

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

**MEJORA DEL PROCESO DE REPARACIÓN DE UN TALLER
DE CARROCERÍA Y PINTURA UTILIZANDO SIMULACIÓN DE
OPERACIONES**

Tesis para optar el Título de **Ingeniero Industrial**, que presenta el bachiller:

presentado por: Torrejón Steven Raúl

92250

torrejonsr@pucc.edu.pe

Dick Steven Raúl Torrejón Reátegui

ASESOR: Wilmer Jhonny Atoche Díaz

Lima, julio de 2015

Lima, junio de 2015

RESUMEN

En el presente trabajo se detalla el análisis, diagnóstico inicial, desarrollo del modelo de simulación y propuesta de mejora en los procesos de reparación de un taller de carrocería y pintura de la empresa XYZ, de manera que se disminuya el tiempo promedio de estancia de los vehículos y aumente la cantidad de reparaciones mensuales. Cabe mencionar que el cumplimiento de estos objetivos dependen directamente de los recursos del taller, es decir del personal técnico.

Para el análisis de datos se utilizó data real del taller obtenida de sistemas internos creados para la medición de tiempos. Cabe mencionar que cuanto más precisos sean estos datos se podrá obtener resultados más reales sobre el estado del sistema evaluado ya que el fin último de la recopilación de datos es encontrar funciones estadísticas que se adecuen a cada proceso involucrado en el sistema.

Después de construir el modelo de simulación y ejecutarlo, se verificó que los resultados obtenidos sean semejantes a la realidad utilizando intervalos de confianza, en este caso se corroboró que los dos principales indicadores a mejorar sean simulados correctamente: TPE (en promedio 11 días) y reparaciones mensuales (en promedio 175 vehículos / mes)

Luego de realizar el análisis, se planteó un modelo de optimización del sistema, calculando una solución óptima para lograr los objetivos descritos. La combinación obtenida redujo el TPE en 2 días, es decir ahora sería de 9 días, y se aumentó las reparaciones mensuales del taller a 185 vehículos. Después, se escogió una propuesta de mejora que incluyó la contratación de dos técnicos nuevos y la promoción de uno.

Finalmente se realizó una evaluación económica de la propuesta que incluyó los costos de implementación que representó una inversión de S/. 262 400, el flujo de caja, los indicadores de rentabilidad que concluyó en un TIR del 46% y un VAN de S/. 395 347.

TEMA DE TESIS

PARA OPTAR : Título de Ingeniero Industrial

ALUMNO : **DICK STEVEN RAÚL TORREJÓN REATEGUI**

CÓDIGO : 2009.2250. .12

PROPUESTO POR : Ing. Wilmer J. Atoche Díaz

ASESOR : Ing. Wilmer J. Atoche Díaz

TEMA : MEJORA DEL PROCESO DE REPARACIÓN DE UN TALLER DE CARROCERÍA Y PINTURA UTILIZANDO SIMULACIÓN DE OPERACIONES.

N° TEMA :

FECHA : San Miguel, 17 de abril de 2015

JUSTIFICACIÓN:

En el Perú, el negocio de carrocería y pintura es un servicio con gran potencial de crecimiento y que además actualmente representa una porción significativa de ingresos para las empresas que cuentan con dicho servicio. La razón principal del auge de este negocio es debido al crecimiento agresivo de compra de vehículos. Según el reporte semestral presentado por ARAPER en julio del 2013, la cantidad de marcas vigentes en el país suma más de 70 y se estimó que el mercado total finalizaría dicho año con una venta aproximada de 200 000 unidades¹. Dichos resultados tienen como consecuencia que ahora cada marca de vehículos ofrece un servicio de posventa, que incluye servicio técnico y por supuesto carrocería y pintura.

Entonces, cada taller necesita ofrecer un personal eficiente, procesos óptimos e infraestructura adecuada para mantenerse a la vanguardia en lo que a servicio ofrecido se refiere, garantizando la mayor calidad, seguridad y efectividad de la reparación desde el momento de que el vehículo ingresa al taller hasta que es entregado al dueño.

Por lo tanto cada empresa buscará nuevos métodos para mejorar tiempos de proceso, eliminar actividades innecesarias, maximizar el uso de sus recursos sin descuidar por supuesto la calidad del servicio ofrecido.

¹ Este apartado se apartado se ha basado en el Informe Estadístico del I Semestre 2013 publicado por ARAPER (Asociación de Representantes Automotrices del Perú)

OBJETIVO GENERAL:

Mejorar los procesos de reparación dentro de un taller de Carrocería y Pintura empleando técnicas de Simulación de Operaciones.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Definir un marco teórico adecuado para el desarrollo del proyecto utilizando los conceptos de simulación de operaciones, de herramientas de calidad y de herramientas estadísticas.
- Detallar el estado actual de la empresa utilizando el método DMAIC para obtener un correcto diagnóstico del principal problema del taller y así plantear la mejor solución a la causa raíz de dicho problema.
- Realizar un análisis adecuado de los datos de entrada a utilizar para así obtener un modelo óptimo.
- Desarrollar un modelo de simulación adecuado que se asemeje al taller real incluyendo todas las variables necesarias.
- Analizar y validar los resultados obtenidos a partir del modelo construido de manera que dichos resultados sean semejantes a los indicadores actuales del taller.
- Proponer una mejora coherente para el taller de manera que se haga un mejor uso de los recursos disponibles y así aumentar el *performance* de la empresa.
- Evaluar los costos de inversión requeridos para la implementación del proyecto de manera que se obtengan beneficios reales a partir del cálculo del periodo de recuperación.

PUNTOS A TRATAR:**a. Marco teórico.**

Se presentarán antecedentes de otros proyectos de mejora utilizando simulación, la definición de simulación de sistemas, las definiciones de las herramientas estadísticas y de calidad a utilizar. También se presentará el *Software Arena* incluyendo los bloques y elementos necesarios para la construcción de un modelo de simulación en dicho software.

b. Descripción y Diagnóstico de la Empresa.

Se presentará el estado actual de la empresa en el país. Además, se analizará la problemática del taller de carrocería y pintura, estudiando las principales causas de dichos problemas para así proponer la mejor opción de mejora para la causa raíz del problema.

c. Recolección y Análisis de Datos.

Se mostrará cómo ha sido realizada la recolección de datos de cada proceso del taller, se analizará la varianza entre los datos iniciales y se determinarán las distribuciones estadísticas del conjunto de datos que sigue cada proceso utilizando el *Input Analyzer*.

d. Desarrollo del modelo.

Se explicará la secuencia actual de reparación del taller y se definirán los bloques y elementos necesarios a utilizar en la construcción del modelo con la finalidad de obtener un modelo de simulación adecuado.

e. Análisis y Validación de Resultados.

Se analizarán los resultados de los principales indicadores definidos en el modelo para así calcular la longitud de réplica adecuada con la herramienta *Output Analyzer* y luego validar dichos resultados comparándolos con los indicadores reales del taller.

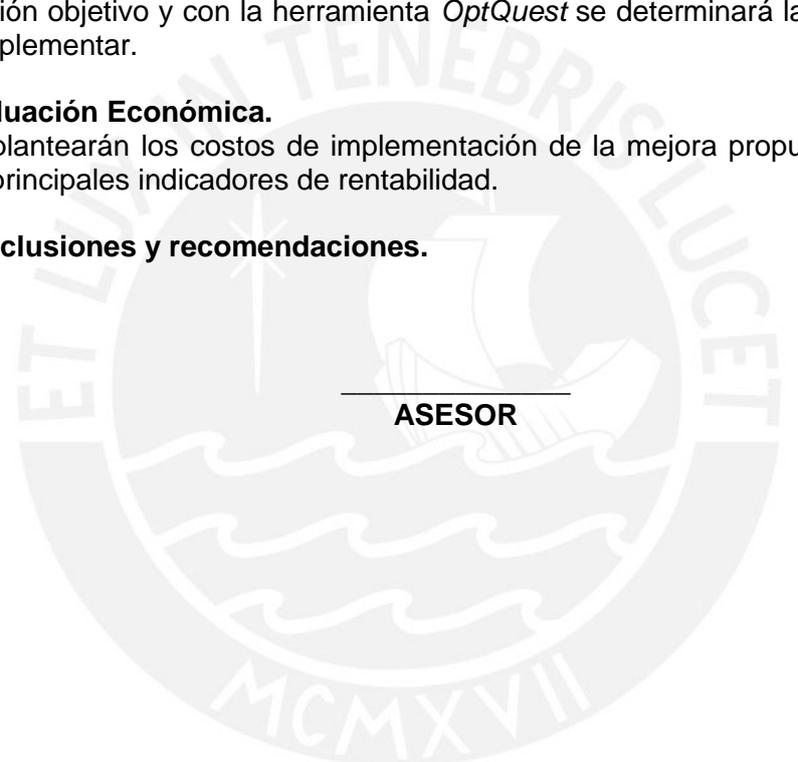
f. Propuesta de Mejora.

Se plantearán las restricciones para la optimización del modelo, se definirá la función objetivo y con la herramienta *OptQuest* se determinará la mejor solución a implementar.

g. Evaluación Económica.

Se plantearán los costos de implementación de la mejora propuesta evaluando los principales indicadores de rentabilidad.

h. Conclusiones y recomendaciones.



ASESOR

*Quiero dedicar esta tesis
en primer lugar a mis
padres, que lucharon mil
batallas para que yo
llegue a este punto en mi
vida. A mi pequeña
hermana, que cada día
me enseña algo nuevo. A
mi viejita y a mi tía, que
son incondicionales para
mí. A Connie, con amor.
Finalmente, al profesor
Atoche por sus breves
pero muy exactos
consejos para culminar
este proyecto con éxito.*

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|-------------|
| INDICE DE TABLAS..... | v |
| ÍNDICE DE FIGURAS | viii |
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO | 3 |
| 1.1 Antecedentes | 3 |
| 1.2 Simulación de Sistemas | 6 |
| 1.2.1 Definición | 6 |
| 1.2.2 Tipos de Modelos de Simulación | 7 |
| 1.2.3 Simulación de Eventos Discretos | 8 |
| 1.2.4 Elementos de una Simulación de Eventos Discretos | 8 |
| 1.2.5 Metodología de un Estudio de Simulación | 9 |
| 1.3 Seis Sigma | 11 |
| 1.3.1 Metodología DMAIC..... | 11 |
| 1.4 Herramientas de Calidad | 12 |
| 1.4.1 Mapa de Procesos..... | 12 |
| 1.4.2 Diagrama de Pareto | 13 |
| 1.4.3 Lluvia de Ideas..... | 14 |
| 1.4.4 Diagrama Ishikawa | 14 |
| 1.4.5 Método de los 5 porqués..... | 16 |
| 1.4.6 Matriz de Decisión FACTIS | 16 |
| 1.5 Herramientas Estadísticas..... | 17 |
| 1.5.1 Muestra Aleatoria | 17 |
| 1.5.2 Distribuciones de Probabilidad | 18 |
| 1.5.3 Pruebas de Hipótesis..... | 19 |
| 1.5.4 Criterios P-value..... | 20 |

| | | |
|--|---|-----------|
| 1.5.5 | Pruebas de Bondad de Ajuste | 20 |
| 1.5.6 | Análisis de la Varianza (ANOVA) | 22 |
| 1.6 | Software Arena..... | 23 |
| 1.6.1 | Definición | 24 |
| 1.6.2 | Bloques y Elementos del Software Arena | 24 |
| 1.6.3 | Input Analyzer | 25 |
| 1.6.4 | Output Analyzer | 26 |
| 1.6.5 | Optquest | 27 |
| CAPÍTULO 2. DESCRIPCIÓN Y DIAGNÓSTICO DE LA EMPRESA | | 28 |
| 2.1 | Descripción de la Empresa en el Perú..... | 28 |
| 2.1.1 | Servicio de Carrocería y Pintura en la Empresa | 29 |
| 2.2 | Diagnóstico..... | 31 |
| 2.2.1 | Descripción y Mapeo del Proceso de la Empresa | 31 |
| 2.2.2 | Proceso a Mejorar..... | 33 |
| 2.2.3 | Medición del Proceso..... | 35 |
| 2.2.4 | Análisis y Priorización de Problemas..... | 40 |
| 2.2.5 | Determinación de Causas | 42 |
| 2.2.6 | Planteamiento de Contramedidas | 46 |
| CAPÍTULO 3. RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS..... | | 49 |
| 3.1 | Recolección de Datos..... | 49 |
| 3.2 | Análisis de Varianza entre Datos | 51 |
| 3.3 | Determinación de las Distribuciones Estadísticas..... | 52 |
| 3.4 | Variables de Proporción | 57 |
| CAPÍTULO 4. DESARROLLO DEL MODELO..... | | 59 |
| 4.1 | Supuestos para Establecer el Modelo | 59 |
| 4.2 | Componentes del Modelo..... | 59 |

| | | |
|--|--|-----------|
| 4.2.1 | Entidades..... | 60 |
| 4.2.2 | Atributos | 60 |
| 4.2.3 | Horarios..... | 60 |
| 4.2.4 | Recursos..... | 60 |
| 4.2.5 | Colas..... | 61 |
| 4.2.6 | Estaciones | 62 |
| 4.2.7 | Variables..... | 63 |
| 4.3 | Diseño del Modelo..... | 64 |
| 4.3.1 | Simulación de la Llegada de Vehículos al Taller de C y P | 64 |
| 4.3.2 | Simulación del Proceso de Recepción de una Unidad | 65 |
| 4.3.3 | Simulación del Proceso de Valuación, Aprobación y Asignación de una Unidad | 66 |
| 4.3.4 | Simulación del Proceso de Reparación de una Unidad..... | 67 |
| 4.3.5 | Simulación del Proceso de Control de Calidad de un Vehículo | 72 |
| 4.3.6 | Simulación del Proceso de Entrega y Salida de un Vehículo..... | 72 |
| CAPÍTULO 5. ANÁLISIS Y VALIDACIÓN DE RESULTADOS | | 74 |
| 5.1 | Análisis de Resultados | 74 |
| 5.2 | Validación de Resultados | 77 |
| 5.2.1 | Tiempo promedio de estancia de una unidad en el taller | 78 |
| 5.2.2 | Número de vehículos reparados mensuales..... | 79 |
| CAPÍTULO 6. PROPUESTA DE MEJORA..... | | 81 |
| 6.1 | Controles del Sistema..... | 81 |
| 6.2 | Restricciones de la Optimización | 82 |
| 6.3 | Planteamiento de la Función Objetivo | 82 |
| 6.4 | Solución del Optquest..... | 83 |
| 6.5 | Propuestas de Mejora..... | 84 |
| CAPÍTULO 7. EVALUACIÓN ECONÓMICA..... | | 85 |

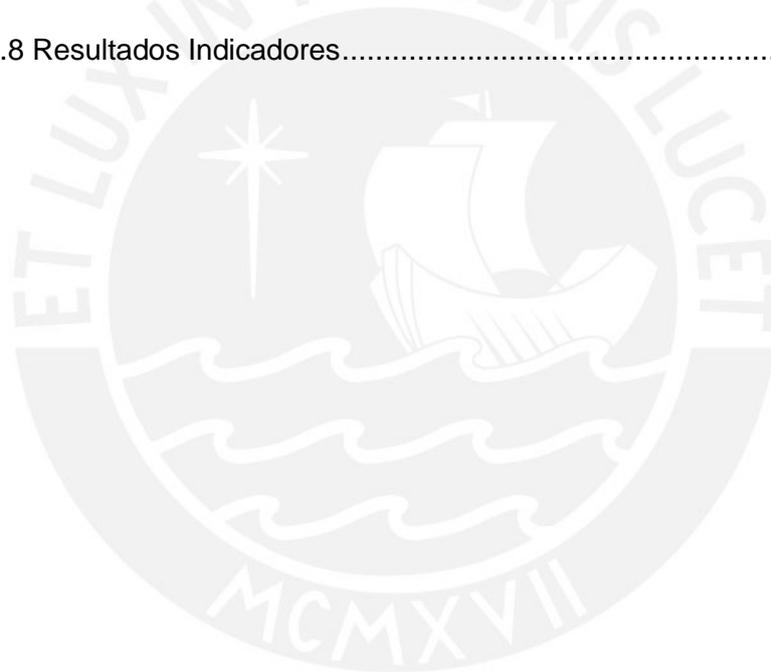
| | | |
|---|---|-----------|
| 7.1 | Costos de Implementación | 85 |
| 7.1.1 | Preparación del Modelo..... | 85 |
| 7.1.2 | Requerimientos de Personal..... | 85 |
| 7.1.3 | Requerimientos de Equipos y Herramientas | 86 |
| 7.2 | Flujo de Caja del Taller..... | 86 |
| 7.3 | Indicadores de Rentabilidad del Proyecto..... | 87 |
| 7.4 | Cronograma de Implementación del Proyecto | 88 |
| CAPÍTULO 8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | | 89 |
| 8.1 | Conclusiones..... | 89 |
| 8.2 | Recomendaciones..... | 90 |
| BIBLIOGRAFÍA | | 91 |

INDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1.1 Matriz de Decisión FACTIS | 16 |
| Tabla 1.2 Consecuencias de las Decisiones en las Pruebas de Hipótesis | 20 |
| Tabla 1.3 ANOVA de 1 vía..... | 22 |
| Tabla 1.4 ANOVA Resumen de Datos | 23 |
| Tabla 1.5 Distribuciones aceptadas por el Input Analyzer..... | 26 |
| Tabla 2.1 Servicio de Autorización Taller C y P | 29 |
| Tabla 2.2 Servicio de Reparación Taller C y P..... | 30 |
| Tabla 2.3 Servicio de Entrega Taller C y P | 30 |
| Tabla 2.4 Variables Críticas del Subproceso O4.3 Taller de Servicio de C y P | 33 |
| Tabla 2.5 Resumen Datos Vehículos 2014..... | 35 |
| Tabla 2.6 Clasificación Criterio de Daño 2014 | 36 |
| Tabla 2.7 Preguntas y Temas Claves ISC | 37 |
| Tabla 2.8 Resultados Encuestas ISC 2014..... | 38 |
| Tabla 2.9 Resumen Retrabajos 2014..... | 38 |
| Tabla 2.10 Resumen de KPI's Resultantes 2014 | 39 |
| Tabla 2.11 Impacto Económico Taller C y P SM..... | 40 |
| Tabla 2.12 Datos Iniciales del Diagrama de Pareto | 41 |
| Tabla 2.13 Lluvia de Ideas de las posibles causas de la baja productividad e incumplimiento de fecha promesa entrega de las unidades..... | 42 |
| Tabla 2.14 Matriz de Identificación de las principales causas de la baja productividad e incumplimiento de fecha promesa de entrega de las unidades | 44 |
| Tabla 2.15 Planteamiento de soluciones a las causas raíces de la baja productividad e incumplimiento de la fecha promesa de entrega | 46 |
| Tabla 2.16 Matriz FACTIS de Priorización de Contramedidas | 47 |
| Tabla 2.17 Puntuación según Metodología FACTIS de las soluciones propuestas para aumentar la productividad y cumplir con la fecha promesa de entrega..... | 47 |
| Tabla 2.18 Priorización de Contramedidas utilizando FACTIS | 48 |
| Tabla 3.1 Variables del Sistema a Simular..... | 49 |

| | |
|---|----|
| Tabla 3.2 Resultados Análisis ANOVA Tiempo Entre Llegadas según Marca de Vehículo | 51 |
| Tabla 3.3 Resultados Análisis ANOVA Tiempo de Desarmado según Tipo de Daño... | 52 |
| Tabla 3.4 Resultados del Resumen de Datos del Tiempo Entre Llegadas | 54 |
| Tabla 3.5 Resultados Pruebas Chi-Cuadrado y K-S del Tiempo Entre Llegadas | 54 |
| Tabla 3.6 Elección Mejor Distribución Tiempo Entre Llegadas..... | 55 |
| Tabla 3.7 Distribución Estadística del Tiempo Entre Llegadas..... | 55 |
| Tabla 3.8 Distribuciones Estadísticas de Procesos de Reparación Únicos (hrs) | 55 |
| Tabla 3.9 Distribuciones Estadísticas de Procesos de Daño Leve (hrs)..... | 56 |
| Tabla 3.10 Distribuciones Estadísticas de Procesos de Daño Medio (hrs)..... | 56 |
| Tabla 3.11 Distribuciones Estadísticas de Procesos de Daño Fuerte (hrs) | 56 |
| Tabla 3.12 Tabla Resumen Proporción Reparación Mecánica..... | 57 |
| Tabla 3.13 Tabla Resumen Proporción Retrabajos..... | 58 |
| Tabla 3.14 Tabla Resumen Proporción Tipo de Daño | 58 |
| Tabla 3.15 Tabla Resumen Proporción Tipo de Cliente | 58 |
| Tabla 4.1 Atributos del Sistema | 60 |
| Tabla 4.2 Horarios del Sistema..... | 60 |
| Tabla 4.3 Entidades Estáticas del Sistema | 61 |
| Tabla 4.4 Colas del Sistema | 62 |
| Tabla 4.5 Estaciones del Sistema..... | 63 |
| Tabla 4.6 Variables del Sistema | 63 |
| Tabla 5.1 Resultados del Primer Agrupamiento del Sistema | 75 |
| Tabla 5.2 Resumen del Número de Observaciones Necesarias del Sistema..... | 76 |
| Tabla 5.3 Resultados del Segundo Agrupamiento del Sistema..... | 76 |
| Tabla 5.4 Intervalos de Confianza del Sistema | 76 |
| Tabla 5.5 Intervalos de Observaciones Requeridas del Sistema | 77 |
| Tabla 5.6 Longitud de Réplica Calculada..... | 77 |
| Tabla 5.7 Resultados del Primer Agrupamiento del Sistema [LR Óptima]..... | 78 |
| Tabla 5.8 Resultados del Segundo Agrupamiento del Sistema [LR Óptima]..... | 78 |

| | |
|---|----|
| Tabla 5.9 Resultados Cantidad Vehículos Reparados Modelo..... | 79 |
| Tabla 5.10 Resultados Cantidad Vehículos Reparados Taller | 79 |
| Tabla 6.1 Solución Óptima..... | 83 |
| Tabla 7.1 Costos Preparación del Modelo | 85 |
| Tabla 7.2 Costos Requerimiento Personal..... | 86 |
| Tabla 7.3 Costos Requerimiento Equipos y Herramientas | 86 |
| Tabla 7.4 Datos para el Flujo de Caja..... | 86 |
| Tabla 7.5 Flujo de Caja (en meses) | 87 |
| Tabla 7.6 Cálculo del Kp..... | 87 |
| Tabla 7.7 Indicadores de Rentabilidad..... | 88 |
| Tabla 7.8 Resultados Indicadores..... | 88 |



ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1.1 Proceso Lógico de Simulación de Sistemas..... | 10 |
| Figura 1.2 Metodología DMAIC..... | 11 |
| Figura 1.3 Formato Diagrama Ishikawa | 15 |
| Figura 2.1 Macro Proceso de la Empresa..... | 31 |
| Figura 2.2 Proceso O.4 Servicio de Postventa..... | 32 |
| Figura 2.3 Subproceso O4.3 Taller de Servicio de C y P | 32 |
| Figura 2.4 Flujoograma de Actividades del Servicio C y P..... | 34 |
| Figura 2.5 Comparación Vehículos Ingresados vs Vehículos Reparados | 35 |
| Figura 2.6 Clasificación Tipo Cliente..... | 36 |
| Figura 2.7 Clasificación Tipo de Daños 2014..... | 37 |
| Figura 2.8 Área Retorno Retrabajos | 39 |
| Figura 2.9 Diagrama de Pareto del Proceso de Reparación | 41 |
| Figura 2.10 Diagrama Ishikawa para la baja productividad e incumplimiento de fecha promesa de entrega de las unidades | 43 |
| Figura 2.11 Análisis 5 porqués respecto a los cuellos de botella | 45 |
| Figura 2.12 Análisis 5 porqués respecto a los retrabajos..... | 45 |
| Figura 2.13 Análisis 5 porqués respecto a las ampliaciones de trabajo | 46 |
| Figura 3.1 Distribución Estadística del Tiempo Entre Llegadas..... | 53 |
| Figura 4.1 Bloques de creación y flujo inicial de vehículos..... | 65 |
| Figura 4.2 Bloques del proceso de recepción de un vehículo | 65 |
| Figura 4.3 Bloques del proceso de valuación, aprobación y asignación de un vehículo | 67 |
| Figura 4.4 Bloques del proceso de desarmado de una unidad..... | 68 |
| Figura 4.5 Bloques del proceso de reparación mecánica de una unidad | 68 |
| Figura 4.6 Bloques del proceso de carrocería de una unidad | 69 |
| Figura 4.7 Bloques del proceso de preparación de una unidad..... | 69 |
| Figura 4.8 Bloques del proceso de pintado de una unidad..... | 70 |
| Figura 4.9 Bloques del proceso de armado de una unidad | 71 |

| | |
|--|----|
| Figura 4.10 Bloques del proceso de pulido de una unidad..... | 71 |
| Figura 4.11 Bloques del proceso de lavado y secado de una unidad..... | 71 |
| Figura 4.12 Bloques del proceso de control de calidad de un vehículo | 72 |
| Figura 4.13 Bloques del proceso de entrega y salida de un vehículo..... | 73 |
| Figura 5.1 Periodo de Calentamiento/Estabilidad para el Tiempo de Reparación de un Vehículo..... | 75 |
| Figura 7.1 Cronograma Implementación del Proyecto | 88 |



INTRODUCCIÓN

En el Perú, el negocio de Carrocería y Pintura para vehículos es un servicio con un gran potencial de crecimiento y que además actualmente representa una porción significativa en cuanto a ingresos para las empresas que cuentan con dicho servicio. Ahora, la empresa XYZ ofrece dicho servicio en distintos concesionarios, de los cuales, el taller ubicado en el distrito de San Miguel es el que mayores ingresos genera a la compañía. Por lo tanto, en el presente estudio se aplicará la simulación de operaciones para construir un modelo de este taller que permita obtener una optimización del uso de recursos y de esta manera, aumentar la rentabilidad del taller y de la empresa.

En el primer capítulo se incluyen todos los conceptos teóricos necesarios para la comprensión y desarrollo del proyecto, empezando por investigaciones ya realizadas sobre proyectos de mejora utilizando simulación. Luego, se ahonda en los conceptos de simulación de operaciones, herramientas de calidad a utilizar para el análisis de la problemática, herramientas estadísticas a y finalmente se describirá la herramienta tecnológica a utilizar para el desarrollo del modelo, el *software Arena*.

En el segundo capítulo se describe la situación de actual de la empresa en el país detallando todos los procesos que taller de Carrocería y Pintura sigue. Así mismo, se detalla la problemática actual del taller y se realiza un diagnóstico utilizando la metodología DMAIC con la cual se propondrá la mejora para la causa raíz del principal problema del concesionario.

En el tercer capítulo se indica cómo ha sido realizada la recolección de los datos de entrada y luego se muestra el análisis de dichos datos, el cual consiste en dos partes: elaborar un análisis de la varianza entre los datos y determinar una distribución estadística que se ajuste a los tiempos de los *inputs*.

En el cuarto capítulo se establecen los supuestos del modelo, así como todos los elementos y bloques necesarios para la construcción del mismo. Para luego describir la lógica empleada en la elaboración del modelo en el *software Arena*.

En el quinto capítulo se analizan los principales indicadores obtenidos de la simulación para luego validar la conformidad de los mismos comparándolos con los indicadores reales del taller.

En el sexto capítulo se plantea la propuesta óptima a implementar en el taller definiendo los parámetros necesarios para ser consecuente con la realidad del taller.

En el séptimo capítulo se realiza la evaluación económica de implementar la mejora utilizando los conceptos del periodo de recuperación de inversión.

Finalmente, en el octavo capítulo se detallan las conclusiones y recomendaciones del estudio realizado.



CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se desarrollarán punto a punto los fundamentos teóricos a utilizar en el proyecto incluyendo los antecedentes de otros estudios de mejora de procesos utilizando simulación, la definición de simulación de sistemas, el software que se aplicará en el proyecto y también las herramientas de calidad y estadísticas a utilizar.

1.1 Antecedentes

Como análisis previo a la realización del presente estudio, a continuación se presentarán dos casos en los cuales se ha aplicado la Simulación de Operaciones para desarrollar proyectos de mejora en el sector automotriz:

a) **Planeamiento basado en la simulación de actividades de mantenimiento de la industria automotriz.**

Según Maheshwaran Gopalakrishnan, Christop Laroque y Anders Skoogh (2013), en el presente ensayo se aplica la Simulación de Sistemas para el planeamiento de actividades de mantenimiento de una empresa automotriz.

