de procesos dentro de la metodología DMAIC-DoE nos permite realizar conclusiones confiables sobre el comportamiento del sistema real.

#### 4.4 Impacto de la optimización en el área de calidad/costos.

La optimización de un proceso tiene un impacto no solo en el porcentaje de utilización del proceso y operarios, como en este caso, sino también influye directamente en áreas relacionadas al proceso como la calidad. Si observamos la figura 1.5 el porcentaje de defectos es alto, y mediante un análisis de correlación donde consideramos el % de utilización por operarios y el número de defectos por cada estación de trabajo tenemos:

Tabla 4.3 Datos análisis correlación %utilización-defectos. Fuente: [Elaboración propia].

Operador	% Utilización	Defectos/año
Accesorios	94.38	139
Quintero-Perno	66.35	295

Frenos	61.21	308
Luces	60.57	138
Ejes	43.11	62

Al introducir estos datos en el software Minitab obtenemos un índice de correlación de Pearson de 0.429. Es decir, existe una correlación positiva entre estos dos factores, por ende, al disminuir la sobrecarga en algunos operarios y equilibrarla contribuimos positivamente al número de defectos.

También si analizamos la tabla anterior (Tabla 4.3) podemos observar que las estaciones de trabajo que requieren de mayor esfuerzo físico (quintero, frenos) tienen un mayor número de defectos, por lo cual los instrumentos utilizados dentro del proceso como el torque pueden influir no solo en el porcentaje de utilización de los empleados, sino también en la reducción de defectos.

En términos económicos la reducción de un operario por línea significa alrededor de 300,000 pesos anuales, nada más en gastos corrientes. Considerando un sueldo diario de 220 pesos y 4 empleados de 2 líneas en 2 turnos.

#### **4.5 Análisis de regresión.**

Como parte del análisis de resultados se elaboraron las gráficas de dispersión y análisis de regresión en Excel, es importante mencionar que los datos utilizados son los proporcionados en la tabla 4.2, considerando para el factor número de operarios y para la secuencia de las actividades los símbolos descritos en la misma.

A continuación, las figuras muestran los resultados obtenidos:

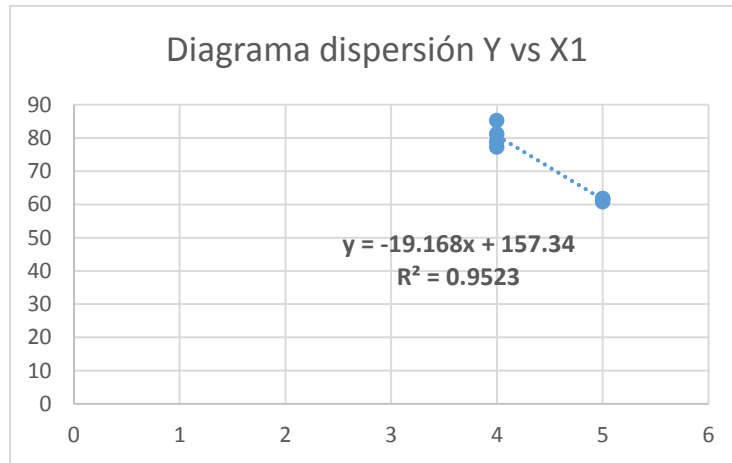


Figura 4.14 Diagrama de dispersión Y vs X1. Fuente: [Elaboración propia].

Observando el gráfico y la ecuación obtenida podemos ver que el factor X1 (número de operarios) es muy significativo para el valor Y (% utilización), considerando el valor R2, y dentro de la ecuación el valor -19.168 igualmente, lo cual también significa que a mayor número de operarios el porcentaje de utilización del sistema disminuye. El mismo análisis para el factor secuencia de las actividades muestra lo siguiente:

