

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

**PROPUESTA DE MEJORA EN LA EFICIENCIA OPERACIONAL
DEL TALLER DE ENDEREZADA Y PINTURA “AZUCENAS” DE
AUTOMOTORES Y ANEXOS (AYASA), BASADO EN UN MODELO
DE SIMULACIÓN.**

Manuel Andrade Aguirre

Daniel Maldonado Carrillo

Tesis de grado presentada como requisito
para la obtención del título de Ingeniería Industrial

Quito, Mayo 2012

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO
Colegio Politécnico

HOJA DE APROBACION DE TESIS

**Propuesta de mejora en la Eficiencia Operacional del taller de enderezada y
pintura “Azucenas” de Automotores y Anexos (AYASA), basado en un
modelo de simulación.**

Manuel Andrade Aguirre
Daniel Maldonado Carrillo

Verónica León, M.Sc.
Director de Tesis y
Miembro del Comité de Tesis

Daniel Merchán, M.Sc.
Miembro del Comité de Tesis

Ximena Córdova, Ph.D.
Miembro del Comité de Tesis y
Vicedecana del Colegio Politécnico

Quito, Mayo 2012

© DERECHOS DEL AUTOR

MANUEL ANDRADE

DANIEL MALDONADO

2012

AGRADECIMIENTOS

A nuestra familia y amigos que nos han acompañado en esta etapa de nuestras vidas.

Agradecemos a todos los que han colaborado con este proyecto, en especial a Ismael Jaramillo

y Verónica León por su paciencia y apoyo.

A Automotores y Anexos, y todo el equipo de TallerAuto por su colaboración.

RESUMEN

Este proyecto tiene como principal objetivo aumentar la eficiencia del taller de Enderezada y Pintura “Azucenas”. Mediante la metodología DMAIC, se estructuró el trabajo y sus respectivas fases. El estudio se inició con el análisis de los manuales de procedimientos de la empresa y posteriormente, se definió que se enfocaría en los vehículos de ciclo largo medio. Para esto, se realizó una toma de tiempos de las operaciones del proceso productivo. Con los resultados, se definió su capacidad, los cuellos de botella y se elaboró un modelo de simulación para evaluar la situación actual. Adicionalmente, se identificaron problemas de tiempos muertos y congestión vehicular dentro del taller. Se realizaron dos propuestas de mejora sustentadas en modelos de simulación, las cuales consisten en una restructuración del *layout*, para eliminar los cuellos de botella de pintura, y una modificación de la jornada laboral en las áreas de preparación y pintura. Finalmente, se realizó un análisis financiero para evaluar su factibilidad.

ABSTRACT

The main objective of this Project is to increase the efficiency of the paint and body repair shop “Azucenas”. The structure of the document is based on the Six Sigma DMAIC methodology. The study begins with the analysis of the company’s procedure manual in addition to the approach within the vehicles of medium cycle. Therefore, it was taken a time measurement of the productive process operations. With the results, it was defined the capacity, bottlenecks and a simulation model to evaluate the current situation. Additionally, it was identified the problems about dead times and circulation inside the shop. There are developed two proposals based on the simulation model, which consists on a layout redesign, in order to eliminate the painting bottlenecks, and the creation of a second shift for the preparation and painting process. Finally, it was made a financial analysis to evaluate its feasibility.

TABLA DE CONTENIDOS

CAPÍTULO 1: Introducción.....	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Descripción de la empresa.....	1
1.3 Antecedentes	2
1.4 Justificación del proyecto.....	4
1.5 Objetivos del proyecto.....	6
CAPÍTULO 2: Marco Teórico	8
2.1 Metodología DMAIC	8
2.2 Métodos y estándares	10
2.3 Técnicas de exploración	12
2.4 Técnicas de registro y análisis.....	15
2.5 Matriz de valor	17
2.6 Estadística inferencial.....	18
2.7 Simulación para eventos discretos	22
2.8 Método 5'S	29
2.9 Diagramas de spaghetti	30
2.10 Medición cualitativa de flujo para el diseño de plantas.	31
2.11 Muestreo por aceptación	33
2.12 Ingeniería Económica.....	34
2.13 Revisión literaria	36
CAPÍTULO 3: Definir.....	40
3.1 Descripción de la situación actual del taller	40
3.2 Definición del problema.....	55
CAPÍTULO 4: Medir	59
4.1 Determinación de puntos de medición.	59
4.2 Enfoque de la medición por procesos.....	59
4.3 Tamaño de la muestra.....	61
4.4 Plan de medición y recolección de datos.....	64
4.5 Descripción del procedimiento de recolección de datos	66
4.6 Resultado de las mediciones.....	69
4.7 Tiempo de Ciclo y Capacidad.	78
4.8 Resultados de tiempos muertos	80
4.9 Medición del flujo	82
CAPÍTULO 5: Analizar	85
5.1 Análisis del cuellos de botella.....	85
5.2 Análisis del flujo y congestión interna.....	87
5.3 Análisis de tiempos muertos.....	88
5.4 Simulación del estado actual	90
5.5 Simulación en Arena®	96
CAPÍTULO 6: Mejorar	116
6.1 Instalación de sistema de estiraje	116

6.2	Propuesta de cabina adicional y rediseño de <i>layout</i>	120
6.3	Propuesta de modificación de jornada laboral	138
6.4	Comparación de propuestas.....	148
Conclusiones y Recomendaciones		151
Bibliografía.....		157

TABLAS

Tabla 1. ANOVA (Montgomery, 2007)	22
Tabla 2. Rentabilidad diaria por tipo de ciclo	57
Tabla 3. Tamaño de la población.....	62
Tabla 4. Proporción esperada	63
Tabla 5. Error máximo permisible.....	63
Tabla 6. Tamaño de muestra.....	64
Tabla 7. Tamaño de muestra mecánica	64
Tabla 8. Resumen de datos por proceso	71
Tabla 9. Valor p de prueba de corridas.....	76
Tabla 10. Tiempos de ciclo	79
Tabla 11. Capacidades por proceso	80
Tabla 12. Tiempos promedio de pausas	82
Tabla 13. Tiempo de movimientos de vehículos en nave	83
Tabla 14. Cuello de botella.....	85
Tabla 15. Análisis 5 Porqués problema de flujo.....	88
Tabla 16. Porcentajes de autos por sub-proceso (Base de datos AYASA)	92
Tabla 17. Medidas de desempeño dic 2011 (ARENA®)	109
Tabla 18. Intervalo de confianza dic 2011(ARENA®).....	109
Tabla 19. Indicadores de cuello de botella dic 2011(ARENA®).....	110
Tabla 20. Medidas de desempeño mes promedio 2011(ARENA®)	112
Tabla 21. Intervalo de confianza mes promedio 2011(ARENA®)	113
Tabla 22. Indicadores de cuello de botella mes promedio 2011(ARENA®).....	114
Tabla 23. Valores de cercanía de una relación (Thompkins, White, Bozer, & Tanchoco, 2006)	123
Tabla 24. Razón del valor de cercanía(Elaboración propia)	123
Tabla 25. Inversión inicial propuesta1 (AYASA, 2012).....	127
Tabla 26. Costos mensuales operadores propuesta 1	127
Tabla 27. Costos anuales operadores propuesta 1	127
Tabla 28. Datos fórmula valor presente.	129
Tabla 29. Punto de equilibrio de la inversión	129
Tabla 30. Flujo de caja propuesta 1	130
Tabla 31. Medidas de desempeño propuesta 1 (ARENA®)	131
Tabla 32. Intervalo de confianza propuesta 1 (ARENA®)	132
Tabla 33. Indicadores de cuello de botella propuesta 1 (ARENA®).....	135
Tabla 34. Medidas de desempeño propuesta 1 con aumento demanda(ARENA®)	137
Tabla 35. Intervalo de confianza propuesta 1 con aumento de demanda (ARENA®)	137
Tabla 36. Indicadores de cuello de botella propuesta 1 con aumento de demanda(ARENA) 138	
Tabla 37. Costos mensuales propuesta 2	140
Tabla 38. Costos anuales propuesta 2.....	140
Tabla 39. Costos variables anuales propuesta 2 (AYASA, 2012).....	141
Tabla 40. Medidas de desempeño propuesta 2 (ARENA®)	143
Tabla 41. Intervalo de confianza propuesta 2 (ARENA®)	147
Tabla 42. Indicadores de cuello de botella propuesta 2 (ARENA®)	147
Tabla 43. Comparación de propuestas.....	149

FIGURAS

Figura 1. Comparación de Metodologías (Metodología DMAIC).....	8
Figura 2. Diagrama de Causa y Efecto (Niebel & Frievalds, 2007).....	14
Figura 3. Símbolo para diagramas de Flujo (ANSI).....	16
Figura 4. Símbolos matriz de valor(Niebel & Frievalds, 2007).....	17
Figura 5. Pasos para un estudio de simulación (Banks, 2005).....	25
Figura 6. Ejemplo diagrama de Spaghetti (Six Sigma Material).....	31
Figura 7. Formato de tabla de relaciones (Thompkins, White, Bozer, & Tanchoco, 2006).....	33
Figura 8. Flujo de caja (White, 2010).....	35
Figura 9. Órdenes Facturadas 2011(Base de datos AYASA).....	51
Figura 10. Tipo de cliente Ago-Dic,2011(Base de datos AYASA).....	51
Figura 11. Porcentaje de Vehículos según tipo de ciclo.....	52
Figura 12. Porcentaje de clasificación de Ciclo Largo (Base de datos AYASA).....	53
Figura 13. Días laborables por tipo de ciclo (Base de datos AYASA).....	53
Figura 14. Disponibilidad de repuestos en órdenes 2011(Base de datos AYASA).....	54
Figura 15. Promedio de días laborables en Nave (Base de datos AYASA).....	54
Figura 16. Cumplimiento de promesa de entrega - Ciclo Largo (Base de datos AYASA).....	55
Figura 17. Cumplimiento de promesa de entrega - Renault Minuto (Base de datos AYASA).....	56
Figura 18. Ingresos por tipo de ciclo.....	57
Figura 19. Distribución tiempo entre arribos.....	70
Figura 20 Ejemplo gráficas de independencia.....	75
Figura 21. Parámetros de muestreo por aceptación (Guitierrez & De la Vara, 2004).....	78
Figura 22. Resultados de validación de datos.....	78
Figura 23. Pausas de las operaciones (%).....	81
Figura 24. Diagrama de Spaghetti de flujo del taller.....	82
Figura 25. Diagrama Causa y Efecto cuello de botella.....	86
Figura 26. # Autos en espera de pintura de jornada anterior.....	87
Figura 27. Diagrama de Pareto pausas Latonería.....	89
Figura 28. Efecto de relación entre pausas.....	89
Figura 29. Modelo conceptual.....	92
Figura 30 Histograma distribución tiempo de armado ciclo largo medio.....	98
Figura 31. Modelo de Asignación Arena®.....	99
Figura 32. Modelo de Mecánica Arena®.....	100
Figura 33. Modelo de Latonería Arena®.....	101
Figura 34. Modelo Renault Minuto Arena®.....	102
Figura 35. Proceso de Medición y Estiraje Arena®.....	103
Figura 36. Modelo de Preparación y Pintura Arena®.....	104
Figura 37. Modelo Pulida y Limpieza Arena®.....	105
Figura 38. Resultados prueba t dic 2011 (MINITAB®).....	110
Figura 39. Resultado prueba t mes promedio 2011 (MINITAB®).....	113
Figura 40. Estructura interna de sistema de estiraje (Elaboración propia).....	118
Figura 41. Sistema de estiraje vista frontal (Elaboración propia).....	118
Figura 42 Sistema de estiraje vista posterior (Elaboración propia).....	119
Figura 43. Sistema de estiraje 2 bahías (Elaboración propia).....	119
Figura 44. Tabla de relaciones Taller Auto.....	124
Figura 45. Layot Actual TallerAuto(Elaboración propia).....	125

Figura 46. Layout propuesta (Elaboración propia).....	125
Figura 48. Resultado prueba t ciclo largo fuerte (MINITAB®).....	133
Figura 49. Resultado prueba t ciclo largo medio (MINITAB®).....	133
Figura 50. Resultado prueba t ciclo largo leve (MINITAB®).....	134
Figura 51. Resultado prueba t Renault Minuto (MINITAB®).....	134
Figura 52. Resultado prueba t número total de autos atendidos (MINITAB®).....	144
Figura 53. Resultado prueba t número de autos ciclo largo fuerte (MINITAB®).....	145
Figura 54. Resultado prueba t número de autos ciclo largo medio (MINITAB®).....	145
Figura 55. Resultado prueba t número de autos ciclo largo leve (MINITAB®).....	146
Figura 56. Resultado prueba t número de autos Renault Minuto (MINITAB®).....	146

ECUACIONES

Ecuación 1. IVA tiempo (Niebel y Frievalds, 2007).....	18
Ecuación 2. IVA actividades (Niebel y Frievalds, 2007).....	18
Ecuación 3. Tamaño de la Muestra (Montgomery, 2009).....	18
Ecuación 4. Hipótesis nula para dos muestras.....	19
Ecuación 5. Estadístico T (Montgomery, 2009).....	20
Ecuación 6. Grados de Libertad (Montgomery, 2009).....	20
Ecuación 7. Modelo de medias (Montgomery, 2007).....	21
Ecuación 8. Modelo de tratamientos (Montgomery, 2007).....	21
Ecuación 9. Normalidad de las observaciones (Montgomery, 2007).....	21
Ecuación 10. Hipótesis en ANOVA (Montgomery, 2007).....	22
Ecuación 11. Estadístico F (Montgomery, 2007).....	22
Ecuación 12. Intervalo de confianza prueba t (Banks, 2005).....	28
Ecuación 13. Valor referencial de la desviación (Banks, 2005).....	28
Ecuación 14. Valor referencial de la desviación R 50 (Banks, 2005).....	29
Ecuación 15. Distribución Beta (Banks, 2005).....	72
Ecuación 16. Distribución Erlang (Banks, 2005).....	72
Ecuación 17. Distribución Exponencial (Banks, 2005).....	72
Ecuación 18. Distribución Gamma (Banks, 2005).....	73
Ecuación 19. Distribución Lognormal (Banks, 2005).....	73
Ecuación 20. Distribución Normal (Banks, 2005).....	74
Ecuación 21. Distribución Triangular (Banks, 2005).....	74
Ecuación 22. Distribución Weibull (Banks, 2005).....	75

CAPÍTULO 1:INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción

El proyecto se inició por pedido de Automotores y Anexos del Ecuador, que solicitó un estudio de las operaciones del taller de Enderezada y Pintura de Azucenas. En primer lugar, se realizó un levantamiento de información en cuanto a la estructura del proceso productivo, así como las actividades desarrolladas en cada área del taller. A partir del cual, se determinaron varios problemas, pero el factor más crítico es la variabilidad en el nivel de daño que posee cada vehículo al ingresar.

A diferencia de los talleres mecánicos, en los cuales las actividades que se realizan son estandarizadas para cada tipo de mantenimiento, los talleres de enderezada y pintura atienden autos chocados. Estos choques puede variar desde un simple raspón hasta la reparación de un volcamiento. Por tanto, todas las actividades y tiempos de reparación que se ejecutan en TallerAuto son diferentes para cada orden de trabajo.

Para proponer una mejora en la eficiencia, se utilizaron herramientas de Ingeniería Industrial para medir los tiempos de proceso, modelar el sistema en un software de simulación y el analizar la capacidad del taller, para la situación actual y las respectivas propuestas de mejora. Éstas fueron dos, de distinto alcance y forma de ejecución, que le permitirán a la empresa tomar una decisión.

1.2 Descripción de la empresa

1.2.1 Automotores y Anexos S.A.

Es una empresa que se dedica a la comercialización de vehículos y repuestos en el Ecuador de las marcas Nissan y Renault. Además, cuenta con talleres de servicio post venta a nivel nacional, así como bodegas con un stock completo de repuestos originales para Renault

y Nissan. Actualmente, es la tercera empresa más grande en volumen de facturación del sector automotor ecuatoriano. (Manual del Trabajador)

La compañía, cuenta con 20 concesionarios a nivel nacional. La matriz se localiza en la ciudad de Quito y sus sucursales en las ciudades de Guayaquil, Manta, Cuenca y Ambato (Nissan Ecuador - Posventa). Adicionalmente, trabaja conjuntamente con una red de distribuidores autorizados como Autodelta, Automotores del Sur, Vallemotors S. A., y Automotores del Sur ubicados en Quito y Guayaquil además de aquellos que se encuentran en Santo Domingo, Ibarra, Riobamba, Machala y Loja (Nissan Ecuador - Posventa).

Automotores y Anexos S.A. también se caracteriza por sus talleres de mantenimiento, Renault Minuto o servicio express y talleres de Enderezada y Pintura, y bodegas de Repuestos originales. El objetivo de este servicio es mantener la satisfacción del cliente al asegurar la vida útil de su vehículo gracias a la calidad del mantenimiento y de los repuestos utilizados. (Nissan Ecuador - Posventa).

1.3 Antecedentes

Automotores y Anexos S.A. actualmente tiene el 12.1% de participación en el mercado ecuatoriano, entre las marcas Nissan y Renault. La empresa tiene establecido un plan denominado Ruta 2020 en el cual se proyecta llegar al 44% de intervención en el mercado automotor del Ecuador. Para este fin, la institución tiene como política el desarrollo de proyectos de mejora continua para alcanzar los objetivos propuestos como representante de una marca mundial. (Álvarez, 2011)

Dentro de los servicios post-venta, AYASA cuenta con 5 talleres de enderezado y pintura alrededor del país (Quito “Azucenas”, Guayaquil “Carlos Julio Arosemena”, Cuenca “España”, Manta “4 noviembre”, Ambato “Indoamérica”), que están enfocados en atender a

todos los vehículos que han sufrido algún tipo de siniestro. Hay que tomar en cuenta que en el año 2010 en el Ecuador se registraron un promedio de 9183 accidentes de tránsito, lo que le ubica como el cuarto país a nivel mundial, y segundo en Latinoamérica en este riesgo; de los cuales, el 34,3% se producen en la ciudad de Quito (Comisión de Tránsito del Ecuador). Por lo tanto, se puede apreciar la gran importancia de contar con un taller eficiente y especializado para satisfacer la demanda de reparación de vehículos chocados. Es por esto que se requiere un análisis de las operaciones para identificar la clasificación de los siniestros y como se encuentran los tiempos de reparación y servicio.