Los autores inician la investigación basándose en la siguiente premisa: Las fábricas de todo el mundo no utilizan su capacidad existente a un nivel satisfactorio ya que varios estudios indican una eficiencia promedio total del equipo (OEE) de alrededor del 55% en la industria manufacturera. Para los expertos, la razón principal del bajo OEE es el tiempo de inactividad de las máquinas que lleva a pérdidas del sistema. Este artículo discute un enfoque para integrar las estrategias de mantenimiento en una producción planificada utilizando simulación de eventos discretos. El objetivo es investigar cómo y en qué parte del proceso de planificación las estrategias de mantenimiento se pueden utilizar y cómo dichas estrategias influyen en el rendimiento de la producción.

El enfoque realizado por los investigadores se ejemplifica en un estudio del mercado automotor, integrando estrategias de mantenimiento en un modelo de simulación para confirmar la toma de decisiones sobre cómo las órdenes de reparación deben ser priorizadas para incrementar el rendimiento de la producción. La empresa elegida como caso de estudio produce componentes para autos y el subsistema bajo investigación es delimitado por el proceso de la línea de manufactura de dichos

componentes. La línea mencionada cuenta con 11 operaciones conectadas, 15 máquinas a utilizar para las distintas actividades y 4 operarios encargados de distintas áreas de la línea. La tarea principal realizada por los operadores es la reparación de las fallas que se presenten en las máquinas, que es básicamente el porqué del estudio. También se menciona en el ensayo que las reparaciones son ejecutadas siguiendo la regla de prioridad *First-Come-First-Served*, que para el estudio, es el modelo de referencia.

Para el desarrollo del experimento, se planteó tres escenarios, cada uno de ellos con diferentes estrategias de mantenimiento para luego ejecutarlos en distintos modelos de simulación. En el primer escenario se planteó que los operarios realicen la reparación basándose en la importancia que la máquina tenía para el sistema, donde la reparación de una máquina es interrumpida si otra de mayor prioridad se malogra. En el segundo escenario se planteó que la carga de trabajo de los operarios sea nivelada derivando responsabilidades a otros operarios de otras áreas de la línea. En el tercer y último escenario se planteó una situación óptima donde los operadores actúan como un equipo y cada uno de ellos es capacitado para reparar cualquiera de las máquinas. Una vez definido cada escenario, se empezó con la modelación de cada caso. Cabe resaltar que en cada simulación los autores utilizaron un tiempo de calentamiento de 8 horas, un tiempo de corrida de 1 semana laboral (168 horas), y en cada corrida se utilizó 10 réplicas para la recolección de datos necesarios para el análisis final. Luego de ejecutar los modelos, y a partir de los resultados del modelo base, se analizaron los cuellos de botella del sistema de producción usando los siguientes métodos: El método de utilización, el método de tiempo de espera y el método de utilización teórica.

Finalmente, en la investigación se realizó la comparación respectiva con los tres escenarios propuestos y se determinó que el mejor escenario a escoger es el tercero, en el cual se propone la capacitación de los técnicos para que todos sepan cómo reparar cualquiera de las máquinas, escenario en el cual los resultados muestran que la introducción de la planificación basada en prioridades de las actividades de mantenimiento tiene un potencial para aumentar la productividad en aproximadamente un 5%, que se consigue sin ningún esfuerzo adicional. Adicionalmente, los autores concluyen que existe la posibilidad de incrementar la productividad en 11% acostumbrando a los operarios a trabajar en equipo.

b) Simulación basada en la evaluación del control de la carga de trabajo para una compañía de la industria automotriz

Según Patrick Kirchof, Nicolas Meseth y Thomas Witte (2008), en este ensayo se aplica la Simulación de Sistemas dentro de una compañía automotriz alemana que enfrenta la necesidad de mejorar la fiabilidad de la entrega.

La intención del estudio realizado fue evaluar si el control de la carga de trabajo (WLC) es aplicable como política de control para la compañía y si realmente se puede esperar mejora alguna. Por lo tanto, la planta de producción será modelada en base a la carga de trabajo del sistema de producción. Cabe resaltar que la compañía analizada cuenta con 14 grupos de máquinas que producen en total 6 tipos de ítems, donde el tiempo de operación depende directamente del tipo de producto que se esté fabricando.

Así, los autores determinan que la simulación del modelo será realizado utilizando el Software Arena y siguiendo el criterio de prioridad *FCFS*. Luego, se delimita para la estructura del modelo que las órdenes de trabajo son generadas con tiempos individuales para cada ítem (con su respectiva distribución estadística). A su vez, se plantean atributos relevantes para el sistema como fecha de entrega o la cantidad de orden asignada y para analizar la influencia de las órdenes urgentes sobre el performance del sistema, estas serán consideradas también.

Después de generar la estructura del modelo se realizó 90 corridas, cada una con una longitud de 300 días, incluyendo un periodo de calentamiento de 100 días. Y los resultados que se obtuvieron a partir de la simulación fueron los siguientes: Se obtuvo un lead time de 3.6 días con una desviación estándar de 0.8, mientras que el tiempo de producción por orden es de 1.3 días, lo que significa que el tiempo de entrega de un producto es tres veces más grande que el tiempo de producción del mismo. Lo que se confirma en el porcentaje de confiabilidad de entrega, que es exactamente 98.8%, incluyendo pedidos urgentes, cuyo tiempo de entrega es de 4 días. Aparentemente, la adaptación de la fecha de entrega a las reglas de priorización ha facilitado y mejorado el tiempo de despacho.

En conclusión, este estudio de simulación realizado por el expertos es un buen ejemplo de como la simulación de operaciones facilita una decisión complicada sobre un proceso ya que en base a los resultados obtenidos de ejecutar el modelo se puede

obtener información detallada del performance de la operación y a partir de esos datos establecer una política de control de carga de trabajo.

1.2 Simulación de Sistemas

En este punto, se incluirá todo lo que compete a la simulación de sistemas, incluyendo la definición, los tipos de modelos de simulación, la simulación de eventos discretos, los elementos de una simulación de eventos discretos y finalmente metodología de un estudio de simulación.

1.2.1 Definición

Para Banks (2010), una simulación es la imitación de las operaciones de un proceso o sistema real a través del tiempo, siendo realizada a mano o en su defecto utilizando una computadora. También, la simulación incluye la creación de un modelo artificial de un sistema y la obtención de conclusiones relacionadas a las características de los procesos del sistema real a partir de la observación del modelo. Dicho modelo usualmente adquiere la forma de los supuestos relacionados a las operaciones del sistema. Cabe resaltar que estos supuestos son expresados matemáticamente, lógicamente o mediante una relación simbólica entre los objetos de interés del sistema. Luego de que el modelo es desarrollado y validado, se puede utilizar para investigar posibles cambios en el sistema actual. En resumen, la simulación de sistemas puede ser utilizada como una herramienta de análisis para pronosticar los efectos de los cambios de un sistema real y también como una herramienta de diseño para predecir el performance de un nuevo sistema.

Según Kelton (2010), la simulación hace referencia a una gran colección de métodos y aplicaciones para emular el comportamiento de un sistema real, usualmente utilizando una computadora con un software adecuado.

Mientras que para Altiok (2007), la simulación es una herramienta fundamental para el modelamiento y el análisis de sistemas complejos debido a que la gran mayoría de sistemas reales son muy difíciles de estudiar utilizando modelos analíticos por lo complicado del método de solución. Sin embargo, un modelo de simulación puede ser creado y ejecutado para generar resultados que producen información estadística útil de las operaciones del sistema.

Entonces, la simulación de sistemas es una herramienta que se utiliza para emular un sistema real cuya finalidad es proponer mejoras y optimizar los procesos sin la necesidad de realizar cambios en el sistema real.

A continuación se plantearán las ventajas y desventajas que se obtienen del desarrollo de un modelo de simulación de sistemas:

- *Ventajas*
 - ✓ Los resultados de un modelo de simulación pueden ser verificados inmediatamente con los resultados del sistema real.
 - ✓ El desarrollo de un modelo de simulación ayuda a comprender mejor el sistema real totalmente.
 - ✓ Permite la experimentación de nuevos métodos modificando procesos en el modelo sin la necesidad de realizar ni un cambio al sistema real.
 - ✓ Se pueden realizar búsquedas de cuellos de botella con la información de cada proceso del modelo de simulación.
 - ✓ Ahorro de dinero simulando mejoras sin la necesidad de ejecutarlas en el sistema real.
- *Desventajas*
 - ✓ Usualmente los costos de desarrollo del modelo son elevados y demandan una gran cantidad de Horas-Hombre.
 - ✓ Los resultados de la simulación pueden ser difíciles de interpretar.
 - ✓ El desarrollo de un modelo requiere de personal capacitado con conocimientos vastos de la simulación de sistemas.

1.2.2 Tipos de Modelos de Simulación

Los modelos de simulación pueden ser clasificados de distintas maneras. Sin embargo el mejor método a seguir es catalogarlos en las siguientes 3 dimensiones: en el tiempo, mediante las variables de estados del sistema y la aleatoriedad de los datos

En cuanto al tiempo, los modelos de simulación pueden ser clasificados en modelos estáticos o dinámicos. La diferencia radica en que los modelos estáticos se realizan en un punto particular del tiempo mientras que los modelos dinámicos se desplazan en el tiempo de un sistema.

Mientras que para las variables de estado del sistema, los modelos pueden ser clasificados en modelos discretos o continuos. En el caso de un modelo discreto, los eventos se dan en puntos específicos del tiempo en los cuales los valores de las variables de estado se actualizan. En cambio, en un modelo continuo las variables de estado varían continuamente respecto al tiempo.

En el caso de la aleatoriedad de los datos, los modelos pueden ser clasificados en modelos determinísticos o estocásticos. Para los modelos determinísticos las variables de entrada y salida son de naturaleza constante a diferencia de los modelos estocásticos que poseen entradas y salidas aleatorias.

Finalmente, en cuanto a la investigación presente se desarrollará un modelo dinámico, estocástico y discreto.

1.2.3 Simulación de Eventos Discretos

La simulación de eventos discretos es la elaboración de un modelo donde las variables de estado varían solo en puntos específicos en el tiempo y poseen mayormente variables de entrada estocásticas. La simulación de estos modelos son analizados numéricamente debido a que los métodos de solución numérica emplean un procedimientos computacionales para obtener un resultado. En el caso específico de la simulación de sistemas, se debe de “correr” el modelo en lugar de resolverlos.

1.2.4 Elementos de una Simulación de Eventos Discretos

Para el correcto entendimiento y análisis de una simulación de eventos discretos, se necesitan definir los elementos que componen a todo sistema de modo que se utilice un lenguaje de simulación adecuado.

Los elementos son los siguientes:

- *Sistema*: Conjunto de elementos que interactúan a través del tiempo y poseen un objetivo u objetivos en común.
- *Modelo*: Representación simplificada del sistema real, surge del análisis de las variables que intervienen en el sistema y de las relaciones entre ellas.
- *Entidad*: Objeto o persona que viaja a través del sistema y provoca cambios en las variables del mismo. (Ejemplos: clientes, máquinas, etc.)
- *Atributos*: Características de la entidad (Ejemplos: peso, número de atención, etc.)

- *Actividad*: Acción realizada por la entidad.
- *Variables de Estado*: Representan las características del sistema, son globales y el valor que poseen se mantiene en todo el modelo.
- *Eventos*: Suceso que modifica el estado del sistema (Ejemplos: Cliente llega al restaurant)
- *Recursos*: Elemento estacionario que puede ser utilizado por una entidad. Cuentan con una serie de estados específicos como ocupado, inactivo, activo. (Ejemplos: cajero)
- *Colas*: Evento cuando una entidad se encuentre estática, usualmente esperando por la atención de un recurso.
- *Demoras*: Tiempo de servicio que otorga el recurso a la entidad.

1.2.5 Metodología de un Estudio de Simulación

Para realizar un óptimo estudio de simulación, como todo análisis científico se debe seguir una secuencia lógica para obtener los mejores resultados:

Como primera instancia, se debe definir el problema a solucionar para luego fijar los objetivos y el plan a seguir para cumplirlos. Como siguiente paso, se conceptualiza el modelo inicial y se inicia con la recopilación de datos y su validación respectiva. Después, se debe diseñar el modelo y ejecutarlo hasta que los outputs obtenidos posean una relación coherente con el sistema real. Finalmente, se documentan los resultados y se presentan para luego realizar la implementación del modelo.

La metodología previamente descrita está ubicada en la Figura 1.1:

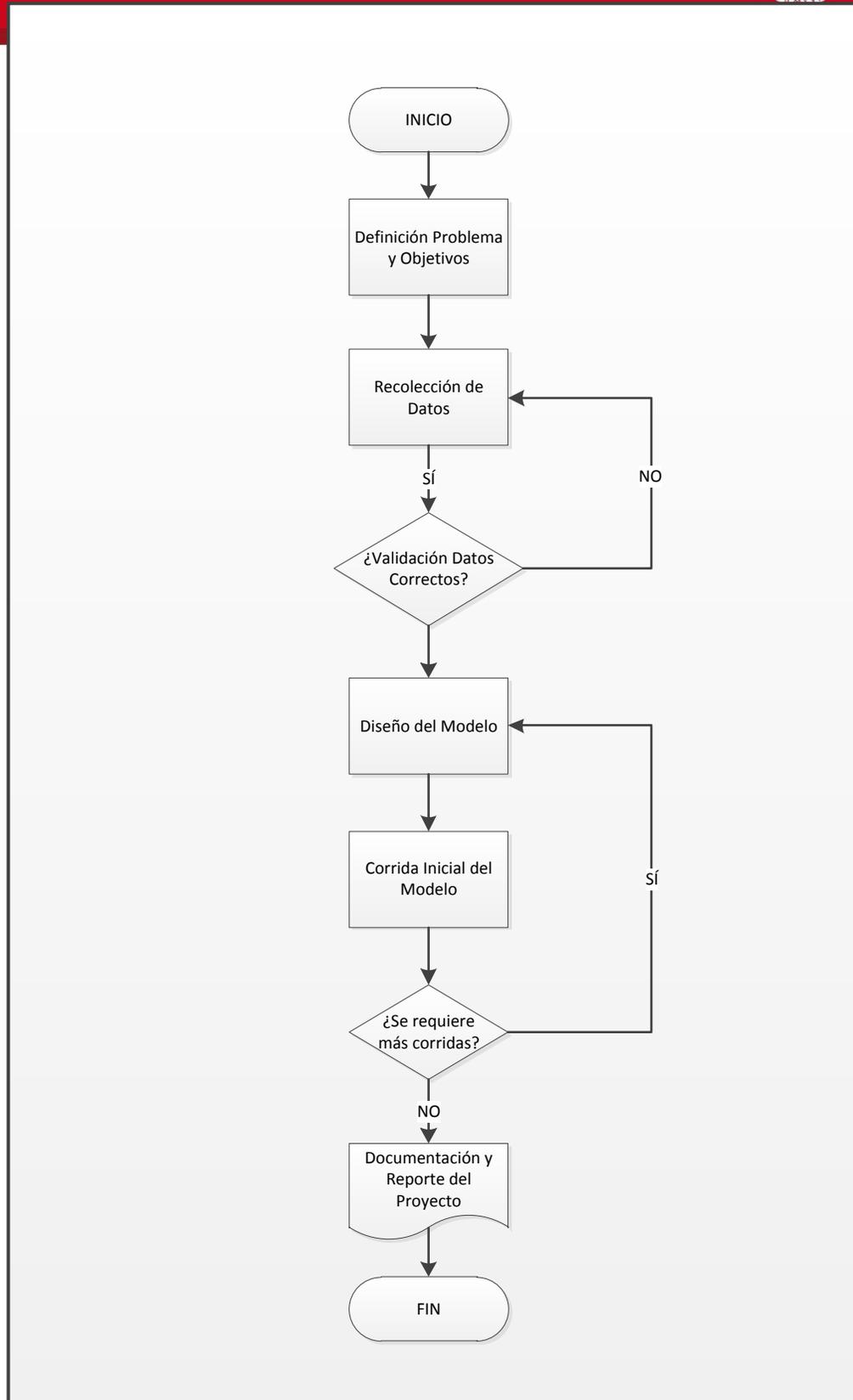


Figura 1.1 Proceso Lógico de Simulación de Sistemas
Fuente: Banks (2010); elaboración propia

1.3 Seis Sigma

Según Escalante (2003), Seis Sigma es la representación de una métrica, una filosofía de estudio y un objetivo. Como Métrica, debido a que Seis Sigma mide el desempeño de procesos. Como filosofía de estudio, debido a que se busca el mejoramiento continuo de procesos. Y como meta, debido a que un proceso con nivel de Calidad Seis Sigma significa tener un proceso que no genera productos defectuosos. Para desarrollar exitosamente un programa Seis Sigma se debe seguir una serie de fases. La unión de dichas fases se conoce como la Metodología DMAIC.

1.3.1 Metodología DMAIC

Para Escalante (2003) la Metodología DMAIC, como herramienta del Seis Sigma, se enfoca en la mejora incremental de procesos. El nombre DMAIC se debe a las siglas en inglés para definir, medir, analizar, mejorar y controlar.

En la figura 1.2 se muestra el proceso lógico a seguir utilizando la metodología mencionada:



Figura 1.2 Metodología DMAIC

Fuente: Escalante (2003)

Para un mejor entendimiento de la relación entre las etapas de la metodología, a continuación se definirán las etapas del proceso DMAIC a utilizar en el proyecto:

- a) **Definir:** En esta etapa del proceso DMAIC se definen los objetivos más relevantes para la actividad a mejorar. En esta etapa se utilizan herramientas como:
- Diagramas de Procesos: Se define desde el nivel más alto del proceso, es decir, desde el macro proceso para identificar el área a mejorar hasta los subprocesos para indicar los factores críticos de los procesos.
- b) **Medir:** En esta etapa del proceso DMAIC se definen el proceso y los elementos que le corresponden, se inicia la recopilación de datos para evaluar su estado actual y provee la información requerida para las etapas de analizar y mejorar.
- c) **Analizar:** En esta etapa del proceso DMAIC se realiza el análisis de la situación actual del sistema en base a los indicadores previamente obtenidos en la etapa anterior. En esta etapa se utilizan herramientas como:
- Diagramas de Pareto
 - Lluvia de ideas (Brainstorming)
 - Diagrama Ishikawa
 - 5 porqués
 - Matriz FACTIS

Los resultados del análisis proveen las causas raíces de un mal performance del proceso, en base a las causas obtenidas se pueden plantear las contramedidas adecuadas.

1.4 Herramientas de Calidad

En este punto del marco teórico se incluirán todas las herramientas de calidad a utilizar en el proyecto incluyendo el mapa de procesos, diagrama de Pareto, lluvia de ideas, diagrama de Ishikawa, 5 porqués y matriz de decisión FACTIS.

1.4.1 Mapa de Procesos

Es la representación gráfica que define y refleja la estructura y relación de los distintos procesos del sistema de gestión de una organización para lo cual se debe identificar los procesos que intervienen. Cabe resaltar que todo procedimiento puede ser descrito mediante un diagrama o mapa de procesos, desde una empresa manufacturera hasta una empresa de servicios.

Adicionalmente, existe una jerarquía dentro del mapa de procesos, y sus elementos a utilizar en el proyecto son:

- Macro Proceso: Es el conjunto de procesos interrelacionados de la organización que ayudan a cumplir con la misión de la empresa. Estos procesos son estratégicos, operativos y de soporte
- Procesos: Es el conjunto de actividades interrelacionadas de un proceso determinado que transforman entradas en salidas con valor agregado para los usuarios.
- Actividades: Es el conjunto de tareas interrelacionadas que garantizan el resultado esperado del proceso.

1.4.2 Diagrama de Pareto

Según Pyzdek (2000), el análisis de Pareto es el proceso de priorizar oportunidades para determinar cuál de todas las oportunidades debe ser colocada primero. También el autor lo describe como “separar los pocos vitales de los muchos triviales”.

Mientras que para Tague (2005), Pareto es una gráfica de barras donde la longitud de cada barra representa la frecuencia o costo, y son ordenados desde la barra más larga hasta la barra más corta de izquierda a derecha.

Entonces, el diagrama de Pareto consiste en una gráfica de barras ordenadas de mayor a menor, en donde cada barra tiene un determinado peso. Adicionalmente, esta herramienta se utiliza para:

- Analizar data sobre la frecuencia de problemas o causas en un proceso.
- Cuando existen múltiples problemas o causas y se requiere determinar cuál es el más significativo.
- Finalmente, según Escalante (2003) para la elaborar un diagrama de Pareto se deben seguir los siguientes pasos:
 - Determinar las categorías de Pareto para el gráfico.
 - Definir un intervalo de tiempo significativo (bastante amplio) para el análisis.
 - Determinar el total de ocurrencias para cada categoría y el total general.
 - Calcular el porcentaje que representa cada categoría del total.
 - Ordenar de mayor a menor en base a la cantidad de ocurrencias de cada actividad.
 - Calcular el porcentaje acumulado de cada categoría.

- Elaborar un cuadro con dos ejes verticales. En el eje izquierdo se representarán las ocurrencias y en el derecho el porcentaje acumulado.
- Ubicar en el eje horizontal las categorías respectivas.
- Observar que las categorías que se encuentren más pegadas al eje vertical izquierdo representan el mayor porcentaje acumulado.

1.4.3 Lluvia de Ideas

Según Tague (2005), el *Brainstorming* o “Lluvia de Ideas” es un método para generar un gran número de ideas en un corto periodo de tiempo. Entonces, dicha herramienta debe ser utilizada cuando se requiere encontrar un gran número de opciones, encontrar ideas originales o cuando la participación de un grupo entero es requerida.

El procedimiento para realizar una correcta lluvia de ideas es el siguiente:

- Evaluar la problemática a discutir, para realizar esto el tema a estudiar debe estar en forma de interrogante.
- Confirmar que todos los participantes del *Brainstorming* conozcan del tema.
- Otorgar un lapso de tiempo para que cada participante ordene sus ideas y reflexionen sobre el tema en cuestión.
- Estimular a que todos los miembros participantes mencionen sus ideas.
- Continuar con el paso anterior hasta que se agoten totalmente las ideas de cada participante.

1.4.4 Diagrama Ishikawa

Para Pyzdek (2000), el diagrama de Ishikawa o de Causa-Efecto es una herramienta que se utiliza para organizar y mostrar gráficamente las posibles causas de un problema en particular.

Mientras que para Escalante (2003), el diagrama de Ishikawa muestra las posibles causas sobre un problema en específico. También, se detalla que dicho diagrama puede estar ligado con uno o más factores catalogados como las 6 M's que son las siguientes:

- Métodos: Procedimientos que se realizan en el proceso productivo.
- Mano de Obra: Personal que realiza cada proceso de la empresa.
- Materia Prima: Material necesario para la fabricación de un producto.

- Medición: Elementos utilizados para evaluar los procesos y productos.
- Medio Ambiente: Condiciones del lugar de trabajo.
- Maquinaria y Equipos: Elementos que permiten la elaboración de un producto.

Asimismo, según Tague (2005), para elaborar correctamente un diagrama de Causa-Efecto se deben seguir los siguientes pasos:

- Acordar un problema a evaluar (efecto).
- Realizar una “Lluvia de Ideas” de la mayor cantidad de causas del problema previamente definido.
- Organizar las posibles causas en base a los factores de las 6 M's.
- Construir el diagrama de Espinas de Pescado organizándolo en base a los puntos anteriores.

En la figura 1.3 se muestra el Diagrama de Ishikawa a utilizar:

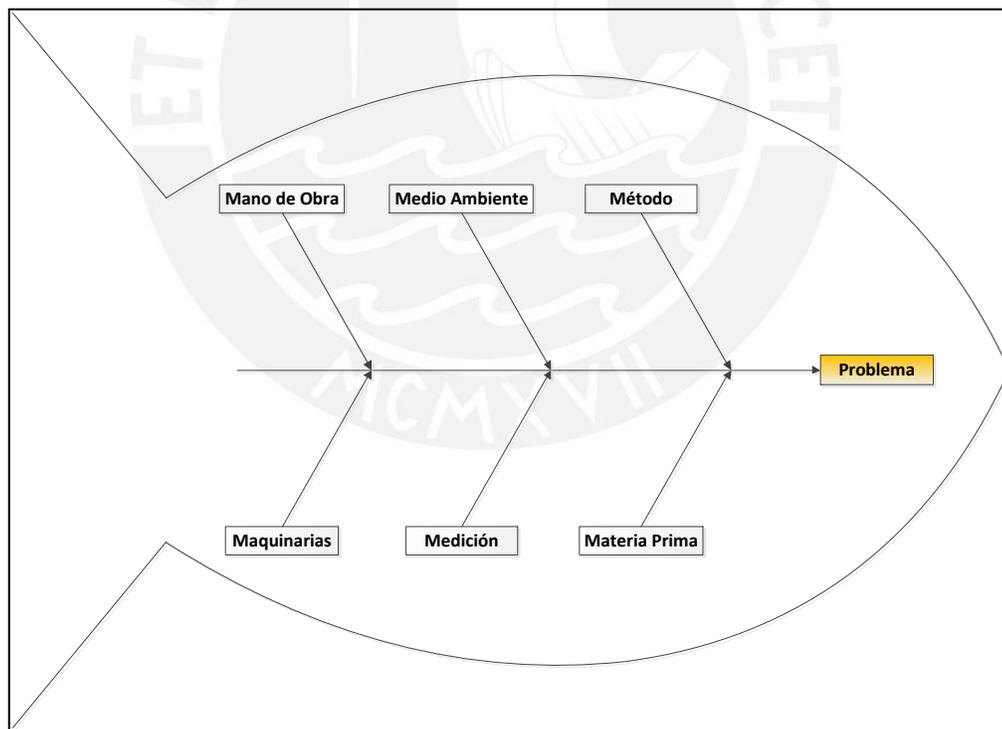


Figura 1.3 Formato Diagrama Ishikawa

Fuente: Escalante (2003)

1.4.5 Método de los 5 porqués

Para Tague (2005), el diagrama de los 5 porqués sirve para identificar la causa raíz de un problema en especial. Adicionalmente, este método ayuda a su vez a reconocer el entorno en general donde ocurre el problema y la relación estrecha que posee con las causas.

Para el desarrollo de este método se debe seguir los siguientes pasos:

- Establecer un problema cuyas causa raíz se requiera encontrar.
- Empezar con la serie sucesiva de preguntas “¿por qué?”
- Cuando ya no se puede contestar una de las preguntas significa que se ha llegado a la causa raíz del problema.

1.4.6 Matriz de Decisión FACTIS

Según Tague (2005), una matriz de decisión evalúa y prioriza una lista de opciones. Primero, el equipo de evaluación establece los criterios de la matriz y le otorga un determinado peso para luego evaluar cada opción con los criterios. El objetivo principal de utilizar esta herramienta es encontrar la opción más viable y con mayor peso de ponderación. Entonces, el procedimiento para realizar una matriz FACTIS es el siguiente:

- Definir la ponderación de la matriz:

Tabla 1.1 Matriz de Decisión FACTIS

| MATRIZ FACTIS | | | | |
|------------------------|--|----------------|--------------------|------------|
| Criterios de Selección | | | Ponderación (Peso) | |
| F | Facilidad para solucionarlo | | | 1-6 |
| | 1: Difícil | 2: Fácil | 3: Muy Fácil | |
| A | Afecta a otras áreas su implementación | | | 1-6 |
| | 1: Nada | 2: Medio | 3: Sí | |
| C | Mejora la calidad | | | 1-6 |
| | 1: Poco | 2: Medio | 3: Mucho | |
| T | Tiempo que implica solucionarlo | | | 1-6 |
| | 1: Largo plazo | 2: Medio plazo | 3: Corto Plazo | |
| I | Inversión requerida | | | 1-6 |
| | 1: Alta | 2: Media | 3: Baja | |
| S | Mejora la seguridad industrial | | | 1-6 |
| | 1: Poco | 2: Medio | 3: Mucho | |

Fuente: Tague (2005)

- Otorgar un peso a cada opción (1-3).
- Realizar una multiplicación entre el peso otorgado a cada opción y el peso de cada criterio.
- Elegir la opción con mayor peso obtenido.