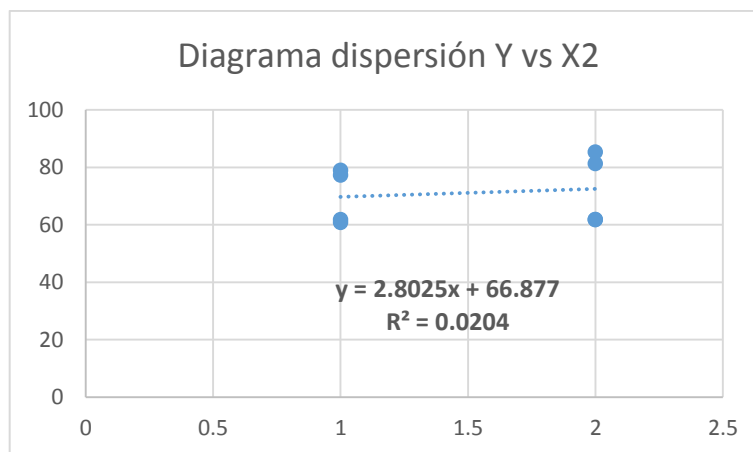


Figura 4.15 Diagrama de dispersión Y vs X2. Fuente: [Elaboración propia].

A diferencia del número de operarios, la secuencia de actividades no es tan significativo para el porcentaje de utilización del sistema, además observamos mucha dispersión de los datos y el valor de la ecuación 2.8025 igualmente no es tan significativo como para el análisis anterior.

Utilizando los mismos datos se elaboró el análisis de regresión en Excel mediante la opción análisis de datos donde obtuvimos:

*Tabla 4.4 Resumen análisis de regresión Excel. Fuente: [Elaboración propia].*

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0.986252325
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0.972693648
R <sup>2</sup> ajustado	0.961771107
Error típico	2.052732934
Observaciones	8

*Tabla 4.5 Detalles coeficientes análisis de regresión. Fuente: [Elaboración propia].*

	Coefficient	Error típico	Estadística t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Interc	71.08125	0.7257	97.941	2.10E-09	69.215	72.94	69.21	72.94
Var X 1	-9.58375	0.7257	-13.205	4.45E-05	-11.45	-7.71	-11.44	-7.718
Var X 2	1.40125	0.7257	1.930	0.1113	-0.46	3.26	-0.46	3.266

Con los datos obtenidos verificamos los datos que muestran los gráficos de dispersión anteriores, por lo que la ecuación que explica el modelo es:

$$Y = 71.0825 - 9.58375X_1 + 1.40125X_2$$

De allí se obtiene el pronóstico para las diferentes combinaciones en el sistema como se observa en la siguiente tabla.

*Tabla 4.6 Pronósticos para Y. Fuente: [Elaboración propia].*

Observación	Pronóstico para Y
1	79.26375
2	60.09625
3	82.06625
4	62.89875
5	79.26375
6	60.09625
7	82.06625
8	62.89875

## Capítulo V. Conclusiones y Recomendaciones.

### 5.1 Conclusiones.

- Con la culminación del proyecto de investigación se alcanzaron los objetivos inicialmente propuestos, así como la aceptación de la hipótesis planteada donde se esperaba que al optimizar el proceso de montaje de tractocamiones, el porcentaje de utilización del sistema aumentara.
- El porcentaje de utilización promedio del sistema en el montaje de tractocamiones ha incrementado en un 24.01% gracias a la implementación de la metodología propuesta DMAIC-DoE y la técnica de simulación de procesos. Además, aumentó el porcentaje de utilización por operarios, se balanceo la carga de trabajo en la línea y se redujeron tiempos muertos en el proceso.
- La simulación de procesos como herramienta para pre experimentación es de mucha utilidad pues nos permite analizar el sistema sin detenerlo, ni destruirlo, además de conocer el comportamiento de un proceso en distintos escenarios. Para el proceso de montaje permitió valorar previamente la influencia de los factores número de operarios y secuencia de las actividades y así realizar una intervención más acertada en el sistema real.
- Es importante el análisis e interpretación de los resultados obtenidos no solo para conocer la influencia de un factor en nuestra variable respuesta sino también para ver el comportamiento del sistema con la exposición a pequeños cambios. Softwares estadísticos como Minitab son prácticos y nos permiten visualizar gráficas para una mejor comprensión.
- Etapa de control, planes de seguimiento, son necesarios para garantizar que los objetivos alcanzados se mantengan. Así como formatos para la correcta documentación de tiempos de ciclo para manejar históricos de rendimiento del proceso.
- Diferentes metodologías como DMAIC-DoE muestran resultados favorables para la mejora de procesos industriales, pero al hacer la integración de la simulación de

procesos a la misma vemos que se facilita el proceso de experimentación y se valida la eficacia del uso de esta herramienta. También con este proyecto de investigación se abre un campo no muy estudiado como es el montaje.