Por otro lado, la empresa cuenta con una base de datos y unos estándares dados por la NSBAPP (Nissan Body and Paint Program), sobre los tiempos que debe emplear cada técnico en cada operación dentro del proceso, y partiendo del mismo, se realizan las cotizaciones en las proformas. El incumplimiento de dichos estándares hace que de una u otra forma la empresa pierda dinero, pues se cotiza bajo tiempos que no se cumplen y afecta directamente la satisfacción del cliente.

Adicionalmente, el taller de enderezado y pintura localizado en la calle "Azucenas" (Quito), no cumple con los requerimientos de layout exigidos por la marca, debido a que cuentan con un espacio de 2400 mts², cuando la marca determina que sea de 3832 mts² para este tipo de establecimiento. Debido a esto, sus operaciones se desempeñan en un espacio ajustado; el cual, en momentos de alta demanda, se encuentra totalmente lleno de autos en proceso de reparación, agregando tiempos de movimientos innecesarios al intentar moverlos para facilitar el flujo entre las bahías. En base a 200 órdenes mensuales promedio, actualmente se atienden entre 165 a 190. (Jaramillo, 2012)

De igual manera, Taller Auto busca balancear las comisiones por trabajo de cada técnico, y para esto, es crucial conocer con exactitud el tiempo real de trabajo que demanda

cada uno de los procesos. Así, al poder reducirlos, se verá beneficiada la empresa al ofrecer tiempos menores de entrega y generar mayores ingresos. También dentro de los empleados tendrán un resultado positivo, pues atenderán una cantidad mayor de vehículos y tendrán mayores ingresos individuales.

Tomando como referencia el mejor taller a nivel nacional (dado por una marca de la competencia), el promedio es de 16 días para los autos de ciclo largo, mientras que para el taller de “Azucenas” es de 22 días. Por otro lado, para el proceso de ciclo corto (Renault minuto, Nissan Express), los tiempos de entrega definidos por Nissan-Renault son de máximo 3 días, y realmente se los está entregando en 4,5 o hasta 6 días. (Álvarez, 2011)

El taller de enderezado y pintura está empezando a utilizar conceptos de Lean Manufacturing para mejorar la disposición de las herramientas y el orden, pues han iniciado a desarrollar la herramienta de 5 S'; sin embargo este es un proceso que requiere una implementación un poco más profunda, la cuál no ha tenido ningún seguimiento o un proceso de control.

1.4 Justificación del proyecto

Automotores y Anexos se encuentra en proceso de obtener tanto la Certificación After Sales Dealer Operation Standard (AS-DOS) en talleres de mecánica de mantenimiento y NSBAPP (Nissan Body and Paint Program) en talleres de enderezado y pintura, como las certificaciones Nissan en calidad y procesos a nivel mundial. Por tanto, la empresa está interesada en fomentar los proyectos de mejora continua.

Para la empresa, es de mucha importancia identificar los tiempos de operación y las pausas o tiempos muertos que ocasionan demoras en el trabajo de reparación, es por esto que

en este proyecto se analizará estos componentes para identificar posibles mejoras en la eficiencia general del taller.

Para las operaciones que se realizan dentro del taller de enderezado y pintura de “Azucenas”, ya se desarrolló un levantamiento de procedimientos (Procesos) para cada una de las estaciones, pero no se ha ejecutado un estudio para determinar la eficacia en el uso de las mismas. De igual manera, no se ha logrado implementar de manera óptima la herramienta de 5S, deficiencia que se puede comprobar a simple vista.

Además, como se explicó en apartados anteriores, el taller no dispone del espacio sugerido por la marca, provocando que en épocas de alta demanda todas las imperfecciones, movimientos innecesarios, falta de organización del lugar del trabajo, jueguen un papel importante al momento de cumplir con los tiempos de proceso esperados, provocando así una limitación en los clientes potenciales para el negocio.

En el futuro, el taller tiene previsto trasladar sus operaciones a otras instalaciones en las cuales se cumplan con los requerimientos de diseño de la marca. Por este motivo, este proyecto no tiene como objetivo final hacer cambios significativos en las instalaciones mayores del *layout*, ya que los costos serían extremadamente elevados tomando en cuenta el tiempo de operación durante el cual serían efectivos. Los cambios a proponer se enfocarán a modificaciones operacionales que reduzcan tiempos y movimientos innecesarios, al igual que cambios en la distribución de las estaciones de trabajo (cuyo costo de reubicación es menor), que den como resultado un mejor flujo de materiales y una optimización total del proceso productivo del taller.

Así, se obtendrá tanto un aumento en la tasa de procesamiento de autos y un incremento en los ingresos de la compañía.

Gracias a este estudio, la empresa podrá mejorar la eficiencia total del taller, brindando un servicio de primera calidad, con menores costos y tiempos de servicio reales, vinculándose con los objetivos de la marca, que se enfocan en abarcar una porción mayor del mercado automotriz. Por lo tanto, este estudio podrá servir de referencia para proyectos similares en el resto de talleres del país.

El proyecto formará parte del plan de desarrollo para certificación NSBAPP ya que los talleres de Enderezado y Pintura (EP) son el mayor contribuyente financiero de TallerAuto (talleres, sin contar venta de vehículos nuevos). Cinco talleres Enderezado y Pintura generan aproximadamente el 75% de rentabilidad en lo que va del año, mientras diez talleres de mecánica generan el 25% restante, tomando que cuenta que la inversión actual en EP es menor que en mecánica. Actualmente Azucenas es el taller más grande de EP a nivel nacional por tanto, con la implementación del proyecto de tesis habrá una mayor diferencia de rentabilidad que la antes mencionada. En función de estos esfuerzos la orientación de inversión en talleres impulsará más el crecimiento en EP. (Álvarez, 2011)

1.5 Objetivos del proyecto

1.5.1 Objetivo final

Generar una propuesta de mejora de la eficiencia operacional del taller de enderezado y pintura “Azucenas” de Automotores y Anexos S.A., basado en modelos de simulación.

1.5.2 Objetivos específicos

- Realizar un levantamiento de procesos para cada uno de los tipos de bahías.
- Realizar un modelo de simulación que muestre el estado actual del sistema.

- Definir los cuellos de botella que limitan la capacidad del sistema.
- Proponer mejoras que se enfoquen en reducir estos cuellos de botella.
- Realizar un modelo de simulación que muestre el estado propuesto del sistema.
- Cuantificar el impacto financiero de las propuestas generada

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1 Metodología DMAIC

La metodología DMAIC fue desarrollada por Motorola a principios de los años 90, con el objetivo de estructurar los proyectos Six Sigma, la cual permite mejorar y medir procesos que están fuera de sus especificaciones, con el fin de reducir su variabilidad. Esta técnica puede ser utilizada cuando productos o procesos dentro de una compañía no están cumpliendo los requerimientos del cliente o su desempeño no es el adecuado. (Metodología DMAIC)

La meta del DMAIC se centra en la medición del problema, enfocándose en el cliente para determinar sus causas y bajo un análisis estadístico, encontrar la solución para mejorar este proceso y que perdure en el tiempo bajo un esquema de control. (Metodología DMAIC)

A continuación se presenta un gráfico de comparación entre el método universal de resolución de problemas y la metodología DMAIC.

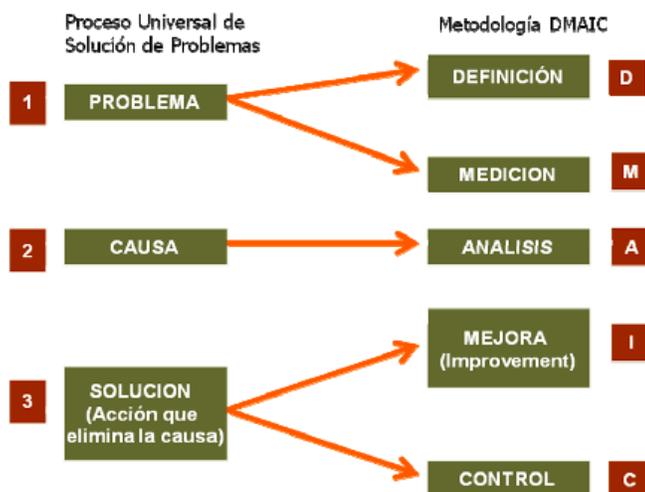


Figura 1. Comparación de Metodologías (Metodología DMAIC)

- Fase Definir: En esta etapa se plantean los objetivos del proyecto e identifican los requerimientos críticos del cliente (CTQ), de tal forma que se pueda documentar los procesos, y enmarcar el problema.

- Fase Medir: Permite identificar el estado actual del proceso o sistema que se analiza. Para esto se realiza una medición de los puntos críticos con el objetivo de evaluar el éxito del proyecto al incrementar la capacidad de producción y hacerla de manera eficiente. Es muy importante escoger adecuadamente las métricas que permitirán un análisis del proceso o problema en cuestión de tal forma que se pueda conocer su desempeño actual, para identificar las mejoras o soluciones. Una vez finalizadas las mediciones, se puede obtener con claridad el impacto en los puntos críticos del problema o proceso y priorizar su análisis. (Metodología DMAIC)

- Fase Analizar: Una vez obtenida la información de la situación actual del problema, se procede a procesar esa información. Los resultados obtenidos se pueden revisar mediante herramientas estadísticas, de simulación, empíricas, etc. De esta manera, esta fase ayuda a descubrir oportunidades de mejora y es el medio para desarrollar y probar las hipótesis acerca de la causa raíz del problema, respondiendo a preguntas básicas del estado del proceso. Es indispensable realizar un estudio minucioso en base a los datos, para determinar la causa raíz del problema y saber cómo mejorarlo. (Metodología DMAIC)

- Fase Mejorar (Improve): En esta etapa es donde empieza el proceso de cambio entre el problema y sus soluciones. Una vez determinada la causa en la fase analizar el equipo del proyecto debe encontrar y evaluar mediante pruebas soluciones innovadoras que se ajusten a los objetivos de alcance o a los recursos asignados. Junto con esto, viene consigo un análisis costo-beneficio de los cambios propuestos por el equipo y la incidencia de éstos en el sistema global. Se debe evaluar también, la posibilidad de que no se

realiceningúnavariación y cuál sería su impacto de acuerdo al tiempo y costo de su implementación. La simulación de la mejora es una herramienta que brinda unavisión general de la solución en las condiciones deseadas, y permite evaluar la factibilidad dela de implementación como tal, el desarrollo del plan y los ajustes administrativos querequiere el cambio de los diferentes escenarios propuestos. (Metodología DMAIC)

Fase Control: Finalmente, está la fase de control en la que se garantiza el desempeño del proceso en base a la solución propuesta en las fases anteriores. Es importante que esta etapa venga acompañado de la estandarización y la documentación de los cambios realizados. Esta fase requiere de mucha dedicación, ya que es susceptible a que todoregrese a la situación anterior y no se respete las modificaciones realizadas para solucionar el problema (Metodología DMAIC). El equipo de trabajo debe realizar en esta fase, una serie de documentos en donde se especifica los procedimientos del proceso, capacitaciones, planes de emergencia para garantizar la permanencia del cambio. Es crucial que losejecutores que transfieran la responsabilidad del proceso y del cambio a los dueños del proceso modificado. (SixSigma, 2005)

En diversas fuentes, se incluye una sexta fase denominada Comunicación, en la que setransmite el cambio a toda la organización y se promueve la creación de proyectos de mejora en las diferentes áreas de la organización.

En este proyecto de Tesis, esta metodología servirá como herramienta para organizar lainformación y estructurar cada una de las etapas de la investigación, el levantamiento deinformación y el diseño de la propuesta de mejora.

2.2 Métodos y estándares

En un sistema de producción, existen procesos de diversas índoles, en los que están involucrados diferentes herramientas, métodos de trabajo, equipos y personal; para desarrollar las diferentes actividades interrelacionadas del sistema.

La Ingeniería de Métodos estudia y analiza las operaciones, diseño y simplificación del trabajo de cualquier actividad operativa, con diversos fines como el mejorar la productividad, disminuir el costo, aumentar la calidad del los productos o procesos (Niebel&Frievalds, 2007).

El análisis de los procesos involucra entre otras cosas, el estudio de tiempos que es de mucha importancia dentro de las organizaciones, ya que permiten cumplir los objetivos planteados por la empresa, la marca o las regulaciones pertinentes (Mundel, 1984).

2.2.1 Estudio de movimientos

El estudio de movimiento forma parte importante del diseño del trabajo, ya que en base a su análisis se puede afectar directamente en los tiempos estándar de operación que se busca en un proceso(Maynard, 1998). El enfocarse en el análisis de los movimientos involucrados en una actividad, permite desarrollar un trabajo óptimo, incrementar el nivel de calidad, elimina la fatiga, riesgos o peligros, aumenta la satisfacción de las personas y elimina los desperdicios o movimientos innecesarios, trayendo como consecuencia una mayor productividad(Palacios, 2009)

Con el fin de facilitar este estudio, se clasificaron a los movimientos en los siguientes grupos(Maynard, 1998):

- Movimientos Básicos (BMT):se define como “cualquier movimiento que se inicia desde el reposo, se mueve por el espacio y termina en el reposo”. Estas actividades manuales se las clasifica en tres: alcanzar, mover, girar. Todos relacionado con el movimiento de las manos.

- Micro Movimientos: son los movimientos detallados y que presentan una mayor exactitud. Las partes corporales involucradas en este tipo son: el dedo, mano, brazo, antebrazo, pie, pierna, tronco, rodilla, ojo y proceso mental.

- Macro Movimientos: son movimientos en los que se utiliza las mismas partes del cuerpo que en los micro movimientos, la diferencia es el grado de exactitud de los mismos. Es decir, en los micro movimientos, se busca una exactitud de $\pm 5\%$, mientras que en los macro se acepta un mayor rango de tolerancia.

2.3 Técnicas de exploración

2.3.1 Análisis de Pareto

Esta herramienta es muy útil para el análisis de problemas en diferentes áreas de interés. Este método mide en escala ascendente una distribución de datos acumulada en la que el 20% de la información, representa el 80% o más de la actividad total. “En consecuencia, la técnica se la conoce como la regla del 80-20” (Niegel & Frievalds, 2007)

Esta herramienta de análisis cuantitativo, permite determinar que en un grupo de elementos o factores que contribuyen a un efecto, solo un bajo porcentaje de los mismos son responsables de la mayor parte de dicho efecto.

El objetivo de esta comparación es clasificar dichos elementos o factores en dos categorías: Las "Pocas Vitales" (los elementos muy importantes en su contribución) y los "Muchos Triviales" (los elementos poco importantes en ella). (Fundibeq)

Existen algunas características que se deben tomar en cuenta el momento de realizar los diagramas de Pareto (Fundibeq).

- **Priorización:** En esta fase se identifican los elementos de mayor importancia.

- **Unificación de Criterios:** Mediante esta etapa se decide el objetivo que tiene este análisis en cuanto a sus componentes.
- **Carácter objetivo:** Con los resultados obtenidos, se requiere realizar las mejores decisiones relacionadas al factor que se analiza.

Se recomienda seguir algunos pasos para la elaboración precisa de la herramienta y los pasos a seguir están detallados a continuación:

Paso 1: Preparación de los datos

Paso 2: Cálculo de las contribuciones parciales y totales. Ordenación de los elementos o factores incluidos en el análisis.

Paso 3: Calcular el porcentaje y el porcentaje acumulado, para cada elemento de la lista ordenada.

Paso 4: Trazar y rotular los ejes del Diagrama

Paso 5: Dibujar un Gráfico de Barras que representa el efecto de cada uno de los elementos contribuyentes

Paso 6: Trazar un gráfico lineal con el porcentaje acumulado.

Paso 7: Identificar el área o grupo de datos de mayor y menor importancia respectivamente.

Al seguir todos estos pasos, se logra una correcta interpretación de los datos y la aplicación de los mismos. (Fundibeq)

2.3.2 Diagramas de pescado o causa y efecto

El método consiste en definir la existencia de un problema o efecto (cabeza de pescado) y sus posibles factores o causas que inciden en su ocurrencia (esqueleto del pescado). Las causas se las clasifica en cinco categorías: humanas, maquinaria, métodos, materiales, entorno

y administración. Cada una de ella dividida en sub causas (huesos del pescado).(Niebel&Frievalds, 2007)

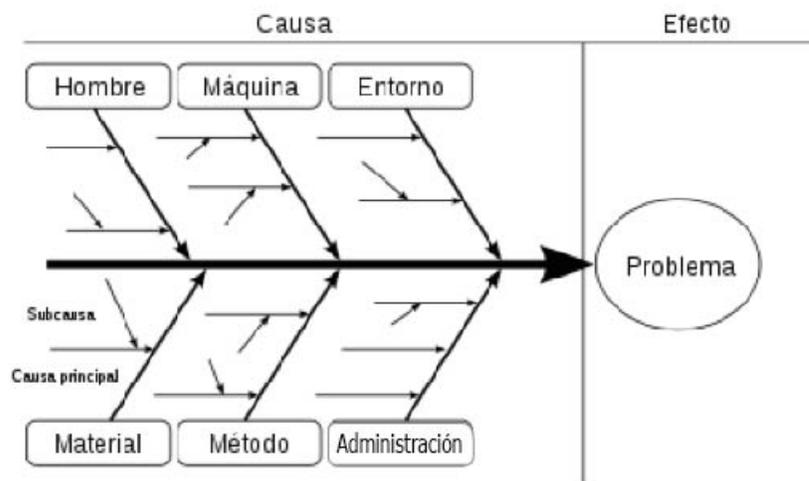


Figura 2. Diagrama de Causa y Efecto (Niebel&Frievalds, 2007)

La ventaja de esta herramienta es que se puede sacar conclusiones de los problemas de una organización, mediante el involucramiento de diversas áreas o departamentos de la misma. De esta manera, se podrá visualizar de manera más clara las causas de un determinado problema. Como resultado, se tiene una visión común y se puede sacar resultados más objetivas y bien direccionadas sin dejar de tomar en cuenta los datos involucrados en dicho problema(Martínez).

El inventor de esta técnica, Ishikawa, plantea algunas claves de pensamiento que ayudan el momento de hacer el análisis. Algunas de éstas se encuentran enumeradas a continuación(Martínez).

- La calidad empieza con la educación y termina con la educación.
- El primer paso a la calidad es conocer lo que el cliente requiere.
- El estado ideal de la calidad es cuando la inspección no es necesaria.
- Hay que remover la raíz del problema, no los síntomas.