1.5 Herramientas Estadísticas

En este punto se definirán las herramientas estadísticas a utilizar en el proyecto incluyendo temas como muestreo aleatorio, distribuciones de probabilidad, pruebas de hipótesis, criterios p-value, pruebas de bondad de ajuste y análisis de la varianza.

1.5.1 Muestra Aleatoria

a) Definición

Para Córdova (2003), se llama muestra a una parte de la población a investigar. Dicha muestra debe ser elegida de tal manera que sea representativa de la población con el objetivo de obtener inferencias estadísticas.

Entonces una muestra es la representación de subconjuntos o partes de una población que describen las principales características y propiedades de dicha población.

b) Estadísticos Básicos

Se denomina estadísticos a las medidas descriptivas definidas en una muestra aleatoria. Los estadísticos a utilizar y los más importantes son los siguientes:

- Media muestral: $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$
- Varianza muestral: $s^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$
- Desviación muestral: $S_n = \sqrt{s_n^2}$
- Proporción muestral: $\bar{p} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$

c) Tamaño de Muestra

Se debe distinguir tres supuestos: el tamaño de la población (finita o infinita), el estadístico que desea estimar (media o proporción) y si la varianza es conocida o

desconocida. Entonces, para estimar el tamaño de muestra de la media con varianza desconocida en:

$$\begin{aligned} \text{➤ Población Infinita: } n &= \frac{(z_{1-\alpha/2} s)^2}{e^2} \\ \text{➤ Población Finita: } n &= \frac{N(z_{1-\alpha/2} s)^2}{(z_{1-\alpha/2} s)^2 + e^2(N-1)} \end{aligned}$$

Donde:

- n es el tamaño de la muestra.
- N es el tamaño de la población conocida.
- z es el nivel de confianza.
- s es la desviación estándar de la muestra
- e es la precisión que se desea.

Y para estimar el tamaño de muestra de la proporción con varianza desconocida en:

$$\begin{aligned} \text{➤ Población Infinita: } n &= \frac{z_{1-\alpha/2}^2 \bar{p}(1-\bar{p})}{e^2} \\ \text{➤ Población Finita: } n &= \frac{N z_{1-\alpha/2}^2 \bar{p}(1-\bar{p})}{z_{1-\alpha/2}^2 \bar{p}(1-\bar{p}) + e^2(N-1)} \end{aligned}$$

Donde:

- n es el tamaño de la muestra.
- N es el tamaño de la población conocida.
- z es el nivel de confianza.
- \bar{p} es la proporción esperada.
- e es la precisión que se desea.

1.5.2 Distribuciones de Probabilidad

Para Córdova (2003), el comportamiento de una variable aleatoria es descrito por la distribución de probabilidad que especifica su forma y parámetros.

Se pueden definir múltiples distribuciones de probabilidad que siguen tanto las variables discretas como las variables continuas, sin embargo, para el desarrollo del estudio de simulación solo serán empleadas las siguientes distribuciones:

- i. Distribuciones Discretas:
 - Geométrica
 - Poisson
- ii. Distribuciones Continuas:
 - Uniforme
 - Gamm
 - Triangular
 - Weibull
 - Exponencia
 - Normal
 - Erlang
 - Lognormal
 - Beta
 - Johnson

1.5.3 Pruebas de Hipótesis

Básicamente al realizar pruebas de hipótesis, se parte de un valor supuesto que describe un parámetro de la población y se concluye con la toma de la decisión de rechazar o no rechazar la conjetura inicial.

Para realizar una exitosa prueba de hipótesis se debe de seguir los siguientes pasos:

PASO 1. Se debe plantear la hipótesis nula y la hipótesis alternativa. La hipótesis nula (H_0) es el valor hipotético del parámetro que se compara con el resultado muestral mientras que la hipótesis alternativa (H_1) representa la suposición contraria a la hipótesis nula.

PASO 2. Se debe especificar el nivel de significancia a utilizar. Es decir, si el nivel de significancia es de 5%, entonces se rechaza la hipótesis nula solamente si el resultado calculado de la muestra es tan diferente del valor hipotético y pudiera ocurrir aleatoriamente con una probabilidad de 1.05 o menos.

PASO 3. Se elige la estadística de prueba, que es calculada a partir de los datos de la muestra, para calcular los valores críticos de dichos estadísticos.

PASO 4. Se compara el valor observado de la estadística muestral con el valor (o valores) críticos de la estadística de prueba para indicar si se acepta o se rechaza la hipótesis nula. Cabe resaltar que la distribución apropiada de la prueba estadística se divide en dos regiones: una región de **rechazo** y una de **no rechazo**. Si la prueba estadística cae en esta última región no se puede rechazar la hipótesis nula y se llega a la conclusión de que el proceso funciona correctamente.

PASO 5. Al tomar la decisión de aceptar o rechazar la hipótesis nula, existen cuatro posibles situaciones para determinar si es que la decisión tomada es la correcta o no. Además, dos de esas decisiones son acertadas y las otras dos erradas. Dichas decisiones se pueden visualizar en la tabla 1.2

Tabla 1.2 Consecuencias de las Decisiones en las Pruebas de Hipótesis

| | <i>H₀ verdadera</i> | <i>H₀ Falsa</i> |
|-------------------------|--------------------------------|----------------------------|
| Aceptar H ₀ | Decisión Acertada | Error Tipo II (β) |
| Rechazar H ₀ | Error Tipo I (α) | Decisión Acertada |

Fuente: Montgomery (2009)

1.5.4 Criterios P-value

Para Montgomery (2011), el *P-value* o valor P es el llamado nivel de significación observado, es decir, es la probabilidad de que el estadístico de la prueba conserve un valor tan extremo como el valor del estadístico cuando la hipótesis nula H₀ es verdadera. En la práctica, el nivel de significación se fija usualmente entre 0.01 - 0.05 y se rechaza la hipótesis nula si el valor de *P-value* es menor al valor inicialmente fijado.

1.5.5 Pruebas de Bondad de Ajuste

Las pruebas de bondad de ajuste se utilizan básicamente para validar que modelo estadístico se ajusta a un conjunto de datos. Es decir, la prueba compara la distribución de frecuencias observadas (F_o) de una variable con una distribución de frecuencias esperada (F_e) con la finalidad de determinar si existen diferencias estadísticamente significativas entre ambas.

Se parte de las siguientes premisas:

Hipótesis nula (H₀): F_o = F_e

Hipótesis alternativa (H₁): F_o ≠ F_e

Existen distintas pruebas de bondad de ajuste a emplear, para el estudio a realizar se utilizarán las siguientes:

a) Prueba Chi Cuadrado

Esta prueba se aplica a distribuciones continuas y discretas con un tamaño de muestras mayor o igual a 90 y posee el siguiente estadístico de prueba:

$$X_0^2 = \sum_{i=1}^K \frac{(o_i - e_i)^2}{e_i} \sim \chi^2(k-1)$$

Donde:

- X_0^2 es el valor de una variable aleatoria cuya distribución se aproxima a una distribución Chi-Cuadrado.
- o_i es el valor observado.
- e_i es el valor esperado según la distribución a la cual se aproxima.
- k es el número de categorías en n observaciones.

Finalmente, las hipótesis utilizadas son:

H_0 : La variable aleatoria x , se ajusta a la distribución planteada.

H_1 : La variable aleatoria x , no se ajusta a la distribución planteada.

Y se rechaza H_0 cuando: $X_0^2 > X_{\alpha, k-s-1}^2$

b) Prueba Kolmogorov-Smirnov

Esta prueba se aplica a distribuciones continuas indistintamente del tamaño de muestra y posee el siguiente estadístico de prueba:

$$D = \max |F_n(x_i) - F_0(x_i)|$$

Donde:

- x_i es el valor i -ésimo observado de la muestra.
- $F_n(x_i)$ es un estimador de la probabilidad de observar valores menores o iguales a x_i .

- $F_0(x_i)$ es la probabilidad de observar valores menores o iguales a x_i .

Finalmente, las hipótesis utilizadas son:

H_0 : La variable aleatoria x , se ajusta a la distribución planteada.

H_1 : La variable aleatoria x , no se ajusta a la distribución planteada.

Y se rechaza H_0 cuando: $\max |F_n(x_i) - F_0(x_i)| > D$

1.5.6 Análisis de la Varianza (ANOVA)

Según Córdova (2008), el análisis de la varianza de un factor (ANOVA) es aplicada para comprobar si es que son iguales las medias de dos o más poblaciones independientes. Es llamado de una vía porque analiza una sola variable independiente. Para el análisis de la ANOVA se necesita:

- Primero, se debe saber los siguientes supuestos:
 - Las k poblaciones son independientes.
 - Cada población sigue una distribución normal $N(u, \sigma^2)$.
 - Homocedasticidad, es decir la varianza es constante.
- Además, para el diseño de los datos de una ANOVA de una sola vía se utiliza la tabla 1.3:

Tabla 1.3 ANOVA de 1 vía

| Niveles o Tratamientos de un Factor A | | | | | | | Suma |
|---------------------------------------|----------------|----------------|------------|----------------|------------|----------------|----------------|
| 1 | 2 | ... | i | ... | k | | |
| X_{11} | X_{21} | ... | X_{i1} | ... | X_{k1} | | |
| X_{12} | X_{22} | ... | X_{i2} | ... | X_{k2} | | |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | | |
| X_{1n_1} | X_{2n_2} | ... | X_{in_i} | ... | X_{kn_k} | | |
| Total | $X_{1.}$ | $X_{2.}$ | ... | $X_{i.}$ | ... | $X_{k.}$ | $X_{..}$ |
| Ni | n_1 | n_2 | ... | n_i | ... | n_k | n |
| Medias | $\bar{X}_{1.}$ | $\bar{X}_{2.}$ | ... | $\bar{X}_{i.}$ | ... | $\bar{X}_{k.}$ | $\bar{X}_{..}$ |

Fuente: Córdova (2008)

Donde:

- X es una variable dependiente.
- k es el número de muestras aleatorias independientes.

c) También se debe plantear las siguientes pruebas de hipótesis:

$H_0: u_1 = u_2 = u_3 = \dots = u_k$

$H_1: Al menos dos medias poblacionales son diferentes.$

d) Adicionalmente, se debe conocer los siguientes estadísticos:

VARIACIÓN TOTAL RESPECTO A LA MEDIA GENERAL: $SCT = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c (X_{ij} - \bar{X})^2$

EFECTO DE LA MEDIA RESPECTO A LA MEDIA GENERAL: $SCA = \sum_{i=1}^r r_j (\bar{X}_i - \bar{X})^2$

VARIACIÓN DENTRO DEL TRATAMIENTO O VARIACIÓN DEL ERROR CADA VALOR RESPECTO A LA MEDIA DE SU TRATAMIENTO:

$SCE = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c (X_{ij} - \bar{X}_j)^2$

GRADOS DE LIBERTAD: $n - 1 = (n - k) + (k - 1)$

CUADRADOS MEDIOS:

MCT: Cuadrado medio total = $SCT / (n-1)$

MCA: Cuadrado medio del tratamiento = $SCA / (k - 1)$

MCE: Cuadrado medio del error = $SCE / (n - k)$

e) Finalmente se obtiene la tabla 1.4

Tabla 1.4 ANOVA Resumen de Datos

| Fuente de Variación | Suma de Cuadrados | Grados de Libertad | Medias Cuadráticas | Estadístico F |
|---------------------|-------------------|--------------------|--------------------|-----------------------------|
| Factor A | SCA | k-1 | MCA | $F_{cal} = \frac{MCA}{MCE}$ |
| Error | SCE | n-k | MCE | |
| Total | SCT | n-1 | MCT | |

Fuente: Córdova (2008)

1.6 Software Arena

En este punto se definirá el software a utilizar para realizar el proyecto, incluyendo también los bloques y elementos de dicho programa. También se definirán los sub-programas del *Arena* que son el *Input Analyzer*, *Output Analyzer* y *Optquest*.

1.6.1 Definición

Arena es un software desarrollado por *Rockwell Automation* y utilizado para la simulación de sistemas. Además contiene las funciones necesarias para desarrollar una simulación completa, es decir, Arena incluye comandos para el análisis de entrada, salida, verificación del modelo, entre otros complementos.

El objetivo principal de manejar Arena, es que con dicho software se observa y estudia resultados de cambios realizados en un sistema sin la necesidad de la implementarlos en tiempo real, ahorrando H-H y recursos.

1.6.2 Bloques y Elementos del Software Arena

Para la construcción de un modelo en Arena, se necesita utilizar un flujo de entidades para representar la secuencia lógica del proceso a simular y dichas entidades deben ser vinculadas entre sí utilizando conectores. Entonces, para armar un modelo óptimo se requiere el uso de bloques y elementos.

a) Bloques

Los bloques representan los procesos lógicos que sigue el modelo y deben de ser definidos antes de utilizarlos. Dentro, del total de bloques que permite utilizar Arena, para el presente trabajo se utilizarán los siguientes:

- *Assign*: Permite asignar valores a atributos o variables de las entidades.
- *Branch*: Permite el control del flujo de entidades y las envía a distintas ramas.
- *Count*: Cuenta las ocurrencias de determinados eventos.
- *Create*: Se emplea para iniciar el modelo, es decir la llegada de entidades al sistema.
- *Delay*: Es la representación del tiempo que el recurso atiende a la entidad.
- *Dispose*: Representa la salida de las entidades.
- *Group*: Agrupa un número determinado de entidades de forma permanente o temporal.
- *Queue*: Espera para las entidades, simula una cola.
- *Release*: Representa la des asignación de los recursos para atender a otra entidad.
- *Route*: Permite modelar la salida de entidades de una estación hacia otra.

- *Scan*: Detiene el flujo de entidades hasta que se cumpla una determinada condición.
- *Seize*: Asigna un recurso específico a una entidad.
- *Station*: Define el punto de entrada de entidades dentro del sub modelo Estación.
- *Tally*: Cuenta el tiempo transcurrido entre un determinado evento y otro.
- *Wait*: Detiene el flujo de entidades hasta que se cumpla una determinada condición.

b) Elementos

Para definir los bloques a emplear en el modelo y los clasifica de acuerdo a sus características. Cabe resaltar que los elementos no se conectan entre sí, y para el presente trabajo se utilizarán los siguientes:

- *Attributes*: Se definen los nombres y propiedades de los atributos y variables locales.
- *Counters*: Se definen los contadores a emplear en el modelo.
- *Dstats*: Graba datos acerca de variables dependientes en el tiempo.
- *Entities*: Se definen las entidades a utilizar en el modelo.
- *Project*: Se define el nombre del proyecto y datos introductorios del modelo.
- *Queues*: Se definen las colas a utilizar en el modelo incluyendo nombre, número y políticas de cola.
- *Resources*: Se definen los recursos a utilizar en el modelo, incluye nombre y capacidad de los mismos.
- *Replicate*: Controla el número de réplicas, longitud y opciones para iniciarla.
- *Sequences*: Se define la secuencia que seguirá una entidad por las distintas estaciones.
- *Schedules*: Se definen horarios de trabajo para los recursos.
- *Stations*: Se definen las estaciones a utilizar en el modelo.
- *Tallies*: Información descriptiva de los bloques *Tally* utilizados en el modelo.
- *Variables*: Se definen los nombres y propiedades de las variables globales.

1.6.3 Input Analyzer

Dentro de las herramientas que el Software Arena contiene, se encuentra el *Input Analyzer*, que es un instrumento de procesamiento de datos que ejecuta pruebas de

bondad de ajuste. Es de gran importancia ya que usualmente las muestras de datos tomadas usualmente siguen una distribución que inicialmente no se conoce. Entonces, dicha data se ingresa al software con la finalidad de obtener distribución que siguen, por ejemplo, la llegada de las entidades al sistema y los tiempos de servicio para luego realizar pruebas de bondad de ajuste. En la tabla 1.5 se muestran las distribuciones que el Input Analyzer solo podrá identificar.

Tabla 1.5 Distribuciones aceptadas por el Input Analyzer

| Distribución | Nombre en Arena |
|---------------------|------------------------|
| Exponencial | EXPO |
| Normal | NORM |
| Triangular | TRIA |
| Uniforme | UNIF |
| Erlang | ERLA |
| Beta | BTA |
| Gamma | GAMM |
| Johnson | JOHN |
| Log-normal | LOGN |
| Poisson | POIS |
| Weibull | WEIB |

Fuente: Altiok (2007)

Y para las distribuciones que no se encuentran en la tabla anterior, existe la opción de utilizar la data empírica previamente ingresada.

1.6.4 Output Analyzer

En el caso del *Output Analyzer*, también una herramienta del Software Arena, se utiliza para analizar los datos generados a partir de la corrida del modelo generado. Antes de análisis, se debe identificar el tipo de sistema que sigue el modelo, es decir si es un modelo terminal o no terminal. La diferencia entre ambos, es que en un modelo terminal se tienen que realizar múltiples réplicas durante un tiempo específico de manera que luego se obtenga distintos intervalos de confianza para cada réplica. Mientras que en un modelo no terminal solo se realiza una sola réplica durante un intervalo de tiempo no definido y las condiciones iniciales no son importantes.

Para el presente trabajo, se analizará un modelo con un sistema no terminal ya que posee una etapa de calentamiento y una estado estable donde se mantienen “constantes” los valores a calcular.

1.6.5 Optquest

Optquest es una herramienta del software Arena que se utiliza para buscar de forma automática soluciones óptimas, es decir, correr más simulaciones en los modelos fijados ya sea maximizando o minimizando un objetivo previamente fijado. Este proceso iterativo continuará hasta que Optquest encuentre la solución más factible del modelo. Cabe resaltar que al cerrar la herramienta, el modelo de Arena retorna a sus valores originales y no se ve afectado por el optimizador.

Optquest, como modelo de optimización posee cuatro elementos fundamentales:

- a) **Controles (*Controls*).**- Son las variables o recursos de decisión en el modelo de optimización. Los valores de los controles son cambiados en cada corrida de la simulación hasta obtener los valores óptimos dentro de los límites previamente fijados por el usuario.
- b) **Variables de Respuesta (*Responses*).**- El objetivo y las restricciones del optimizador poseen cierta dependencia con las variables de respuesta del modelo inicial. Dichas variables pueden ser tamaño promedio de cola, tiempo en el sistema, tiempo de atención por usuario, entre otras.
- c) **Restricciones (*Constrains*).**- Se definen como las relaciones entre los controles y las variables de respuesta. Por ejemplo, una restricción puede fijar un número máximo de recursos asignados hacia un proceso para no sobrepasar el límite.
- d) **Objetivo (*Objective*).**- Es la representación matemática del objetivo del optimizador. Se muestra como una función a maximizar o minimizar que depende de los controladores, variables de respuesta y restricciones. Con este elemento se define todo el trabajo realizado por Optquest, ya que se centra en encontrar el valor óptimo mediando la selección de diferentes valores para los controles. Cabe resaltar que se pueden definir varios objetivos, sin embargo, sólo uno de ellos será evaluado en la optimización.

CAPÍTULO 2. DESCRIPCIÓN Y DIAGNÓSTICO DE LA EMPRESA

En el presente capítulo se hace una breve introducción de la empresa a investigar, incluyendo el área específica de estudio. Luego se realiza un diagnóstico y se analiza la problemática actual encontrando la causa raíz de dicha área y concluyendo con plan de acción para resolver la principal causa raíz.

2.1 Descripción de la Empresa en el Perú

La empresa XYZ pertenece al rubro automotriz, cuya organización fue constituida formalmente en el año 1957. Actualmente, es representante oficial en el país de tres marcas de vehículos, de las cuales solo 2 marcas incluyen vehículos ligeros y comerciales, mientras que la otra es del rubro de maquinaria pesada. La compañía XYZ, realiza diversas actividades como importación, distribución, financiamiento vehicular, servicio y mantenimiento.

El *Core Business* de la empresa se divide entre los servicios de venta y postventa de vehículos. De los cuales, el servicio de postventa es el área que mayores ingresos genera a la compañía. Adicionalmente, XYZ maneja 31 concesionarios autorizados a nivel nacional, de los cuales 12 de ellos se encuentran en Lima.

- Visión
“Ser líderes indiscutibles en la atención y cuidado de nuestros clientes”.
- Misión
“Ser considerados como el mejor proveedor de nuestros clientes en todos los rubros en los que participamos, buscando siempre nuestro crecimiento rentable, gracias al compromiso y participación de toda la compañía”.
- Valores
 - ✓ Seriedad: Siempre cumplimos con lo que ofrecemos.
 - ✓ Eficiencia: Hacemos las cosas bien a la primera.
 - ✓ Trabajo: Siempre estamos dispuestos a dar más de nosotros.
 - ✓ Confianza: Todo lo que hacemos está orientando a ganarnos la confianza de nuestros clientes.

2.1.1 Servicio de Carrocería y Pintura en la Empresa

El Servicio de Carrocería y Pintura se define básicamente como un mantenimiento correctivo que se le da al vehículo luego de que este ha sufrido algún siniestro.

En la empresa XYZ, este servicio pertenece al área de postventa y actualmente existen en Lima cinco talleres de C y P que atienden a los modelos de las 2 marcas autorizadas por la compañía. De estos cinco talleres, el taller ubicado en el distrito de San Miguel es el concesionario en donde más reparaciones se realizan y por ende el taller que más ingreso genera.

Ahora, por normas de la empresa este taller tiene un horario de atención establecido para el personal administrativo y operativo de lunes a viernes de 8:00 am hasta las 5:30 pm y sábado de 8:00 am hasta las 12:00 pm. Adicionalmente, el servicio completo que ofrece el taller, se divide en 3 fases:

- La primera fase, que es la de autorización, se encarga de la recepción de la unidad, valuación de daños que posee la unidad, aprobación por parte del seguro/cliente y la asignación de los trabajos a los técnicos para que empiecen con la reparación. A continuación, en la tabla 2.1 se muestra el detalle de lo mencionado:

Tabla 2.1 Servicio de Autorización Taller C y P

| AUTORIZACIÓN | | | | |
|--------------|------------------------|--------------------------|----------|---|
| ID | SERVICIO | PERSONAL | CANTIDAD | DESCRIPCIÓN |
| 1 | Recepción | Asesor C y P | 2 | Es el primero proceso, inicia desde que el cliente ingresa al taller con su vehículo y este es recepcionado por el APS, el cual hace el inventario del vehículo y es el vínculo entre el cliente y el taller. |
| 2 | Valuación | Valuador | 1 | Se encarga de revisar los daños que tiene el vehículo y colocar las horas necesarias de M.O. para la reparación. |
| 3 | Aprobación del Trabajo | Técnico Seguro / Cliente | | Este proceso es realizado por la compañía del seguro o cliente. Según sea el caso, ya que el cliente puede decidir pagar la reparación por sí mismo o con el seguro. |
| 4 | Asignación Trabajos | Supervisor de Taller | 1 | Luego de que se aprobó la unidad, el jefe de taller se encarga de asignar los trabajos a cada técnico. |

Fuente: Empresa; elaboración propia

- La segunda fase de reparación, se encarga de todo el proceso operativo. Se inicia primero con el desarmado de las piezas a ser reparadas o cambiadas, se realiza la reparación mecánica si es necesaria, luego se conforma la lámina, se prepara la

pieza para ser pintada, se pinta, se arma nuevamente, se pule para finalmente realizar el lavado y secado de la unidad. A continuación, en la tabla 2.2 se muestra el detalle de lo mencionado:

Tabla 2.2 Servicio de Reparación Taller C y P

| REPARACIÓN | | | | |
|------------|----------------------|------------|----------|---|
| ID | SERVICIO | PERSONAL | CANTIDAD | DESCRIPCIÓN |
| 5 | Desarmado y Armado | Armador | 4 | En el caso de la operación del desarmado y armado se da en una misma estación de trabajo y es realizada por el mismo personal. Básicamente con esta operación se empieza y se finaliza la reparación. |
| 6 | Mecánica de Colisión | Mecánico | 1 | Se realiza la reparación mecánica en caso algún componente mecánica se haya visto involucrado en el siniestro. |
| 7 | Carrocería | Carrocero | 4 | Se encarga de darle la forma original a la lámina, ya que luego de un choque, la lámina queda deformada. |
| 8 | Preparación | Preparador | 8 | Se encarga de preparar las piezas previas a ser pintadas, es decir se lija y se masilla la lámina. |
| 9 | Pintura | Pintor | 3 | Se encarga de volver al color original la lámina. |
| 10 | Pulido | Pulidor | 2 | Luego del armado, el pulido afina la lámina, es decir retoca las partes afectadas en el siniestro. |
| 11 | Lavado c/ Secado | Lavador | 2 | Previo a entregar la unidad, se realiza el proceso de lavado y secado de manera que la unidad sea entregada impecable. |

Fuente: Empresa; elaboración propia

- En la fase final, que es la de entrega, se da la inspección de calidad para luego entregar la unidad. A continuación, en la tabla 2.3 se muestra el detalle de lo mencionado:

Tabla 2.3 Servicio de Entrega Taller C y P

| ENTREGA | | | | |
|---------|--------------------|------------------------|----------|---|
| ID | SERVICIO | PERSONAL | CANTIDAD | DESCRIPCIÓN |
| 12 | Control de Calidad | Controlista de Calidad | 1 | Proceso realizado con la finalidad de encontrar algún desperfecto en la reparación (retrabajo), y devolver el vehículo al operario que incurrió en dicho reproceso para que lo solucione. |
| 13 | Entrega | Asesor C y P | 2 | Se entrega la unidad reparada al cliente, realizando un <i>checklist</i> del inventario realizado en la recepción y despidiendo al cliente. |

Fuente: Empresa; elaboración propia

2.2 Diagnóstico

En este punto se realizará el diagnóstico de la empresa, partiendo del macro proceso de la compañía hasta obtener el método de solución para la causa raíz del principal problema que afecta al taller de Carrocería y Pintura.

2.2.1 Descripción y Mapeo del Proceso de la Empresa

Como se mencionó, el taller de Carrocería y Pintura San Miguel, es el que más ingresos genera a la compañía. Por lo tanto, este proyecto se realizará para aumentar la eficiencia de este taller y cumplir los indicadores meta generando mayores ingresos y optimizando procesos.

a) Macro Proceso de la Empresa



Figura 2.1 Macro Proceso de la Empresa

Fuente: Empresa; elaboración propia

Para la empresa, cada área incluida en el macro proceso del negocio es igual de importante, y como se explicó previamente, el objetivo del estudio es mejorar el servicio ofrecido por el taller C y P y como este taller se encuentra incluido dentro de los procesos operativos, específicamente en el servicio de postventa.

Entonces, a continuación en la figura 2.2 se muestran los subprocesos incluidos dentro del servicio de postventa:

b) Proceso O4 Servicio de Postventa



Figura 2.2 Proceso O.4 Servicio de Postventa

Fuente: Empresa; elaboración propia

El servicio de postventa ofrecido por la empresa se divide en dos rubros, mantenimiento preventivo y mantenimiento correctivo. En el primer caso, este incluye el subproceso de servicio de mantenimiento y garantía. En el segundo caso, es el mantenimiento que se brinda a un vehículo siniestrado, que incluye el servicio de mecánica y de C y P.

A continuación y para profundizar sobre el taller de C y P, en la figura 2.3 se muestra las actividades incluidas dentro del subproceso:

c) Sub Proceso O4.3 Taller de Servicio de C y P



Figura 2.3 Subproceso O4.3 Taller de Servicio de C y P

Fuente: Empresa; elaboración propia

Para tener, una idea más clara del servicio ofrecido por el servicio de C y P (**Ver Anexo 1**). Ahora, en cada procedimiento realizado dentro del subproceso O4.3, se identificaron las variables críticas:

Tabla 2.4 Variables Críticas del Subproceso O4.3 Taller de Servicio de C y P

| | | SUBPROCESO O3.5 TALLER DE SERVICIO CARROCERÍA y PINTURA | | |
|--------------------|---------------------|---|-----------------------------|--------------------------|
| | | O5.3.1 <i>Autorización</i> | O5.3.2 <i>Reparación</i> | O5.3.3 <i>Entrega</i> |
| VARIABLES CRÍTICAS | <i>Mano de Obra</i> | 1 | 1 | 1 |
| | <i>Materiales</i> | 3 | 2 | 3 |
| | <i>Maquinaria</i> | 3 | 2 | 3 |
| | <i>Métodos</i> | 1 | 1 | 1 |
| | <i>M. Ambiente</i> | 3 | 2 | 1 |

| | | | |
|----------------|------------|-----------------|---------------|
| <i>Leyenda</i> | 1: Crítico | 2: Poco Crítico | 3: No Crítico |
|----------------|------------|-----------------|---------------|

Fuente: Elaboración propia

De la tabla anterior, se entiende que dentro de las tres fases incluidas en el servicio ofrecido por el taller, existen variables por lo menos 2 variables críticas por cada procedimiento. Siendo, los factores de mano de obra y método utilizado los más críticos ya que si el personal no se encuentra disponible o si no tiene la experiencia suficiente para realizar el trabajo, ninguna fase podrá ser concretada.