## **5.2 Recomendaciones.**

- Analizar y optimizar otros escenarios de montaje para garantizar que las actividades están asignadas correctamente y no ocasionen cuellos de botella o cargas defectuosas.
- Documentar el proyecto de manera que pueda ser replicado en otras terminales de Mexicana Logísticas y generar resultados igual de efectivos.
- Desarrollar formatos para recolección de información, prácticos y efectivos (duración de la carga en la línea de montaje, piezas extraídas de las unidades) que signifiquen tiempo en que la carga permanece detenida en la línea y retrasa el ingreso de las siguientes unidades.

## Referencias

- [1] Kumar, D., y Kaushish, D. (2015). Reducción de chatarra en una industria de fabricación de pistones: un análisis utilizando Seis Sigma DMAIC y Metodología. IUP Diario de Dirección de Operaciones, 14 (2), 7-24.
- [2] Navarro, C. T., & Ochoa, O. M. (2009). Aplicación de metodología seis sigma para disminuir intervenciones en proceso de fabricación de vidrios. (Spanish). Revista Ingeniería Industrial, 8(1), 93-105.
- [3] Tanco, M., Ilzarbe, L., Viles, E., & Alvarez, M. J. (2008). Aplicación del Diseño de Experimentos (DoE) para la mejora de procesos. (Spanish). Memoria De Trabajos De Difusión Científica Y Técnica, (6), 87-96.
- [4] Ochoa Buitrago, S. D., & Amaya Guio, C. A. (2014). Aplicación del método de selección del mejor subconjunto en problemas de optimización mediante simulación. (Spanish). Revista Ingeniería Industrial, 13(1), 7-18.
- [5] ANPACT, Asociación Nacional de productores de autobuses, camiones y tractocamiones, A.C. 14 Julio 2014. [Online]. Available: <http://anpact.com.mx/blog/>. Accessed 23 febrero 2016.
- [6] Costa Salas, Y. J., & Castaño Pérez, N. J. (2015). Simulación y optimización para dimensionar la flota de vehículos en operaciones logísticas de abastecimiento-distribución. (Spanish). INGENIARE - Revista Chilena De Ingeniería, 23(3), 372-382.
- [7] Báez, Y. A., Limón, J., Tlapa, D. A., & Rodríguez, M. A. (2010). Aplicación de Seis Sigma y los Métodos Taguchi para el Incremento de la Resistencia a la Prueba de Jalón de un Diodo Emisor de Luz. (Spanish). Información Tecnológica, 21(1), 63-76. doi:10.1612/inf.tecnol.4141it.08.
- [8] Lara, R. O., & Peralta, L. G. (2011). Mejoramiento del servicio de galvanizado mediante Seis Sigma y el Análisis de la Información. (Spanish). Revista Ingeniería Industrial, 10(2), 81-102.
- [9] Morato Orozco, J. S. (2009). Reducción de gasto energético eléctrico usando seis sigma. (Spanish). Producción Más Limpia, 4(2), 90-102.
- [10] Contreras, M. J., Baesler, F., & Maldonado, L. (2010). Optimización de las operaciones portuarias mediante simulación y metodología de superficie de respuesta. (Spanish). Revista Ingeniería Industrial, 9(2), 73-91.