- El control de la calidad es responsabilidad de todos los trabajadores.
- No hay que confundir los medios con los objetivos.
- Primero poner la calidad y después poner las ganancias a largo plazo.
- Los altos ejecutivos de las empresas no deben de tener envidia cuando un obrero da una opinión valiosa.
- Los problemas pueden ser resueltos con simples herramientas para el análisis.
- Información sin datos es información falsa.

2.4 Técnicas de registro y análisis

2.4.1 Diagramas de flujo

El diagrama de flujo es una técnica gráfica que facilita la documentación de los procesos y es de gran utilidad para tener una visión global de los sistemas, así como para identificar problemas puntuales en cada una de las áreas y actividades. Estos diagramas muestran la secuencia cronológica de las operaciones, dentro de un proceso y el ejecutor de cada una de las actividades (Niebel & Frieválds, 2007). Este método gráfico se basa en un grupo de símbolos y líneas que permiten entender los procesos de las organizaciones (Palacios, 2009).

Esta herramienta tiene como ventaja, la visualización de las fortalezas y debilidades de los procesos, así como establece los límites de cada uno (Palacios, 2009). Los símbolos utilizados en estos diagramas, están estandarizados y regularizados por la ANSI (American National Standard Institute), los cuales se muestran en la siguiente figura:

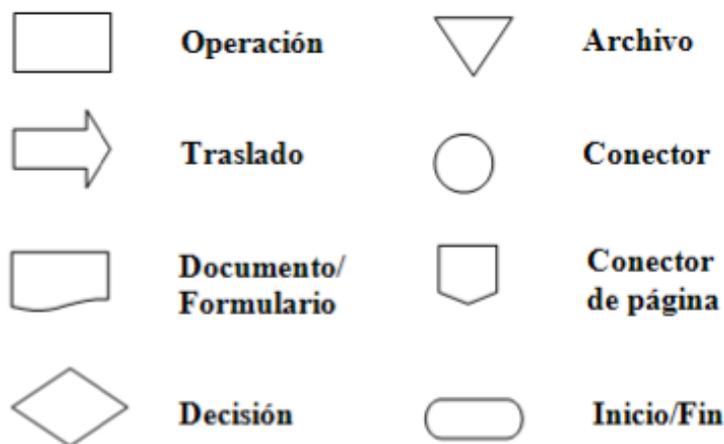


Figura 3. Símbolo para diagramas de Flujo (ANSI)

Los diagramas de flujo deben seguir un grupo de reglas para su elaboración, de tal manera que su estructura cumpla con su propósito (Mejía García, 2006).

- Debe existir un inicio y un fin.
- Las líneas de flujo de información deben ser siempre rectas y no cruzarse entre sí.
- Las líneas de flujo de información deben ser dirigidas según el sentido del flujo.
- Todo diagrama debe ser construido de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha.
- Los clientes, ya sean internos o externos, deben estar presentes en el flujo grama.
- Se debe incluir instrucciones asociadas a una operación en caso de ser necesario.
- A parte de estas normas, el formato de los diagramas de flujo debe contar con algunos datos como el nombre de la organización, la fecha de realización, la

persona encargada y la que elaboró el documento, y el nombre del proceso diagramado(Niebel&Frievalds, 2007).(Cisneros, 2008)

2.5 Matriz de valor

La matriz de valor es otra herramienta muy útil dentro del análisis de los procesos, ya que permiten identificar a las actividades involucradas en un proceso de acuerdo a una simbología especial. De esta manera se puede identificar en un proceso el tipo de actividad y si agrega o no valor al sistema, por medio del tiempo que este tarda y la distancia recorrida para su ejecución, para que se la pueda corregir o eliminar(Cisneros, 2008). Este método se aplica para cada componente de un ensamble o de un sistema para obtener el máximo ahorro en su manufactura, o en procedimientos aplicables a una secuencia de trabajos(Niebel&Frievalds, 2007).

La simbología utilizada para este diagrama es la que se presenta en la siguiente figura:

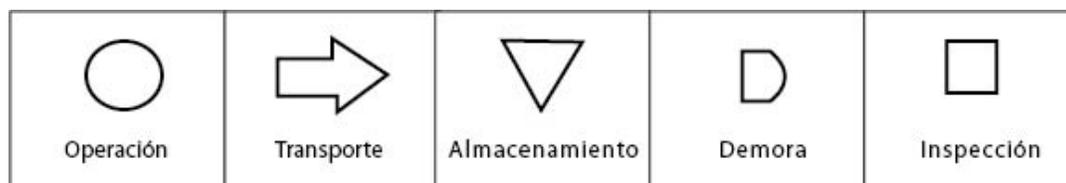


Figura 4. Símbolos matriz de valor(Niebel&Frievalds, 2007)

Esta técnica facilita la reducción de costos ocultos de un proceso, ya que se puede identificar con claridad los transportes, demoras, almacenamientos y tiempos muertos. Adicionalmente, se verifican las distancias recorridas que permite analizar la distribución de la planta para su posterior cambio o mejoramiento(Niebel&Frievalds, 2007).

Después de medir cada una de las actividades, se puede obtener dos valores referenciales de cada uno de los procesos conocidos como el IVA (Índice de Valor Agregado), el cual

puede estar expresado en base al tiempo o al número de actividades que agregan valor dentro del proceso.

$$IVA_{Tiempo} = \frac{\sum \text{Tiempo de Actividades Agregan Valor}}{\text{Tiempo Total}} \times 100$$

Ecuación 1. IVA tiempo (Niebel y Frievalds, 2007)

$$IVA_{Actividades} = \frac{\sum \text{Actividades Agregan Valor}}{\# \text{Actividades Totales}} \times 100$$

Ecuación 2. IVA actividades (Niebel y Frievalds, 2007)

2.6 Estadística inferencial

2.6.1 Muestra

El objetivo de la estadística inferencial es describir las características de una población, en base a una muestra representativa y no sesgada de la población. La siguiente ecuación representa la fórmula común para obtener el tamaño de muestra ideal para la realización de estudios, tomando en cuenta una población finita:

$$n = \frac{N * S^2 * z^2_{\alpha/2}}{e^2 * (N - 1) + S^2 * z^2_{\alpha/2}}$$

Ecuación 3. Tamaño de la Muestra (Montgomery, 2009)

Donde:

n= Tamaño de la muestra.

N= El tamaño de la población.

S= Desviación estándar muestral

$z_{\alpha/2}$ = nivel de confianza.

e = Proporción de error máximo permisible(Montgomery, 2009).

2.6.2 Pruebas de hipótesis

Pruebas de hipótesis son experimentos comparativos en los cuales se confronta una hipótesis estadística con un valor referencial; obteniendo evidencia estadística para rechazar o no rechazar la hipótesis planteada. Comúnmente, se utiliza la siguiente denominación:

H_0 : para la hipótesis nula.

H_1 : para la alternativa.

Al momento de realizar estas pruebas, se pueden dar dos tipos de errores en cuanto a aceptar o rechazar la hipótesis nula:

Error Tipo I: Se rechaza la hipótesis nula, cuando ésta es verdadera.

Error Tipo II: No se rechaza la hipótesis nula, cuando ésta es falsa.

2.6.3 Inferencia estadística para dos muestras

Uno de los métodos más utilizados para comparar dos posibles escenarios es realizar una prueba t de dos muestras. En este caso, se pretende comparar la población 1 que tiene una media μ_1 , con una varianza de σ_1^2 ; con otra población que tenga una media μ_2 , con una varianza de σ_2^2 . Como resultado final se busca conocer si existe suficiente evidencia estadística que justifique la diferencia entre ambas(Montgomery, 2009):

$$H_0 = \bar{x}_1 - \bar{x}_2 = \Delta_0$$

Ecuación 4. Hipótesis nula para dos muestras

Como regularmente no se conoce los valores de la media y la varianza de una población, se debe utilizar los estimadores \bar{X} y S^2 . De igual forma, se necesita que los datos sean normales. El tamaño de muestra n debe ser mayor a 30 para que se cumpla dicho

supuesto de normalidad. Por tanto, la ecuación para una prueba t de dos muestras con varianzas desconocidas y diferentes es la siguiente (Montgomery, 2009):

$$T_0 = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2 - \Delta_0}{\sqrt{\frac{S_1}{n_1} + \frac{S_2}{n_2}}}$$

Ecuación 5. Estadístico T (Montgomery, 2009)

Donde:

\bar{x}_1 = Media muestral del escenario 1.

\bar{x}_2 = Media muestral del escenario 2.

S_1 = Desviación estándar muestral del escenario 1.

S_2 = Desviación estándar muestral del escenario 2.

n_1 = Número de datos del escenario 1.

n_2 = Número de datos del escenario 2.

Para obtener los grados de libertad, los que cuantifican el rango de variación del estadístico, se utiliza la siguiente ecuación:

$$v = \frac{\left(\frac{S_1}{n_1} + \frac{S_2}{n_2}\right)^2}{\frac{(S_1^2/n_1)^2}{n_1+1} + \frac{(S_2^2/n_2)^2}{n_2+1}} - 2$$

Ecuación 6. Grados de Libertad (Montgomery, 2009)

2.6.4 Análisis de varianza

Una de las herramientas más útiles para realizar una prueba de comparación de medias entre dos o más poblaciones es la del Análisis de Varianza o ANOVA. El objetivo es definir si existe evidencia estadística que afirme que hay diferencia entre las medias de las

poblaciones. Para entender la herramienta, se debe analizar las observaciones del experimento como un modelo de medias:(Montgomery, 2007)

$$y_{ij} = \mu_i + \varepsilon_{ij} \begin{cases} i=1,2,\dots,a \\ j=1,2,\dots,n \end{cases}$$

Ecuación 7. Modelo de medias (Montgomery, 2007)

Donde y es la observación, μ_i la media del tratamiento y ε el componente de error o variabilidad. Esta ecuación puede convertirse en un modelo de efectos(Montgomery, 2007):

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij} \begin{cases} i=1,2,\dots,a \\ j=1,2,\dots,n \end{cases}$$

Ecuación 8. Modelo de tratamientos (Montgomery, 2007)

En la cual μ es la media global de todos los tratamientos, mientras que τ representa a un parámetro único dado por el tratamiento i -ésimo de la observación. En esta última ecuación se puede apreciar que la media es constante y ε es lo que introduce una cierta variabilidad o desviaciones de dicha constante. Por lo tanto, se puede definir a la observación como una variable aleatoria que sigue una distribución normal:(Montgomery, 2007)

$$y_{ij} \sim N(\mu + \tau_i, \sigma^2)$$

Ecuación 9. Normalidad de las observaciones (Montgomery, 2007)

Es importante tomar en cuenta el factor que esta afectando el experimento, ya que de esta forma se definirá si el modelo a representarse es de efectos fijos o aleatorios. Un modelo de efectos fijos presenta resultados que pueden aplicarse sólo a los factores planteados en el modelo, mientras que con uno de efectos aleatorios, los resultados pueden extenderse a la totalidad de tratamientos de la población.(Montgomery, 2007)

Por lo tanto, la prueba de hipótesis que se realiza en un ANOVA es la siguiente:

$$H_0 = \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 \dots \dots \dots = \mu_a$$

$H_1 \neq \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \dots \dots \neq \mu_A$ (Al menos una es distinta)

Ecuación 10. Hipótesis en ANOVA (Montgomery, 2007)

El estadístico que se utiliza es el de Fisher, prueba F, se define de la siguiente manera:

$$F_0 = MS_{Tratamientos} / MSE$$

Ecuación 11. Estadístico F (Montgomery, 2007)

Donde $MS_{Tratamientos}$ es el cuadrado medio de los tratamientos, mientras que MSE es el cuadrado medio del error. Los resultados de una prueba ANOVA se presentan en una tabla que tiene las siguientes componentes:(Montgomery, 2007)

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	p
Entre los tratamientos	SStratamientos	a-1	MStratamientos	F0	<0,05 Se rechaza la H0
Error(Dentro de los tratamientos)	SSE	N-a	MSE		
Total	SST				

Tabla 1. ANOVA (Montgomery, 2007)

Finalmente, para llevar a cabo este análisis se deben cumplir los siguientes supuestos:

- Independencia de las observaciones.
- Normalidad de los residuales.
- Igualdad de varianzas.(Montgomery, 2007)

2.7 Simulación para eventos discretos

La simulación es una herramienta que permite “imitar” el comportamiento real de un sistema, por medio de la generación de datos artificiales. De esta forma, se puede apreciar las características operativas. Los pasos para un estudio de simulación son los siguientes:(Banks, 2005) .

- Formulación del problema: Empezar identificando el problema que se quiere solucionar por medio del estudio. Es importante que el problema descrito sea claro y totalmente entendido por la persona que va a realizar el análisis. (Banks, 2005)

- Objetivos y plan de proyecto: Definir objetivos que respondan a los problemas planteados. Es importante que en este punto, se evalúe si la simulación es la herramienta indicada. En caso de serlo, se debe añadir un plan de proyecto el cual incluya un análisis sobre los recursos necesarios para realizar el estudio. (Banks, 2005)

- Conceptualización del modelo.- Resumir el modelo tomando las características esenciales del problema, seleccionando y modificando algunas asunciones hasta lograr un modelo aproximado al sistema real. No se necesita que todos los detalles del proceso real sean simulados en el modelo, únicamente su esencia. (Banks, 2005)

- Recolección de datos.- Es una de las partes más largas del estudio, pues dependiendo de la complejidad del modelo. Los datos requeridos pueden variar.

- Traducción del Modelo.- Se debe trasladar todos los puntos anteriores a un software de simulación. Actualmente, existen una serie de programas que se pueden utilizar para este fin como : Arena, AutoMod, Extend, Flexsim, ProModel, entre otros. (Banks, 2005)

- Verificar.- Se pretende analizar si los datos obtenidos por el modelo de simulación realizado en el software son razonables, caso contrario, se debe regresar al punto de traducción del modelo para realizar cambios. (Banks, 2005)

- Validar: En este punto, se debe comparar los datos obtenidos por el modelo con los reales. Se debe realizar este proceso hasta que se obtenga la exactitud deseada. Si existiese algún error, siendo los datos no válidos, se debe regresar al punto de conceptualización del modelo y recolección de datos. (Banks, 2005)

- Diseño experimental: Se debe determinar las alternativas y escenarios que se quiere evaluar para resolver el problema propuesto. (Banks, 2005)
- Realización de corridas y análisis: Se realizan las corridas y el análisis necesario para obtener los resultados final sobre el modelo propuesto anteriormente.(Banks, 2005)
- Más corridas: El analista debe determinar si se necesitan más corridas para obtener los resultados deseados con un mayor nivel de exactitud.(Banks, 2005)
- Documentación y reporte: Es importante que se realice una debida documentación sobre el programa realizado, ya que podría ser necesitado por el analista para realizar cambios en el futuro. Los resultados del análisis deben ser reportado de una manera clara y concisa.(Banks, 2005)
- Implementación .- Este punto queda a criterio de las personas interesadas en el estudio.

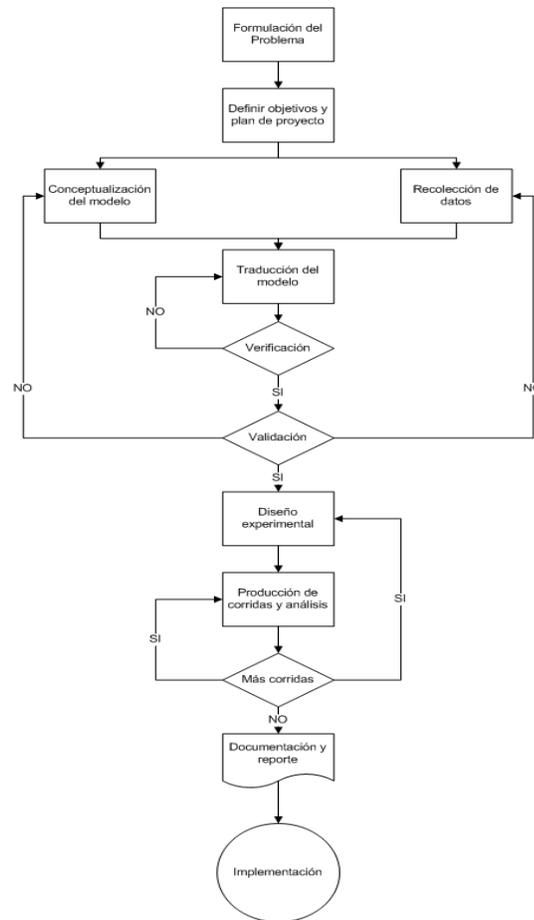


Figura 5. Pasos para un estudio de simulación (Banks, 2005)

2.7.1 Datos de entrada del modelo

La toma de datos es una de las partes cruciales y se podría considerar la más larga de un estudio de simulación. Es importante que ésta sea precisa y acertada para el modelo, ya que en muchas ocasiones se toman datos que no tienen ninguna relevancia y que representan un desgaste de recursos. Por lo tanto, Banks hace una serie de sugerencias al momento de realizar esta labor:

- Es indispensable realizar una planificación de la toma de datos, si es posible, videogravar el proceso para tener información más precisa.
- Analizar los datos a medida que se van tomando. De esta forma se puede revisar su validez.

- Buscar homogeneidad durante el tiempo de recolección. Realizar pruebas t en caso desospecha de diferencias estadísticas.
- Tener precaución con posibles escenarios en los cuales los datos pueden estarsesgados.
- Asegurarse de la independencia de los mismos.

Posteriormente se debe identificar la distribución de la información obtenida. En este caso, se debe realizar pruebas de bondad y ajuste en las cuales, al desconocer la distribución de probabilidad de los datos, se compara con las familias de distribuciones existentes.

Estas pueden ser: (Banks, 2005)

- Binomial: Modela el número de éxitos en n intentos, con una probabilidad de éxito de p .
- Binomial Negativa (Inclusive Distribución Geométrica): Modela el número de intentos hasta alcanzar k éxitos.
- Poisson: Modela el número de eventos que ocurren en un tiempo definido.
- Normal: La más usada, modela la distribución de un proceso que puede verse como la suma de varios sub procesos.
- Lognormal: Modela la distribución de un proceso que puede verse como la multiplicación de varios sub procesos.
- Exponencial: Modela el tiempo entre eventos independientes.
- Gamma: Modela variables aleatorias no negativas.
- Beta: Modela límites de variables aleatorias.
- Erlang: Modela procesos que se pueden apreciar como la suma de procesos que siguen una distribución exponencial.