A partir de este punto, se utilizará el método DMAIC para la recolección de información, para el análisis de los datos recopilados, para encontrar el problema raíz, para hallar la causa principal de dicho problema y finalmente plantear una serie de posibles soluciones dicha causa.

2.2.2 Proceso a Mejorar

Como se mencionó previamente, el objetivo de realizar este proyecto es mejorar el rendimiento y reducir costos del taller de Carrocería y Pintura SM. Ahora, como se mostró en la tabla 2.4 todas las fases se ven afectadas por las variables críticas. Razón por la cual, el proyecto se realizará para el servicio completo.

A continuación, y para un mejor entendimiento del proceso, en la figura 2.4 se muestra el Flujograma de Actividades del servicio ofrecido por el taller:

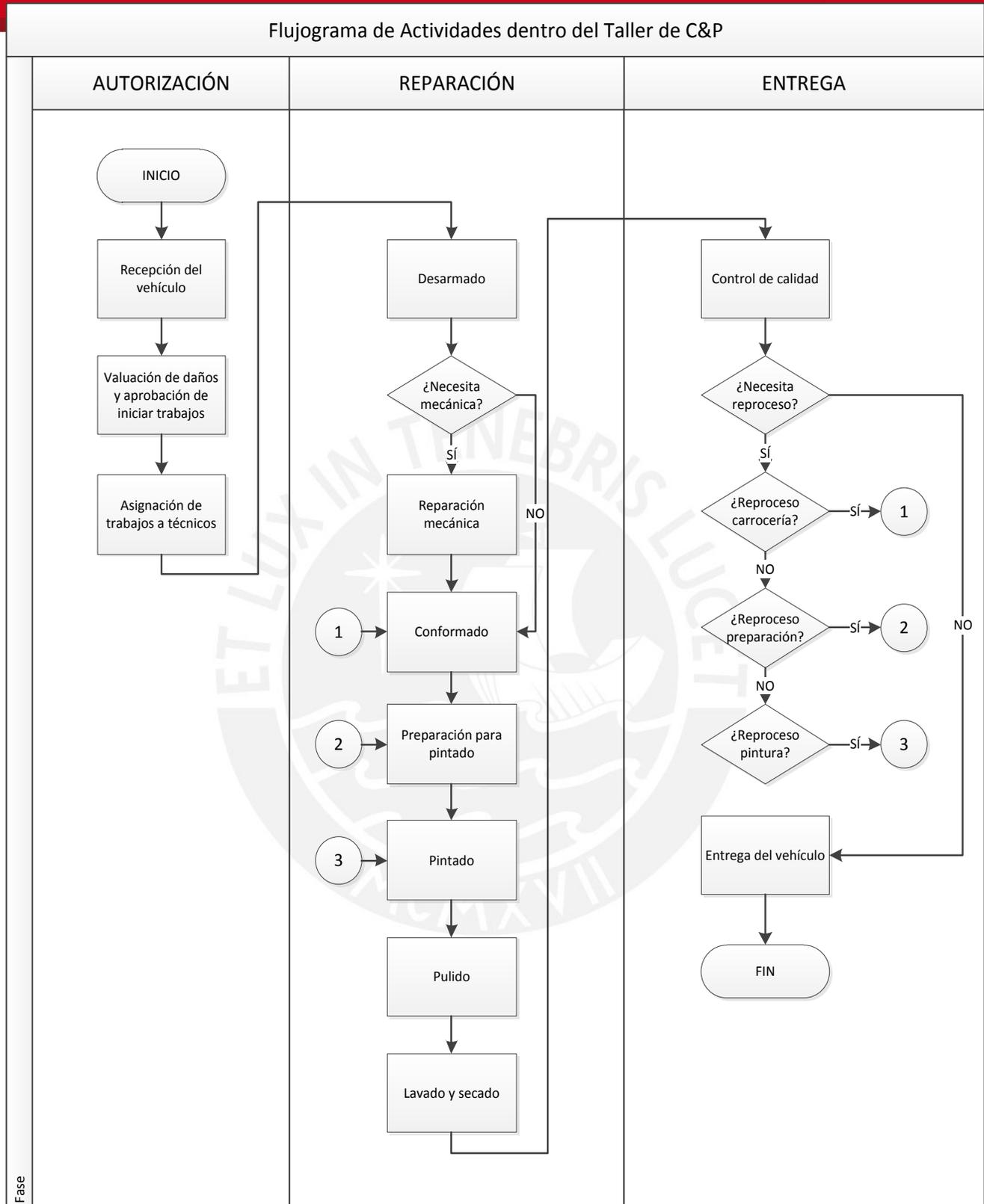


Figura 2.4 Flujograma de Actividades del Servicio C y P
Fuente: Empresa; elaboración propia

2.2.3 Medición del Proceso

Dentro del taller de Carrocería y Pintura, se generan informes mensuales sobre el progreso del concesionario. En dicho reporte se presentan una serie de indicadores que se utilizan a nivel gerencial para cuantificar el avance del área.

Para este proyecto se utilizará data generada desde Enero del 2014 hasta Agosto del 2014. Entonces, a continuación se muestra la información más relevante a utilizar:

- Análisis de Vehículos Ingresados y Reparados:

Tabla 2.5 Resumen Datos Vehículos 2014

| | | Resumen Vehículos | | | | | | | | |
|----------------------|------|-------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------|
| Item | Meta | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Promedio |
| Vehículos Ingresados | | 223 | 233 | 230 | 228 | 236 | 226 | 236 | 240 | 232 |
| Vehículos Reparados | 206 | 169 | 187 | 176 | 171 | 186 | 170 | 201 | 160 | 178 |
| CUMPLIMIENTO | | 76% | 80% | 77% | 75% | 79% | 75% | 85% | 67% | 77% |

Fuente: Empresa; elaboración propia

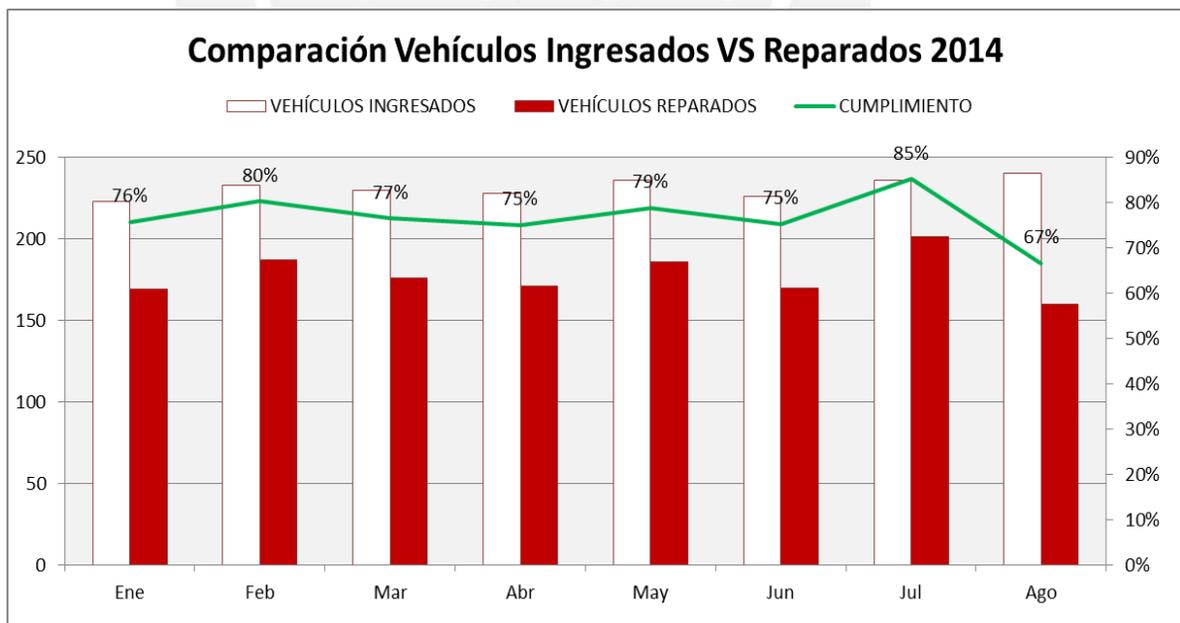


Figura 2.5 Comparación Vehículos Ingresados vs Vehículos Reparados

Fuente: Empresa; elaboración propia

- Clasificación Tipo-Cliente:

Cuando ingresa una unidad, el cliente tiene la opción de decidir si la reparación a realizar será costeadada por el seguro al cual está afiliado o pagarlo por su cuenta. En la siguiente figura se muestra la cantidad de casos registrados hasta Agosto sobre dicha clasificación:



Figura 2.6 Clasificación Tipo Cliente

Fuente: Empresa; elaboración propia

- Clasificación Tipo-Daño:

Cuando ingresa una unidad, el siniestro será clasificado según la gravedad del daño, es decir puede ser leve, medio o fuerte. Dicha clasificación está basada en los siguientes criterios:

Tabla 2.6 Clasificación Criterio de Daño 2014

| Criterio de Daño | Horas MO | | Paños de Pintura | | Total MO | |
|------------------|----------|-----|------------------|-----|----------|----------|
| | Min | Max | Min | Max | Min | Max |
| Leve | 0 | 15 | 0 | 2 | S/.0 | S/.1,053 |
| Medio | 15 | 25 | 2 | 5 | S/.1,054 | S/.2,090 |
| Fuerte | 25 | +∞ | 5 | +∞ | S/.2,091 | +∞ |

Fuente: Empresa; elaboración propia

A partir de dichos criterios se obtuvo la siguiente información:

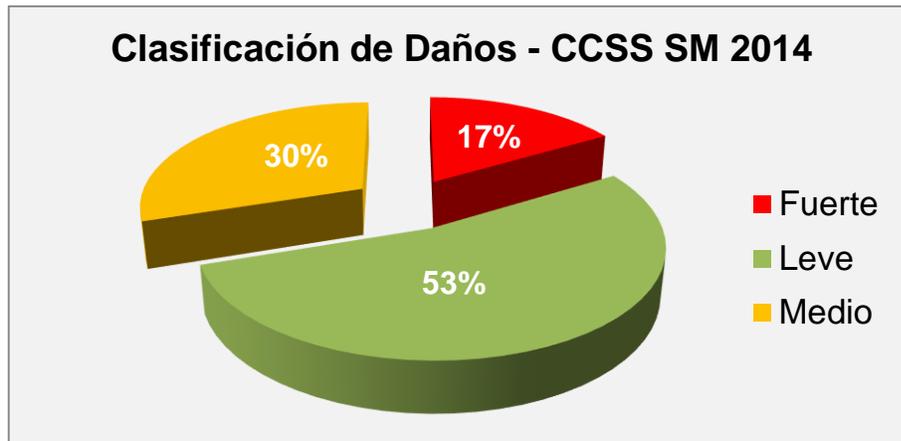


Figura 2.7 Clasificación Tipo de Daños 2014

Fuente: Empresa; elaboración propia

- Índice de Satisfacción Cliente:

Definida como la conformidad del cliente respecto al trabajo realizado. Para la calificación de este indicador se realizan 10 preguntas en la cual se involucran a distintas áreas del taller de manera que se tenga una información detallada de la apreciación del cliente. En la tabla 2.7 se muestran las preguntas tomadas y el tema clave respecto a la pregunta:

Tabla 2.7 Preguntas y Temas Claves ISC

| Nro. | Pregunta | Tema Clave |
|------|---|---------------------------------------|
| 1 | Como califica la atencion y servicio en general que recibio? | Atencion en general |
| 2 | Al recibir el vehiculo. ¿Cómo fue la amabilidad y cortesía del personal que lo recibio? | Amabilidad y cortesía |
| 3 | Como califica el tiempo de respuesta de la Cía de seguro para que el distribuidor iniciara el trabajo | Tiempo espera de Cia de seguro |
| 4 | Despues de la autorizacion de la Cía de Seguros. ¿Cómo califica el tiempo de reparacion de su vehiculo? | Tiempo de reparacion de vehiculo |
| 5 | ¿Cómo califica el seguimiento sobre el avance al trabajo de su automovil? | Seguimiento avance trabajos |
| 6 | ¿Cómo fue la agilidad y desempeño del personal al entregarle su vehiculo? | Agilidad y desempeño a la entrega |
| 7 | ¿Cómo califica la calidad de la reparacion realizada en su automovil? | Calidad de reparacion |
| 8 | ¿Cómo califica la limpieza en general de su automovil? | Limpieza de automovil |
| 9 | ¿Cómo califica el cumplimiento con la fecha promesa de entrega de su automovil? | Cumplimiento fecha promesa de entrega |
| 10 | Al momento de la entrega ¿Cómo califica la explicacion sobre la reparacion de su automovil? | Explicacion de trabajos realizados |

Fuente: Empresa

A partir de dicha calificación, en la tabla 2.8 se muestran los resultados obtenidos en el transcurso de los meses:

Tabla 2.8 Resultados Encuestas ISC 2014

| Tema Clave | Resumen ISC | | | | | | | |
|---------------------------------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago |
| Atencion en general | 8.67 | 9.10 | 8.67 | 8.98 | 9.10 | 8.33 | 9.42 | 8.90 |
| Amabilidad y cortesía | 9.14 | 9.28 | 9.02 | 9.22 | 9.29 | 8.89 | 9.38 | 9.35 |
| Tiempo espera de Cia de seguro | 8.27 | 8.67 | 7.48 | 7.91 | 8.97 | 7.89 | 8.63 | 8.23 |
| Tiempo de reparacion de vehiculo | 7.90 | 8.72 | 7.85 | 8.87 | 8.65 | 7.85 | 9.08 | 8.10 |
| Seguimiento avance trabajos | 8.57 | 8.58 | 8.33 | 8.93 | 8.90 | 8.22 | 9.17 | 8.32 |
| Agilidad y desempeño a la entrega | 8.71 | 8.92 | 8.83 | 9.13 | 9.23 | 8.37 | 9.46 | 9.10 |
| Calidad de reparacion | 9.04 | 9.20 | 8.69 | 9.11 | 9.16 | 8.93 | 9.42 | 9.10 |
| Limpieza de automovil | 8.90 | 8.93 | 8.85 | 9.16 | 8.94 | 8.44 | 9.29 | 9.00 |
| Cumplimiento fecha promesa de entrega | 8.73 | 8.90 | 8.60 | 9.40 | 9.32 | 8.41 | 9.38 | 8.74 |
| Explicacion de trabajos realizados | 9.02 | 9.08 | 8.85 | 9.07 | 9.13 | 8.85 | 9.42 | 9.23 |
| CUMPLIMIENTO KPI | 87% | 89% | 85% | 90% | 91% | 84% | 93% | 88% |

Fuente: Empresa; elaboración propia

Se puede observar en el transcurso del año, el “Tiempo de Reparación del Vehículo” ha sido el punto más afectado en las encuestas.

- Retrabajos:

Al momento de registrar un retrabajo se tiene en consideración al operario que incurrió en el reproceso y también el área a la cual se enviará el vehículo. Adicionalmente, para calcular el gasto que implica realizar un retrabajo se considera el Costo MO Carrocería y Costo MO Pintura que son S/. 80.96 y S/.43.73 respectivamente.

En la tabla 2.9 se muestra el resumen de los retrabajos del 2014:

Tabla 2.9 Resumen Retrabajos 2014

| KPI | Meta | Vehículos Retrabajo 2014 | | | | | | | | Promedio |
|---------------------|----------|--------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------|
| | | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | |
| Vehículos Reparados | 206 | 169 | 187 | 176 | 171 | 186 | 170 | 201 | 160 | 178 |
| Retrabajos | Menos 5% | 6% | 6% | 7% | 3% | 5% | 4% | 5% | 5% | 5% |
| CANTIDAD VEHÍCULOS | | 11 | 12 | 13 | 6 | 10 | 7 | 11 | 8 | 10 |

Fuente: Empresa; elaboración propia

Adicionalmente, en la figura 2.8 se muestra el área de retorno los retrabajos:

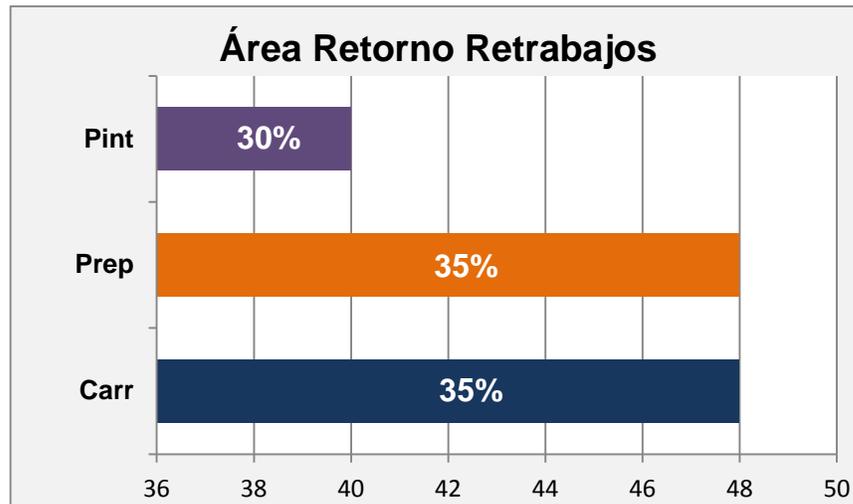


Figura 2.8 Área Retorno Retrabajos
Fuente: Empresa; elaboración propia

Todos los indicadores mencionados previamente tienen una repercusión negativa en el taller y esto se ve reflejado en estos 3 KPI's:

- Productividad: Definida como la relación entre la cantidad de horas facturadas y la cantidad de horas realmente trabajadas.
- Tiempo Promedio de Estancia: Definida como el tiempo total promedio (en días) que el vehículo pasa dentro del taller.
- Cumplimiento Fecha Promesa Entrega: Definida como el cumplimiento de fecha prometida por el asesor de servicio de entregar la unidad.

En la tabla 2.10 se muestra el resumen de los indicadores previamente mencionados:

Tabla 2.10 Resumen de KPI's Resultantes 2014

| | | Resumen KPI's 2014 | | | | | | | | |
|------------------------------------|------|--------------------|------|------|------|------|------|------|-----|----------|
| KPI | Meta | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Promedio |
| PRODUCTIVIDAD | 160% | | 124% | 110% | 132% | 112% | 115% | 103% | 97% | 113% |
| TIEMPO PROMEDIO DE ESTANCIA | 13 | 12 | 12 | 11 | 13 | 11 | 10 | 11 | 10 | 11 |
| CUMPLIMIENTO FECHA PROMESA ENTREGA | 85% | 84% | 80% | 68% | 79% | 75% | 80% | 83% | 65% | 77% |

Fuente: Empresa; elaboración propia

Del resumen de los KPI's 2014 [Agosto], se concluye que:

- ✓ En el caso de la Productividad, la meta es de 160%, sin embargo solo se está consiguiendo un 113%, lo que indica que o no se está llevando una correcta valuación de daños o los operarios están siendo muy lentos.
- ✓ En cuanto al Tiempo Promedio de Estancia de un vehículo, el promedio de este KPI está por debajo de la meta, lo cual indica que se está llevando un correcto control del proceso. Sin embargo, con un mejor uso de recursos este indicador podría reducirse.
- ✓ En cuanto al cumplimiento de la fecha promedio de entrega, el promedio del 2014 se mantiene en 77%. Esto indica que no hay una correcta coordinación entre la fase de autorización y reparación en el taller.

2.2.4 Análisis y Priorización de Problemas

A partir de los KPI's resultantes (productividad, tiempo promedio de estancia y cumplimiento de fecha promesa de entrega) se realizará un análisis de Pareto o Regla 80-20 para identificar que indicador tiene mayor influencia negativa en el performance del taller.

Antes de realizar el diagrama de Pareto se debe de tomar en consideración lo siguiente:

- El horizonte de tiempo para calcular la frecuencia de problemas (KPI no cumplidos) fue de 8 meses: Enero 2014 – Agosto 2014
- La frecuencia de problemas se analizó como la cantidad de meses en los cuales no se cumplió el KPI.
- Para el impacto económico que cada KPI tiene sobre el desempeño en el área se utilizó la siguiente tabla:

Tabla 2.11 Impacto Económico Taller C y P SM

| | <i>Clasificación</i> | <i>Min</i> | <i>Max</i> |
|----------------------------------|----------------------|------------|------------|
| Impacto Económico Mensual | 1 | S/.1 | S/.5,000 |
| | 2 | S/.5,001 | S/.15,000 |
| | 3 | S/.15,001 | 00+ |

Fuente: Empresa; elaboración propia

Entonces los datos iniciales del diagrama de Pareto son los siguientes:

Tabla 2.12 Datos Iniciales del Diagrama de Pareto

| ID | Problemas Identificados | INDICADOR INVOLUCRADO | Frecuencia | Impacto Económico | RESULTADO |
|----|--|-----------------------|------------|-------------------|-----------|
| 1 | Baja productividad | <i>Productividad</i> | 8 | 3 | 24 |
| 2 | Elevado tiempo promedio de estancia | <i>TPE</i> | 2 | 2 | 4 |
| 3 | Incumplimiento de Fecha de Entrega de Vehículo | <i>CFPE</i> | 8 | 2 | 16 |
| | | | | TOTAL | 44 |

Elaboración propia

Finalmente, el Diagrama de Pareto obtenido es el siguiente:

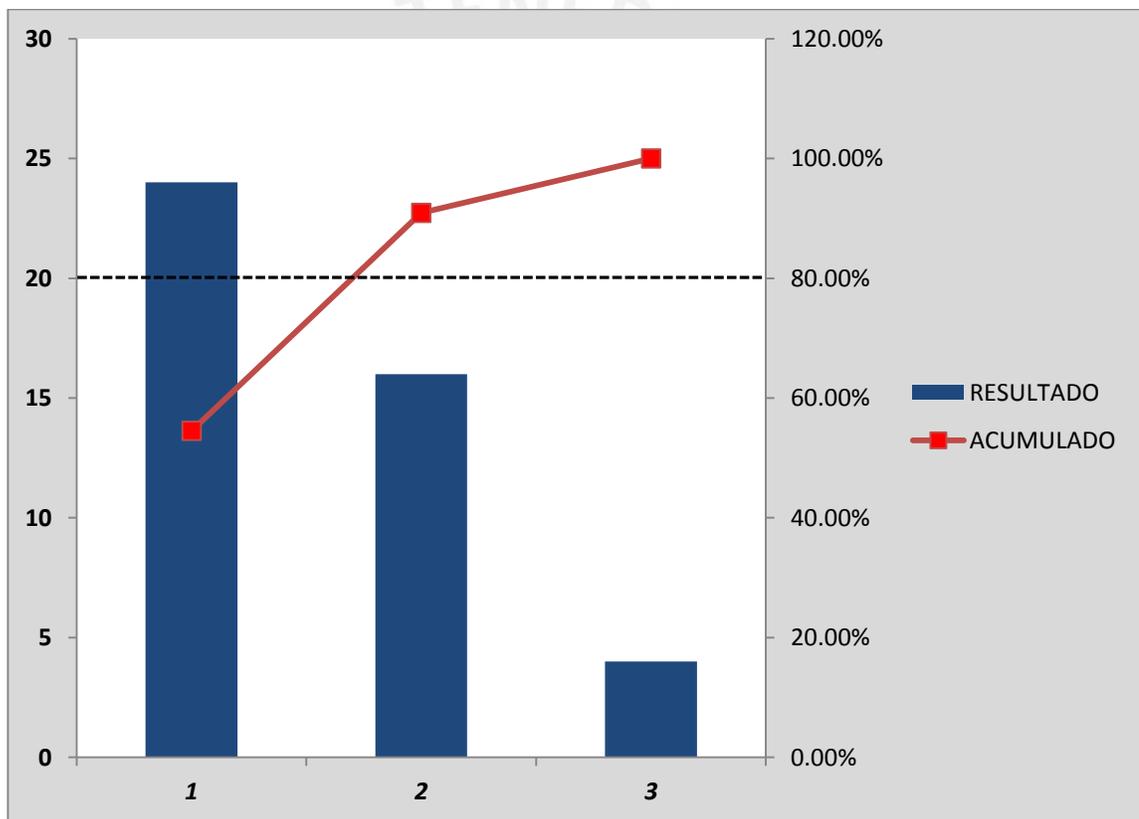


Figura 2.9 Diagrama de Pareto del Proceso de Reparación
Elaboración propia

Del Diagrama de Pareto anterior se concluye que la baja productividad es el principal problema que afecta directamente la actividad del taller ya que retrasa la producción e influye de manera directa en el cumplimiento de entrega de vehículos. Así mismo, afecta también al indicador del ISC. Entonces, a partir de lo mencionado, este proyecto

se basará en aumentar la productividad del taller y eliminar el incumplimiento de fecha de entrega.

2.2.5 Determinación de Causas

A continuación, y mediante el uso de la lluvia de ideas se recopilará las posibles causas que tienen como consecuencia la baja productividad e incumplimiento de fecha de entrega del vehículo:

Tabla 2.13 Lluvia de Ideas de las posibles causas de la baja productividad e incumplimiento de fecha promesa entrega de las unidades

| LLUVIA DE IDEAS |
|--|
| MÉTODO |
| Cuellos de Botella en cada proceso |
| Ampliaciones de trabajo o malas valuaciones |
| Retrabajos |
| Mala asignación de trabajos |
| MANO DE OBRA |
| Ausencia de personal |
| Falta de compromiso con el trabajo |
| Poco orden y limpieza |
| Falta de capacitación |
| Incumplimientos del personal tercero |
| MAQUINARIA |
| Falta de herramientas |
| Falta de mantenimiento a los equipos |
| MATERIALES |
| Malos inventarios |
| MEDIO AMBIENTE |
| Mala distribución de la nave |
| Capacidad limitada del taller |

Elaboración propia

A partir de la lluvia de ideas realizada, a continuación se realizará un diagrama Causa-Efecto o diagrama Ishikawa:

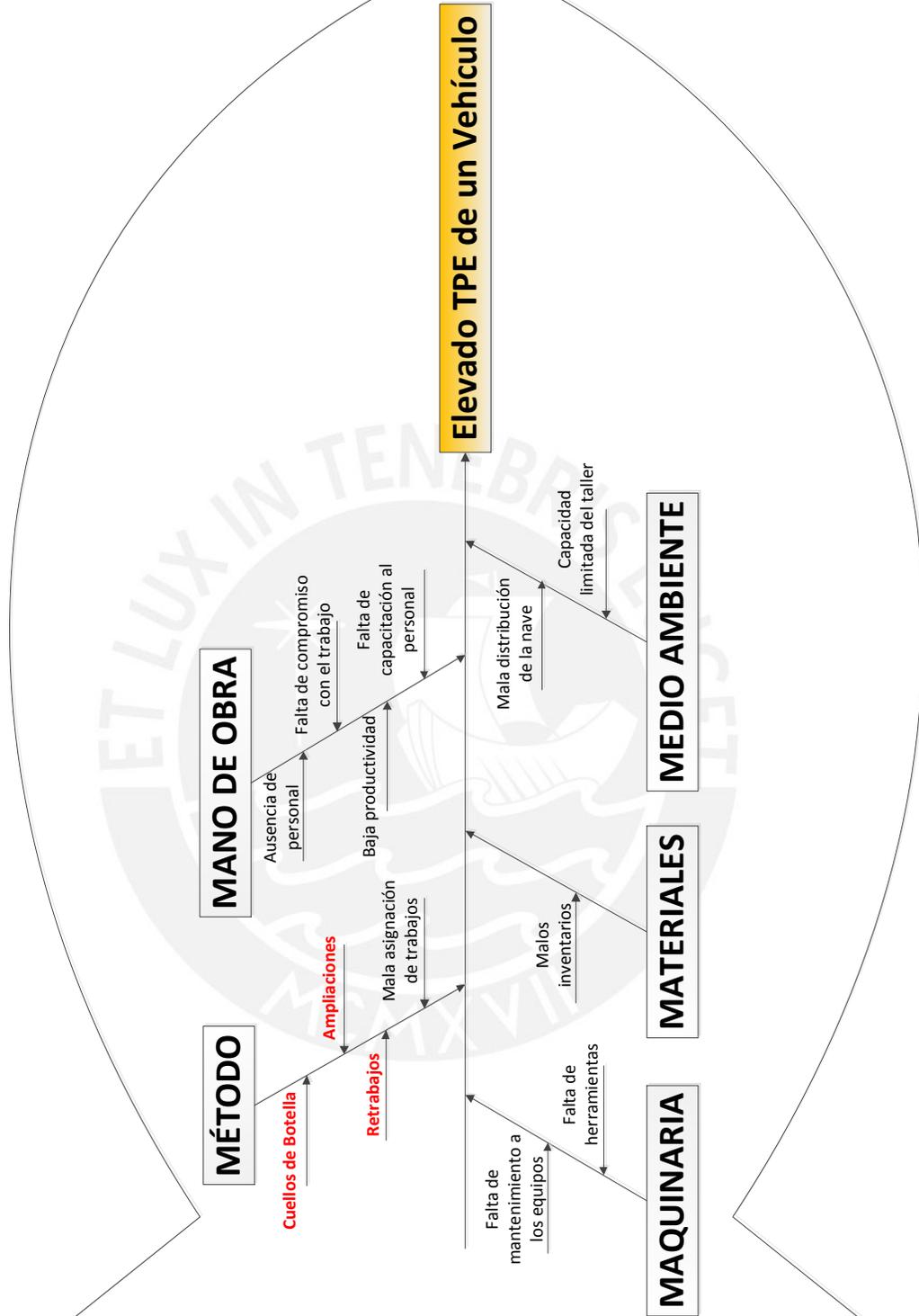


Figura 2.10 Diagrama Ishikawa para la baja productividad e incumplimiento de fecha promesa de entrega de las unidades

Elaboración propia

A partir de las causas observadas en el gráfico Ishikawa, a continuación, se realizará la identificación de las causas principales que afectan al taller usando una Matriz de Identificación:

Tabla 2.14 Matriz de Identificación de las principales causas de la baja productividad e incumplimiento de fecha promesa de entrega de las unidades

| IDENTIFICACIÓN DE CAUSAS PRINCIPALES | | | |
|---|--------------|---------|-----------|
| Causas | Probabilidad | Impacto | Resultado |
| Cuellos de botella en cada proceso | 3 | 3 | 9 |
| Mala asignación de trabajos | 2 | 3 | 6 |
| Ausencia de personal | 2 | 2 | 4 |
| Falta de capacitación del personal | 1 | 3 | 3 |
| Poco orden y limpieza | 3 | 2 | 6 |
| Retrabajos | 3 | 3 | 9 |
| Incumplimiento del personal tercero | 1 | 2 | 2 |
| Falta de herramientas y equipos | 1 | 1 | 1 |
| Mala distribución de la nave | 1 | 2 | 2 |
| Capacidad limitada del espacio en el taller | 2 | 2 | 4 |
| Ampliaciones de trabajo | 3 | 3 | 9 |
| Falta de mantenimiento a los equipos | 1 | 3 | 3 |
| Malos inventarios | 2 | 2 | 4 |

Elaboración propia

De la tabla anterior, se puede observar que existen 3 causas que tienen una mayor probabilidad de suceso como también un mayor impacto sobre el taller y estas son las siguientes:

- Ampliaciones de trabajo
- Retrabajos
- Cuellos de botellas.