- [11] Oviedo-Trespalacios, O., & Peñabaena, R. P. (2015). Optimización de sistemas simulados a través de técnicas de superficie de respuesta. (Spanish). *Ingeniare - Revista Chilena De Ingeniería*, 23(3), 421-428.
- [12] Mendoza, J. M., & Mendoza, J. J. (2005). Seis sigmas: Hacia la cumbre de la calidad. *Pensamiento & Gestión*, (19), 101-117.
- [13] Li, M.C., A. Al-Refaie y C. Yang; DMAIC Enfoque para mejorar la capacidad de proceso de soldadura SMT impresión, *IEEE sobre Electrónica Embalaje Fabricación*: 31(2), (2008).
- [14] Dale B G, Wiele T and Iwaarden J (2007), *La gestión de la calidad*, 5ª edición, Blackwell Publicación Limitada., Oxford.
- [15] Tanco, M., Viles, E., & Pozueta, L. (2009). Diferentes enfoques del diseño de experimentos (DoE). (Spanish). *Memoria De Trabajos De Difusión Científica Y Técnica*, (7), 29-37.
- [16] Tanco, M., Ilzarbe, L., Viles, E., & Alvarez, M. J. (2008). Aplicación del Diseño de Experimentos (DoE) para la mejora de procesos. (Spanish). *Memoria De Trabajos De Difusión Científica Y Técnica*, (6), 87-96.
- [17] Tanco, M., Viles, E., Ilzarbe, L., & Álvarez, M. J. (2007). Industrias manufactureras necesitan Diseño de Experimentos (DoE). *Congreso Mundial de Ingeniería 2007 (Volumen 2)*, 21108-1112.
- [18] Mantilla Celis, O. L., & Sánchez García, J. M. (2012). Modelo tecnológico para el desarrollo de proyectos logísticos usando Lean Seis Sigma. *Estudios Gerenciales*, 28(124), 23-43.
- [19] Velázquez Victórica, K. I. (2015). Metodología para la optimización del proceso de soldadura GTA W para intercambiadores de calor utilizando diseño de experimentos. [Recurso electrónico]: Biblioteca central Mexicali.
- [20] Mesa Pérez, J. M., Brossard Pérez, L. E., Guerrero Haber, J. R., & Izquierdo, E. H. (1998). Estrategia de utilización del diseño de experimentos. (Spanish). *Tecnología Química*, 18(3), 101-111.
- [21] Gómez Cabrera, A., Quintana Pulido, N., & Ávila Díaz, J. O. (2015). Simulación de eventos discretos y líneas de balance, aplicadas al mejoramiento del proceso constructivo

de la cimentación de un edificio. (Spanish). *Ingeniería Y Ciencia*, 11(21), 157-175. doi:10.17230/ingciencia.11.21.8.

[22] Muñoz, D. F., & Villafuerte, D. (2015). Análisis de la Entrada en Simulación Estocástica. (Spanish). *Información Tecnológica*, 26(1), 13-22. doi:10.4067/S0718-07642015000100003.

[23] Guerrero Hernández, M. A., & Henriques Librantz, A. F. (2014). Simulación de eventos discretos de la cadena logística de exportación de commodities. (Spanish). *Ingeniare - Revista Chilena De Ingeniería*, 22(2), 257-262.

[24] Fernando Pérez, J., & Riaño, G. (2007). Análisis de colas para el diseño de una cafetería mediante simulación de eventos discretos. (Spanish). *Revista De Ingeniería*, (25), 12-21.

[25] Tapasco Alzate, O. A., & Giraldo García, J. A. (2015). Modelo simulado para la medición del desempeño de los Tele operadores en un Call Center. *Investigación Operacional*, 36(2), 161-168.

[26] Pochamarn, T., Suwadee, N., & Chonthicha, C. (2008). Usando ProModel como herramienta de simulación y diseño para ayudar a disposición de la planta y la planificación: Caso de estudio: fábrica de envases de plástico. *Songklanakarin Revista de Ciencia y Tecnología*, 30(1), 117-123.

[27] Efraín Ferrer Cruz, J., Gerardo Moras Sánchez, C., Julián Fernández Cueto, M., & Álvarez Palafox, C. (2013). Aplicación de simulación para el incremento de la productividad de una empresa generadora de panela en la ciudad de Tuxtepec, Oaxaca. (Spanish). *Revista De La Ingeniería Industrial*, 7(1), 13-20.

[28] Quiroga T., D. A., Montenegro M., C. M., & Leguizamón F., A. M. (2016). Diseño y simulación de un filtro de células de tipo linfocitos T en un sistema de micro fluidos. (Spanish). *Revista Ciencias De La Salud*, 14(1), 21-28.

[29] Vera, B. H., Sánchez, C. M., Robles, G. C., Rodríguez, L. V., & Lara, M. F. (2008). Análisis del proceso de altas de un hospital para incrementar su productividad utilizando simulación. (Spanish). *Revista De La Alta Tecnología Y Sociedad*, 2(1), 1-18.

[30] Mora García, L. A. (2008). *Gestión Logística Integral: las mejores prácticas en la cadena de abastecimientos*. Bogotá: Ecoe ediciones.