- Weibull: Comúnmente, modela los tiempos de fallo de procesos.
- Discreta o Uniforme: Modela procesos que tienen como resultado valores con un mismo valor de probabilidad.
- Triangular: usada para modelar procesos de los cuales se conoce el punto mínimo, el más probable y el máximo.
- Empírica: Se utiliza para compilar una distribución de los datos recolectados cuando no se los puede ajustar a ninguna de las familias antes mencionadas. (Banks, 2005)

2.7.2 Pruebas de bondad y ajuste

Las pruebas de bondad y ajuste más utilizadas son Chi-Cuadrado y Kolmogorov-Smirnov. La primera se la utiliza para variables aleatorias discretas, con un número finito de valores o de clases. La segunda se enfoca en las variables continuas, siendo más eficaz ya que no es necesario dividir los datos en intervalos. Por otro lado, la prueba Kolmogorov-Smirnov es particularmente útil cuando la muestra es pequeña y no han sido estimados los parámetros a partir de la muestra. De todas formas, ambas utilizan la siguiente hipótesis:

H_0 = Los datos de la población se ajustan a una distribución X.

H_1 = Los datos de la población NO se ajustan a una distribución X.

(Donde X es la distribución de probabilidad con la cual se la está comparando)

Posteriormente, luego de realizar el respectivo análisis se obtiene un valor p, el cual:

Si $p < \alpha$, se rechaza H_0 . ; si $p > \alpha$, No existe evidencia estadística para rechazar

H_0 .(Banks,2005)

Es importante destacar que actualmente, es posible realizar este análisis en programas informáticos como Minitab 16 o Input Analyzer de Arena. De esta manera, se realiza de

manera automática ensayos con todas las familias de distribuciones hasta obtener la que se ajuste mejor a los datos recolectados.

2.7.3 Número de réplicas

Al momento de realizar la simulación es de gran importancia determinar el número de veces que se va a correr el modelo. Dicho de otro modo, se debe determinar el número de réplicas que se debe realizar para obtener datos con un nivel de confianza deseado. Para encontrar este dato, se parte de la mitad del intervalo de confianza o “Halflenght”:

$$H = t_{\frac{\alpha}{2}, R-1} \frac{S}{\sqrt{R}} \leq \epsilon$$

Ecuación 12. Intervalo de confianza prueba t (Banks, 2005)

Donde:

H= Mitad de ancho del intervalo de confianza.

t= estadístico t

S= Desviación estándar muestral.

R= Número de réplicas

ϵ = Criterio de error.

Debido a que no se tiene la desviación estándar muestral, las réplicas deben ser al menos de 10, para obtener un valor referencial de la misma. Ahora, despejando la ecuación se obtendría:(Banks, 2005)

$$R \geq \left(\frac{t_{\frac{\alpha}{2}, R-1} S_0}{\epsilon} \right)^2$$

Ecuación 13. Valor referencial de la desviación (Banks, 2005)

Donde:

S_0 = Desviación estándar muestral obtenida de los resultados de mínimo 10 muestras.

Pero $t_{\frac{\alpha}{2}, R-1} \geq z_{\alpha/2}$, por tanto:

$$R \geq \left(\frac{z_{\alpha/2} S_0}{\epsilon} \right)^2$$

Ecuación 14. Valor referencial de la desviación R 50 (Banks, 2005)

Esta segunda estimación de R es adecuada para $R \geq 50$ (Banks, 2005). Cabe recalcar que se podría realizar un procedimiento iterativo para llegar al número de replicaciones con el cual se alcanza el error determinado. (Banks, 2005)

2.8 Método 5'S

Esta es una de las herramientas de Lean Manufacturing (Manufactura Ajustada), que busca ayudar a mantener el área de trabajo más ordenada y limpia, con el objetivo de tener únicamente lo necesario para el trabajo, identificar micro desperdicios y tener un lugar agradable para el trabajo.

Este sistema se divide en 5 componentes o palabras que provienen del japonés y se clasifican de la siguiente manera (Black & Hunter, 2003):

Seiri- Organizar: Esta fase trata de analizar cada espacio de trabajo e identificar las partes, herramientas u objetos innecesarios que se encuentran y que obstaculizan o impiden el trabajo productivo. Todo lo adicional se considera como basura y debe ser eliminado

Seiton-Ordenar: Una vez identificado los desperdicios, se debe proceder a ordenar el área de trabajo en el cual debe existir un lugar para todo y todos los objetos deben localizarse en ese espacio. Es de gran ayuda colocar marcar y señales que permiten identificar a la

presencia o ausencia de la parte, de esta manera es evidente para cualquier persona dónde se lo debe colocar.

Seiso- Limpiar: Una vez que el espacio esté organizado, es preciso limpiar cada herramienta u objeto para preservar su estado y no perder tiempo el momento de utilizarlo. Así como también una parte de reemplazo en buen estado en el caso de que exista daño o necesidad de cambio.

Seiketsu-Estandarizar: Se debe establecer reglas claras para el uso de cada objeto y exigir que se conserve el estado de orden y limpieza. Es muy importante el hábito que se debe incentivar en realizar limpiezas periódicas para conservar siempre el orden.

Shitsuke-Mantener: Esta es la fase más complicada, ya que requiere de contar con gente que haga un control periódico del estado de los puestos de trabajo y además de difundir la cultura organizacional del orden y la limpieza. Estas reglas deben ser parte de la rutina diaria de trabajo.

2.9 Diagramas de spaghetti

El diagrama de spaghetti es una herramienta gráfica para representar de manera visual el flujo actual del sistema y la concentración de los movimientos en un área determinada de trabajo (Six Sigma Material, 2011):.

Es una técnica, que se la debe usar para mapear los procesos, es una fotografía de un momento determinado del proceso, es muy utilizado donde están asociados altos costos y riesgos (Six Sigma Material, 2011):.

Sus usos predominan el análisis de flujo de papel, personal y producto. Es importante que se trabaje en conjunto con los operarios involucrados en el proceso ya que no se puede

realizarel diagrama sin estar en las instalaciones del proceso, debido a que se deben seguir algunospasos para su realización que se presentan a continuación (Six Sigma Material, 2011):

- Revisar el proceso y entender todos sus componentes e involucrados.
- Empezar desde el inicio del proceso hacia el final, según su diseño.
- No descartar ningún tipo de movimiento.
- Tomar todos los tiempos de cada actividad
- Verificar las áreas en las que el material se para, es inspeccionado, retirado; asícomo las herramientas y los papeles necesarios.
- Registrar nombres y tiempos de los involucrados.
- Considerar los tiempos, turnos, cambios y descansos en cada actividad.
- Generar un diagrama de la situación ideal del sistema una vez que se haya levantadotoda la información.

A continuación en la figura 6, se puede apreciar un ejemplo de dicho diagrama:

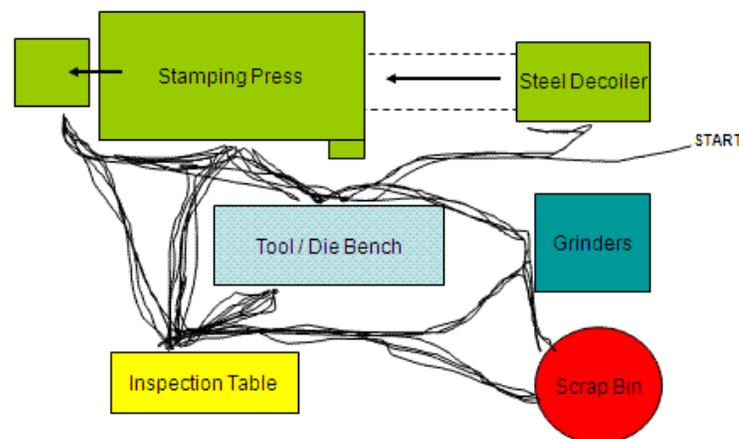


Figura 6. Ejemplo diagrama de Spaghetti (Six Sigma Material)

2.10 Medición cualitativa de flujo para el diseño de plantas.

Esta herramienta cualitativa permite identificar los valores de cercanía que tienen las diferentes estaciones de trabajo o departamentos, los cuales se los califica según la

proximidad se asigna una razón por la cual se da la misma(Thompkins, White, Bozer, & Tanchoco, 2006)

Para la utilización de este método, es importante seguir algunos pasos:

1. Enlistar todos los departamentos en la tabla de relaciones
2. Ejecutar entrevistas o encuestas con las personas involucradas con cada una de las áreas o los responsables.
3. Definir un criterio para la asignación de relaciones de cercanías y registrarlos junto con las razones de cada valor de relación.
4. Establecer el valor correspondiente para cada par de relaciones.
5. Evaluar la tabla con los involucrados del proceso para avalar sus resultados.(Thompkins, White, Bozer, & Tanchoco, 2006)

A continuación se presenta una imagen en la que se muestra la estructura de una tabla de relaciones y los valores que se utilizan con frecuencia durante su uso. Estos parámetros dependen de el tipo de negocio o empresa que se analiza, puede variar dependiendo sus requerimientos particulares.

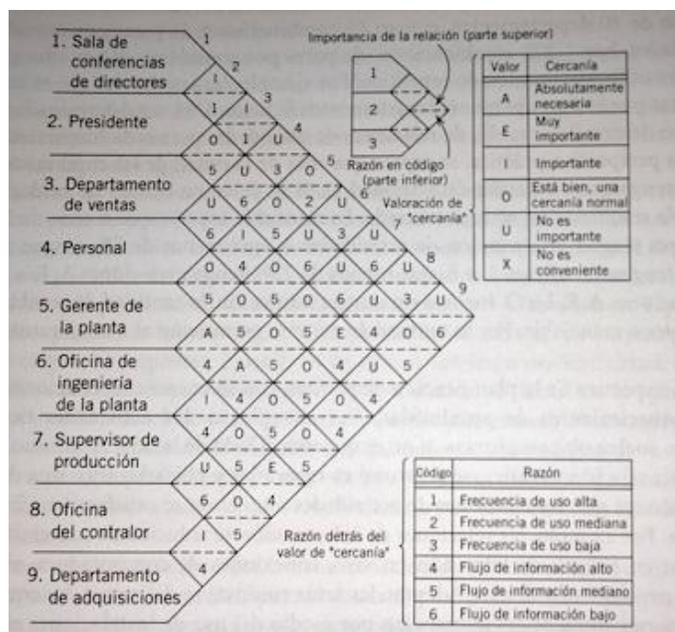


Figura 7. Formato de tabla de relaciones (Thompkins, White, Bozer, & Tanchoco, 2006)

Lo importante de este gráfico, es la calificación de cercanía y las distintas razones que se asignan a cada una de las áreas para identificar de mejor manera las relaciones entre sí. Las razones pueden ser puestas por el usuario a conveniencia de cada uno de los procesos que se analice. Con los resultados, es conveniente obtener un porcentaje para cada una de las valoraciones. Es recomendable los siguientes valores (Thompkins, White, Bozer, & Tanchoco, 2006):

- A menos del 5%
- E menos del 10%
- I menos del 15%
- O menos del 20%
- U más del 50%
- X menos del 5%

2.11 Muestreo por aceptación

Esta herramienta estadística permite tomar decisiones de aceptación de un producto en base a la inspección de una muestra perteneciente a un lote. Este método es comúnmente utilizado en los casos en el que el costo la inspección del 100% es demasiado alto, se requieren pruebas destructivas, no es técnicamente posible la destrucción, cuando el lote es muy numeroso, entre otros (Guitierrez & De la Vara, 2004).

Para el caso de este estudio, se utiliza la metodología de Military Standard 105D. Sistema de muestreo de aceptación por atributos más utilizado en el mundo, el cual proporciona un nivel de calidad aceptable (Guitierrez & De la Vara, 2004).

Existe una clasificación para el tipo de inspección la cual se divide en normal, severa y reducida, el cual evalúa el desempeño del proveedor en cuanto a la calidad convenida. Una vez seleccionado este parámetro se debe elegir los niveles generales de inspección I, II, y III, el cual permite modificar la cantidad de inspección sin afectar el riesgo del productor, pero cambiando el riesgo del consumidor. Con el número de lote, se selecciona un código que proporciona el número de muestra. Con este número, se procede a buscar el las tablas de Military Standard 105D de acuerdo al tipo de inspección y se observa el porcentaje del nivel aceptable de calidad correspondiente y a continuación el valor de aceptación y rechazo del lote (Guitierrez & De la Vara, 2004).

2.12 Ingeniería Económica

Las fórmulas de Ingeniería Económica, permiten calcular algunos valores financieros para las evaluaciones de inversiones o proyectos, donde se toma en cuenta los costos, las tasas de interés y los pagos anuales; así como el retorno en la inversión y su punto de equilibrio.

Para realizar un proyecto de inversión se requiere un valor inicial y los montos de ingresos por cada período que cubren ese desembolso. A esto se le denomina flujo de caja, donde se muestran los valores de egresos e ingresos detallados por cada período y permite tener una visión del comportamiento del dinero en el tiempo. Esta se la puede representar con una gráfica que ilustra visualmente su componentes (White, 2010).

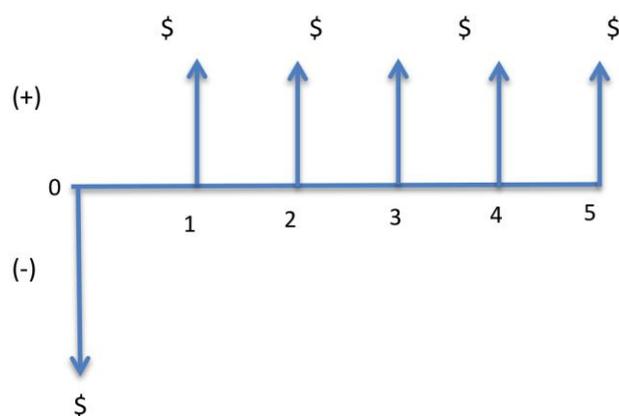


Figura 8. Flujo de caja (White, 2010)

Uno de los valores que permiten realizar el análisis financiero de un proyecto es el valor presente, que es el valor equivalente de una cantidad de dinero llevada al tiempo cero (White, 2010), y se calcula de la siguiente manera.

$$VP = \frac{VF}{(1 + i)^n}$$

Ecuación 15. Valor presente (White. 2010)

n= Número de períodos a calcular.

i= Tasa de interés

VP= valor presente

VF= Valor de la inversión futura.

De igual manera con este valor llevado al presente, se puede calcular cuáles son las anualidades requeridas para cubrir el monto de la inversión del valor futuro en el número de períodos específicos, llamada también factor de recuperación de capital y se calcula de la siguiente manera (White,2010).

$$A = VP \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \text{ o } A = VP(A|VP i\%, n)$$

Ecuación 16. Anualidades de una inversión (White. 2010)

n= Número de períodos a calcular.

i= Tasa de interés

A= Anualidades

VP= Valor presente de la inversión.

Mediante estas fórmulas, se puede calcular la factibilidad de un proyecto desde el punto de vista económico.

2.13 Revisión literaria

2.13.1 Simulación

Para evaluar la funcionalidad de la herramienta de simulación en Arena en nuestro proyecto, se ha tomado como referencia tesis elaboradas en talleres de General Motors en años anteriores, obteniendo los siguientes resultados

En el caso de la tesis de Carrera y Ramírez, se la utilizó como una herramienta que permite evaluar de manera óptima los tiempos de procesamiento de dos escenarios para un taller de automotriz. Se verificó que el modelo actual se ajuste a la situación real del sistema, observando la cantidad de autos procesados (real: 893, simulación:879). Gracias a esto, se puede apreciar la validez de la herramienta para los fines propuestos en nuestro proyecto.

Por otro lado no se logró ajustar los tiempos entre arribos a una distribución de probabilidad, así que se utilizó una distribución empírica logrando los resultados deseados. En este estudio, es muy probable que este procedimiento se tenga que realizar para lostiempos de procesos, debido a la gran variabilidad de los mismos.

En el caso de la tesis de Martínez y Mera, se desarrolló la simulación como una herramienta efectiva para determinar el cuello de botella del sistema: que fue el trabajo de mantenimiento de los técnicos, pero al no ser ése el alcance de la tesis, se decidió atacar el segundo cuello de botella que era la Lavadora. Esto corrobora la factibilidad de utilizar esta herramienta en nuestro proyecto, buscando el mismo fin.

En ambos casos se realizaron algunas asunciones para excluir algunos mantenimientos de los vehículos que podría hacer que las medidas de desempeño tengan resultados erróneos, ya que dichos procedimientos aumentarían variabilidad en el sistema. Para este proyecto, se puede presentar un escenario de mayor variación debido a que los autos que ingresan al taller han sufrido distintos siniestros. Por tanto, va a ser crítica la realización de supuestos similares, para poder compilar un modelo que represente a la realidad.

Finalmente, en la publicación expuesta por Moon, Cho, Kim Sunwoo y Jung, se emplea a la simulación como una herramienta muy útil para verificar si el diseño de la planta logra alcanzar los objetivos de producción planteados (En este caso, número de autos ensamblados, en nuestro caso, número de autos procesados), al igual que entender el sistema de configuración de la industria. Del mismo modo, permite visualizar la cantidad de producto en proceso que se encuentra en cada una de las estaciones de la línea de ensamblaje y particularmente se podrá apreciar las bahías que tienen una mayor cantidad de vehículos en espera a ser procesado. Por último, otra de las utilidades de la herramienta es que permite

introducir tiempos de para debido descompostura de alguna máquina.(Moon, Cho, Kim, Sunwoo, & Jung, 2006)

2.13.2 Estudio de tiempos y movimientos

Al igual que en el caso de simulación con Arena, esta herramienta es eficaz al momento de evaluar los tiempos utilizados para los mantenimientos dentro de talleres automotrices. En el caso de la tesis realizada por Delgado y Naranjo(En talleres de General Motors de Quito y Ambato) sirvió para elaborar los temparios de los procesos de mantenimiento. Gracias a esta herramienta se logró determinar tiempos de actividades improductivas que de seguro se encontrarán en nuestro proyecto como: búsqueda de herramientas, falta de repuestos, conversa entre operarios, entre otros. Por tanto, este método permite no solo evaluar el tiempo utilizado para la realización de una actividad, sino, realizar una segregación de todas las actividades que realizan los técnicos al momento de hacer su trabajo.