A continuación se realizará un análisis de los 5 porqués para cada causa mencionada, de tal manera que se obtenga la causa raíz:

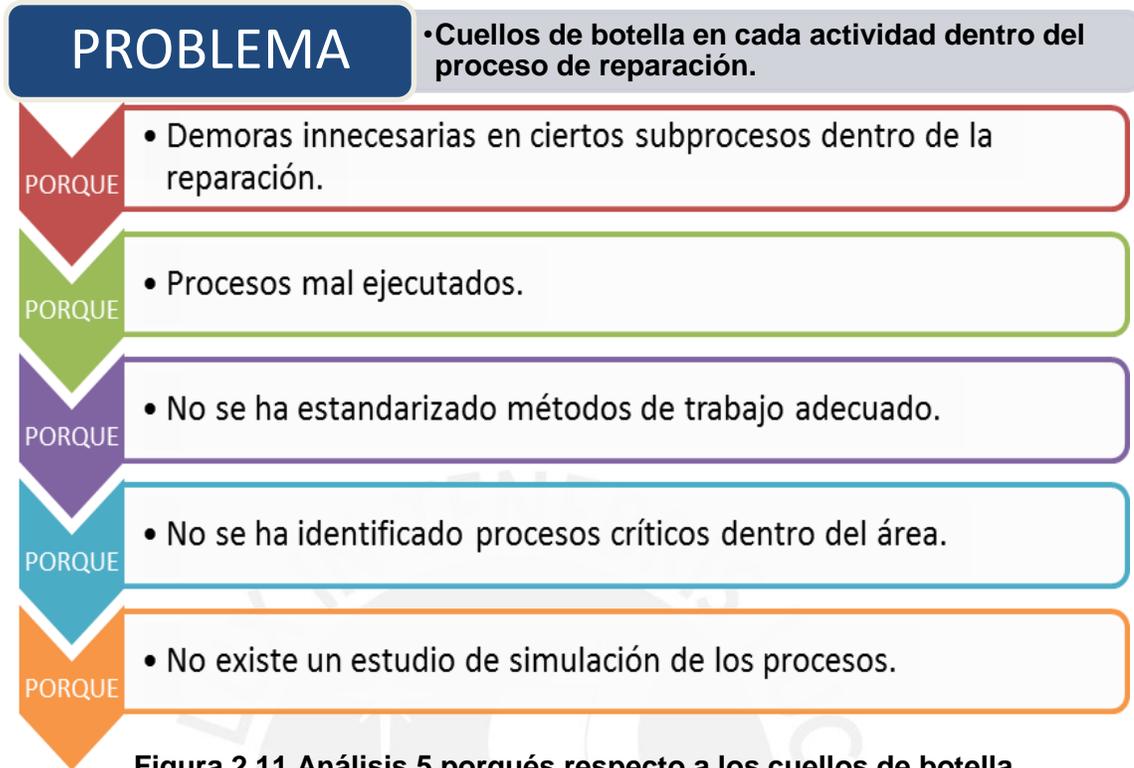


Figura 2.11 Análisis 5 porqués respecto a los cuellos de botella
Elaboración propia

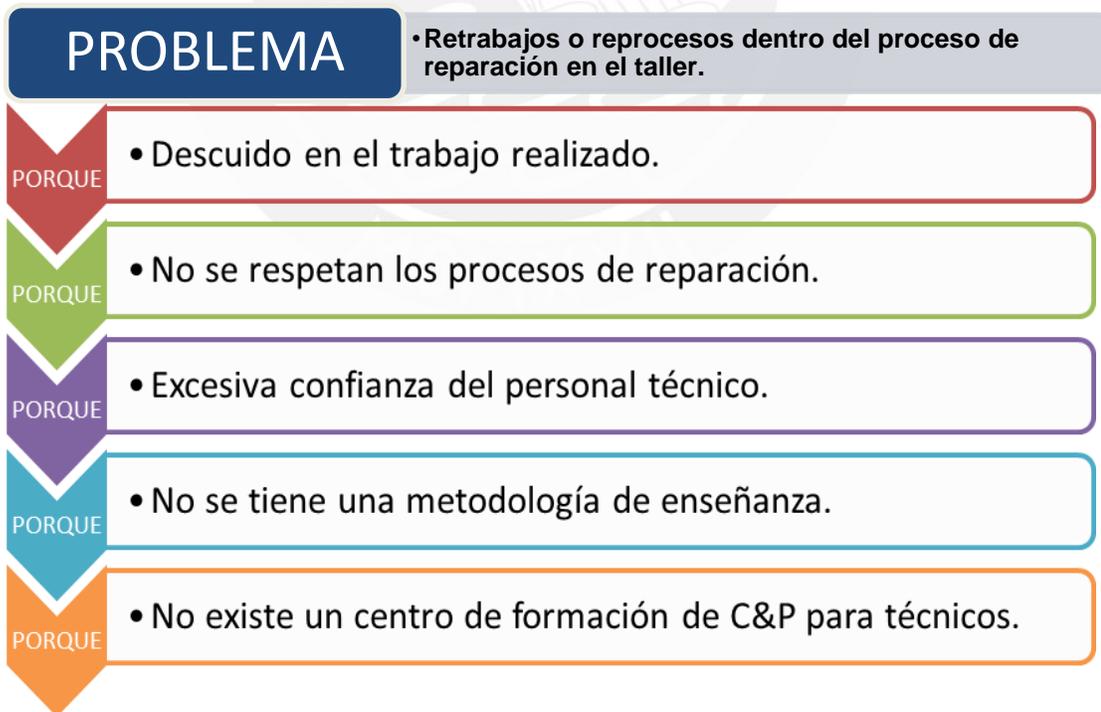


Figura 2.12 Análisis 5 porqués respecto a los retrabajos
Elaboración propia

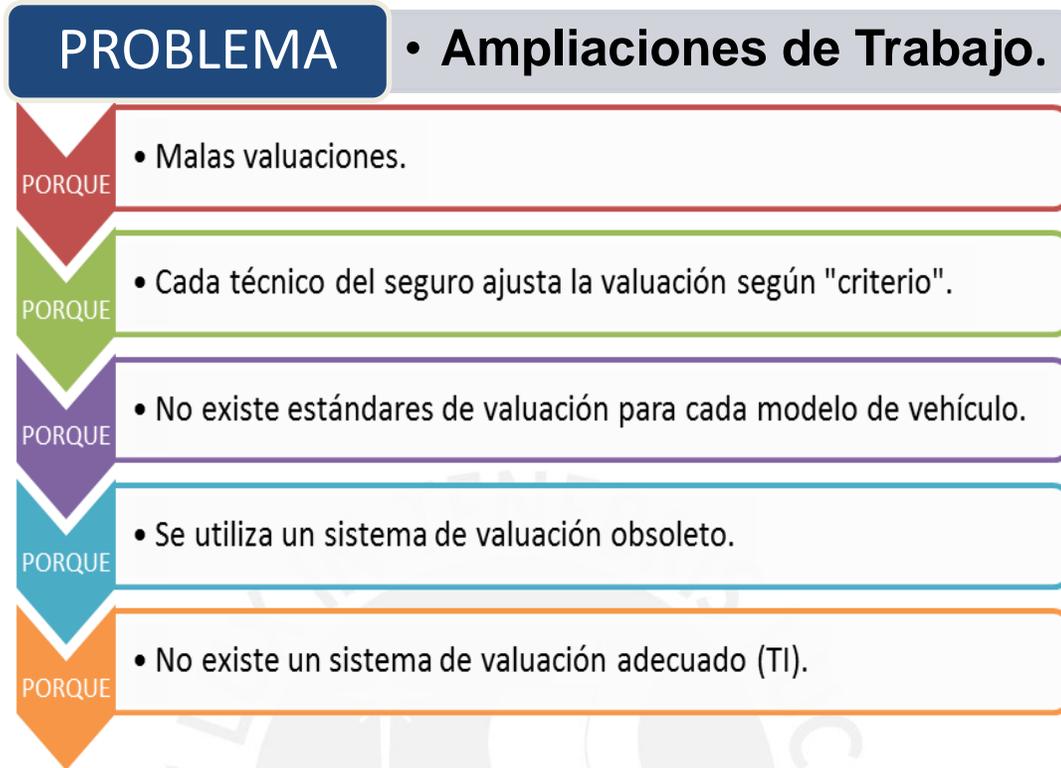


Figura 2.13 Análisis 5 porqués respecto a las ampliaciones de trabajo
Elaboración propia

Entonces, a partir del análisis de los 5 porqués realizado para cada uno de los ítems mencionados se identificó las causas que originan cada uno de los problemas respectivamente. Y, como siguiente paso en el uso de la metodología DMAIC, se realizará un planteamiento de contramedidas para cada causa raíz encontrada:

2.2.6 Planteamiento de Contramedidas

Tabla 2.15 Planteamiento de soluciones a las causas raíces de la baja productividad e incumplimiento de la fecha promesa de entrega

| IDENTIFICACIÓN DE CAUSAS PRINCIPALES | | |
|--------------------------------------|--|---|
| Causas Principales | Causas Raíz | Soluciones |
| Cuellos de Botella en los procesos | No existe un estudio de simulación de los procesos. | Realizar un estudio de simulación del taller de C y P SM. |
| Retrabajos | No existe un centro de formación para los técnicos de C y P. | Realizar un plan de estudios para realizar capacitación a los técnicos. |
| Ampliaciones de Trabajo | No existe un sistema de valuación adecuado. | Crear e implementar un sistema de valuación utilizando recursos electrónicos. |

Elaboración propia

A partir de las soluciones propuestas, y mediante la metodología FACTIS se realizará una priorización de contramedidas para determinar la solución a ejecutar en el proyecto. Como primera instancia, a continuación se colocará la Matriz FACTIS a utilizar:

Tabla 2.16 Matriz FACTIS de Priorización de Contramedidas

| MATRIZ FACTIS | | | | |
|-------------------------------|--|----------------|---------------------------|----------|
| Criterios de Selección | | | Ponderación (Peso) | |
| F | Facilidad para solucionarlo | | | 4 |
| | 1: Difícil | 2: Fácil | 3: Muy Fácil | |
| A | Afecta a otras áreas su implementación | | | 3 |
| | 1: Nada | 2: Medio | 3: Sí | |
| C | Mejora la calidad | | | 6 |
| | 1: Poco | 2: Medio | 3: Mucho | |
| T | Tiempo que implica solucionarlo | | | 2 |
| | 1: Largo plazo | 2: Medio plazo | 3: Corto Plazo | |
| I | Inversión requerida | | | 5 |
| | 1: Alta | 2: Media | 3: Baja | |
| S | Mejora la seguridad industrial | | | 1 |
| | 1: Poco | 2: Medio | 3: Mucho | |

Elaboración propia

Tabla 2.17 Puntuación según Metodología FACTIS de las soluciones propuestas para aumentar la productividad y cumplir con la fecha promesa de entrega

| PUNTUACIÓN DE SOLUCIONES SEGÚN METODOLOGÍA FACTIS | | | | |
|--|--------------------|---|--|--|
| Criterios | Ponderación | Solución | | |
| | | Realizar un estudio de simulación en el taller de C y P | Realizar un plan de estudios para realizar capacitación a los técnicos | Crear e implementar un sistema de valuación utilizando recursos electrónicos |
| F | 4 | 2 | 1 | 1 |
| A | 3 | 3 | 1 | 3 |
| C | 6 | 3 | 3 | 3 |
| T | 2 | 2 | 2 | 2 |
| I | 5 | 2 | 1 | 2 |
| S | 1 | 2 | 3 | 1 |

Elaboración propia

Tabla 2.18 Priorización de Contramedidas utilizando FACTIS

| PRIORIZACIÓN SEGÚN METODOLOGÍA FACTIS | | | | | | | |
|---|---|---|----|---|----|---|-------|
| Solución | F | A | C | T | I | S | TOTAL |
| Realizar un estudio de simulación del proceso de reparación en el taller de C y P | 8 | 9 | 18 | 4 | 10 | 2 | 51 |
| Realizar un plan de estudios para realizar capacitación a los técnicos | 4 | 3 | 18 | 4 | 5 | 3 | 37 |
| Crear e implementar un sistema de valuación utilizando recursos electrónicos | 4 | 9 | 18 | 4 | 10 | 1 | 46 |

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, se concluye que la solución más factible a ejecutar es realizar un estudio de simulación de todos los procesos del taller de Carrocería y Pintura de la empresa XYZ de manera que se identifiquen los cuellos de botella y se eliminen.

CAPÍTULO 3. RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS

En el presente capítulo se detallarán tipos de datos a usar, el análisis de la varianza y la determinación de las distribuciones estadísticas de dichos datos.

3.1 Recolección de Datos

A partir de los datos proporcionados por el taller se construyó el “esqueleto” del sistema a simular para luego clasificar las variables a utilizar según sus tipos. Entonces, a continuación en la tabla 3.1 se muestran las variables consideradas como relevantes para el análisis:

Tabla 3.1 Variables del Sistema a Simular

| N° | Variable | Tipo de variable | Área Responsable |
|----|---|-----------------------|----------------------|
| 1 | Tiempo entre llegada de vehículos | <i>Aleatoria</i> | Vigilancia |
| 2 | Tiempo de atención APS | <i>Aleatoria</i> | Recepción |
| 3 | Tiempo de asignación de vehículos a operarios | <i>Determinístico</i> | Asignación Trabajos |
| 4 | Tiempo de desarmado | <i>Aleatoria</i> | Armado |
| 5 | Tiempo de reparación mecánica | <i>Aleatoria</i> | Mecánica de Colisión |
| 6 | Tiempo de conformado | <i>Aleatoria</i> | Carrocería |
| 7 | Tiempo de preparación para pintura | <i>Aleatoria</i> | Preparación |
| 8 | Tiempo de pintado | <i>Aleatoria</i> | Pintura |
| 9 | Tiempo de armado | <i>Aleatoria</i> | Armado |
| 10 | Tiempo de pulido | <i>Aleatoria</i> | Pulido |
| 11 | Tiempo de lavado y secado | <i>Aleatoria</i> | Lavado c/ Secado |
| 12 | Tiempo de verificación C.C | <i>Determinístico</i> | C.C. |
| 13 | Tiempo de entrega de una unidad | <i>Determinístico</i> | Entrega |
| 14 | Fracción de vehículos que necesitan reparación mecánica | <i>Proporcional</i> | Mecánica de Colisión |
| 15 | Fracción de vehículos con retrabajo | <i>Proporcional</i> | Prep/Pint/Carr |
| 16 | Fracción de vehículos por tipo de daño | <i>Proporcional</i> | TODAS |
| 17 | Fracción de vehículos por tipo de CIA Seguro | <i>Proporcional</i> | APS |
| 18 | Número de armadores | <i>Determinístico</i> | Armado |
| 19 | Número de carroceros | <i>Determinístico</i> | Carrocería |
| 20 | Número de preparadores | <i>Determinístico</i> | Preparación |
| 21 | Número de pintores | <i>Determinístico</i> | Pintura |
| 22 | Número de mecánicos de colisión | <i>Determinístico</i> | Mecánica de Colisión |
| 23 | Número de pulidores | <i>Determinístico</i> | Pulido |
| 24 | Número de lavadores | <i>Determinístico</i> | Lavado c/ Secado |

Elaboración propia

Para generar la anterior tabla se tuvo en consideración los siguientes puntos:

- Se consideró como variable determinística el Tiempo de asignación de vehículos a operarios debido a que este proceso es realmente corto y tiene muy poca variabilidad ya que la asignación es por disponibilidad del operario (activo/ocupado) y generalmente la asignación dura 10 minutos.
- Se consideró como variable determinística el Tiempo de verificación de Control de Calidad debido a que este proceso dura 10 minutos, sin embargo es un proceso crítico ya que determina si la reparación de un vehículo necesita un reproceso.
- Se consideraron como variables de proporción a 4 variables:
 - ✓ Fracción de vehículos que requieren de reparación mecánica, debido a que no todos los procesos necesitan una reparación de mecánica de colisión.
 - ✓ Fracción de vehículos con retrabajo derivados a Prep / Pint / Carr, debido a si se identifica un retrabajo, el vehículo puede regresar a la operación de Preparación, Pintura o Carrocería.
 - ✓ Fracción de vehículos por tipo de daño (leve / medio / grave), debido a cada tipo de daño recorrerá el mismo flujo pero se infiere que el tiempo de reparación será diferente.
 - ✓ Fracción de vehículos por tipo de CIA Seguro (Pacífico / Rímac / La Positiva / Mapfre / Particular, debido a que un vehículo puede pertenecer a alguno de esos seguros y que este cubra el costo del daño o que la persona quiera cubrir el costo el daño.
- El número de operarios en cada proceso se considera como determinístico ya que se ha mantenido constante por 2 años. Sin embargo, luego de realizar la simulación se procederá a analizar si es que se requiere más personal o no.
- Los Tiempos entre llegadas, atención APS y demás procesos del taller son variables aleatorias ya que el tiempo es una variable continua y lógicamente cada tiempo de reparación es totalmente distinta a otra.
- En cuanto al Tiempo de entrega de una unidad este tiempo se ha considerado como variable determinística debido a que este tiempo es en promedio 3 días.

3.2 Análisis de Varianza entre Datos

Para cada operación descrita en el punto anterior se realizarán distintas pruebas de hipótesis para determinar si la variabilidad entre dos o más grupos de datos afectados por un factor es relevante y por lo tanto considerar una distribución estadística diferente para cada grupo. Para realizar este análisis se utilizará el Análisis de Varianza ANOVA (ver Cap. I Marco Teórico - punto 1.5.6).

Entonces, a continuación se muestra el análisis completo para los casos que se consideraron relevantes para el estudio por factores:

a) Tiempo Entre Llegadas según Marca de Vehículo

Se tomaron distintas muestras de los tiempos de llegada diferenciando el tipo de vehículo que ingresaba al taller y se obtuvo los siguientes resultados mostrados en la tabla 3.2:

Tabla 3.2 Resultados Análisis ANOVA Tiempo Entre Llegadas según Marca de Vehículo

| RESUMEN | | | | | | |
|----------------------|-------------------|--------------------|--------------------|---------------|--------------|----------------------|
| Marca | Datos | Suma | Promedio | Varianza | | |
| X | 113 | 148.71 | 1.32 | 1.798 | | |
| Y | 113 | 138.82 | 1.23 | 0.897 | | |
| ANÁLISIS DE VARIANZA | | | | | | |
| Fuente de Variación | Suma de Cuadrados | Grados de Libertad | Medias Cuadráticas | Estadístico F | Probabilidad | Valor Crítico para F |
| Entre Grupos | 0.43316 | 1 | 0.433161655 | 0.3214 | 0.5713 | 3.888 |
| Dentro de Grupos | 301.84826 | 224 | 1.347536859 | | | |
| Total | 302.28142 | 225 | | | | |

Fuente: Elaboración propia

Se observa que el valor calculado en la prueba del estadístico F es menor al de tablas con $\alpha = 0.05$ ($0.3214 < 3.888$), con lo que se concluye que la variabilidad entre estos dos grupos de datos es insignificante. Por lo tanto NO es necesario calcular distribuciones diferenciadas por tiempo entre llegadas según la marca del vehículo.

b) Tiempo del Proceso de Desarmado según Tipo de Daño

Siguiendo la misma lógica del caso anterior, se tomaron distintas muestras de los tiempos de desarmado diferenciándolos por el tipo de daño (leve, medio o fuerte) y se obtuvo los siguientes resultados mostrados en la tabla 3.3:

Tabla 3.3 Resultados Análisis ANOVA Tiempo de Desarmado según Tipo de Daño

| RESUMEN | | | | |
|---------|-------|--------|----------|----------|
| Marca | Datos | Suma | Promedio | Varianza |
| LEVE | 260 | 210.49 | 0.81 | 0.166 |
| MEDIO | 173 | 413.85 | 2.39 | 3.020 |
| FUERTE | 136 | 429.74 | 3.16 | 2.903 |

| ANÁLISIS DE VARIANZA | | | | | | |
|----------------------|-------------------|--------------------|--------------------|-------------------|--------------|----------------------|
| Fuente de Variación | Suma de Cuadrados | Grados de Libertad | Medias Cuadráticas | Estadístico F | Probabilidad | Valor Crítico para F |
| Entre Grupos | 565.63970 | 2 | 282.8198475 | 167.713134 | 0.0000 | 3.014 |
| Dentro de Grupos | 954.46331 | 566 | 1.686330944 | | | |
| Total | 1520.10301 | 568 | | | | |

Fuente: Elaboración propia

Se observa que el valor calculado en la prueba del estadístico F es un valor mucho mayor que el de tablas, con lo que se concluye que la variabilidad entre estos datos es relevante. Por lo tanto SÍ es necesario calcular distribuciones diferenciadas por el tipo de daño para el desarmado.

El procedimiento descrito para determinar la varianza entre datos se repetirá para cada uno de los procesos de reparación faltantes (Ver Anexo 2)

3.3 Determinación de las Distribuciones Estadísticas

Para determinar las distribuciones estadísticas que sigue cada operación en el sistema se utilizó la herramienta *Input Analyzer* del programa Arena. Ahora, para un mejor entendimiento del proceso a seguir, a continuación se muestra el análisis completo para uno de los procesos de la simulación a diseñar: El tiempo entre llegadas de los vehículos (en hrs).

- a) Primero, se debe calcular el tamaño de muestra exacto que se necesita para hallar la distribución estadística a la cual se aproxima el tiempo entre llegadas (**ver Cap. I Marco Teórico - punto 1.5.1 parte c**)

Cabe mencionar que tanto para este proceso como para todos los demás se parte de una muestra piloto de 30 datos (del total de datos disponibles).

- b) Para calcular el tamaño de muestra requerido se utilizará la fórmula de tamaño de muestra de población finita, de media conocida y varianza desconocida.

$$n_o = \frac{z_{1-\alpha/2}^2 \sigma^2}{e^2} \quad n = \frac{n_o}{1 + \frac{n_o}{N}}$$

Donde: $n_o = 30$, $N = 206$, $\alpha = 0.05$, σ es la desviación de la muestra piloto y $e = 0.05$.

Para este ejemplo en desarrollo (tiempo entre llegadas), el tamaño de muestra calculado fue de **146** datos, los cuales fueron extraídos de manera aleatoria.

- c) Luego, estos datos calculados se ingresaron al *Input Analyzer* para determinar la distribución a la cual se aproxima el tiempo entre llegadas.
- d) A partir de los datos se obtuvo la figura 3.1:

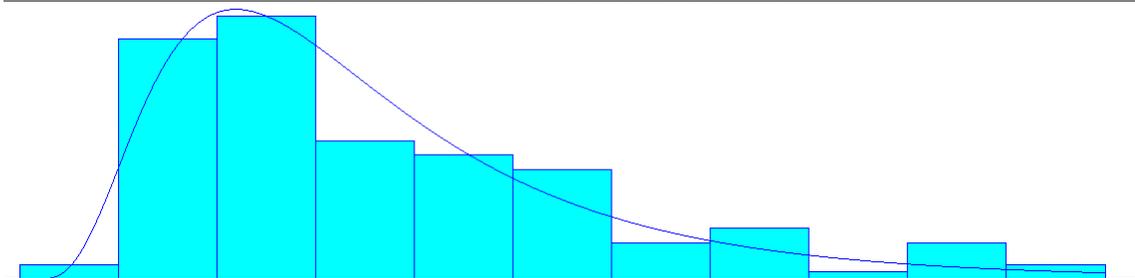


Figura 3.1 Distribución Estadística del Tiempo Entre Llegadas

Fuente: *Input Analyzer*, elaboración propia

- e) Acompañando al gráfico de la distribución estadística, en el reporte aparece un resumen de los datos (*Data Summary*). Estos son: número de datos, el menor y valor mayor, el promedio y desviación estándar. También en dicho resumen se incluye el rango en el cual se construyó la distribución y cuantos intervalos conforman el histograma de datos. En la tabla 3.4 se puede apreciar el resumen mencionado:

Tabla 3.4 Resultados del Resumen de Datos del Tiempo Entre Llegadas

| Resumen de Datos | |
|------------------------|-------------|
| Número de Datos | 142 |
| Valor Mínimo | 0.45 |
| Valor Máximo | 2.4 |
| Media Muestral | 1.03 |
| Desv. Est. Muestra | 0.473 |
| Resumen del Histograma | |
| Rango de Histograma | 0.25 to 2.6 |
| Número de Intervalos | 11 |

Fuente: Input Analyzer; elaboración propia

- f) Adicionalmente, el Input Analyzer genera las pruebas de Chi-Cuadrado y de Kolmogorov-Smirnov calculando en cada caso un *p-value* (ver Cap. I Marco Teórico – puntos 1.5.4 y 1.5.5).
- g) Al poseer un tamaño de muestra de 161 datos y al ser estos datos continuos se utilizará la Prueba K-S para comprobar la validez de la distribución hallada. En este caso, la prueba muestra un *p-value* > 0.15 que es mayor que el nivel de significancia definido de $\alpha = 0.05$. Entonces se concluye que la distribución seleccionada es correcta.
- h) En la tabla 3.5 se muestra los resultados de las pruebas de Chi-Cuadrado y K-S hallados:

Tabla 3.5 Resultados Pruebas Chi-Cuadrado y K-S del Tiempo Entre Llegadas

| Chi-Cuadrado Test | |
|--------------------------|-------------------------------|
| Número de Intervalos | 6 |
| Grados de Libertad | 3 |
| Estadístico de la Prueba | 4.99 |
| <i>p-value</i> | 0.188 |
| K-S Test | |
| Estadístico de la Prueba | 0.0637 |
| <i>p-value</i> | > 0.15 |

Fuente: Input Analyzer; elaboración propia

- i) Además de los puntos anteriores, el Input Analyzer permite obtener la mejor distribución de probabilidad que se ajusta a los datos eligiendo la distribución con el menor error cuadrático.