[31] Ramírez Cardona, C. (2010). *Fundamentos de Administración*. Bogotá: Ecoe ediciones.

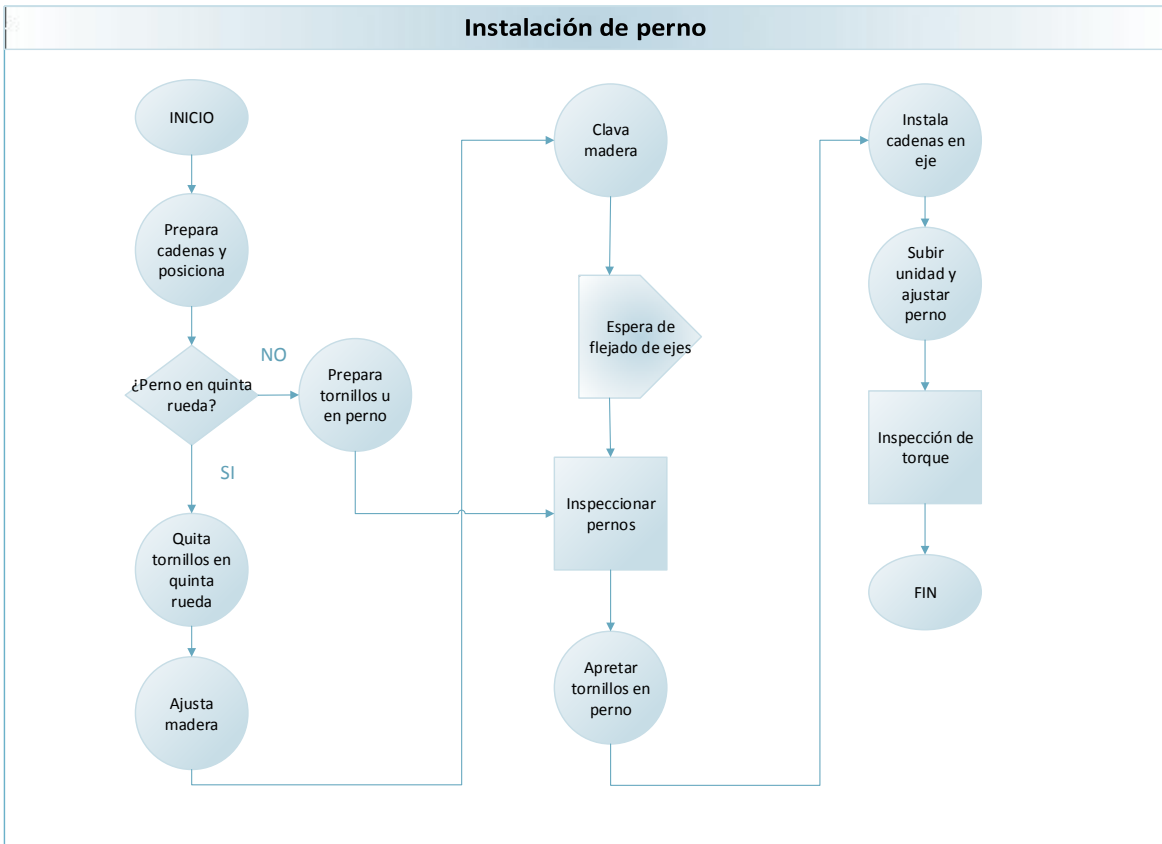
- [32] Muñoz, C. R. V., Ochoa, H. M. B., & Morales, G. M. (2011). Investigación de operaciones. México, D.F., MX: McGraw-Hill Interamericana.
- [33] Liker, J., & Meier, D. (2002). El talento Toyota. México, D.F., MX: McGraw-Hill Interamericana.
- [34] Gutiérrez, P. H. (2010). Calidad total y productividad (3a. ed.). México, D.F., MX: McGraw-Hill Interamericana.
- [35] Figueroa, V. P. (2006). Optimización de productos y procesos industriales. España, Barcelona. Ediciones Gestión 2000.
- [36] Gryna, F. M., Chua, R. C. H., & Defeo, J. A. (2007). Análisis y planeación de la calidad. Método Juran (5a. ed.). México, D.F., MX: McGraw-Hill Interamericana.
- [37] Asaka, T. (1990). Manual de herramientas de calidad: El enfoque japonés. España, Madrid. Prod. Tecnología de gerencia y producción S.A de C.V.
- [38] Gutierrez, P. H., & Vara, S. R. D. L. (2013). Control estadístico de la calidad y Seis Sigma (3a. ed.). México, D.F., MX: McGraw-Hill Interamericana.