En la industria automotriz es importante regirse a ciertos estándares, que exigen las marcas fabricantes de los vehículos. El estudio de tiempos y movimientos facilita mucho este propósito y es una herramienta para modificar los procesos y encontrar oportunidades de mejora. General Motors, ha realizados varios de estos estudios en la planta de Fremont, California y se han obtenido resultados económicos muy importantes a lo largo de los años en el ámbito productivo (Adler, 2003).

Este tipo de estudios trajo consigo diversas reacciones de todos los estamentos de la organización. En muchos casos la reacción fue negativa y de resistencia al cambio y a la medición de sus trabajo. La mayor reacción fue de los sindicatos de trabajadores que no

quisieron formar parte de estos cambios, debido al posible impacto en sus labores. De todas formas, una vez realizado el estudio se comprobó su efectividad y se logró empoderar a los trabajadores para mejorar la producción.(Adler, 2003)

CAPÍTULO 3:DEFINIR

3.1 Descripción de la situación actual del taller

El TallerAuto “Azucenas” ofrece el servicio de reparación de choques, en los que están incluidos arreglos mecánicos, de latonería y pintura. El servicio inicia en la recepción y evaluación de los daños del vehículo, para posteriormente procesar la orden con su debida autorización. Una vez que se aprueba el plan de trabajo por parte de las aseguradoras, el taller y el cliente; se procede a realizar la gestión de repuestos.

En esta etapa, se solicita a bodega las partes necesarias para la reparación y si es necesario el taller realiza una importación. Únicamente cuando se encuentran todas las partes o las más importantes, se realiza la asignación del vehículo(al técnico) y su seguimiento. A partir de este momento es cuando el auto ingresa al taller de servicio para formar parte de los procesos que pertenecen a la cadena de valor de la empresa (Ver Apéndice A1).

El alcance de este proyecto se enfoca exclusivamente en los procesos clave que se realizan desde que el vehículo ingresa al taller para ser reparado, pasando por los procesos de mecánica, latonería, pintura, pulido y limpieza. Éstos se pueden apreciar en el Apéndice A2. A continuación se presenta una descripción de los mismos, seguido de una entrevista realizada a técnicos calificados de cada una de las áreas, asignados por el jefe de taller.

3.1.1 Levantamiento y validación de la información existente

El taller de Enderezado y pintura “Azucenas”, cuenta con un manual de procedimientos que describen los procesos y actividades a realizarse en cada una de las áreas del mismo. Estos documentos cuentan con las siguientes partes:

- Objetivo del proceso.
- Alcance.

- Responsabilidades y encargados.
- Distribución o acceso.
- Indicadores.
- Procedimientos.
- Anexos.

Proceso mecánica de colisiones AZU (P-00-SE-04-00)

Este proceso consiste en la reparación de las partes/piezas que tengan alguna falla mecánica o eléctrica. Existen 2 bahías exclusivas para esta actividad. El técnico asignado realiza un lavado inicial del vehículo para colocarlo en la bahía mecánica. Si el vehículo ha sufrido daños mecánicos se procede a desarmar las piezas cercanas a la zona siniestrada y procede a realizar las actividades de reparación mecánica respectiva. Finalmente se realiza una inspección de funcionamiento, niveles, fugas y sistema eléctrico, para pasar al proceso de latonería. En el Apéndice C1 se encuentra el manual de procedimiento.

Se realizó una entrevista con el técnico Marco Cartagena en la cual se evaluó el procedimiento que sigue para ejecutar el trabajo mecánico a los vehículos. Se pudo confirmar que cumplen las actividades establecidas en el manual definido.

Observaciones dadas por el técnico:

- Se requiere una actualización de herramientas debido a que se encuentran desgastadas por el uso, causando un trabajo ineficiente.
- Las piezas que exige el seguro, ocupan espacio necesario para trabajo. Se debería tener una mejor organización de los repuestos en la bahía.
- Poner equipos de prensa y preparación de partes en zona que no afecte el trabajo en las bahías.

Observaciones del equipo de proyecto:

- El técnico no debería mover las piezas de chatarra hacia el área designada. Definir sistema de recolección y despacho de chatarra.
- Se evidencia desorden de los accesorios y repuestos dentro de la bahía. No están bien clasificados.

Procedimiento 10. Desarme y almacenamiento AZU (P-01-SM-02-00).

Para la ejecución de este proceso el técnico ingresa el auto a la bahía, donde valida los repuestos requeridos de Orden de Repuestos. Posteriormente pasa a desarmar las piezas cercanas al área de reparación y almacenarlas en los racks ubicados en la parte posterior de la bahía. En el Apéndice C2 se encuentra el manual de procedimiento.

Se realizó una entrevista con el técnico Jorge Morocho en la cual se evaluó el procedimiento que sigue para ejecutar el proceso de desarmado y almacenamiento de piezas. Se pudo confirmar que cumplen las actividades establecidas en el manual definido.

Observaciones dadas por el técnico:

- Se necesitan desarmadores y herramientas neumáticas para agilizar el proceso de desarmado.
- Existen con frecuencia daños ocultos que no están considerados en la proforma, lo cual provoca demoras debido a la negociación con aseguradoras y espera de repuestos.

Procedimiento 11. Diagnóstico, medición y estiraje AZU(P-01-SM-03-00) .

Según la gravedad del daño, se coloca el auto en la bancada (Si la gravedad del daño es alta) o en el mini-bench(Si la gravedad del daño es medio). Seguido a esto, se realiza el

estiraje respectivo para cumplir las especificaciones de cada uno de los autos. En el Apéndice C3 se encuentra el manual de procedimiento.

Se realizó una entrevista con el técnico Jorge Morocho en la cual se evaluó el procedimiento que sigue para ejecutar el proceso de estiraje en bancada o mini-bench. Se pudo confirmar que cumplen las actividades establecidas en el manual definido.

Observaciones dadas por el técnico:

- En ocasiones se necesitan bancadas y mini-bench adicionales.

Detalles evidenciados por el equipo:

- Tiempos de estiraje en bancada y mini-bench son muy extensos (aprox. 6hrs) y no existe un trabajo constante en esta zona.
- No hay un técnico que se encargue exclusivamente de esta área. Cada enderezador debe dirigirse a este proceso.
- Existe un tablero en el cual se evidencia una asignación de turnos para la utilización de estas bahías. La más congestionada es la mini-bench, aunque tiene una rotación más alta.

Procedimiento 12. Sustituciones parciales AZU(P-01-SM-04-00).

De acuerdo a la gravedad y tipo de daño del vehículo, se puede hacer una sustitución parcial de piezas. Ésta consiste en cortar la pieza afectada y reemplazarla por una similar, utilizando un proceso de soldadura en el área donde se realizó el corte. Para ejecutar este procedimiento, se requiere siempre de un proceso de templado para cuadrar la pieza a ser sustituida. En el Apéndice C4 se encuentra el manual de procedimiento.

Se realizó una entrevista con el técnico Cristian Sulca en la cual se evaluó el procedimiento que sigue para ejecutar el proceso de sustitución parcial de piezas. Se pudo confirmar que cumplen las actividades establecidas en el manual definido.

Observaciones dadas por el técnico:

- En la mayoría de los casos, los tiempos planificados no coinciden con el daño real del vehículo.
- Depende del técnico la manera en la cual se realiza el trabajo, ya que no todos tienen el mismo entusiasmo o preparación lo que hace aún más variables las operaciones.
- Se requieren pistolas neumáticas que faciliten el proceso de desarme.
- Se requiere una cortadora plasma para realizar los cortes de cada sustitución.
- Debido a que en la mayor parte de daños, se requiere utilizar el mini-bench para hacer estirajes leves en las partes frontales y posteriores, se recomienda instalar el sistema utilizado en la bahía de Renault minuto. El mismo consisten en dos puertos de anclaje, para realizar el procedimiento de estiraje manualmente.

Observaciones del equipo de proyecto:

- Los técnicos ingresan los autos al taller para poder tener un turno para la utilización del mini-bench, sin importar que la disponibilidad del mismo sea dentro de un par de días. Es importante recalcar que en la mayor parte de daños, el primer paso es el procedimiento de estiraje.

Procedimiento 13. Conformación de Lámina AZU(P-01-SM-05-01) .

El siguiente proceso consiste en la adecuación de la lámina para dejarla con la forma requerida. Este procedimiento se lo hace por medio de varias herramientas manuales

(martillos, yunques, lijas) y automáticas (Spotter). Finalmente se procede a masillar la zona afectada para entregar a la preparación de pintura. En el Apéndice C5 se encuentra el manual de procedimiento.

Se realizó una entrevista con el técnico Cristian Sulca en la cual se evaluó el proceso que sigue para ejecutar el proceso de conformación de lámina. Se pudo confirmar que cumplen las actividades establecidas en el manual definido.

Observaciones dadas por el técnico:

- Se necesita una lámpara para mejorar la iluminación. De esta forma, se identificaría de mejor manera el golpe y la zona afectada.
- La colocación de masilla debería ser realizada por los preparadores de pintura, debido a que el latonero puede hacer un trabajo que agregue más valor a la reparación.
- En algunos casos no se dispone de todas las herramientas necesarias cuando hay que trabajar ciertas piezas o alcanzar zonas difíciles.

Observaciones de los tesisistas:

- El espacio para colocar las piezas en los racks es insuficiente y desorganizado.

Procedimiento 14. Preparación para pintura AZU(P-01-SE-01-00).

Una vez finalizada la enderezada de las piezas, es preciso que atraviesen un proceso de preparación para aplicar la pintura. Este consiste en la limpieza, lijado, aplicación de pintura de fondo y secado. Finalmente, se lija la pieza y se proceder al empapelado de las partes adyacentes. En el Apéndice C6 se encuentra el manual de procedimiento.

Se realizó una entrevista con el técnico José Carabalí en la cual se evaluó el proceso que sigue para ejecutar el proceso de preparación de las partes y piezas a ser pintadas. Se pudo confirmar que cumplen las actividades establecidas en el manual definido.

Requerimientos del técnico.

- Se necesita lámparas para mejorar reducir los tiempos de secado de 2 horas a 30 minutos.
- Espacio limitado en ocasiones de alta demanda.
- El checklist es útil, ya que se puede controlar el trabajo y hacer un seguimiento de las órdenes
- Problemas con asignación de órdenes debido a cambios en el transcurso del trabajo o la aprobación de los clientes.
- Si se cuenta con equipos de protección personal adecuado para su trabajo.

Observaciones del equipo de proyecto:

- El tiempo necesario para realizar el empapelado es excesivamente alto siendo una actividad que no agrega valor, ya que hay muchos autos en cola y no hay apuro de pasar a la cabina.

Procedimiento 15. Colorimetría AZU(P-01-SE-02-00) .

Este proceso consiste en la identificación del color a utilizarse para cada orden de trabajo, la mezcla y preparación de pistolas para su aplicación. Este procedimiento es sub contratado a la empresa ACSIUN, que proporciona un operario de planta para la ejecución de esta actividad. En el Apéndice C7 se encuentra el manual de procedimiento.

Se realizó una entrevista con el técnico Fernando Valarezo en la cual se evaluó el proceso que sigue para ejecutar el proceso de asignación de color, mezclas y preparación de pistolas. Se pudo confirmar que cumplen las actividades establecidas en el manual definido.

Observaciones del técnico.

- La empresa ACSIUN se encarga de abastecer las herramientas y materiales necesarios para la preparación de colores y no existe problemas o retrasos.
- Se cuenta con un re-abastecimiento puntual cada semana de pintura y barniz.

Procedimiento 16. Aplicación de pintura AZU(P-01-SE-03-00) .

Cuando el vehículo o las piezas se encuentran listas para someterse a la pintura, se procede a ingresarlas a la cabina respectiva dependiendo del número de piezas (menor a 3 piezas ingresan a Renault Minuto, caso contrario a la cabina de pintura). Posteriormente, se procede a desengrasar y aplicar la pintura correspondiente. Finalmente se realiza una inspección y se coloca el barniz para obtener el brillo respectivo. Este proceso requiere un tiempo de secado que va de acuerdo al número de piezas. En el Apéndice C8 se encuentra el manual de procedimiento.

Se realizó una entrevista con el técnico Guillermo Morales en la cual se evaluó el procedimiento que sigue para ejecutar el proceso de aplicación de pintura y secado. Se pudo confirmar que cumplen las actividades establecidas en el manual definido.

Observaciones del técnico:

- Existe contaminación en la cabina debido al sistema de ventilación.
- Se recomienda un túnel de secado para agilizar el proceso de pintura para que pueda ser continuo.

- Cabina no dispone de una adecuada iluminación para la inspección y control de la aplicación de pintura.
- Para la cabina de Renault Minuto, no existe un sistema de calentamiento eficiente dentro de ella. Únicamente se utilizan lámparas locales para el proceso de secado.
- Para la cabina de Renault Minuto, al no ser herméticamente cerrada, ingresan partículas del taller que afectan la calidad del acabado de pintura.

Observación del equipo de proyecto:

- El tiempo de secado es de aproximadamente 40 minutos, provocando tiempos muertos para pintor durante la espera.

Procedimiento 17. Armado y detallado AZU(P-01-SM-05-00) .

Una vez terminado el proceso de pintura, el auto regresa a la bahía para ser armado y ajustado con todas las piezas reparadas y removidas anteriormente. En esta fase es muy importante el ajustey alineación de las partes. Finalmente, se envía el auto a una bahía externa, en la cual se somete a un proceso de pulido. En el Apéndice C9 se encuentra el manual de procedimiento.

Se realizó una entrevista con el técnico Cristian Sulca en la cual se evaluó el procedimiento que sigue para ejecutar el proceso de armado de piezas listas y detalles finales. Se pudo confirmar que cumplen las actividades establecidas en el manual definido.

Observaciones del técnico:

- Debido a que se remueven todas las partes de la zona siniestrada o que se pueden ver afectadas en el proceso de pintura, se las almacena en un rack que

se encuentra en la parte posterior de la bahía. El mismo no dispone de una correcta organización y puede provocar pérdida o tiempos improductivos.

- Se ejecutó otra entrevista con el encargado del pulido. Se pudo confirmar que cumplen con las actividades descritas en el manual de procedimientos.

Observaciones del técnico:

- Para realizar un trabajo más eficiente y un pulido más uniforme, se podría utilizar una lijadora neumática.
- Falta iluminación para apreciar las impurezas y piel de naranja, en especial en los autos con tonos oscuros.
- Existe contaminación debido a los ductos de ventilación que desembocan en el área de pulido.
- La carga de trabajo en la bahía de pulido, se incrementa a medida que no se cumple el tiempo de reemplazo de los filtros de las áreas de pintura y preparación.
- El tiempo de trabajo se incrementa cuando se requiere pulir el auto en su totalidad.

Observaciones del equipo de proyecto:

- Los autos pasan al proceso de pulido sin estar totalmente armados y listos. Esto provoca que exista un reproceso en el lijado.
- En el manual de procedimientos figura la lija 1500 como herramienta para el proceso de pulido, mientras que el encargado utiliza únicamente la lija 1200. El motivo para este cambio se debe a la facilidad de ejecutar esta operación.

Procedimiento 18. Limpieza AZU(P-01-SC-02-00).

Finalmente se somete al vehículo a un proceso de limpieza externa e interna. La externa consiste en el lavado y secado, mientras que la interna consta de aspirado y limpieza interna de vidrios, parabrisas y paneles. En el Apéndice C10 se encuentra el manual de procedimiento.

Se realizó una entrevista con el técnico Javier Chasig en la cual se evaluó el trabajo que hace para ejecutar el proceso de limpieza del vehículo. Se pudo confirmar que cumplen las actividades establecidas en el manual definido.

Observaciones del técnico:

- La aspiradora utilizada actualmente no es lo suficientemente poderosa para realizar un trabajo eficiente.
- Las mangueras de lavado no cuentan con la suficiente presión para realizar una limpieza efectiva. En ciertas áreas del vehículo, es difícil remover la suciedad debido a este problema.
- El exceso de pulimento en los procesos anteriores, provoca un aumento en el tiempo de lavado.
- En muchas ocasiones se necesita volver a lavar el exterior del auto debido a que no se entrega a tiempo.

Observaciones del equipo de proyecto:

- Se podría hacer una mejor división del trabajo para cumplir con el tiempo requerido para realizar este proceso.
- La limpieza no se realiza únicamente en las bahías destinadas a esta actividad, ya que se utiliza la vía de acceso de los vehículos al taller.

3.1.2 Análisis cuantitativo del estado del taller

En esta sección se analizará la información obtenida a partir de la base de datos de TallerAuto del año 2011. En ésta se encuentra la descripción y características de cada una de las órdenes procesadas. El contenido de este archivo es relevante para la definición del problema que va a ser diagnosticado en este proyecto y el enfoque que va a tener el estudio. Mediante estos datos y las herramientas de análisis se puede determinar cuáles son los puntos más importantes o los puntos críticos del mismo.

En el siguiente gráfico se puede observar el servicio que brindó el taller durante el 2011 en cuanto al número de órdenes procesadas.

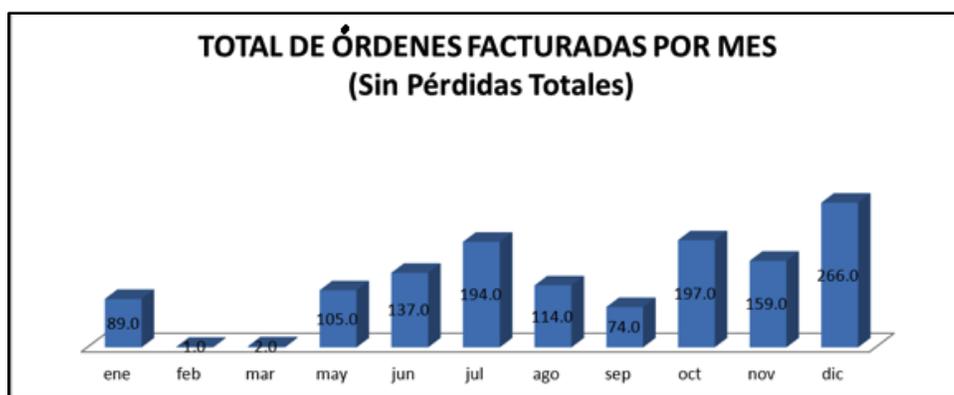


Figura 9. Órdenes Facturadas 2011(Base de datos AYASA)

Los clientes que ingresan vehículos al taller están clasificados de la siguiente manera.