- j) Para el tiempo entre llegadas, la distribución elegida fue una Gamma con un error cuadrático de 0.00532, como se puede visualizar en la tabla 3.6:

Tabla 3.6 Elección Mejor Distribución Tiempo Entre Llegadas

| Función | Error Cuadrático |
|-----------|------------------|
| Lognormal | 0.00634 |
| Erlang | 0.0111 |
| Gamma | 0.0115 |

Fuente: Input Analyzer; elaboración propia

- k) Finalmente en la tabla 3.7 se muestra el detalle de la distribución de probabilidad que sigue el tiempo entre llegadas de un vehículo.

Tabla 3.7 Distribución Estadística del Tiempo Entre Llegadas

| Distribución Resumen | |
|----------------------|----------------------------|
| Distribución | Lognormal |
| Expresión | 0.25 + GAMM (0.786, 0.506) |
| Error Cuadrático | 0.006912 |

Fuente: Input Analyzer; elaboración propia

El procedimiento descrito se repetirá para cada variable aleatoria del sistema (**Ver Anexo 3**) y a continuación se muestran las tablas resumen 3.8, 3.9, 3.10 y 3.11:

Tabla 3.8 Distribuciones Estadísticas de Procesos de Reparación Únicos (hrs)

| TIEMPOS DE PROCESOS ÚNICOS | | | |
|----------------------------|--|-------------------------------|---------|
| ID | Operación | Distribución | p-value |
| 1 | Tiempo Entre Llegadas | 0.25 + LOGN(0.786, 0.506) | > 0.15 |
| 2 | Tiempo de Atención APS | 0.2 + 0.8 * BETA(2.31, 0.899) | > 0.15 |
| 3 | Tiempo de Proceso de Reparación Mecánica | WEIB(4.2, 1.16) | > 0.15 |
| 4 | Tiempo de Pulido | WEIB (2.1, 1.87) | > 0.15 |
| 5 | Tiempo de Lavado y Secado | 0.21 + GAMM (0.12, 5.19) | > 0.15 |

Fuente: Input Analyzer; elaboración propia

Tabla 3.9 Distribuciones Estadísticas de Procesos de Daño Leve (hrs)

| TIEMPOS DE PROCESOS REPARACIÓN [Daño Leve] | | | |
|--|----------------------------|--------------------------|---------|
| ID | Operación | Distribución | p-value |
| 1 | Tiempo de Desarmado Leve | 0.18 + GAMM(0.244, 2.5) | > 0.15 |
| 2 | Tiempo de Carrocería Leve | LOGN (2.96, 2.53) | > 0.15 |
| 3 | Tiempo de Preparación Leve | 1 + 7 * BETA(1.47, 1.35) | > 0.15 |
| 4 | Tiempo de Pintado Leve | LOGN (1.45, 1.04) | > 0.15 |
| 5 | Tiempo de Armado Leve | 0.13 + ERLA (0.271, 3) | > 0.15 |

Fuente: Input Analyzer; elaboración propia

Tabla 3.10 Distribuciones Estadísticas de Procesos de Daño Medio (hrs)

| TIEMPOS DE PROCESOS REPARACIÓN [Daño Medio] | | | |
|---|-----------------------------|----------------------------|---------|
| ID | Operación | Distribución | p-value |
| 1 | Tiempo de Desarmado Medio | LOGN (2.23, 1.85) | 0.0952 |
| 2 | Tiempo de Carrocería Medio | 1 + ERLA (2.41, 2) | > 0.15 |
| 3 | Tiempo de Preparación Medio | 7 + 8 * BETA(1.64, 1.64) | > 0.15 |
| 4 | Tiempo de Pintado Medio | 3 + GAMM (0.698, 1.83) | > 0.15 |
| 5 | Tiempo de Armado Medio | 2.36 + LOGN (0.665, 0.449) | > 0.15 |

Fuente: Input Analyzer; elaboración propia

Tabla 3.11 Distribuciones Estadísticas de Procesos de Daño Fuerte (hrs)

| TIEMPOS DE PROCESOS REPARACIÓN [Daño Fuerte] | | | |
|--|------------------------------|--------------------------------|---------|
| ID | Operación | Distribución | p-value |
| 1 | Tiempo de Desarmado Fuerte | 1 + WEIB(2.04, 1.26) | > 0.15 |
| 2 | Tiempo de Carrocería Fuerte | 14 + 18* BETA (0.944, 1.91) | > 0.15 |
| 3 | Tiempo de Preparación Fuerte | 15 + 13 * BETA(1.03, 1.54) | > 0.15 |
| 4 | Tiempo de Pintado Fuerte | 6.03 + 2.6 * BETA (1.32, 1.17) | > 0.15 |
| 5 | Tiempo de Armado Fuerte | 4 + 5 * BETA (0.539, 0.933) | > 0.15 |

Fuente: Input Analyzer; elaboración propia

3.4 Variables de Proporción

Para determinar el tamaño de muestra de las 3 proporciones previamente mencionadas se aplicará la fórmula del tamaño de muestra de una proporción (**ver Cap. I Marco Teórico - punto 1.5.1 parte c**).

Ahora, para un mejor entendimiento del proceso a seguir, a continuación se muestra el análisis completo realizado para una de las proporciones: Fracción de vehículos que necesitan reparación mecánica:

- a) Tanto para esta proporción como para todas las demás se parte de una muestra piloto de 30 datos (del total de datos disponibles).
- b) Para calcular el tamaño de muestra requerido se utilizará la fórmula de tamaño de población finita, de proporción conocida con varianza desconocida:

$$n_o = \frac{z_{1-\alpha/2}^2 \bar{p}(1 - \bar{p})}{e^2} \quad n = \frac{n_o}{1 + \frac{n_o - 1}{N}}$$

Donde: $n_o = 30$, $N = 206$, $\alpha = 0.05$ y $\bar{p} = 0.1913$

Para este caso (% Rep. Mec), el tamaño de muestra calculado fue de **111** datos y con este dato se recalculo el P de ocurrencia y se obtuvo una proporción de **0.1971**.

A continuación, en las tablas 3.12, 3.13, 3.14 y 3.25 se muestran las tablas resumen de las proporciones recalculadas de todos las proporciones a utilizar:

Tabla 3.12 Tabla Resumen Proporción Reparación Mecánica

| Variable de Proporción | % REP. MECÁNICA |
|------------------------|-----------------|
| P | 0.1913 |
| (1-P) | 0.81 |
| Z0.975 | 1.96 |
| N | 206 |
| E | 0.05 |
| no | 237.7289558 |
| nf | 111 |
| P de ocurrencia | 0.1971 |

Elaboración propia

Tabla 3.13 Tabla Resumen Proporción Retrabajos

| Variable de Proporción | RETRABAJOS [5%] | | |
|------------------------|-----------------|---------------|---------------|
| | % CARR | % PREP | % PINT |
| P | 0.0176 | 0.0176 | 0.0147 |
| (1-P) | 0.98 | 0.98 | 0.99 |
| Z0.975 | 1.96 | 1.96 | 1.96 |
| N | 206 | 206 | 206 |
| E | 0.05 | 0.05 | 0.05 |
| no | 26.63863806 | 26.63863806 | 22.26532872 |
| nf | 24 | 24 | 21 |
| P de ocurrencia | 0.0208 | 0.0167 | 0.0125 |

Elaboración propia

Tabla 3.14 Tabla Resumen Proporción Tipo de Daño

| Variable de Proporción | TIPO DE DAÑO | | |
|------------------------|---------------|---------------|---------------|
| | LEVE | MEDIO | FUERTE |
| P | 0.52 | 0.31 | 0.17 |
| (1-P) | 0.48 | 0.69 | 0.83 |
| Z0.975 | 1.96 | 1.96 | 1.96 |
| N | 206 | 206 | 206 |
| E | 0.05 | 0.05 | 0.05 |
| no | 383.545344 | 328.687296 | 216.819904 |
| nf | 135 | 127 | 106 |
| P de ocurrencia | 0.5407 | 0.2992 | 0.1600 |

Elaboración propia

Tabla 3.15 Tabla Resumen Proporción Tipo de Cliente

| Variable de Proporción | TIPO DE CLIENTE | |
|------------------------|-----------------|---------------|
| | CIA | Particular |
| P | 0.85 | 0.15 |
| (1-P) | 0.15 | 0.85 |
| Z0.975 | 1.96 | 1.96 |
| N | 206 | 206 |
| E | 0.05 | 0.05 |
| no | 195.9216 | 195.9216 |
| nf | 101 | 101 |
| P de ocurrencia | 0.8612 | 0.1388 |

Elaboración propia

CAPÍTULO 4. DESARROLLO DEL MODELO

En este capítulo se construirá el modelo a utilizar para simular todos los procesos involucrados en la reparación de un vehículo en el taller de Carrocería y Pintura. Primero, se plantearán las conjeturas base y los componentes a usar en el modelo. Después, a partir de dichos supuestos y elementos, se describirá cada procedimiento que sigue una unidad a reparar. Finalmente, cabe resaltar que para que el modelo describa mejor la realidad se incluirá a los agentes externos involucrados en el sistema como el tiempo de aprobación por parte de los seguros y el tiempo de recojo de unidades por parte del cliente.

4.1 Supuestos para Establecer el Modelo

Para establecer el modelo se necesitó tomar ciertos supuestos que sirvieron de base para el desarrollo de la simulación del taller y son las siguientes:

- Se establece que todos los recursos en el sistema toman el mismo tiempo de descanso y lo realizan en el mismo horario L-V: 12:00 pm – 12:45 pm [0.75 hrs].
- Se establece que todos los vehículos que ingresan al taller pueden ser reparados, es decir NO se están considerando pérdidas totales.
- Se establece que todos los autos que ingresen por el seguro o particularmente serán aprobados y reparados.
- Se establece que existe stock de todos los repuestos que necesitan los vehículos para ser reparados, es decir no existirá demoras por espera de repuesto.
- Se establece que todos los operarios tienen la misma eficiencia de base y cuentan con todas las herramientas necesarias para realizar la reparación de la unidad.
- Se establece que los vehículos ingresan al taller de uno en uno y no cabe la posibilidad de un siniestro masivo que pueda generar algún cambio en la cantidad de vehículos a ingresar.

4.2 Componentes del Modelo

En este punto se definirán todos los componentes necesarios para la construcción modelo (ver Cap. I Marco Teórico - punto 1.2.4).

4.2.1 Entidades

Las entidades dinámicas del modelo son los vehículos a ser reparados, ya que estos serán trasladados de una estación de trabajo a otra hasta finalizar su reparación.

4.2.2 Atributos

Dentro del modelo se utilizarán distintos atributos para definir una característica específica de una entidad. En la tabla 4.1 se muestran dichos atributos:

Tabla 4.1 Atributos del Sistema

| ID | Atributo | Función |
|----|--------------|--|
| 1 | Retrabajo | <i>Este atributo se utilizará para identificar los retrabajos y también para saber a qué estación de trabajo serán regresados luego de que se identifiquen</i> |
| 2 | Req_mec | <i>Indica si un vehículo requiere de reparación mecánica</i> |
| 3 | Tipo_dano | <i>Indica la gravedad del daño del vehículo (leve, medio, grave)</i> |
| 4 | Tipo_cliente | <i>Indica si es que el vehículo utilizará el seguro para cubrir el daño o será pagado por el mismo dueño</i> |
| 5 | tinicio | <i>Atributo creado para poder identificar el tiempo de estancia de un vehículo en el sistema</i> |

Elaboración propia

4.2.3 Horarios

En la tabla 4.2 se muestran los horarios que se utilizarán en el modelo:

Tabla 4.2 Horarios del Sistema

| ID | Horario | Función |
|----|---------|--|
| 1 | UNO | <i>Horarios para recursos de capacidad de 1 empleado.</i> |
| 2 | DOS | <i>Horarios para recursos de capacidad de 2 empleados.</i> |
| 3 | CUATRO | <i>Horarios para recursos de capacidad de 3 empleados.</i> |
| 4 | OCHO | <i>Horarios para recursos de capacidad de 4 empleados.</i> |

Elaboración propia

4.2.4 Recursos

Para el modelo los recursos a utilizar son los empleados que realizarán los distintos procesos del taller y en la tabla 4.3 se muestran la cantidad y su respectiva función de cada recurso:

Tabla 4.3 Entidades Estáticas del Sistema

| ID | Recurso | Cantidad | Función |
|----|------------|----------|--|
| 1 | APS | 2 | Realiza la recepción, inventario del vehículo y entrega del mismo. |
| 2 | Armador | 4 | Se encarga de desarmar la piezas dañadas del vehículo para luego armarlas cuando estén reparadas o colocando nuevas. |
| 3 | Carrocero | 4 | Se encarga de conformar el vehículo, es decir darle la forma original a la lámina dañada. |
| 4 | C.C. | 1 | Se encarga de la revisión final del vehículo para identificar retrabajos. |
| 5 | Lavador | 2 | Se encarga de lavar y secar los vehículos próximos a entregar. |
| 6 | Mecánico | 1 | Se encarga de reparar la parte mecánica del vehículo (motor, ejes, etc) |
| 7 | Preparador | 8 | Se encarga del lijado y masillado previo al pintado de la pieza. |
| 8 | Pintor | 3 | Se encarga de pintar la pieza reparada. Cabe mencionar que existe 1 pintor que solo se dedica a pintar los casos leves |
| 9 | Pulidor | 2 | Se encarga del pulido de imperfecciones del vehículo |
| 10 | Supervisor | 1 | Realiza la asignación de trabajos. |

Elaboración propia

4.2.5 Colas

El modelo de simulación cuenta con distintos tipo de colas que representan la espera de las entidades antes de empezar algún proceso. En este modelo en particular, se utilizarán dos tipos de cola: FIFO (*First In First Out*) para los proceso de recepción, asignación, desarmado y mecánica. Mientras que para los demás procesos se utilizará HVF (*High Value First*).

A continuación, en la tabla 4.4 se mostrará el detalle de cada cola a utilizar en el sistema:

Tabla 4.4 Colas del Sistema

| ID | Cola | Tipo Cola | Descripción |
|----|-----------------|-------------|---|
| 1 | Cola_Recepcion | FIFO | <i>Espera de los autos que ingresan a ser atendidos en orden de llegada.</i> |
| 2 | Cola_Asignacion | FIFO | <i>Espera de los autos a ser asignados según orden de llegada.</i> |
| 3 | Cola_Desarmado | FIFO | <i>Espera de los autos a ser desarmados según orden de llegada</i> |
| 4 | Cola_Mec | FIFO | <i>Espera de los autos a tener una reparación mecánica según orden de llegada.</i> |
| 5 | Cola_Car | HVF | <i>Espera de los vehículos a ser conformados dando preferencia a los casos con retrabajo.</i> |
| 6 | Cola_Prep | HVF | <i>Espera de los vehículos a ser preparados para pintarse dando preferencia a los casos con retrabajo.</i> |
| 7 | Cola_Pint | FIFO | <i>Espera de los vehículos a ser pintados (daños medio y fuerte)</i> |
| 8 | Cola_Arm | HVF | <i>Espera de los vehículos a ser armados dando preferencia a los casos con retrabajo.</i> |
| 9 | Cola_Pul | HVF | <i>Espera de los vehículos a ser pulidos dando preferencia a los casos con retrabajo.</i> |
| 10 | Cola_Lav_Sec | HVF | <i>Espera de los vehículos a ser lavados y secados dando preferencia a los casos con retrabajo.</i> |
| 11 | Cola_CC | HVF | <i>Espera de los vehículos a ser revisados nuevamente por C.C. dando preferencia a los casos con retrabajo.</i> |
| 12 | Cola_Pintleve | HVF | <i>Espera de los vehículos a ser pintados (daño leve), dando preferencia a los retrabajos.</i> |

Elaboración propia

4.2.6 Estaciones

Las estaciones a utilizar representarán un lugar físico en donde se realiza alguna operación. Además, se incluirán dos estaciones ficticias para colocar los atributos e indicadores de salida respectivamente.

A continuación, en la tabla 4.5 se mostrará el detalle de cada estación a usar en el sistema:

Tabla 4.5 Estaciones del Sistema

| ID | Estación | Descripción |
|----|--------------|---|
| 1 | Ingreso | Estación ficticia para definir los atributos del sistema. |
| 2 | Salida | Estación ficticia para definir los indicadores de salida del sistema. |
| 3 | E_APS | Representa el lugar de llegada de los vehículos a ser atendidos por el APS |
| 4 | E_Asignacion | Representa la oficina del supervisor donde asigna los trabajos. |
| 5 | E_Desarmado | Representa la estación donde se realiza el proceso de desarmado. |
| 6 | E_Meca | Representa la estación donde se realiza el proceso de reparación mecánica. |
| 7 | E_Carro | Representa la estación donde se realiza el proceso de conformado. |
| 8 | E_Prep | Representa la estación donde se realiza el proceso de preparación para pintar. |
| 9 | E_Pintura | Representa la estación donde se realiza el proceso de pintado. |
| 10 | E_Armado | Ocupa el mismo lugar que la estación de desarmado y utiliza los recursos. |
| 11 | E_Pulido | Representa la estación donde se realiza el proceso de pulido. |
| 12 | E_Lav_Sec | Representa la estación donde se realiza el proceso de lavado y secado. |
| 13 | E_CC | Representa la estación donde se realiza el proceso de revisión de calidad. |
| 14 | E_Entrega | Representa la estación donde se realiza el proceso de entrega de las unidades reparadas |

Elaboración propia

4.2.7 Variables

A continuación, en la tabla 4.6 se muestra la variable a usar en el sistema:

Tabla 4.6 Variables del Sistema

| ID | Variable | Función |
|----|-------------|---|
| 1 | Llegada_dia | Esta variable se utilizará para identificar el día de llegada de una unidad. |
| 2 | Rep_mes | Esta variable se utilizará para acumular la cantidad de vehículos reparados por mes |

Elaboración propia

4.3 Diseño del Modelo

En este punto del presente capítulo se detallará paso a paso la construcción del modelo en Arena. Iniciando la modelación con la llegada de unidades al taller, luego continuando con el proceso de recepción, valuación, aprobación y asignación de una unidad. Después, proseguir por todo el proceso de reparación de un vehículo, que incluye los procesos de desarmado, mecánica (si se requiere), carrocería, preparación, pintura, armado, pulido, lavado y secado. Finalmente, se modela también el proceso de control de calidad de un vehículo, que es donde se determina si una unidad requiere un retrabajo.

4.3.1 Simulación de la Llegada de Vehículos al Taller de C y P

Para simular la llegada de los vehículos al taller se emplea el bloque *Create* en el cual se ingresa la tasa de llegada de las unidades. Luego se utilizará un bloque *Branch* para indicar el día de ingreso (L-S) y mediante el bloque *Assign* se empezará el conteo de unidades a ingresar por día. Entonces, utilizando otro bloque *Branch* se limitará el ingreso de unidades hasta el máximo permitido y cuando no se cumpla esta condición el vehículo automáticamente se dirigirá al bloque *Dispose*. Caso contrario, cuando se cumpla la condición, la unidad pasará al bloque *Count* para contabilizar los vehículos que ingresan al sistema y este será conectado al bloque *Assign* para definir tres atributos: tipo seguro (CIA o Particular), tipo de daño y si el vehículo necesitará reparación mecánica. Después, la unidad se dirigirá al bloque *Station*, que es la estación ficticia Ingreso, para luego seguir al bloque *Route* la cual transportará la unidad a la estación E_APS en donde será atendido por el Asesor de Servicio. Adicionalmente se creó otro bloque *Create* para reiniciar el conteo de llegadas entre cada semana, dicha función se realiza en el bloque *Assign* que regresará la variable *Llegada_dia* a cero. Finalmente, se pasa al bloque *Dispose* para cerrar el ciclo.

En la figura 4.1 se muestra lo previamente descrito y para apreciar a mayor detalle el modelo construido en Arena (**Ver anexo 4**):

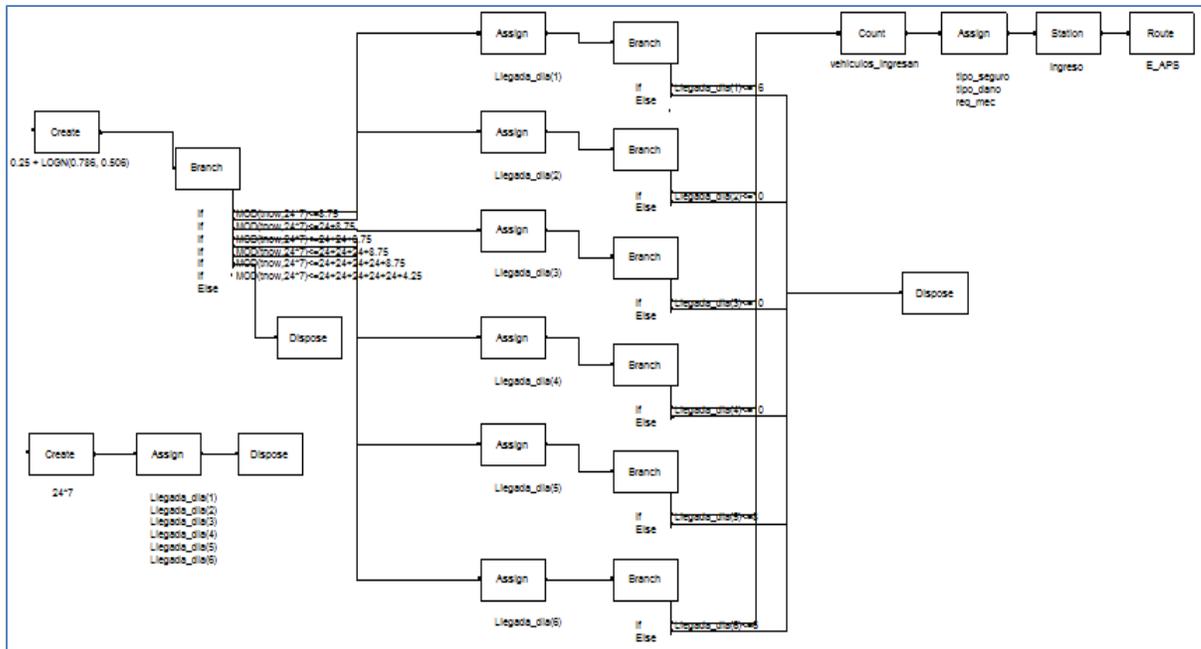


Figura 4.1 Bloques de creación y flujo inicial de vehículos
Elaboración propia

4.3.2 Simulación del Proceso de Recepción de una Unidad

Luego de llegar a la estación E_APS, los vehículos seguirán hacia un bloque *Queue* que representa la espera antes de pasar por el bloque *Seize* en el cual se les asignará un APS. Finalmente, seguirán hacia un bloque *Delay*, el cual representa la demora de atención del asesor con un vehículo para después desasignar el APS mediante el uso del bloque *Release* y así continuar con un bloque *Route* hacia E_Asignacion.

En la figura 4.2 se puede apreciar lo descrito previamente:

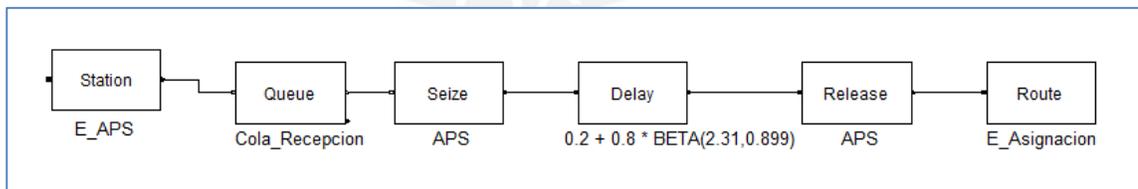


Figura 4.2 Bloques del proceso de recepción de un vehículo
Elaboración propia

4.3.3 Simulación del Proceso de Valuación, Aprobación y Asignación de una Unidad

En la estación E_Asignacion, el vehículo se dirigirá a la zona de espera de asignación mientras que los papeles del vehículo pasarán por un bloque *Branch* en donde se los papeles serán divididos en casos de reparación particular y en casos de reparación utilizando el seguro.

En el caso de los vehículos que serán reparados particularmente, sus papeles continuarán por un bloque *Count* que contabilizará los vehículos particulares para luego seguir hacia otro bloque *Branch*, el cual dividirá las unidades según el tipo de daño ya que, si en caso el daño es leve, la espera de valuación y aprobación del caso por parte del cliente es de 4 horas. En caso el daño es medio, la espera de valuación y aprobación por parte del cliente es de 1 día el día. Es decir si la unidad ingresa un lunes, se aprobará el martes al medio día. Finalmente, cuando el daño es grave, la espera de valuación y aprobación por parte del cliente es de dos días. Por ejemplo, si una unidad ingresa un día lunes, esta será aprobada el día miércoles al medio día.

Mientras que en el caso de los vehículos que utilizarán su seguro para reparar el vehículo, los papeles pasarán adicionalmente por otro bloque *Branch* donde los vehículos serán divididos según el día de ingreso (L-S). Por ejemplo, si un vehículo ingresa un día lunes, este pasará por un bloque *Scan* donde esperará que el proceso de valuación y aprobación del caso se complete que, en este caso será hasta el día miércoles al mediodía.

Luego, continuará por el flujo regular de asignación de unidades. Luego de la valuación y aprobación, los papeles se dirigirán hacia un bloque *Queue* para esperar a que el bloque *Seize* asigne al supervisor con un tiempo de demora registrado en el bloque *Delay*. Luego se liberará al recurso supervisor utilizando el bloque *Release* y finalmente ya con los papeles aprobados, el vehículo continuará hacia la estación E_desarmado mediante el uso del bloque *Route* para empezar con la reparación de la unidad.