- [39] Cantú, D. J. H. (2011). Desarrollo de una cultura de calidad (4a. ed.). México, D.F., MX: McGraw-Hill Interamericana.
- [40] Escalante, V. E. (2014). Seis Sigma: Metodología y técnicas. México, D.F. Editorial Lumusa S.A. de C.V.
- [41] Montgomery. (2004). Diseño y análisis de experimentos (2a edición). México, D.F. Editorial Lumusa S.A. de C.V.
- [42] Gutierrez, P. H., & Vara, S. R. D. L. (2012). Análisis y diseño de experimentos (3a. ed.). México, D.F., MX: McGraw-Hill Interamericana.
- [43] Nahmias, S. (2007). Análisis de la producción y las operaciones (5a. ed.). México, D.F., MX: McGraw-Hill Interamericana.
- [44] Spiegel, M. R., Schiller, J. J., & Alu, S. R. (2013). Probabilidad y estadística (4a. ed.). México, D.F., MX: McGraw-Hill Interamericana.
- [45] Spiegel, M. R., & Stephens, L. J. (2009). Estadística (4a. ed.). México, D.F., MX: McGraw-Hill Interamericana.
- [46] Himmelblau Reverte, E. J. (1976). Análisis y simulación de procesos. Reverte Editorial.
- [47] García, D.E. & Reyes, G. (2012). Simulación y análisis de sistemas con Promodel. México, D.F., MX: Addison-Wesley, Editorial