Figura 10. Tipo de cliente Ago-Dic,2011(Base de datos AYASA)

A su vez, el momento que el auto ingresa al taller, el asesor de servicio evalúa los daños visibles, con el fin de realizar la proforma correspondiente para asignar el tipo de ciclo y

el nivel de daño. Del total de las órdenes procesadas en el año 2011, así es como se distribuye los vehículos atendidos.

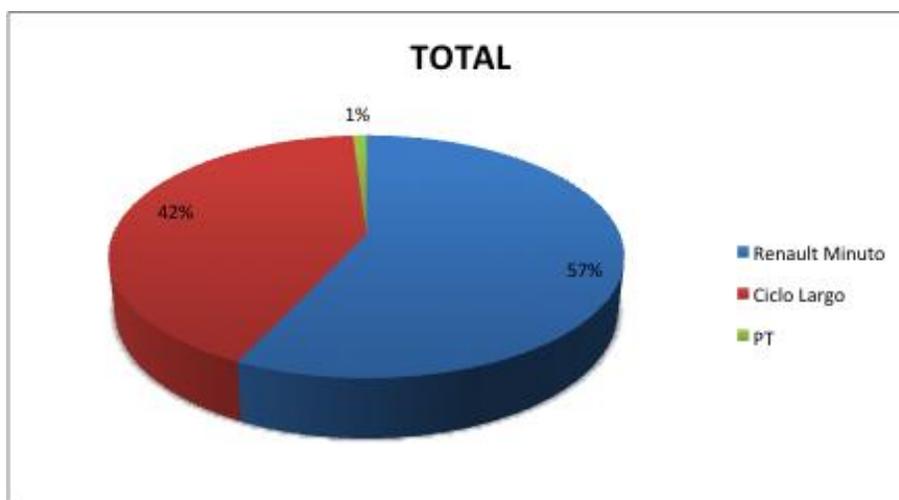


Figura 11. Porcentaje de Vehículos según tipo de ciclo

Esta clasificación está determinada fundamentalmente por el número de piezas que se ven afectadas, el tiempo de reparación del daño y la gravedad del daño en las zonas siniestradas.

- Ciclo Largo: Más de 3 piezas afectadas y una reparación de más de dos horas en la sección de latonería . (Ver Apéndice C6)
- Renault Minuto: De 0 a 3 piezas siniestradas y con un tiempo menor a 2 horas en realizar los trabajos de reparación en latonería. (Ver Apéndice C6)

El ciclo largo, por otro lado lleva una sub-clasificación con lo referente al nivel de daño, ya que mediante esta separación se puede cotizar la mano de obra, gestionar los repuestos requeridos y las asignaciones de bahías para su procesamiento.

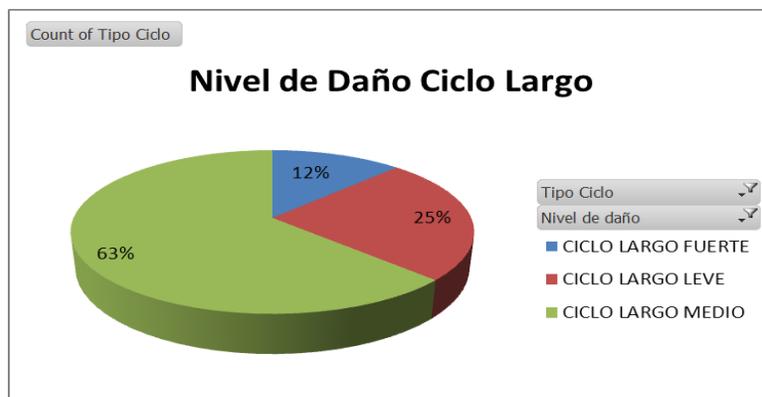


Figura 12. Porcentaje de clasificación de Ciclo Largo (Base de datos AYASA)

De manera general, tomando en cuenta la base de datos de TallerAuto del 2011, se evidencia que el nivel de servicio es afectado directamente por los días de permanencia en el taller. Es importante recalcar que éste tiempo se lo toma desde que el cliente entrega el vehículo hasta que lo recibe totalmente arreglado. Por tanto, dentro del mismo se encuentra el período de espera por importación de repuestos (de ser el caso) y la disponibilidad de un técnico dentro del taller.

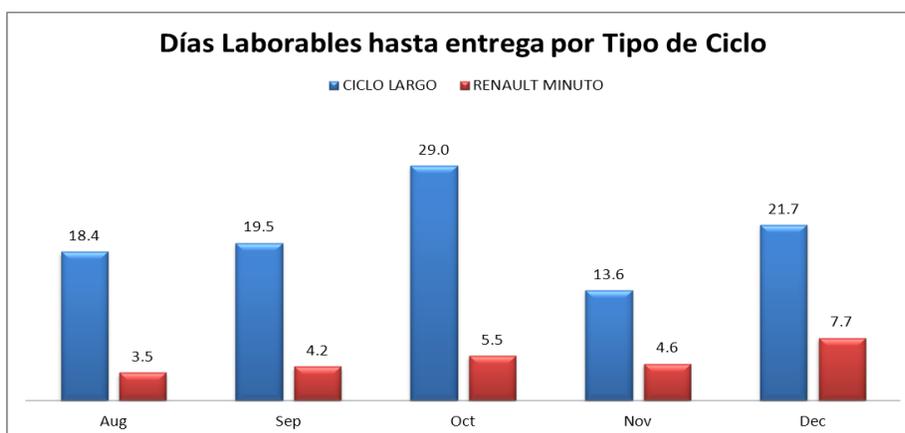


Figura 13. Días laborables por tipo de ciclo (Base de datos AYASA)

Con lo referente a los repuestos requeridos para la reparación de los vehículos, estos también poseen una clasificación por disponibilidad y por necesidad. Los tipos son: en stock, a

importación y no requiere repuestos; los mismos que se encuentra representados en el siguiente gráfico, tomando en cuenta las órdenes del 2011.

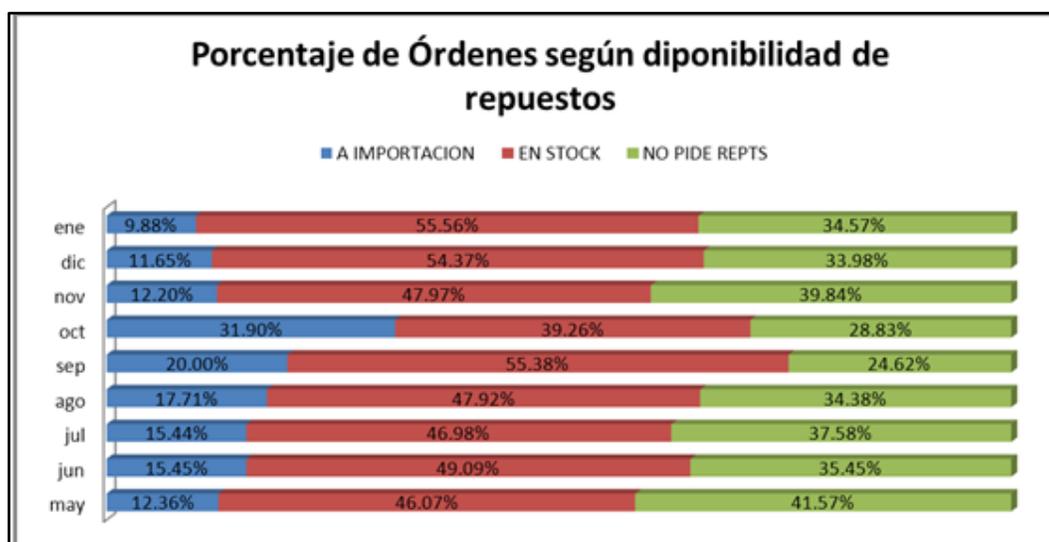


Figura 14. Disponibilidad de repuestos en órdenes 2011 (Base de datos AYASA)

Finalmente, los tiempos netos de trabajo dentro del taller, que son registrados por los asesores para cada tipo de ciclo se puede apreciar en la figura siguiente:

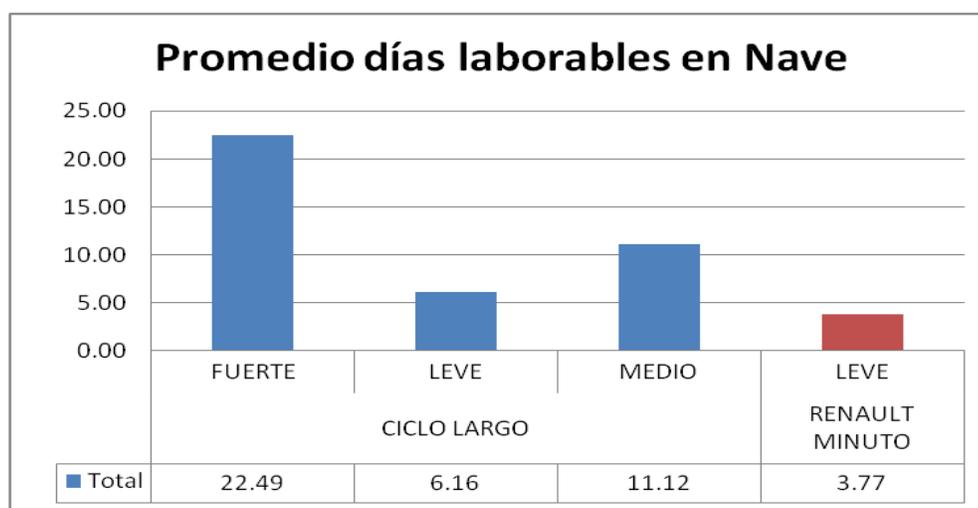


Figura 15. Promedio de días laborables en Nave (Base de datos AYASA)

Se puede apreciar que en el caso de Renault Minuto no cumple el estándar de la marca que es 3 días laborables. Por otro lado, en el caso de los vehículos de ciclo largo, se puede observar una gran diferencia entre cada uno de los tipos de daños. Finalmente, debido a la gran

variabilidad encontrada en estos tiempos, se puede confirmar que no siguen una distribución normal.

3.2 Definición del problema

Los principales problemas que tiene la empresa en la actualidad son: el incumplimiento de los tiempos de entrega ofrecidos al cliente, los cuales generan inconformidad y un decremento en el nivel de servicio perjudicando la imagen de la marca en el mercado.

En el caso de las órdenes pertenecientes al ciclo largo, se obtuvo de manera general que desde el mes de mayo del 2011 al mes de enero del 2012, el 38% por ciento de órdenes fueron entregadas a tiempo, mientras que el 41% fue entregada en una fecha posterior a la ofrecida. Existe un 21% que no se puede determinar el tiempo de entrega debido a falta de información. A continuación se puede apreciar el gráfico de la asignación de cumplimiento, de acuerdo al nivel de daño del vehículo.

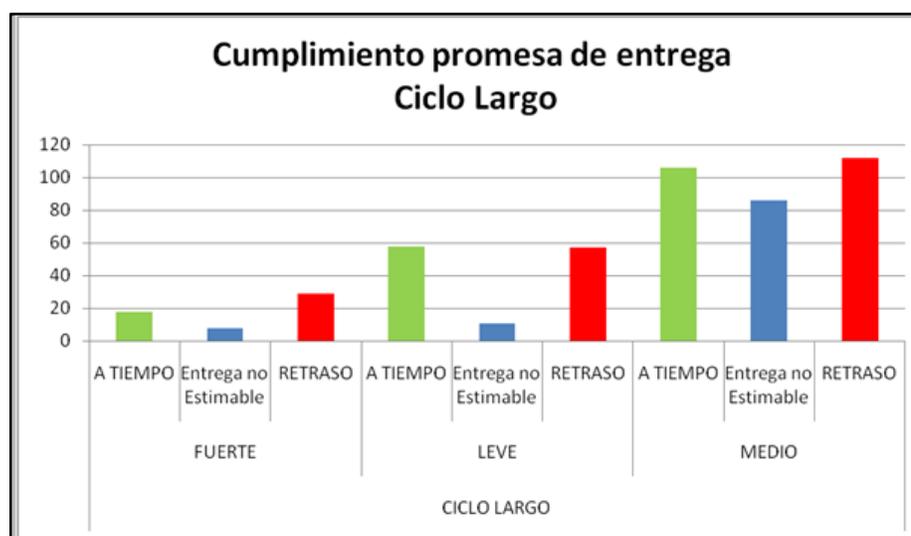


Figura 16. Cumplimiento de promesa de entrega - Ciclo Largo (Base de datos AYASA)

De la misma forma, los vehículos ingresados a Renault Minuto, poseen un 60% de entregas a tiempo, frente al 32% de retrasos y existe un 8% de órdenes sin estimación de entrega. La gráfica siguiente muestra estos resultados para este tipo de ciclo.

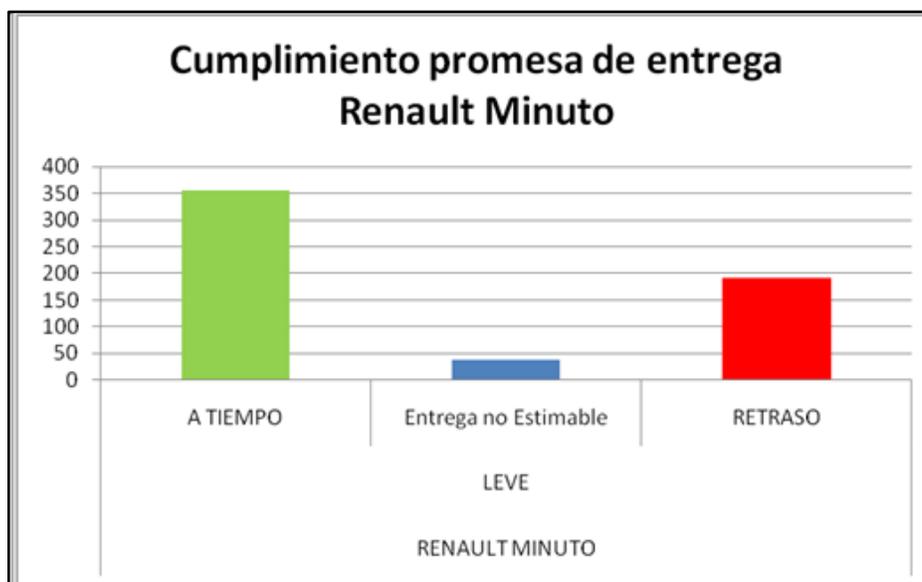


Figura 17. Cumplimiento de promesa de entrega - Renault Minuto (Base de datos AYASA)

Como se observa en la Figura 16 (Pág 67), los vehículos que pertenecen al ciclo largo cuentan con una mayor tasa de retrasos en comparación a los de Renault Minuto. Dentro de este tipo de ciclo, se evidencia que el nivel de daño medio presenta un porcentaje mayor de retrasos que de cumplimientos, tomando en cuenta que este nivel de daño representa el 63% de los vehículos de ciclo largo procesados en el taller, como se muestra en la Figura 11 (Pág 63).

Adicionalmente, se realizó un análisis financiero que muestra los ingresos totales que obtuvo la empresa en el periodo de mayo de 2011 a enero de 2012, según la clasificación de tipo de ciclo. Los resultados obtenidos evidencian que los ingresos causados por el servicio de ciclo largo, equivalen a tres veces los de Renault Minuto.



Figura 18. Ingresos por tipo de ciclo

A partir de estos datos se calculó los ingresos diarios promedio por mano de obra y por repuestos. Cada uno de estos brinda una ganancia del 31% y 16.7% respectivamente. Finalmente, se presenta la rentabilidad obtenida por día laborable de trabajo, de cada uno de los vehículos procesados de mayo de 2011 a enero de 2012, según el tipo de ciclo y su nivel de daño, a partir del cual se puede concluir cuál tiene un mayor impacto económico en relación al número de órdenes.

		Ingresos por Día		Ganancia por Día		Rentabilidad / Día	# Órdenes Mayo- Enero
		Mano De Obra	Repuestos	Mano de Obra	Repuestos		
Ciclo Largo	Fuerte	\$ 112.90	\$ 242.75	\$ 35.00	\$ 40.54	\$ 75.54	57
	Leve	\$ 124.89	\$ 142.85	\$ 38.72	\$ 23.86	\$ 62.57	112
	Medio	\$ 133.55	\$ 193.86	\$ 41.40	\$ 32.38	\$ 73.78	291
	Renault Minuto	\$ 115.72	\$ 120.24	\$ 35.87	\$ 20.08	\$ 55.95	678

Tabla 2. Rentabilidad diaria por tipo de ciclo

Mediante esta tabla, se puede concluir que el ciclo largo fuerte es el que tiene una mayor contribución diaria, pero como se puede apreciar en la última columna, en el período de tiempo analizado solo se procesaron 57 vehículos, frente al total de 1163 procesados durante este lapso. Debido a esto, se evidencia que para el taller es relevante enfocar el estudio en mejorar la eficiencia del ciclo largo medio.

A pesar de que Renault Minuto procesa un mayor número de vehículos en promedio al año, el 19.6% se debe a vehículos que necesitan un re-proceso por mala calidad u órdenes anuladas, las cuales se cancelaron su trabajo por desacuerdos con el cliente. Por lo tanto, tomando en cuenta que el costo promedio de mano de obra de Renault Minuto es de \$265 por vehículo, se cuantifica una pérdida aproximada de \$32,000 de mayo 2011 a enero 2012, al realizar estos trabajos, los cuales no entran dentro de este estudio. Adicionalmente, como se observa en los resultados de cumplimiento de tiempo de entrega, los procesos Renault Minuto son más eficientes que los de ciclo largo.

Finalmente, el enfoque del proyecto quedaría definido de la siguiente manera:

“El taller de Azucenas de enderezada y pintura de Automotores y Anexos, tiene como meta aumentar su eficiencia operacional. Por tanto, el estudio se enfocará en los vehículos categorizados dentro de ciclo largo con una priorización en el nivel medio. Sin embargo, los resultados repercutirán en las operaciones de todo el taller.”

CAPÍTULO 4: MEDIR

En este capítulo se presentará la descripción de los datos requeridos para ejecutar el análisis del estado actual de las operaciones de TallerAuto y proceder en los siguientes a realizar propuestas de mejora en la eficiencia. El objetivo de esta fase, es delimitar los datos que proveerán información relevante para este estudio, así como los pasos que se deben seguir y las herramientas para su recolección.