A continuación, en la figura 4.3 se muestra lo mencionado y para apreciar a mayor detalle el modelo construido en Arena (**Ver anexo 5**):

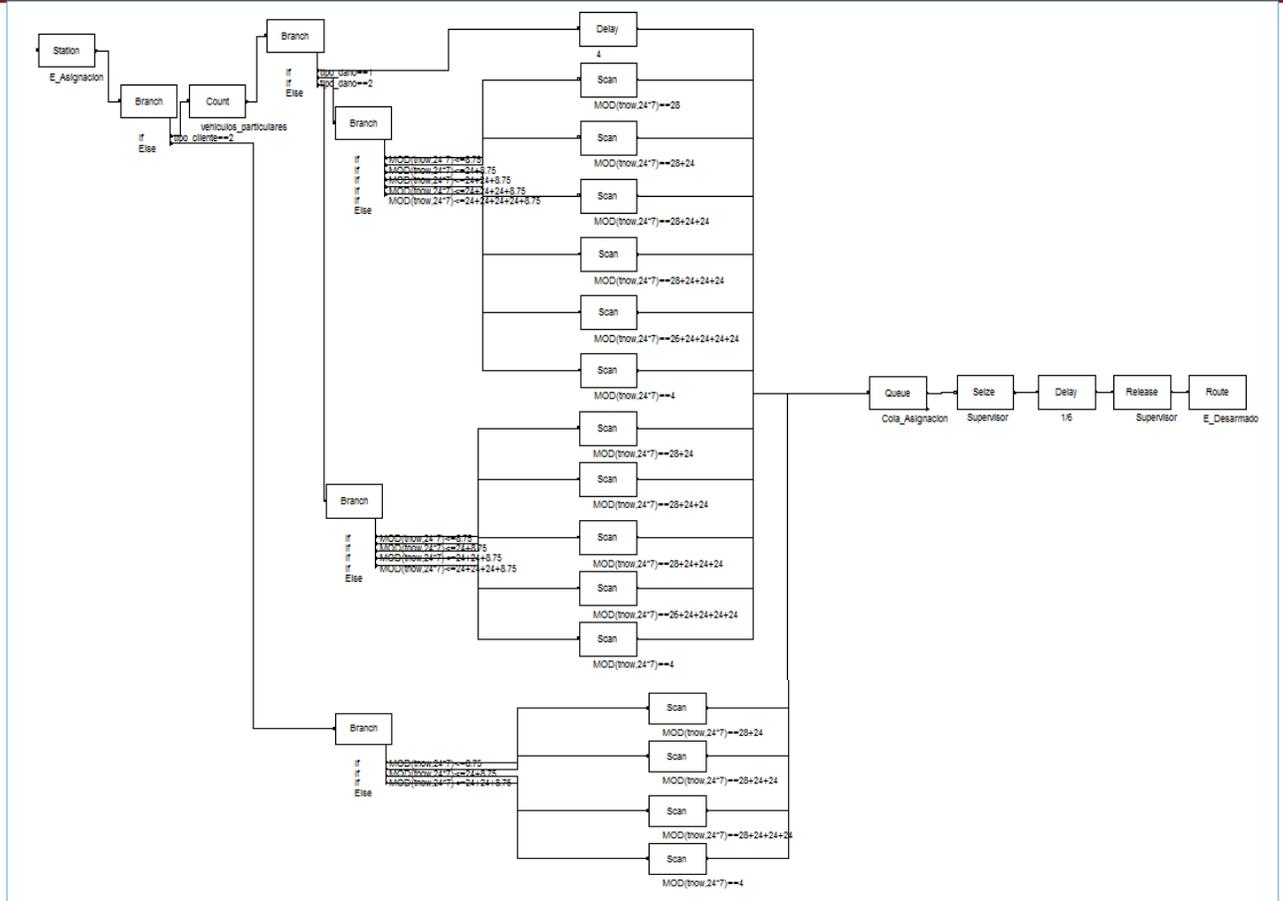


Figura 4.3 Bloques del proceso de valuación, aprobación y asignación de un vehículo
Elaboración propia

4.3.4 Simulación del Proceso de Reparación de una Unidad

Para simular todo el proceso de reparación de una unidad se iniciará desde la estación de desarmado hasta la estación de lavado y secado de la unidad. Entonces, luego de la asignación del vehículo y que la unidad se encuentre en E_Desarmado, este se dirigirá hacia un bloque *Queue* para esperar a que el bloque *Seize* asigne al armador a utilizar. Después, el proceso pasa por el bloque *Branch* para definir según el tipo de daño (leve, medio, fuerte) el tiempo de demora en el desarmado, dichos tiempos se encuentra en los bloques *Delay*. Finalmente, se libera al armador mediante el bloque *Release* y el vehículo se dirige hacia otro bloque *Branch* donde se definirá si el vehículo necesita una reparación mecánica o pasará directamente hacia carrocería. Si es que necesita reparación mecánica el bloque *Route* lo guiará hacia E_Meca, sino el bloque *Route* lo guiará hacia E_Carrocería.

A continuación, en la figura 4.4 se muestra lo descrito previamente:

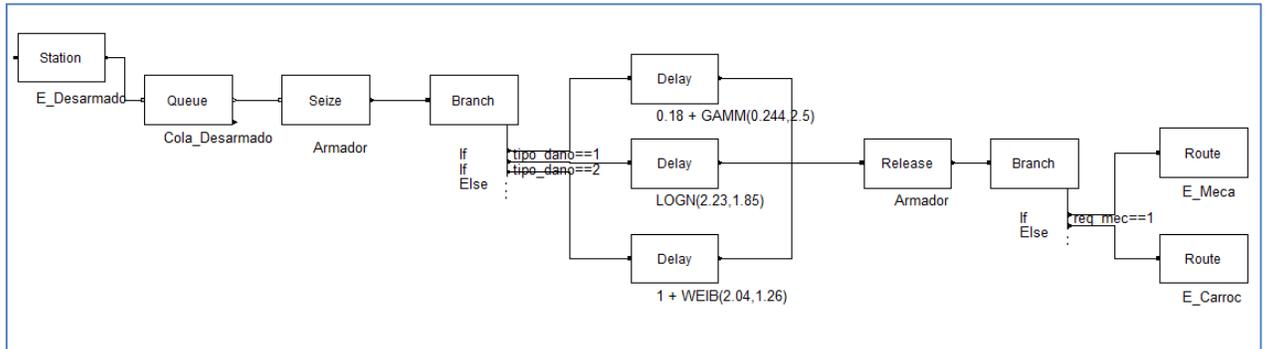


Figura 4.4 Bloques del proceso de desarmado de una unidad
Elaboración propia

En el caso de que el vehículo necesite reparación mecánica y sea dirigido hacia la E_Mec, este pasará por un bloque *Queue* para esperar que el bloque *Seize* libere al mecánico y el operario realice el trabajo en base al tiempo del bloque *Delay*. Luego, se liberará al mecánico con el bloque *Release* y se colocará un bloque *Count* para contar las unidades reparadas en dicha estación. Finalmente, el vehículo pasa por un bloque *Route* que lo dirigirá hacia la estación E_Carro.

A continuación, en la figura 4.5 se muestra lo descrito previamente:

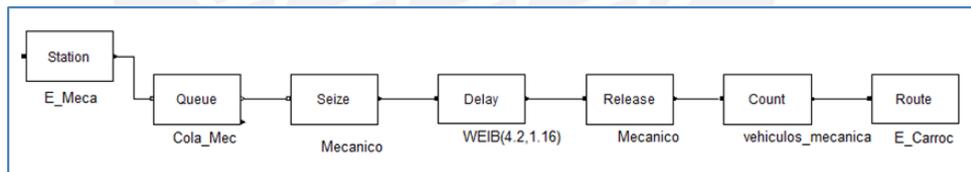


Figura 4.5 Bloques del proceso de reparación mecánica de una unidad
Elaboración propia

Cuando el vehículo llega a la E_Carro, ya sea directamente de E_Desarmado o de la E_Mec, la unidad pasará por un bloque *Queue* para esperar que el bloque *Seize* libere al recurso carrocerero. Después, la unidad pasa por el bloque *Branch* para definir el bloque *Delay* adecuado según el tipo de daño (leve, medio, fuerte) y según el estado de la unidad, es decir si proviene de un retrabajo o no. Finalmente, se libera al carrocerero mediante el bloque *Release* y la unidad se dirige hacia el bloque *Route* donde se derivará el vehículo a la estación E_Prep.

A continuación, en la figura 4.6 se muestra lo descrito previamente:

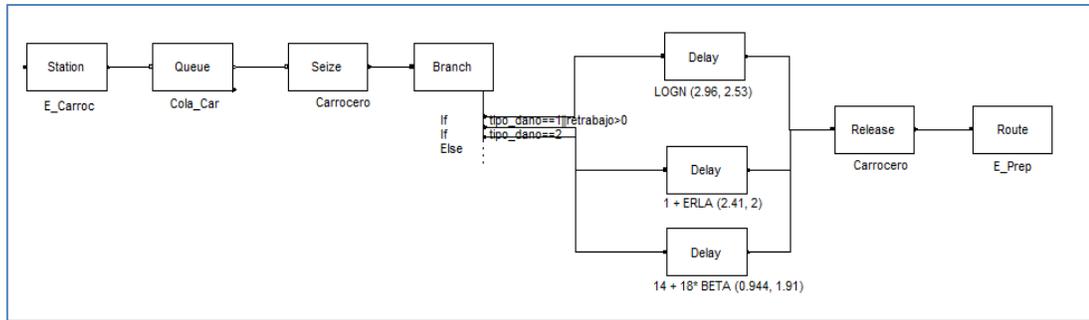


Figura 4.6 Bloques del proceso de carrocería de una unidad
Elaboración propia

Cuando el vehículo se encuentra en la E_Prep la unidad pasará por un bloque *Queue* para esperar que el bloque *Seize* libere al recurso preparador. Después, la unidad pasa por el bloque *Branch* para definir el bloque *Delay* adecuado según el tipo de daño (leve, medio, fuerte) y según el estado de la unidad, es decir si proviene de un retrabajo o no. Finalmente, se libera al preparador mediante el bloque *Release* y la unidad se dirige hacia el bloque *Route* donde se derivará el vehículo a la estación E_Pintura.

A continuación, en la figura 4.7 se muestra lo descrito previamente:

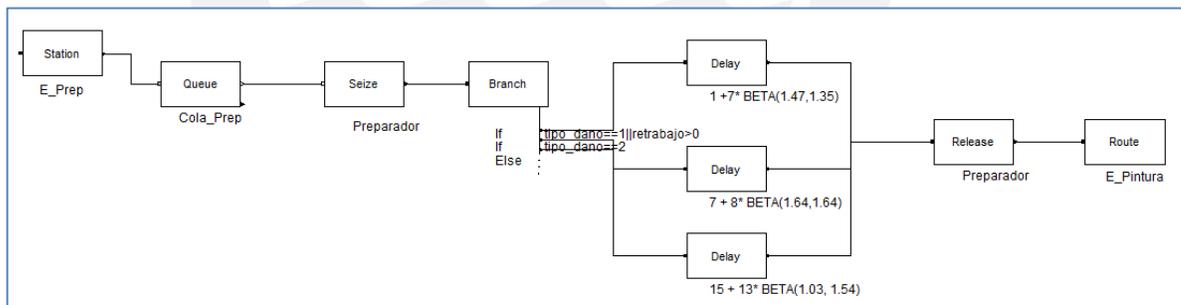


Figura 4.7 Bloques del proceso de preparación de una unidad
Elaboración propia

Posteriormente, cuando el vehículo se encuentra en la E_Pintura la unidad pasará primero por un bloque *Branch* el cual separará las unidades que ingresan al proceso según el tipo de daño (leve por un lado y medio o grave por otro lado). En el primer caso, los vehículos pasan por un bloque *Queue* de cola de pintura para daños leves para posteriormente asignar el recurso pintor con el bloque *Seize* que se demorará un tiempo definido en el bloque *Delay* para luego liberar el recurso con un bloque *Release* y finalmente las unidades se dirigirán hacia la siguiente estación mediante el bloque

Route. En el caso de los vehículos con tipo de daño medio y fuerte, estos también pasarán por un bloque *Queue* que representa a la cola de pintura. Luego, el proceso que le sigue es utilizar el bloque *Seize* para liberar al recurso pintor. Después, la unidad pasa por el bloque *Branch* para definir el bloque *Delay* adecuado según el tipo de daño (medio o fuerte) y según el estado de la unidad, es decir si proviene de un retrabajo o no. Finalmente, se libera al pintor mediante el bloque *Release* y la unidad se dirige hacia el bloque *Route* donde se derivará el vehículo a la estación *E_Arm*.

A continuación, en la figura 4.8 se muestra lo descrito previamente:

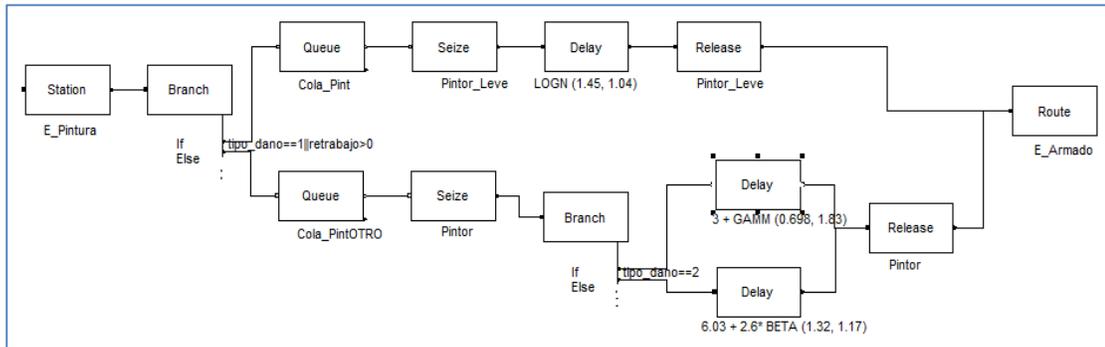


Figura 4.8 Bloques del proceso de pintado de una unidad

Elaboración propia

Una vez que el vehículo se encuentre en la *E_Arm*, que ocupa el mismo espacio físico que la *E_Desarmado* y que además el operario siempre priorizará la operación de armado, la unidad pasará por un bloque *Queue* para esperar que el bloque *Seize* libere al recurso armador. Después, la unidad pasa por el bloque *Branch* para definir el bloque *Delay* adecuado según el tipo de daño (leve, medio, fuerte) y según el estado de la unidad, es decir si proviene de un retrabajo o no. Finalmente, se libera al armador mediante el bloque *Release* y la unidad se dirige hacia el bloque *Route* donde se derivará el vehículo a la estación *E_Pul*.

A continuación, en la figura 4.9 se muestra lo descrito previamente:

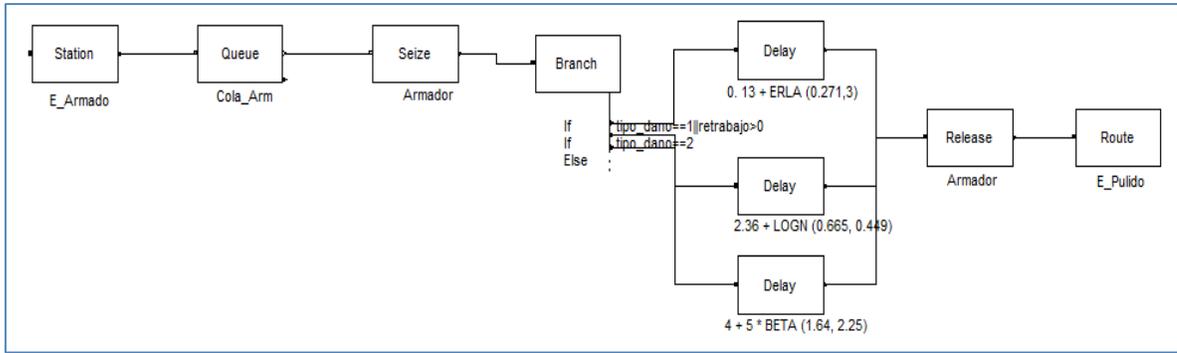


Figura 4.9 Bloques del proceso de armado de una unidad
Elaboración propia

Cuando el vehículo se encuentre en E_Pul, este pasará por un bloque *Queue* para esperar que el bloque *Seize* libere al pulidor y el operario pueda reparar el vehículo con un tiempo de demora definido en el bloque *Delay*. Luego, se liberará al pulidor con el bloque *Release*. Finalmente, el vehículo pasa por un bloque *Route* que lo dirigirá hacia la estación E_Lav_Sec. A continuación, en la figura 4.10 se muestra lo descrito previamente:

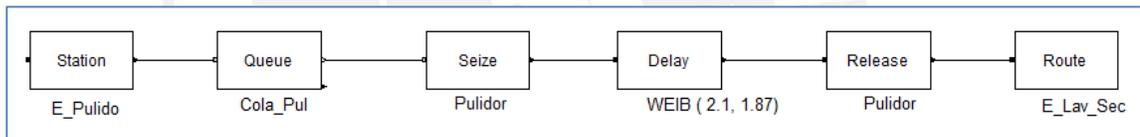


Figura 4.10 Bloques del proceso de pulido de una unidad
Elaboración propia

Como última operación de reparación, cuando el vehículo se encuentre en E_Lav_Sec, este pasará por un bloque *Queue* para esperar que el bloque *Seize* libere al lavador y al secador ya que en este proceso se necesita de 2 operarios para realizar operación. Luego el bloque *Delay* determinará el tiempo de demora de la operación y se liberarán a los operarios con el bloque *Release*. Finalmente, el vehículo pasa por un bloque *Route* que lo dirigirá hacia la estación E_CC. A continuación, en la figura 4.11 se muestra lo descrito previamente:

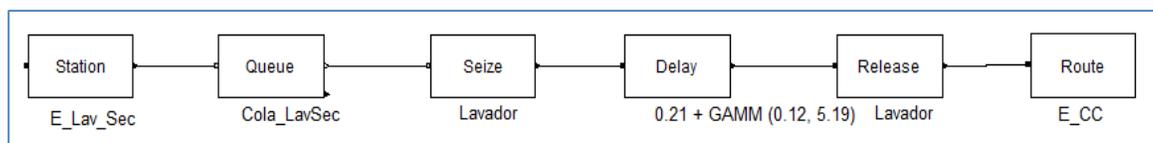


Figura 4.11 Bloques del proceso de lavado y secado de una unidad
Elaboración propia

4.3.5 Simulación del Proceso de Control de Calidad de un Vehículo

Para simular el proceso de revisión del control de calidad de una unidad se utilizará primero un bloque *Branch* para separar los carros que se han revisado y se han encontrado un retrabajo de los que no se han revisado aún. En el caso de los autos que aún no han sido revisados, estos continúan por un bloque *Assign* para colocar sus respectivos % incidencias, mientras que en el caso de los autos que ya han sido reprocesados continuarán a otro bloque *Assign* donde se “liberarán” de otro posible retrabajo. Luego, en ambos casos se continuará por un bloque *Queue* para esperar a que el recurso Controlista de Calidad sea liberado con el bloque *Seize* y atendido con un bloque *Delay* Finalmente, se libera el recurso utilizado con el bloque *Release* y se continua con un bloque *Branch* donde los vehículos serán separados y enviados hacia una estación diferente según tipo de retrabajo encontrado. Por ejemplo, cuando el retrabajo detectado es una falla de carrocería, el vehículo pasa por el bloque *Count* para contabilizar los vehículos con ese tipo de retrabajo para luego ser enviados mediante el bloque *Route* hacia la estación E_Carrocería. El mismo procedimiento se repite los retrabajos de preparación y pintura, mientras que en caso el vehículo no necesite ningún retrabajo o ya se haya reprocesado estos son enviados directamente con el bloque *Route* hacia la E_Entrega.

Entonces, a continuación en la figura 4.12 se muestra el proceso descrito previamente:

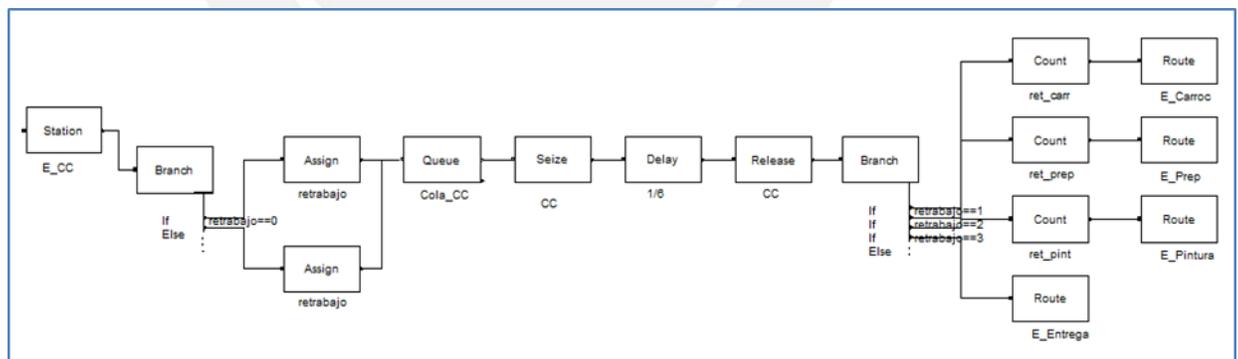


Figura 4.12 Bloques del proceso de control de calidad de un vehículo
Elaboración propia

4.3.6 Simulación del Proceso de Entrega y Salida de un Vehículo

Para simular el proceso de entrega de las unidades se utilizará primero el bloque *Assign* para definir el atributo de reparaciones por mes, luego colocar un bloque *Count* para identificar la cantidad de autos reparados, después colocar un bloque *Delay* para

definir la demora en la entrega y finalmente se procederá a utilizar el bloque *Route* para dirigirse a la estación ficticia Salida donde se procederá a usar el bloque *Tally* para obtener el Tiempo en el Sistema que se encuentra una unidad, luego el bloque *Count* para identificar la cantidad de vehículos que se han entregado y finalmente se utiliza el bloque *Release* para salir del sistema.

Cabe mencionar que se coloca también un bloque *Create* para que la cantidad almacenada en el atributo reparaciones por mes se actualice cada 720 horas.

A continuación en la figura 4.13 se muestra el proceso descrito previamente:

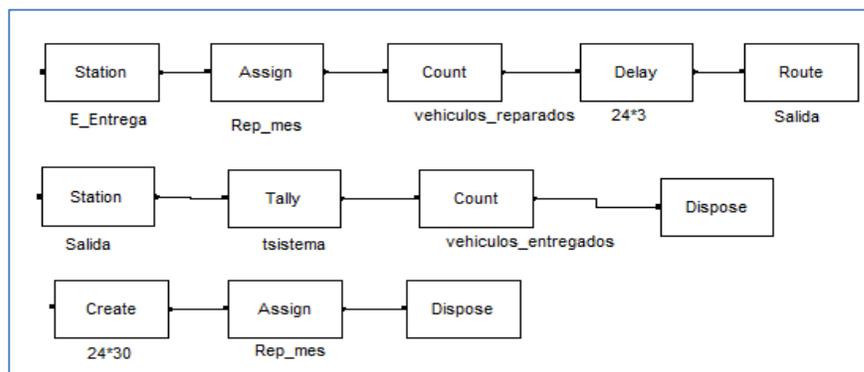


Figura 4.13 Bloques del proceso de entrega y salida de un vehículo
Elaboración propia

CAPÍTULO 5. ANÁLISIS Y VALIDACIÓN DE RESULTADOS

Antes de realizar el análisis y la validación de los resultados es necesario agregar al modelo descrito ciertos elementos que permitan obtener estadísticos con los cuales se obtenga información a contrastar con el sistema real. Dichos elementos a utilizar son los siguientes:

- *DStats*: Elemento utilizado para almacenar los tiempos colocados en el elemento *Tallie*.
- *Tallies*: Elemento utilizado para registrar el tiempo promedio que de estancia de un vehículo en el sistema.
- *Counters*: Elemento utilizado para contabilizar la cantidad de vehículos que ingresan al sistema, que son reparados, que necesitan mecánica, que son reprocesados y vehículos particulares.

Entonces, a partir de utilizar dichos elementos se procederá a realizar el análisis de los resultados:

5.1 Análisis de Resultados

Como se definió previamente, la estructura del modelo que se analiza es un sistema NO terminal ya que los vehículos permanecen en el taller hasta que se finalice totalmente su reparación y el conjunto de operaciones dura varios días. Entonces, debido a que este sistema es NO terminal, es necesario calcular la longitud de réplica óptima para poder validar los resultados con un nivel de significancia adecuado.

A continuación se presenta el procedimiento realizado para el cálculo de la longitud de réplica:

- a) Primero se grafica la evolución del promedio del tiempo de atención de una unidad en el taller. Cabe mencionar que el modelo será corrido por un tiempo de 100 000 horas y en la figura 5.1 se muestra la gráfica mencionada:

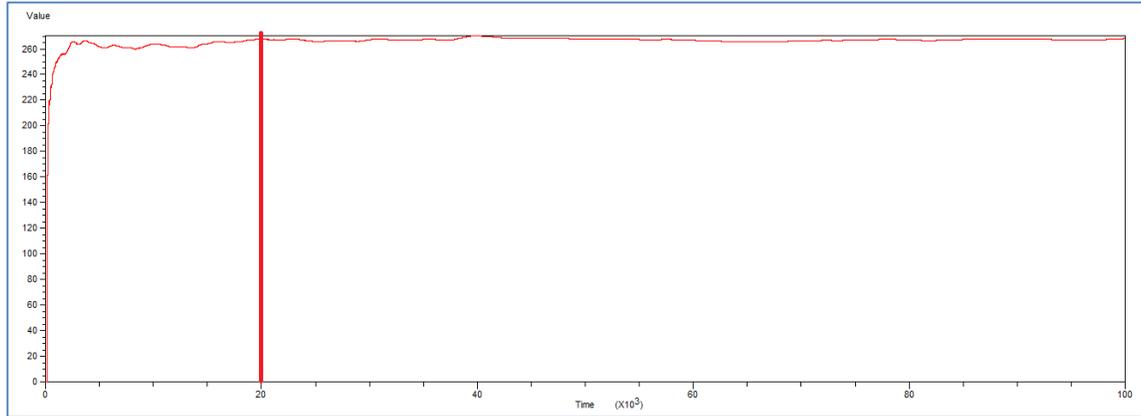


Figura 5.1 Periodo de Calentamiento/Estabilidad para el Tiempo de Reparación de un Vehículo

Fuente: Output Analyzer; elaboración propia

Como se puede observar en la figura anterior, se tuvo un tiempo de calentamiento de casi 20 000 horas, los cuales fueron descartados. Este periodo de calentamiento se debe a que al inicio de la simulación se cuenta con todos los recursos disponibles, entonces los vehículos que ingresan será asignados y reparados rápidamente.

b) Luego de determinar el periodo de calentamiento, se realiza un proceso de truncamiento por *batches* de manera que se separe el periodo estable del periodo de calentamiento y se agrupe la data en tiempos de 200 horas.

A continuación, en la tabla 5.1 se muestra el resumen del primer agrupamiento de la cola de carrocería:

Tabla 5.1 Resultados del Primer Agrupamiento del Sistema

| | 1er Agrupamiento |
|--|------------------|
| Concepto | T Sistema |
| Tiempo de truncamiento inicial | 20,000 |
| Número de <i>batches</i> | 400 |
| Tiempo entre <i>batches</i> | 200 |
| Tiempo de truncamiento final | 0 |
| Covarianza estimada entre <i>batches</i> | 0.9937 |

Fuente: Output Analyzer; elaboración propia

c) Como siguiente paso se procede a realizar un correlograma para determinar el número de observaciones que cada *batch* debe contener de tal manera que la correlación sea menor a 0.1.

A continuación se muestra el resumen de los resultados para cada cola:

Tabla 5.2 Resumen del Número de Observaciones Necesarias del Sistema

| Concepto | # de Observaciones Necesarias |
|-------------|-------------------------------|
| | T Sistema |
| Lag | 50 |
| Correlación | 0.085546 |

Fuente: Output Analyzer; elaboración propia

- d) Con estos resultados se realiza nuevamente un agrupamiento por observaciones y los resultados son los siguientes:

Tabla 5.3 Resultados del Segundo Agrupamiento del Sistema

| Concepto | 2do Agrupamiento |
|--|------------------|
| | T Sistema |
| Tiempo de truncamiento inicial | 0 |
| Número de <i>batches</i> | 8 |
| Número de observaciones por <i>batch</i> | 50 |
| Tiempo de truncamiento final | 0 |
| Covarianza estimada entre <i>batches</i> | 0.2193 |

Fuente: Output Analyzer; elaboración propia

- e) Luego se procede a realizar un análisis de intervalos de confianza con un nivel de confianza del 95% con la finalidad de determinar si la confiabilidad del tiempo tomado es la adecuada. Del análisis se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 5.4 Intervalos de Confianza del Sistema

| Item | Intervalos de Confianza |
|-------------------------|-------------------------|
| | T Sistema |
| Número de observaciones | 8 |
| <i>Half Width</i> | 0.623 |
| Promedio | 267.0 |

Fuente: Output Analyzer; elaboración propia

- f) Como penúltimo paso se emplea la siguiente fórmula para calcular el número de observaciones requeridas utilizando un nuevo *half width*: $n^* = n \left(\frac{h}{h^*} \right)^2$

Donde:

n^* : Es el número de observaciones necesarias

n : Es el número de *batches* (A_2)

h : Es el *half width* resultante

h^* : Es el *half width* deseado

A continuación se muestran los resultados obtenidos:

Tabla 5.5 Intervalos de Observaciones Requeridas del Sistema

| Item | Número de Observaciones Requeridas |
|------|------------------------------------|
| | T Sistema |
| n | 8 |
| h | 0.623 |
| h* | 26.7 |
| n* | 1 |

Fuente: Output Analyzer; elaboración propia

- g) Finalmente se procede a hacer el cálculo de la longitud de réplica, para lo cual se utilizara la siguiente fórmula: $LR = \text{Periodo de Calentamiento} + (A_1 * A_2 * n^*)$

A continuación se muestran los resultados obtenidos:

Tabla 5.6 Longitud de Réplica Calculada

| Indicador | Horas Calentamiento | A1 | A2 | n* | LR |
|-----------|---------------------|-----|----|----|--------|
| T Sistema | 20,000 | 200 | 8 | 1 | 21,600 |

Fuente: Output Analyzer; elaboración propia

De acuerdo al análisis realizado, la longitud de réplica adecuada es de 21 600 horas.