- [48] Blanco, R. L., & Fajardo, P. I. Simulación con Promodel: Casos de producción y logística (2ª. ed). Cali, Colombia. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- [49] ANPACT, Asociación Nacional de productores de autobuses, camiones y tractocamiones, A.C. 14 Julio 2014. [Online]. Avalorle: <http://anpact.com.mx/blog/>. Accessed 23 febrero 2016.
- [50] Lind, D. A., Marchal, W. G., & Wathen, S. A. (2012). Estadística aplicada a los negocios y la economía (15a. ed.). México, D.F., MX: McGraw-Hill Interamericana.
- [51] Hernández, S. R., Fernández, C. C., & Baptista, L. M. D. P. (2010). Metodología de la investigación (5a. ed.). México, D.F., MX: McGraw-Hill Interamericana.
- [52] Gryna, F. M., Chua, R. C. H., & Defeo, J. A. (2007). Análisis y planeación de la calidad. Método Juran (5a. ed.). México, D.F., MX: McGraw-Hill Interamericana.
- [53] Gutiérrez, P. H., & Vara, S. R. D. L. (2012). Análisis y diseño de experimentos (3a. ed.). México, D.F., MX: McGraw-Hill Interamericana.

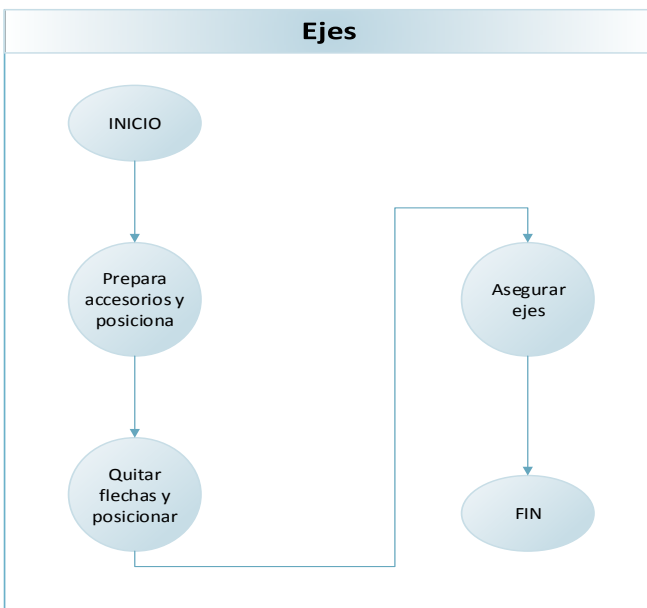




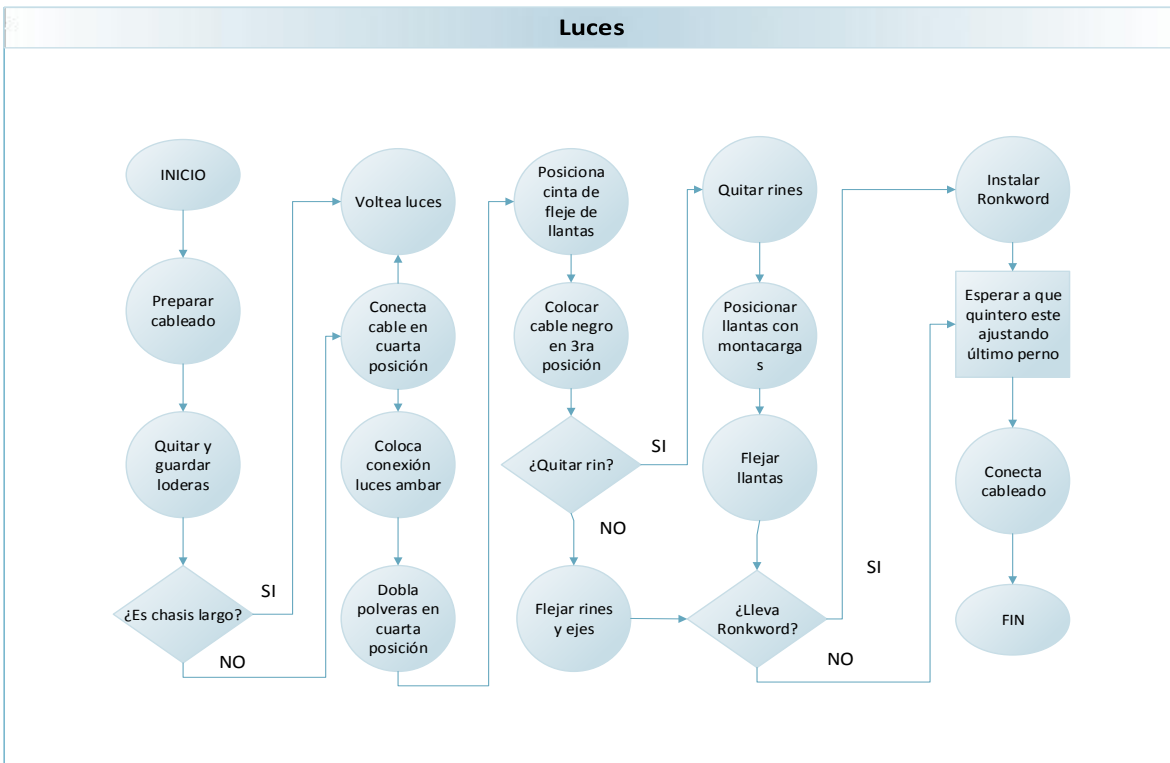
### Anexo 1.3 Diagramas de flujo instalación de pernos.