4.1 Determinación de puntos de medición.

El Taller de Enderezada y Pintura está compuesto de varios procesos para la reparación de los daños, tales como: mecánica, latonería, preparación, pintura, armado, pulido y limpieza, como se muestra en el Apéndice A2. Se busca determinar las causas de los incumplimientos de las órdenes, los retrasos, los tiempos muertos y los tiempos actuales de operación con el fin de atender un mayor número de vehículos en el mismo tiempo.

El equipo del proyecto se reunió con la gerencia para evaluar la importancia de estas mediciones y el impacto que tienen en los posibles resultados que se pueden obtener a través del estudio. En consenso, se llegó al acuerdo de realizar la toma de datos de los puntos antes mencionados y así contar con una visión más específica de la situación del taller y los principales problemas existentes.

4.2 Enfoque de la medición por procesos

Con estos antecedentes, se realizará el levantamiento de los datos de los procesos internos desde que el vehículo ingresa a la nave hasta que ha pasado por el proceso de limpieza, para ser entregado al cliente. Es por esto, que las mediciones tendrán dos componentes principales:

- **Tiempos de operación:** los cuáles se desglosan en el conjunto de actividades que realizan los técnicos durante la reparación en las bahías. La toma de estos datos se la obtendrá con la ayuda del personal del taller, el control de los supervisores y los líderes del proyecto.
- **Tiempos muertos/pausas:** cualquier tiempo que no agregue valor a la reparación y que interrumpa el trabajo con su debida explicación.

La recolección de los datos de todos los procesos no se realizarán de la misma manera, es por esto que en las áreas de Preparación, Empapelado, Pintura, Pulida y Limpieza se utilizarán los datos desde el mes de diciembre del 2011 hasta febrero de 2012 que son llenados por los operarios en un formato establecido por la empresa previamente, el cual cuenta con información de el número de orden, bonete, técnico latonero encargado, las fechas de recepción y entrega, y los tiempos de cada una de las actividades, como se muestra en el Apéndice D1.

Por el contrario, en los procesos de Latonería y Mecánica que no cuentan con un registros de tiempos, se tomarán los datos a partir de las actividades que se realizan en estas secciones. Los componentes de este registro estarán explicados en la siguiente sección de Plan de Medición. Cabe mencionar la importancia de la información para estos dos subprocesos que se realizan en nave, ya que son los que aportan con la transformación del vehículo. Además, en estas etapas es donde se encuentra con la mayor variabilidad, ya que cada vehículo tiene un tipo de daño distinto y sus características son diferentes de un modelo a otro.

La toma de datos no es una actividad sencilla para los técnicos, ya que los tiempos de reparación son extensos y están compuestos de muchas actividades, que en muchas ocasiones se ven interrumpidas por daños ocultos, disponibilidad de herramientas, repuestos, etc. Es de suma importancia seguir las instrucciones de la recolección y que se llene el registro con

rigurosidad para obtener información real de la situación del taller. Con esto, al finalizar se obtendrá un listado de las paras con sus respectivas causas para establecer un análisis y un plan de acción para solucionarlas.

De esta forma, el lapso de medición de los procesos de latonería y mecánica tendrá un mayor esfuerzo de trabajodebido a la criticidad de los procesos en esta fase de la cadena de valor, por lo que se exigirá su cumplimiento y control por parte de todos los involucrados.

Como respaldo, se procederá a validar los datos obtenidos por los técnicos a partir de los videos de seguridad del taller. En estas tomas, se podrá dar un seguimiento a los vehículos localizados en las bahías y cuantificar los tiempos de operación y las pausas durante el día, de tal manera que se pueda verificar el trabajo de registro. Adicionalmente, esta herramienta permite analizar el flujo interno de vehículos en las bahías y los tiempos que tardan los operarios del taller en mover autos para pasar de un proceso a otro.

4.3 Tamaño de la muestra

Como se explicó en el capítulo anterior, los vehículos ingresados en el taller se clasifican en las siguientes categorías: Ciclo largo: Leve, medio y fuerte; Renault Minuto. Por tanto, se definió un tamaño de muestra distinto para cada una de estas subcategorías. De esta forma, se quiere reducir el sesgo que se puede presentar por la gran variabilidad existente en el sistema.

Por consiguiente, se utilizará la Ecuación 5 (Capitulo 2, pág. 32) referente al Tamaño de muestra, que se encuentra a continuación:

$$n = \frac{N * S^2 * z^2_{\alpha/2}}{e^2 * (N - 1) + S^2 * z^2_{\alpha/2}}$$

Donde:

n = Tamaño de la muestra desea por tipo de daño.

N = El tamaño de la población por tipo de daño.

S = Desviación estándar muestral (Obtenida a partir de una prueba piloto)

$z_{\alpha/2}$ = nivel de confianza.

e = Proporción de error máximo permisible(Montgomery, 2009).

4.3.1 Tamaño de la población por tipo de daño.

Para obtener el tamaño de la población para cada uno de los tipos de daño, se tomó en cuenta la base de datos que dispone la empresa. Ésta tiene información efectiva apartir de Mayo del 2011 hasta Enero del 2012. Por tanto, se logró recolectar los siguientes datos:

Tipo de daño	# Autos atendidos
FUERTE	57
LEVE	112
MEDIO	291
RM	678

Tabla 3. Tamaño de la población

4.3.2 Población de éxito o proporción esperada

Se elaboró una prueba piloto con 10 muestras donde se registró los valores de los tiempos del proceso de pintura, los cuales cuentan con un registro. En el Apéndice E11 se puede apreciar los datos de la prueba piloto. El objetivo es tener una referencia de la desviación estándar muestral del proceso con relación a la población. A continuación se presenta los valores para cada tipo de ciclo.

Tipo de daño	Desviación Estándar
FUERTE	40.0
LEVE	67.3
MEDIO	63.7

RM	10.6
----	------

Tabla 4. Desviación estándar muestral

4.3.3 Error de estimación

Es el error que se prevee cometer para la desviación estándar muestral obtenida para cada tipo de ciclo. Este tiene una variación en cada una de las clasificaciones, es decir si se quiere cometer un error del 10% se debe introducir el valor correspondiente al dato de la desviación estándar muestral. Los resultados se presentan a continuación.

Tipo de daño	Error estimación (min)
FUERTE	20
LEVE	20
MEDIO	20
RM	3.5

Tabla 5. Error de estimación

4.3.4 Nivel de confianza

Gracias a la recomendación de varias fuentes bibliográficas y especialistas en la materia (AFHA), se utilizará un nivel de confianza del 95%. Esto asegura que en este porcentaje, la muestra se encuentra dentro del intervalo de confianza definido por la proporción esperada \pm el error máximo permisible.

4.3.5 Definición de tamaño de muestra

Utilizando todos los factores descritos anteriormente, se definió el tamaño de muestra para todos los tipos de daño. Es importante señalar que si bien la literatura recomienda tener al menos 30 datos para que la muestra sea significativa, en el caso de tipo de daño fuerte, se ha definido una muestra menor. Esto se debe a que el taller no procesa una cantidad considerable de autos con este tipo de daño. Por tanto, un ligero sesgo introducido por el tamaño de muestra de este daño, no afectará los resultados del estudio. Finalmente, este proyecto se enfoca en los datos de tipo de daño medio y leve que son los que más se procesan en el taller y representan

mayores ingresos(a diferencia de Renault Minuto). El tamaño de muestra calculado se presenta a continuación:

Tipo de daño	Tamaño de muestra
FUERTE	12
LEVE	30
MEDIO	34
RM	34

Tabla 6. Tamaño de muestra

En el caso del proceso de mecánica, se utilizará un tamaño de muestra inferior. El motivo de este cambio de debe a que solo un 10% de los vehículos que ingresan al taller (Base de Datos Ayasa) se someten a este procedimiento.

El tamaño de muestra para mecánica según el tipo de ciclo, se define a continuación mediante el mismo concepto de la desviación estándar muestral de la prueba piloto inicial.

Tipo de daño	Tamaño de muestra
FUERTE	3
LEVE	7
MEDIO	18

Tabla 7. Tamaño de muestra mecánica

4.4 Plan de medición y recolección de datos

Una vez definido el tamaño de la muestra para cada uno de los tipos de daño, se define el método para recolectar la información.

4.4.1 Mecánica y latonería

Se ha agrupado a estos 2 procesos ya que son los únicos del taller que no llevan ningún tipo de registro sobre los tiempos de procesamiento. Se elaboró una hoja de tiempos de operación, que se encuentra en el Apéndice D1. Ésta consta de un espacio para escribir datos

generales del vehículo como el número de orden, bonete, fecha de ingreso y tipo de daño.

Además consta de 2 divisiones importantes:

- **Mecánica:** Este casillero está dividido en los dos sub procesos que se realizan en mecánica: desarme de componentes y revisión mecánica.
- **Latonería:** Este casillero se encuentra dividido por cinco subprocesos que son: desarme, medición y estiraje, sustitución parcial, laminado y armado. Es importante recalcar que no se realizan todos estos sub procesos en cada una de la órdenes, depende del tipo de siniestro que haya sufrido el vehículo. Es por esto, que existe una casilla en la cual el técnico puede señalar qué procesos no aplican (N/A).

En cada uno, se encuentra un casillero de fecha/hora de inicio y fecha/hora de fin.

Además, se presenta un espacio para los tiempos de pausas y observaciones. El técnico latonero es el que registra todos los tiempos de dichos subprocesos, mientras que el mecánico es el encargado de llenar lo referente a su trabajo.

Por último, todos los datos obtenidos de los casilleros de observaciones con respecto a los motivos y tiempos de pausa, se tabularán en una matriz distinta para tener una idea más acertada del motivo por el cual los técnicos interrumpen su trabajo.

4.4.2 Pintura y acabado final

En el caso de estos procesos, el taller de Azucenas cuenta con un registro de tiempos distinto para cada uno. En los dos casos, las hojas disponen de espacios para completar con la información general del vehículo como número de bonete, número de orden, vehículo, color, asesor, número de piezas. De igual forma, tienen casilleros para registrar la hora de inicio/fin de cada uno de los subprocesos que se presentan a continuación:

- En el caso de la hoja de registro de pintura, se anotan los subprocesos de fondeado, lijado, empapelado y pintura. Es importante resaltar que estos tiempos los registran tres personas distintas: la primera persona es la que se encarga de los procesos de preparación como fondeado y lijado. La segunda persona es la que se encarga del tiempo de empapelado y la tercera persona se enfoca en la pintura. Ver Apéndice D3.
- En el caso del registro de acabado final, se anotan los sub procesos de pulida y limpieza, junto con una fecha y nombre del latonero que hace la entrega. En este caso, existen 2 personas que anotan en la hoja: la primera es la encargada de pulida, mientras que la segunda es la encargada de la limpieza.

Adicionalmente, existe un casillero de control de calidad que actualmente no se lo utiliza. Ver formato en Apéndice D2.

Por último, en el caso de pintura y latonería se necesita realizar una búsqueda en la base de datos, para encontrar el tipo de daño del vehículo de acuerdo al número de orden. Este procedimiento provocó que el 15% de los datos obtenidos no sean válidos ya que no se encontraba su clasificación correspondiente, provocando una demora en la recolección.

4.5 Descripción del procedimiento de recolección de datos

Como parte de la ejecución de las mediciones, el equipo del proyecto organizó una capacitación al personal con el objetivo de informar e instruir de la importancia del estudio, y el procedimiento de llenado de las hojas de tiempos. Se realizó esta reunión con carácter de urgente, debido a la poca colaboración inicial de los técnicos. Es por esto que se buscó un esquema para transmitir el mensaje e involucrar a los miembros del taller con el proyecto.

Las principales actividades que se realizaron en esta capacitación que tuvieron un carácter informativo y motivacional son las siguientes:

- Descripción del proyecto: cuál es el objetivo y las razones de su ejecución
- Importancia de las mediciones: La posibilidad de simular y hacer pruebas con los datos, así como tener una idea de las actividades que se realizan en el taller.
- Importancia del trabajo de latonería en el taller: Es donde se realiza una transformación en el vehículo y se agrega valor en el trabajo, la habilidad que este trabajo requiere.
- Explicación de la hoja de toma de tiempos: Se muestra cada componente de la hoja y el orden para llenarla.
- Descripción de la variabilidad inherente del sistema: Entender la incidencia que tienen la variabilidad en las mejoras y cambios internos, la dificultad de su seguimiento y medición.
- Impacto económico del estudio: Los beneficios que trae para la empresa y el cliente.
- Seguimiento de las actividades: Permite tener mayor control de los operarios y de las órdenes en proceso.
- Comisiones de los técnicos: mientras se puedan identificar las fallas, se puede asignar mejor el trabajo y recibir mayor remuneración variable.
- Paras o interrupciones del proceso: Muchos de los tiempos muertos no se deben al trabajo de los latoneros, por lo que es necesario identificar los factores externos que inciden en estas interrupciones.

Con estos puntos, se logró generar un compromiso con los involucrados y la colaboración para la ejecución de esta fase.

Mediante estas mediciones, se podrán obtener los datos del estado actual del taller de Azucenas, los que permitirán dar un diagnóstico de cada uno de los procesos, identificar los cuellos de botella, las capacidades y el input para realizar una simulación en Arena®.

A continuación se presentará el Plan de Medición, el cual explica los involucrados y el procedimiento para su recolección.

Plan de medición

Objetivo: Recolectar tiempos de operación y las pausas con su respectiva explicación de los procesos dentro del taller, desde su asignación hasta su limpieza.

Involucrados: técnicos del taller de Enderezada y Pintura de Azucenas, equipo de Proyecto y Jefe del Taller.

Duración: Enero - Febrero 2012

Procesos observados:

Debido a que los procesos de pintura, preparación, pulida y limpieza sí tienen un registro, solo se desarrollará las mediciones en Mecánica y Latonería utilizando el formato de medición de tiempos.

General:

1. Ingresar el número de orden, bonete, fecha de ingreso, fecha de entrega y la respectiva clasificación del nivel de daño del vehículo recibido.

Mecánica:

1. Registrar la fecha de inicio y fin de desarme de componentes mecánicos.
2. Anotar hora de inicio y fin de actividades de desarme

3. Anotar el tiempo de pausas durante este período y las causas de las mismas.
4. Repetir los pasos 1, 2 y 3 para el campo de Revisión Mecánica.

Latonería:

1. Técnico recibe el vehículo y empieza el trabajo en las partes siniestradas.
Anotar la fecha y hora de inicio a fin de las actividades.
2. Escribir el tiempo de para y el desglose de todos los motivos por los que se dieron las pausas, incluyendo almuerzo y refrigerio.
3. Marcar en el casillero de “N/A” si el proceso no aplica para la orden.
4. Repetir el procedimiento para los procesos de Desarme, Estiraje, Sustitución parcial, Conformación de Lámina y Armado.

Una vez finalizado el proceso de armado, cerciorarse de entregar el documento al responsable del proceso de pulido y limpieza.

4.6 Resultado de las mediciones

Para empezar la fase de mediciones, es preciso determinar el tiempo entre arribos del los autos al taller. Los datos para este propósito, corresponden al mes de diciembre de 2011 ya que es el período de más alta demanda.

Para realizar este cálculo, se determinó el número de autos que ingresaron a la nave diariamente. Se asume que la llegada se realiza de manera uniforme, es decir que si en una jornada laboral de 8 horas llegan 8 autos, el tiempo entre arribos es de 1 hora. Posteriormente, se realizó un histograma que agrupa los resultados de todo el mes y se obtiene la siguiente distribución.

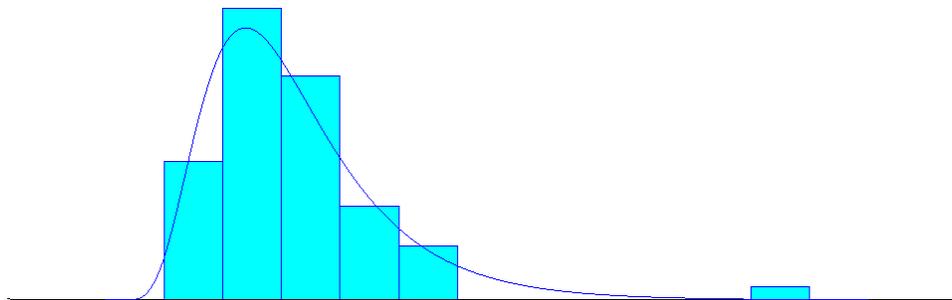


Figura 19. Distribución tiempo entre arribos

Distribution: Lognormal
 Expression: $0.27 + \text{LOGN}(0.67, 0.32)$
 Square Error: 0.005040

Una vez tomado los datos de los diferentes procesos, se debe categorizarlos para su respectivo análisis. Es por esto, que se presentarán de forma descriptiva cada uno de los tiempos observados.

De este modo, se subdivide cada una de las mediciones de acuerdo al método de recolección. Es decir, al grupo de datos de preparación, pintura, pulida y limpieza por un lado, y al de latonería y mecánica por otro. Esto se debe a que en cada caso se utilizaron diferentes formatos y herramientas de validación como se mencionó en la sección anterior.

A continuación están cada uno de los datos por proceso. La tabla contiene el tipo de ciclo y el nivel de daño. Además, el número de datos recolectados, la distribución a la que se ajustan y su media, la cuál permitirá posteriormente hacer el cálculo del tiempo de ciclo de cada uno.