5.2 Validación de Resultados

Luego de obtener la longitud de réplica adecuada para el modelo, es necesario verificar si los resultados obtenidos son coherentes con respecto al sistema real. Para realizar esta validación se utilizarán los dos indicadores principales del taller: Tiempo de estancia promedio de una unidad y cantidad de vehículos reparados mensuales.

5.2.1 Tiempo promedio de estancia de una unidad en el taller

Luego de determinar la Longitud de Réplica adecuada en el punto anterior se validan dichos resultados con el sistema real. Para realizar dicha validación se repitió el mismo procedimiento.

- Primero se grafica la evolución del promedio de tiempo de estancia de un vehículo y se observa el periodo de calentamiento de 3000 horas, los cuales fueron descartados.
- Luego, se procede a separar el periodo de calentamiento de la corrida total realizando un proceso de truncamiento por *batches* en el cual se agrupa la data en grupos de 100 minutos como se muestra en la tabla 5.7:

Tabla 5.7 Resultados del Primer Agrupamiento del Sistema [LR Óptima]

| | 1er Agrupamiento |
|--|------------------|
| Concepto | T Sistema |
| Tiempo de truncamiento inicial | 3,000 |
| Número de <i>batches</i> | 186 |
| Tiempo entre <i>batches</i> | 100 |
| Tiempo de truncamiento final | 0 |
| Covarianza estimada entre <i>batches</i> | 0.9952 |

Fuente: Output Analyzer; elaboración propia

- Con estos datos se realiza un correlograma para determinar el número de observaciones que cada *batch* debe contener de tal manera que la correlación entre dichos *batches* sea menor a 0.1 y se obtiene que el número de observaciones por *batch* era de 45.
- Luego se procede a realizar un nuevo agrupamiento por observaciones. En la tabla 5.8 se muestra lo hallado:

Tabla 5.8 Resultados del Segundo Agrupamiento del Sistema [LR Óptima]

| | 2do Agrupamiento |
|--|------------------|
| Concepto | T Sistema |
| Tiempo de truncamiento inicial | 0 |
| Número de <i>batches</i> | 4 |
| Número de observaciones por <i>batch</i> | 45 |
| Tiempo de truncamiento final | 6 |
| Covarianza estimada entre <i>batches</i> | 0.416 |

Fuente: Output Analyzer; elaboración propia

- Finalmente se procede a realizar un análisis de intervalos de confianza con un nivel de significancia de 95% con el fin de determinar si la confiabilidad es la adecuada. Del análisis se obtuvo el siguiente intervalo de confianza:
Intervalo de Confianza = [262,264] horas

Entonces, como el promedio histórico de TPE es de 11 días que es igual a 264 horas cae dentro del intervalo de confianza, por lo tanto se puede concluir que se ha simulado de forma correcta el tiempo de estancia de un vehículo en el taller.

5.2.2 Número de vehículos reparados mensuales

Este indicador permitirá validar si el modelo está simulando adecuadamente la reparación de vehículos mensuales del taller. Entonces, para revisar este indicador se utiliza el bloque *Counter* para conocer la cantidad de vehículos reparados en un mes. En la tabla 5.9 se muestra el resultado obtenido:

Tabla 5.9 Resultados Cantidad Vehículos Reparados Modelo

| Entidad | Contador |
|---------------------|----------|
| Vehículos Reparados | 175 |

Fuente: Arena; elaboración propia

Ahora, para comparar el resultado del modelo con el sistema real se utilizará los datos del taller descritos previamente donde se muestran la cantidad de vehículos reparados por mes (ver Cap. II Descripción y Diagnóstico de la Empresa - punto 2.2.3 tabla 2.5):

Tabla 5.10 Resultados Cantidad Vehículos Reparados Taller

| KPI | Vehículos Reparados 2014 | | | | | | | |
|---------------------|--------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago |
| Vehículos Reparados | 169 | 187 | 176 | 171 | 186 | 170 | 201 | 160 |

Fuente: Empresa; elaboración propia

De la tabla 5.10 se tiene:

$$\bar{X} = 178, S = 13.0603, n = 8$$

Se plantean las siguientes hipótesis:

$$H_0: u = 175, H_1: u \neq 175$$

Ahora, el estadístico de prueba a utilizar será la distribución T-student debido a que la varianza poblacional es desconocida y el tamaño de muestra es menor a 30 utilizando un nivel de confianza del 5%:

$$\frac{\bar{X} - \mu_0}{s / \sqrt{n}} = \frac{178 - 175}{13.0603 / \sqrt{8}} = 0.6497$$

$$t_{0.975,7} = 2.365$$

Finalmente, como el estadístico de prueba no cae en los rangos de la región de rechazo: $]-\infty, -2.365] \cup [2.365, \infty[$ correspondiente al nivel de significancia 0.05 se puede afirmar que no existe prueba suficiente para rechazar la hipótesis nula. Por lo tanto se ha simulado adecuadamente el taller de Carrocería y Pintura.



CAPÍTULO 6. PROPUESTA DE MEJORA

Una vez validado el modelo en el capítulo anterior se procederá a proponer mejoras en el sistema mediante la variación del número de recursos a utilizar en el taller. Ahora, para sustentar cada propuesta de mejora se utilizará el *Optquest* del *software* Arena ya que esta herramienta permite obtener la mejor combinación de variables para obtener la mejor optimización del sistema.

Cabe mencionar que los indicadores a mejorar serán los presentados en la validación de resultados: el tiempo de estancia de un vehículo y la cantidad de unidades reparadas por mes. Ambos indicadores dependen directamente de tres factores (tiempo de aprobación, tiempo de reparación y tiempo entrega), como se ha venido mencionado en los anteriores capítulos. Finalmente, de estos tres factores mencionados, el tiempo de reparación de una unidad que el único que depende directamente de agentes internos del taller. Por lo tanto la mejora se basará en reducir el tiempo de reparación promedio de una unidad para así disminuir el TPE y aumentar la cantidad de vehículos reparados.

6.1 Controles del Sistema

Para la optimización en el *Optquest* se necesita definir los recursos que variarán su capacidad en cada simulación para así encontrar la que genere la solución óptima. Ahora, debido a la infraestructura y disposición de estaciones de trabajo en el taller, los controles del sistema se encuentran ligados solo a la cantidad de pintores, preparadores, pintores, carroceros y armadores en el taller. Entonces, en este caso, se definió cuatro tipos de control:

- a) El primer control fue variar la cantidad de pintores debido a que el proceso de pintura es el que genera mayor cuello de botella en el sistema. Actualmente se cuenta con 3 pintores a tiempo completo (1 que solo pinta autos con daños leves y 2 para daños medios y fuertes). Ahora, se evaluará la posibilidad de utilizar como máximo 2 pintores para daños leves y como máximo 3 pintores para daños medios y fuertes. Es decir, se analizará la posibilidad de contratar a 2 más ya que la disposición del taller permite hacer dichas variaciones.
- b) El siguiente control fue variar la cantidad de preparadores ya que estos alimentan directamente a pintura. Actualmente se cuenta con 8 preparadores y como en el

caso anterior se evaluará la posibilidad de contar solo con un mínimo de 6 preparadores y un máximo de 9 ya que la disposición del taller permite hacer dichas variaciones.

- c) El tercer control a colocar es modificar la cantidad de carroceros en el sistema ya que este proceso también genera retrasos en el taller. Actualmente se cuenta con 4 carroceros y se evaluará la posibilidad de contar como mínimo con 3 carroceros y como máximo con 5 carroceros ya que la disposición del taller lo permite
- d) Finalmente el último control es variar la cantidad de armadores que se tiene en el taller ya que el desarmado y el armado son los procesos que inician y finalizan el conformado de un vehículo. Actualmente en el taller se cuenta con 4 armadores y se evaluará la posibilidad de contar como mínimo con 3 armadores y como máximo con 5 ya que la disposición del taller lo permite.

6.2 Restricciones de la Optimización

Dentro de las restricciones planteadas para las corridas de optimización se tomaron en cuenta las siguientes:

- ***Armadores + Carroceros ≤ 9***

Esta restricción hace referencia a la cantidad de armadores y carroceros que se puede tener en el taller debido a la disponibilidad de estaciones de trabajo que hay en el área de carrocería.

- ***Preparadores + Pintor (daño leve) + Pintor (daño medio y fuerte) ≤ 12***

Esta restricción hace referencia a la cantidad de preparadores y pintores que se puede tener en el taller debido a la disponibilidad de estaciones de trabajo que hay en el área de pintura.

6.3 Planteamiento de la Función Objetivo

La función objetivo tiene como finalidad reducir el tiempo de estancia promedio de un vehículo ya que al reducir el tiempo de estancia se aumentará a su vez la cantidad de vehículos reparados por mes. Por lo tanto, la función objetivo planteada es:

MIN (tsistema)

Cabe mencionar que el valor del tiempo en el sistema fue medido con el bloque *Tally* al final del modelo.

6.4 Solución del Optquest

Como paso previo a realizar las corridas con el *Optquest* fue necesario definir la cantidad de simulaciones a correr y para este caso se definió 100 simulaciones. Entonces, luego de proceder a correr el modelo y que el *Optquest* terminara de evaluar todas las posibles soluciones, en la tabla 6.1 se muestra la mejor combinación de resultados:

Tabla 6.1 Solución Óptima

| Controles | Original | Solución Optquest | Comentarios |
|----------------------|----------|-------------------|-----------------------|
| <i>Armadores</i> | 4 | 4 | Se mantiene |
| <i>Carroceros</i> | 4 | 5 | Se aumenta 1 operario |
| <i>Preparadores</i> | 8 | 7 | Se reduce 1 operario |
| <i>Pintores</i> | 2 | 3 | Se aumenta 1 operario |
| <i>Pintores_Leve</i> | 1 | 2 | Se aumenta 1 operario |

Fuente: Optquest; elaboración propia

A partir de los resultados obtenidos se demuestra que para reducir el tiempo de estancia de las unidades es necesario contratar a un operario carroceros adicional, un pintor para daños leves, otro para daños medios-graves y eliminar un preparador.

Utilizando la solución del Optquest se cambia la cantidad de recursos iniciales en el modelo original. Luego, se corre una vez más el modelo y se obtiene los siguientes resultados:

- a) Tiempo Promedio de Estancia = 231.24 horas \approx 9 días

Este resultado indica que se ha reducido en 2 días el TPE que actualmente se encuentra en 11 días útiles. Ahora, esta disminución de tiempo resulta beneficiosa para la facturación del taller ya que a menor estacionalidad de vehículos, mayor rotación de unidades, mayor uso del espacio disponibles y mejor utilización de recursos.

- b) Unid Reparadas / Mes= 185 vehículos/mes

Cabe mencionar que también se obtuvo un promedio de 185 unidades reparadas por mes que representa 7 unidades más que el promedio real actual.

Esta reducción de tiempo resulta beneficiosa para la facturación del taller ya que menor estacionalidad de unidades significa mejor utilización de recursos y espacio asignado.

6.5 Propuestas de Mejora

A partir de los resultados obtenidos del Optquest (contratar un carroceros, dos pintores y eliminar un preparador) se propone lo siguiente:

a) Operarios carroceros realicen el trabajo de desarmado y conformado

Se ha identificado que el cuello de botella que le sigue al proceso de pintado es el proceso de armado ya que al aumentar la cantidad de pintores, los trabajos de armado se acumularán. Debido a eso, y realizando pruebas en el modelo, los operarios carroceros podrían realizar dicha labor sin afectar el ritmo de trabajo ni la estacionalidad de vehículos y sobretodo eliminando dicho cuello de botellas por la razón que los operarios carroceros tienen mayor experiencia dentro del negocio y realizan el trabajo de desarmado con mayor rapidez.

b) Promoción de nivel de operario preparador

Debido a que se debe reducir un operario preparador, la propuesta consiste en realizar un plan de capacitación para que dicho operario suba de nivel a pintor y pueda realizar los trabajos leves. Esta propuesta es la más viable ya que el despido arbitrario es caro comparado con una promoción de nivel, además de que para que un preparador obtenga un grado de pintor requiere sólo conocer las mezclas de pintura adecuada y métodos de pintado.

c) Habilitación de un turno adicional

Debido al crecimiento del mercado y por requerimientos de la empresa, la meta de vehículos reparados mensuales aumentará el siguiente año. Por lo tanto es necesario encontrar un método para cumplir dicha meta y ya que los metros disponibles del taller no permiten controlar tal cantidad de demanda, se propone habilitar un turno adicional en el taller. Es decir colocar un turno de 7:00 am – 3:00 pm y otro de 3:00 pm – 11:00 pm.

Ahora, para definir la cantidad de operarios a contratar se utilizará el modelo de simulación creado colocando como punto inicial la cantidad de vehículos que se debe reparar por mes de manera que se cumpla la meta y sólo se utilicen los recursos adecuados para cumplir dicho indicador.

Finalmente, por políticas de la empresa e implementación de mejoras a un corto plazo se opta por elegir la opción b) de contratar un carroceros, un pintor y promover a un preparador como pintor.

CAPÍTULO 7. EVALUACIÓN ECONÓMICA

En este capítulo se analizará la factibilidad de implementar la mejora de propuesta elegida. Para lograr dicho fin, se definirán los costos de implementación, el flujo de caja para determinar el periodo de recuperación así como indicadores de rentabilidad (TIR y VAN). Finalmente se planteará el cronograma de implementación del proyecto.

7.1 Costos de Implementación

En este punto se incluye el costo de preparación del modelo, los requerimientos de personal y por supuesto de las herramientas y equipos que necesitarán para realizar su labor. Cabe mencionar que para los costos se utilizará el tipo de cambio vigente de S/. 2.931

7.1.1 Preparación del Modelo

Para la preparación del modelo de simulación del taller, se necesita obtener la licencia del Software Arena Professional 14.5 (costo de US\$ 9 314) y se debe de considerar también el sueldo del analista encargado de desarrollar el modelo. En cuanto a la duración del proyecto, y por experiencia, al analista le tomará alrededor de 9 meses en finalizar la simulación. A continuación se muestran los costos incurridos en la preparación del modelo (S/.):

Tabla 7.1 Costos Preparación del Modelo

| Concepto | Costo Estimado |
|-------------------------|----------------------|
| Arena Professional 14.5 | S/. 27 299.33 |
| Analista (9 meses) | S/. 27 000.00 |
| TOTAL | S/. 54 299.33 |

Fuente: Página web Arena; elaboración propia

7.1.2 Requerimientos de Personal

Para la implementación de la mejora se necesitará contratar a dos nuevos operarios (un carroceros y un pintor) y capacitar a un operario preparador para que suba de nivel a pintor. Cabe resaltar que los operarios aparte de su sueldo bruto, reciben una comisión variable como incentivo de producción. A continuación, se muestran los sueldos obtenidos por cada empleado en el taller, un promedio de sus incentivos, así como el costo total por mes proyectado:

Tabla 7.2 Costos Requerimiento Personal

| Cargo | Cantidad | Sueldo (S/.) | Incentivo (S/.) |
|----------------------------|----------|--------------|---------------------|
| Carrocero | 1 | S/. 1 900.00 | S/. 832.00 |
| Pintor | 2 | S/. 1 900.00 | S/. 372.00 |
| COSTO TOTAL MENSUAL | | | S/. 7 276.00 |

Fuente: Empresa; elaboración propia

7.1.3 Requerimientos de Equipos y Herramientas

Además de la contratación del nuevo personal, es necesario también tener en consideración los equipos y herramientas que dichos operarios requieren para hacer su respectiva labor. En el caso de los equipos, es necesario comprar una banca pequeña de estiraje o *minibench* para el carrocero. Mientras que en el caso de los dos nuevos pintores es necesario comprar un horno de pintura y un horno plenum. En el caso de herramientas, para el carrocero es necesario comprar juego de dados, juego de tases, juego de llaves, entre otros. Mientras que para los pintores es necesario adquirir juego de pistolas HVLP y tases de distintos tamaños. A continuación, se muestran los costos incurridos en la compra de estos equipos y herramientas:

Tabla 7.3 Costos Requerimiento Equipos y Herramientas

| Área | Concepto | Costo Estimado |
|------------|-------------------------|----------------|
| Carrocería | Minibench | S/. 73 275.00 |
| | Herramientas Personales | S/. 1 172.40 |
| Pintura | Plenum + Horno | S/. 131 895.00 |
| | Herramientas Personales | S/. 1 758.60 |

Fuente: Proveedores Empresa

7.2 Flujo de Caja del Taller

Para la elaboración del el flujo de caja es necesario tener en consideración los siguientes datos:

Tabla 7.4 Datos para el Flujo de Caja

| Concepto | Monto | Observaciones |
|---------------------|------------|--|
| Ingreso x vehículo | S/. 1 236 | Promedio del taller [periodo 2013-2014 KPI's] |
| Vehículos x mes | 185 | Promedio esperado vehículos reparados |
| MOD | S/. 45 827 | Costo de MOD mensual [periodo 2013-2014 KPI's] |
| CIF | S/. 39 161 | Costo de pintura, consumibles, etc [periodo 2013-2014 KPI's] |
| Gastos Operativos | S/. 10 000 | Sueldo área administrativa taller mensual |
| Impuesto a la renta | 30% | Anual |

Fuente: Indicadores Empresa

Entonces a partir de los anteriores datos, en la tabla 7.5 se muestra la proyección del flujo de caja en meses del proyecto:

Tabla 7.5 Flujo de Caja (en meses)

| FLUJO DE CAJA | Mes 0 | Mes 1 | Mes 2 | Mes 3 | Mes 4 | Mes 5 | Mes 6 | Mes 7 | Mes 8 | Mes 9 | Mes 10 | Mes 11 | Mes 12 |
|--------------------------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Ingresos | | | | | | | | | | | | | |
| Ingresos por MO | | S/. 228,660 |
| Total Ingresos | | S/. 228,660 |
| Egresos | | | | | | | | | | | | | |
| Pago MOD | | S/. 45,827 |
| Pago MOD (adicional) | | S/. 7,276 |
| Pago CIF | | S/. 39,161 |
| Gastos Operativos | | S/. 10,000 |
| Impuestos a la renta | | S/. 5,054 |
| Inversión Activos Intangibles | S/. 54,299 | | | | | | | | | | | | |
| Inversión Activos Tangibles | S/. 208,101 | | | | | | | | | | | | |
| Total Egresos | S/. 262,400 | S/. 107,318 |
| Flujo de Caja Económico | -S/. 262,400 | S/. 121,342 |

Elaboración propia

Finalizado este punto se procede a utilizar indicadores de rentabilidad para evaluar la viabilidad del proyecto:

7.3 Indicadores de Rentabilidad del Proyecto

- Antes de calcular los indicadores de rentabilidad, es decir el VAN y el TIR, es necesario definir cuando el proyecto resultará viable. Para que esto suceda es necesario que: $VAN > 0$, $TIR > Kp$
- Entonces, es necesario también calcular el Kp , a continuación, se muestra el cálculo realizado para hallarlo:

Tabla 7.6 Cálculo del Kp

| Kp | |
|--|---------------|
| $Kp = R_f + \beta(R_m - R_f) + \text{Riesgo Pais}$ | |
| $\text{Riesgo Pais} = EMBI_{\text{peru}} \times (\sigma_{IGBVL} / \sigma_{BGP15})$ | |
| Indicador | Tasa % |
| Rf Bono del Tesoro Americano a 10 años | 6.65% |
| industria | 0.96 |
| $R_m - R_f$ Prima por riesgo de un mercado maduro | 5.00% |
| $EMBI_{\text{peru}}$ | 0.025 |
| $\sigma_{IGBVL} / \sigma_{BGP15}$ Ajuste de la volatilidad relativa del mercado bursatil | 1.87 |
| Costo capital (Kp) | 16.13% |

Fuente: Aswath Damodaran (2014); Sergio Chión (2014)

- Ahora, se calcula ahora los indicadores de rentabilidad mencionados:

Tabla 7.7 Indicadores de Rentabilidad

| | TIR | VAN |
|---------------|-----|-------------|
| Indicador FCE | 46% | S/. 395 347 |

Fuente: Elaboración propia

- Finalmente, se demuestra que el proyecto resulta ser viable ya que el VAN tiene un valor muy superior a 0, además, el valor del TIR supera al valor exigido (Kp), lo cual demuestra que el proyecto puede ser ejecutado bajo las condiciones estimadas propuestas.

Tabla 7.8 Resultados Indicadores

| | |
|-----|-----------------|
| TIR | 46 % > 16.3 % |
| VAN | S/. 395 347 > 0 |

Fuente: Elaboración propia

7.4 Cronograma de Implementación del Proyecto

- La primera parte del cronograma de implementación que corresponde a todo el estudio de simulación a realizar para obtener una propuesta de mejora adecuada. Como se comentó previamente, esta parte durará en promedio 3 meses.
- La segunda parte del cronograma corresponderá a la ejecución de la propuesta de mejora donde se incluye la generación de los requerimientos de equipo y herramientas como la contratación y capacitación de los operarios nuevos.

| Actividad | Detalle | Mes 1 | Mes 2 | Mes 3 | Mes 4 | Mes 5 | Mes 6 | Mes 0 |
|---|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| I. Estudio de Simulación | Recopilación de Datos | ■ | | | | | | 100% |
| | Análisis de Datos | | ■ | | | | | 100% |
| | Construcción del Modelo | | ■ | ■ | | | | 100% |
| | Validación del Modelo | | | ■ | ■ | | | 100% |
| | Propuesta de Mejora | | | ■ | ■ | | | 100% |
| II. Ejecución de la Propuesta de Mejora | Generación RQ Equipos | | | ■ | | | | 100% |
| | Transporte Marítimo | | | | ■ | ■ | ■ | 100% |
| | Instalación Equipos | | | | | | ■ | 100% |
| | Generación RQ Herramientas | | | ■ | | | | 100% |
| | Entrega Herramientas | | | | ■ | ■ | ■ | 100% |
| | Contratación Carrocero | | | | | | ■ | 100% |
| | Contratación Pintor | | | | | | ■ | 100% |
| | Capacitación Preparador | | | | | | ■ | 100% |

Figura 7.1 Cronograma Implementación del Proyecto

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 Conclusiones

En cuanto al objetivo principal del proyecto, que fue reducir la estacionalidad promedio de unidades y aumentar la cantidad de vehículos reparados, se concluye que la ejecución del modelo de simulación y la solución óptima brindada por dicho *Software* fue la correcta ya que se pudo reducir el TPE en 2 días y a su vez aumentar la cantidad de vehículos reparados por mes a 185 vehículos. Cabe resaltar que esta solución brindada mejora todo lo correspondiente a los procesos internos del taller, entonces, el área administrativa de la empresa puede enfocarse en mejorar los factores externos que afectan como el tiempo de aprobación de los seguros y tiempo de recojo de unidades por parte de los clientes.

En cuanto al análisis de datos, se concluye que el modelo construido pudo ajustarse adecuadamente a la realidad del taller según los indicadores analizados gracias a la precisión en el análisis de datos de entrada ya que cuando más ajustada es la distribución estadística encontrada se puede realizar una mejor simulación de la realidad en el modelo. A su vez, es importante resaltar que la importancia de realizar una simulación de eventos discretos se basa en la posibilidad de desarrollar modelos complejos los cuales representen sistemas reales y a partir de estos poder obtener información relevante que permita entender y optimizar el desempeño del sistema real.

En cuanto a la construcción y ejecución del modelo, se concluye que uno de los beneficios de construir el modelo de simulación, fue claramente identificar cuál es el cuello de botella del sistema de manera que se plantee una solución para poder eliminarlo. Luego, al ejecutar la simulación sobre este sistema se puede obtener distintos resultados variando la cantidad de recursos que afectan al modelo sin necesidad de realizar estos cambios en el sistema real.

Finalmente, respecto a la inversión que se necesita para ejecutar la mejora propuesta que suma S/. 262 400 es mínima comparada con los beneficios que se obtendrán a partir de la implementación del proyecto puesto que los indicadores de rentabilidad como el TIR de 46% y VAN de S/. 395 347 demuestran la viabilidad de este plan de trabajo.

8.2 Recomendaciones

Se debe de tomar en cuenta que cuando se realice alguna variación de recursos u otras variables en el sistema real, es decir el taller, es necesario reproducir nuevamente la simulación cada cierto intervalo de tiempo para identificar los nuevos cuellos de botella generados y demás indicadores que pueden ser afectados con cada modificación realizada.

Adicionalmente, dada la estructura del modelo creado, se recomienda utilizar este modelo para evaluar de forma confiable otros proyectos del área de C y P como la evaluación de rendimiento cuando se contrate nuevo personal, cuando se genere un turno de trabajo adicional y se requiera estimar cuantos vehículos se puede reparar en dicho turno o si es que se requiere saber cuántos recursos se necesitan para aumentar la rentabilidad del negocio a un punto en específico.

También, a partir de los resultados obtenidos de la simulación, se recomienda utilizar este modelo creado para comparar e implementar mejoras en los demás centros de servicio C y P de la empresa XYZ, lógicamente, modificando en cada caso los parámetros propios de cada taller.

Luego de la implementación de la propuesta de mejora se recomienda realizar encuestas periódicas a los clientes para identificar como ha variado su percepción del taller, es decir, si es que pueden identificar que mejoras se ha realizado. Esta información servirá de *feedback* para corroborar la efectividad de la mejora y poder añadir nuevos proyectos de mejora.

Finalmente, se recomienda realizar un estudio de simulación para el área de mantenimiento preventivo, ya que al mejorar los tiempos de estancia de C y P y mecánica, el área de servicio post-venta de la empresa XYZ alcanzará un nuevo nivel de mejora y atención al cliente.

BIBLIOGRAFÍA

- ALTIOK, Tayfur
2007 *Simulation, Modeling and Analysis with Arena*. San Diego: Elsevier
- ARMAS SARMIENTO, Katia Jane
2013 *Mejora en el área de tintorería y acabados de telas de una empresa textil peruana empleando simulación*. Tesis de licenciatura en Ciencias en Ingeniería con mención en Ingeniería Industrial. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería, Facultad de Ciencias e Ingeniería.
- ARRIVASPLATA ZEGARRA, Omar André; SANZ ZEGARRA, Pablo
2013 *Diagnóstico y mejora de procesos para la reducción de la tasa de ocupación de un muelle*. Tesis de licenciatura en Ciencias en Ingeniería con mención en Ingeniería Industrial. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería, Facultad de Ciencias e Ingeniería.
- BANKS, Jerry; CARSON II, Jhon; NELSON, Barry; NICOL, David
2010 *Discrete-Event System Simulation*. Quinta edición. New Jersey: Pearson
- CÓRDOVA ZAMORA, Manuel
2006 *Estadística Aplicada*. Lima
- CÓRDOVA ZAMORA, Manuel
2003 *Estadística Inferencial y Descriptiva*, Lima
- ESCALANTE VASQUEZ, Edgardo
2010 *Seis-Sigma: Metodología y Técnicas*. México: Limusa
- FABREGAS ARIZA, Aldo
2003 *Simulación de sistemas productivos con Arena*. Barranquilla: Uninorte
- GOPALAKRISHNAN, Maheshwaran; LAROQUE, Christoph; SKOOGH, Anders
2013 *Simulation-based panning of maintenance activities in the automotive industry*. Proceedings of the 2013 Winter Simulation Conference. Goteborg, pp: 2610- 2621.
- KELTON, W. David; SADOWSKI, Randall; STURROCK, David
2008 *Simulation with Arena*. Cuarta edición. New York: McGraw-Hill
- KIRCHHOF, Patrick; MESETH, Nicolas; WITTE, Thomas
2008 *Simulation based evaluation of the workload control concept for a company of the automotive industry*. Proceedings of the 2008 Winter Simulation Conference. Osnabruck, pp: 1856- 1862.

- MONTGOMERY, Douglas C.
2009 *Probabilidad y estadística aplicadas a la ingeniería*. Segunda edición.
México: Limusa Wiley
- ORDÓÑEZ ALCÁNTARA, William Christopher Joseph; TORRES CASTANEDA, Jorge
2014 *Análisis y mejora de procesos en una empresa textil empleando la metodología DMAIC*. Tesis de licenciatura en Ciencias en Ingeniería con mención en Ingeniería Industrial. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería, Facultad de Ciencias e Ingeniería.
- PYZDEK, Thomas
2000 *Quality Engineering Handbook*. New York: QA Publising.
- ROCKWELL AUTOMATION
2007 *OptQuest for Arena, User Guide*
- TAGUE, Nancy R.
2005 *The Quality ToolBox*. Segunda Edición. Wis.: American Society for Quality
- TORRES VEGA, Pedro Jesús
2010 *Simulación de sistemas con el software*. Lima: Universidad de Lima