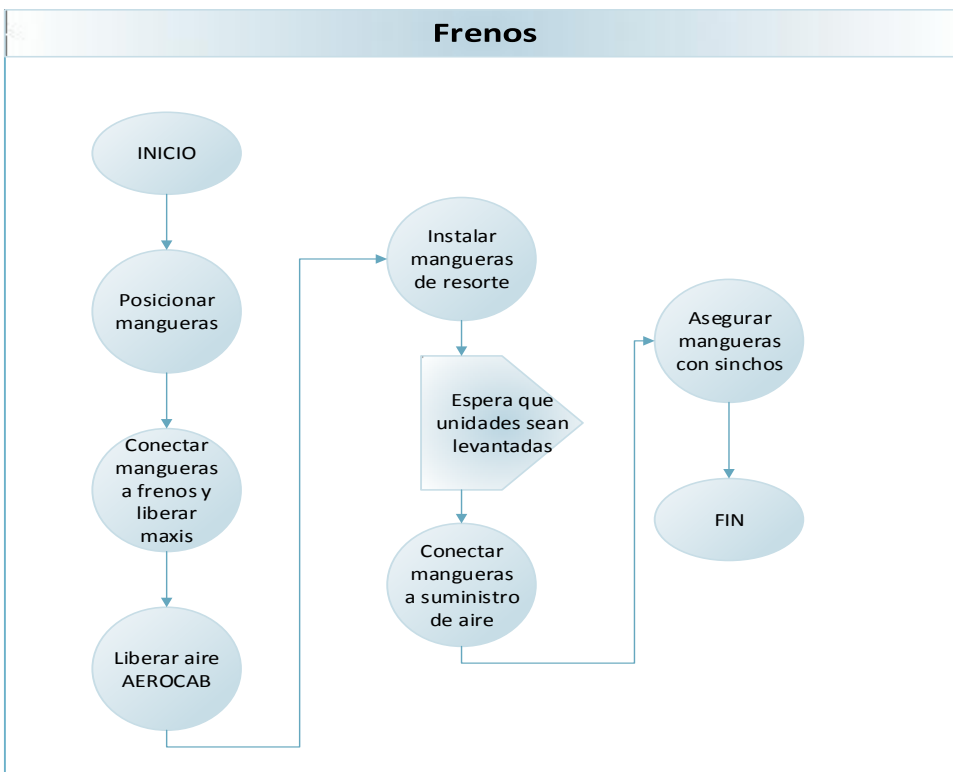
### 1.4 Diagrama flujo instalación ejes.




### 1.5 Diagrama flujo instalación sistema luces.



### 1.6 Diagrama flujo instalación sistema frenos.



1.7 Matriz de habilidades.

		Mexicana Logistics Matriz de habilidades Decker-Función													F-XXXX		
Terminal	Mexicali												Fecha Ultima Revisión	29/03/2016			
Turno	1er												Revisión	-			
Lineas	A y B												Elaborado por:				
FUNCION	LINEA	A	A	A	A	A	B	B	B	B	B	P	P				
	OPERACION	**Christian Mario Barajas López	Jose de Jesus Castro Maldonado	Rashid Dominguez Quintero	Jesus Eduardo Cervantes Ochoa	Elmer Grijalva	Trino Ledezma Ibarra	Jesus Valentin Navarro Yañez	Angel Alfonso Paredés	Enrique Rivas	**Juan Alfonso Rubio Rayos	Jesus Arturo Martinez Gerardo	Juan Manuel Martinez Sandoval				
QUINTERO	Preparar cadenas y posicionar	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
	Quitar tornillos en quinta rueda	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
	Ajustar madera en quinta rueda	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
	Clavar maderas	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
	Inspeccionar pernos	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
	Apretar tornillos en quinta rueda	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
	Instalar cadenas en eje suspendido	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
	Subir unidad y ajustar perno	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
	Inspección de torque	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
ACCESORIOS	Proteger defensas	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
	Quitar, instalar y guardar puntas aerocab	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
	Levantar unidad, quitar llantas y bajar	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
	Quitar y guardar antenas	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
	Quitar y guardar pipa	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
	Abrir tanque y asegurar volante	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
	Poner protección de respaldo	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
	Protección de tanques	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
	Fleje de protección de la defensa	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
Revisar nivel de diesel	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓					
LUCES	Preparar cableado	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
	Quitar y guardar polveras	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
	Voltear luces	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
	Conectar cable en cuarta posición	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
	Conexión luces ambar	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
	Doblar polveras	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
	Posicionar fleje de llantas	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
	Cable negro	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
	Quitar rines	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
	Flejar rines y eje	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
	Posicionar llantas con montacargas	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
	Flejar llantas	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
Pasar cable y conectar	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓					
EJES	Preparar accesorios y posicionar	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
	Quitar flechas y posicionar	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
	Asegurar ejes	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
FRENOS	Posicionar mangueras	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
	Conectar mangueras a frenos/Liberar maxis	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
	Llenar aire AROCAB	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
	Instalar mangueras de resorte	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
	Conectar mangueras a suministro de aire	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
Asegurar mangueras con sínchos	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓					
PREPARACION	Colocar maderas en unidades	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
	Colocar pernos	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
	Colocar tornillos U	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				

✓	Función Principal del decker
✓	Decker sabe realizar la operación que no es parte de su función principal
**	Decker realiza función de lider de linea
A	Linea A
B	Linea B
P	Preparador