	Ciclo Largo											
	Leve			Medio			Fuerte			Renault Minuto		
	# Datos	Media	Distribución	# Datos	Media	Distribución	# Datos	Media	Distribución	# Datos	Media	Distribución
Preparación	30	145	TRIA(50, 114, 265)	48	175	TRIA(40, 122, 370)	25	158	100 + EXPO(58.5)	N/A	N/A	N/A
Preparación Plenum	30	83	25 + 185 * BETA(0.954, 2.08)	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	25	75	29.5 + EXPO(32)
Empapelado	30	93	TRIA(30, 51, 240)	47	100	25 + 245 * BETA(0.743, 1.68)	16	143	100 + 110 * BETA(0.431, 0.661)	N/A	N/A	N/A
Pintura	30	99	50 + EXPO(49.8)	48	100	50 + EXPO(47)	25	139	NORM(140, 63.1)	N/A	N/A	N/A
Pintura Plenum	30	64	14.5 + WEIB(30.1, 1.33)	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	57	52	14.5 + WEIB(30.1, 1.33)
Mecánica	10	120	45 + EXPO(90)	13	164	30 + WEIB(71.1, 0.436)	8	161	60 + GAMM(343, 0.392)	N/A	N/A	N/A
Desarme	30	59	NORM(59.2, 28.5)	31	118	10 + EXPO(108)	12	196	30 + WEIB(82, 0.423)	7	81	15 + 105 * BETA(0.794, 0.891)
Medición y Estiraje	30	123	50 + WEIB(56, 0.625)	31	220	60 + 540 * BETA(0.511, 1.21)	12	340	90 + EXPO(250)	N/A	N/A	60
Sustitución Parcial	30	69	15 + EXPO(54.3)	31	254	15 + WEIB(213, 0.789)	12	382	150 + GAMM(505, 0.46)	N/A	N/A	N/A
Conformación de Lámina	30	142	40 + 320 * BETA(0.477, 1.01)	31	285	30 + GAMM(291, 0.878)	12	473	UNIF(90, 900)	4	90	25 + 215 * BETA(1.11, 2.57)
Armado	30	112	20 + EXPO(91.7)	31	172	15 + 355 * BETA(0.862, 1.09)	12	307	UNIF(180, 420)	5	70	15 + EXPO(59.3)
Pulida	31	43	14.5 + 78 * BETA(0.965, 1.62)	33	49	14.5 + WEIB(35.8, 1.99)	19	86	27 + EXPO(59.8)	40	31	7.5 + WEIB(26.4, 1.6)
Limpieza	30	55	15 + WEIB(37, 0.83)	33	65	7 + 123 * BETA(1.02, 1.12)	17	94	UNIF(20, 180)	40	74	7 + WEIB(75.3, 1.08)

Tabla 8. Resumen de datos por proceso

Los datos presentados en esta tabla, reflejan el proceso del taller agrupados por tipo de ciclo. Debido a la variabilidad de cada uno de los procesos y la variación de actividades que se realiza en éstos, cada uno posee una distribución diferente. Su elección depende directamente del error cuadrado con el que se ajusta, es decir que tenga un valor <0.05 . Los gráficos de las distribuciones obtenidas del Input Analyzer® se pueden encontrar en los Anexos E1, E2, E3, E4 para leve, medio, fuerte y Renault Minuto respectivamente y son similares a la Figura 19.

4.6.1 Truncado de distribuciones

Debido a que los datos utilizados en el estudio son tiempos de operación, es importante asegurarse que ninguno tenga valores negativos en sus distribuciones. Es por esto que se debe realizar este procedimiento en las que el rango de datos puede contar con valores menores a cero. En este proyecto se obtuvieron las siguientes distribuciones las cuales se pueden comprobar que en la mayoría no se requiere el truncamiento, a excepción de la distribución normal.

- Beta

$$f(x) = \begin{cases} \frac{x^{\beta-1}(1-x)^{\alpha-1}}{B(\beta,\alpha)} & \text{for } 0 < x < 1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

where β is the complete beta function given by

$$B(\beta, \alpha) = \int_0^1 t^{\beta-1}(1-t)^{\alpha-1} dt$$

Ecuación 15. Distribución Beta (Banks, 2005)

Mediante esta función, se puede observar que los valores serán positivos y no se requiere un truncamiento.

- Erlang

$$f(x) = \begin{cases} \frac{\beta^{-k} x^{k-1} e^{-x/\beta}}{(k-1)!} & \text{for } x > 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Ecuación 16. Distribución Erlang(Banks, 2005)

Mediante esta función, se puede observar que los valores serán positivos y no se requiere un truncamiento.

- Exponencial

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{\beta} e^{-x/\beta} & \text{for } x > 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Ecuación 17. Distribución Exponencial(Banks, 2005)

Mediante esta función, se puede observar que los valores serán positivos y no se requiere un truncamiento.

- Gamma

$$f(x) = \begin{cases} \frac{\beta^{-\alpha} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta}}{\Gamma(\alpha)} & \text{for } x > 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

where Γ is the complete gamma function given by

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} t^{\alpha-1} e^{-t} dt$$

Ecuación 18. Distribución Gamma(Banks, 2005)

Mediante esta función, se puede observar que los valores serán positivos y no se requiere un truncamiento.

- Lognormal

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{\sigma x \sqrt{2\pi}} e^{-(\ln(x)-\mu)^2 / (2\sigma^2)} & \text{for } x > 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Ecuación 19. Distribución Lognormal(Banks, 2005)

Mediante esta función, se puede observar que los valores serán positivos y no se requiere un truncamiento.

- Normal

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(x-\mu)^2/(2\sigma^2)} \text{ for all real } x$$

Ecuación 20. Distribución Normal(Banks, 2005)

En este caso, la distribución normal si cuenta con valores negativos dentro de su rango, pero para solucionar este inconveniente al tratarse de tiempos, se debería realizar un truncamiento. En este proyecto los datos serán ingresados al software de simulación ARENA®, el cual automáticamente toma esta consideración. En el Apéndice E12 se observa esta descripción tomada del Arena Basic Edition User`s Guide, en la cual recomienda esta distribución para tiempos de procesamiento.

- Triangular

$$f(x) = \begin{cases} \frac{2(x-a)}{(m-a)(b-a)} & \text{for } a \leq x \leq m \\ \frac{2(b-x)}{(b-m)(b-a)} & \text{for } m \leq x \leq b \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Ecuación 21. Distribución Triangular(Banks, 2005)

En esta función cuando el valor del parámetro a es mayor o igual a cero, no requiere un truncamiento, ya que no existirían valores negativos. En este caso, todos los valores de a son mayores a cero.

- Weibull

$$f(x) = \begin{cases} a\beta^{-a}x^{a-1}e^{-(x/\beta)^a} & \text{for } x > 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Ecuación 22. Distribución Weibull(Banks, 2005)

Mediante esta función, se puede observar que los valores serán positivos y no se requiere un truncamiento.

4.6.2 Pruebas de independencia

Esta prueba refleja la relación que pueden tener los datos entre sí de una muestra. Los resultados se muestran en el ApéndiceE7, los cuales consisten de gráficas de dispersión realizadas en MNITAB® entre los datos obtenidos de cada proceso y el número respectivo en cada caso. De los mismos se observa que no existe ninguna relación entre sí, afirmando el supuesto de que hay tendencias o correlación positiva, negativa o una mezcla de las dos. A continuación se presenta un ejemplo:

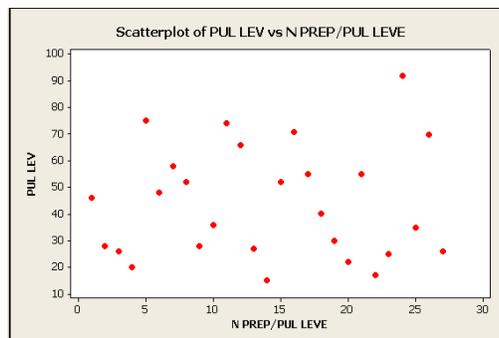


Figura 20 Ejemplo gráficas de independencia

Sin embargo, se debe recalcar que debido a la variabilidad inherente del sistema y de la variación en el daño entre cada vehículo, no se requiere realizar esta prueba, ya que cada auto

requiere de una atención diferente y posee características únicas en cuanto a la zona del siniestro, el número de piezas afectadas, los repuestos, etc.

4.6.3 Prueba de aleatoriedad de datos

Para finalizar esta fase, se realiza una prueba de corrida para todos los datos obtenidos en las mediciones, la cual confirma la aleatoriedad de la muestra. Se realiza los cálculos en MINITAB®, donde se obtiene el valor p. Este debe ser mayor a valor de significancia de 0.05 para que la hipótesis nula no sea rechazada y se puede concluir que los datos son aleatorios. El resultado esta resumido en la siguiente tabla y el detalle completo se encuentra en el Apéndice E8.

	Ciclo Largo			Renault Minuto
	Leve	Medio	Fuerte	
	Valor P	Valor P	Valor P	
Preparación	0.085	0.73	0.88	N/A
Preparación Plenum	0.18	N/A	N/A	0.18
Empapelado	0.80	0.19	0.40	N/A
Pintura	0.90	0.83	0.75	N/A
Pintura Plenum	0.06	N/A	N/A	0.78
Mecánica	0.14	0.82	0.53	N/A
Desarme	0.59	0.97	0.17	0.13
Medición y Estitraje	0.59	0.89	0.46	N/A
SustituciónParcial	0.65	0.85	0.46	N/A
Conformación de Lámina	0.55	0.63	1.0	0.37
Armado	0.50	0.86	0.46	0.38
Pulida	0.85	0.52	0.79	0.098
Limpieza	0.65	1.0	0.81	0.83

Tabla 9. Valor p de prueba de corridas

De los resultados presentado en la parte superior, se puede concluir que todos los datos de cada proceso, son aleatorios ya que su valor p es mayor a 0.05.

4.6.4 Validación de datos

Es necesario la validación de los datos recolectados en las áreas de mecánica y latonería, para constatar la eficacia del registro de los técnicos y comprobar de esta manera si la información es relevante para el estudio. Para esto, se comparó las hojas del Apéndice D1 con las grabaciones del mes de febrero y se pudo constatar que en la mayoría de órdenes, los datos coinciden con los formatos físicos.

Para esto, se utilizó el sistema de muestreo de aceptación por atributos MIL STD 105D, el cual se basa en el nivel de calidad aceptable (Guitierrez & De la Vara, 2004). Para este caso en particular en las siguientes consideraciones.

- Inspección reducida: “Cuando el proveedor o al que se le hace la medición ha presentado un buen comportamiento en cuanto a la calidad (Guitierrez & De la Vara, 2004). Esto se debe al compromiso que tuvieron los técnicos y la constante supervisión del equipo del proyecto y los miembros de la empresa.
- Niveles generales de Inspección: Se eligió el nivel II, “el cual es el más usual y permite modificar la cantidad de inspección sin afectar el riesgo del productor, pero cambiando el riesgo del consumidor” (Guitierrez & De la Vara, 2004).
Con este nivel se asume que pocos pueden ser rechazados, en este caso se toma una diferencia del 10% (20 min) entre el registro y los videos.
- Tamaño del lote: Entre 91 y 150, ya que la muestra de hojas de tiempos es de 100.

Con estos parámetros, el resultado para el muestreo es el siguiente:

Tamaño del Lote	Inspección	Nivel de inspección	Letra	Tamaño de la muestra	Nivel calidad aceptable(%)	Criterio de Aceptación/Rechazo
91-150	Reducida	II	F	8	1.0	0/1

Figura 21. Parámetros de muestreo por aceptación (Guitierrez & De la Vara, 2004)

Una vez obtenido el número de muestra, se eligen 8 autos aleatoriamente de cada bahía de los registrados en los videos con los que se cuenta con información para su identificación y se procede a medir el tiempo de operación de cada uno para validar con los datos proporcionados por los técnicos. De estos autos se presenta la siguiente tabla.

#	Orden	Bonete	Vehículo	Bahía	Cumplimiento
1	9266	19	Scania Azul	3	Si cumple
2	9356	250	Sandero Rojo	4	Si cumple
3	8526	229	Tiida Negro	5	Si cumple
4	9431	73	Sandero Blanco	9	Si cumple
5	9065	148	Sandero Azul	8	Si cumple
6	9441	118	Sentra Negro	7	Si cumple
7	9388	12	Taxi	22	Si cumple
8	9438	79	Sanderi Gris	22	Si cumple

Figura 22. Resultados de validación de datos

Se aprecia que todos los datos cumplen con el supuesto de la prueba de inspección y se confirma la validez de los datos para el análisis del taller.

4.7 Tiempo de Ciclo y Capacidad.

A partir de la tabla 8 (Pág, 84) se puede calcular los tiempos de ciclo aproximados de cada uno de los procesos. Para este fin, se debe hacer algunas asunciones:

- Se realiza un promedio ponderado entre el valor de las medias de cada proceso y la proporción del nivel de daño de la población total entre Mayo 2011 y Enero 2012 (Ver figura 11, Pág 63).
- Se divide el promedio ponderado para el número de técnicos que tiene cada proceso y se obtiene el tiempo de ciclo (TC).

- A partir de los valores del TC, se puede determinar el cuello de botella del sistema.

	Tiempos de ciclo				
	Ciclo Largo			Renault Minuto	
	Promedio Ponderado (Min)	# Técnicos	Tiempo de Ciclo (Min)	# Técnicos	Tiempo De Ciclo (Min)
Preparación	160.8	3+0.35	53	1	75
Empapelado	103.4	2	52	1	-
Pintura	101.8	1+0.35	96	1	52
Mecánica	152.6	1	152.6	1	
Desarme	112.6	11	10	1	81
Medición y Estiraje	210.1	2	105	1	60
Sustitución Parcial	223.4	11	20	1	-
Conformación de Lámina	272.2	11	25	1	90
Armado	173.0	11	16	1	70
Pulida	39.9	1	40	1	39
Limpieza	68.0	3	19	1	23

Tabla 10. Tiempos de ciclo

De la tabla se puede observar que la actividad que tiene el mayor tiempo de procesamiento es la de mecánica, con un valor de 152 minutos, pero hay que recalcar que únicamente el 10% de los vehículos que ingresan al taller pasan por este proceso (Base de Datos Ayasa). Al igual que en el proceso de mecánica, el área de medición y estiraje tiene un tiempo de ciclo superior al de pintura, con un valor de 105 minutos. Esto quiere decir, que es el segundo cuello de botella del taller, pero se debe tomar en cuenta que no todos los vehículos pasan por este proceso.

Adicionalmente, en la fase Mejorar se realizarán propuestas para hacer más eficiente este proceso y reducir el tiempo de espera por la bancada y el mini-bench. Es por esto, que se asigna el 3^{er} proceso de mayor tiempo a la cabina de pintura de ciclo largo con 96 minutos, tomando en cuenta que se procesan todos los autos de ciclo largo, pero existe un 30% de las órdenes de ciclo largo leve, que se atienden en el Plenum. Eso quiere decir, que el 35% del tiempo del pintor del Plenum lo ocupa para atender estas órdenes.

Adicionalmente, se calculan las capacidades a partir de los datos de la tabla 8 (Pág, 84) con el objetivo de determinar el cuello de botella del sistema.

	Capacidades			
	Ciclo Largo		Renault Minuto	
	# Técnicos	Capacidad/hora	# Técnicos	Capacidad/hora
Preparación	3.35	1.14	1	0.8
Empapelado	2	1.16	1	
Pintura	1.35	0.62	1	1.2
Mecánica	1	0.41	1	
Desarme	11	5.86	1	0.7
Medición y Estiraje	2	0.57	1	NA
Sustitución Parcial	11	2.95	1	NA
Conformación de Lámina	11	2.42	1	0.7
Armado	11	3.82	1	0.9
Pulida	1	1.50	1	1.5
Limpieza	3	3.24	1	2.6

Tabla 11. Capacidades por proceso

Con estos resultados, se puede concluir que el cuello de botella de TallerAuto es la cabina de pintura de ciclo largo, la cuál tiene un tiempo de procesamiento de 96 minutos y una capacidad de 0.62 autos por hora.

4.8 Resultados de tiempos muertos

A partir de las hojas de medición de tiempos que se utilizó en los procesos de latonería y mecánica (Apéndice D1) se solicitó a los técnicos que llenaran el tiempo de pausa con su respectiva explicación, para determinar los principales motivos de las interrupciones del trabajo. De esta manera, se obtuvo una muestra de 100 órdenes durante el mes de Febrero del 2012 y los resultados se muestran en el siguiente gráfico.

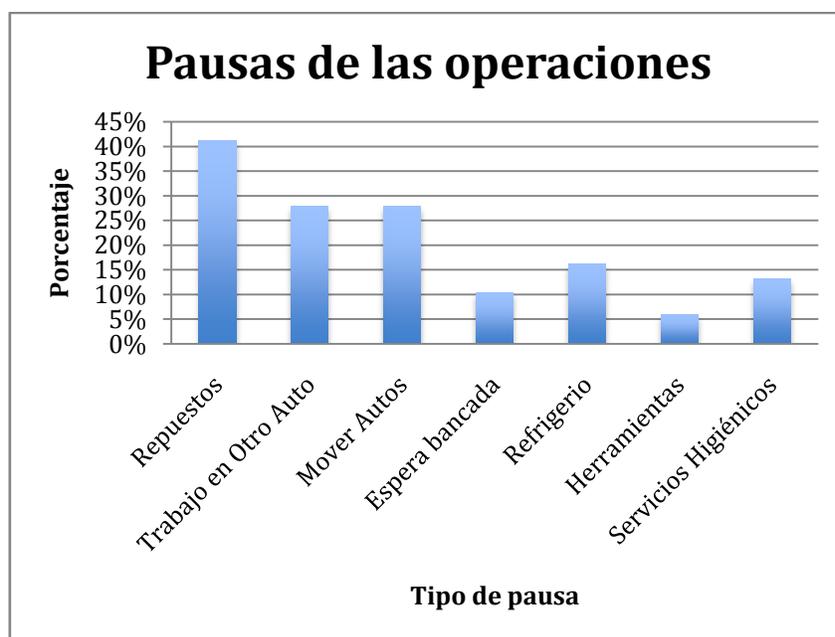


Figura 23. Pausas de las operaciones (%)

El porcentaje mostrado en el gráfico anterior, se refiere al número de autos en los que su trabajo se ve interrumpido. Por lo tanto, se toma el tiempo promedio de pausa registrado en las órdenes analizadas durante el período en nave y se obtiene la siguiente tabla.

Tipo de Pausa	Tiempo Promedio (Min)
Repuestos	233.2
Trabajo en Otro Auto	167.4
Mover Autos	13.2
Espera bancada	347.1
Refrigerio	10.5
Herramientas	57.5
Servicios Higiénicos	5.6

Tabla 12. Tiempos promedio de pausas

Adicionalmente, se puede encontrar en el Apéndice E5 los gráficos de las distribuciones de las pausas por repuestos y movimientos. El refrigerio y utilización de servicios higiénicos ya que tienen un tiempo predeterminado de 15 y 5 minutos respectivamente (Ayasa del Ecuador, 2007)

4.9 Medición del flujo

Como parte del estudio, es necesario realizar una medición del flujo interno del taller, mediante el cuál se puede observar la congestión de autos dentro de la nave cuando ésta se encuentra a su máxima capacidad. Para este propósito, se utilizaron grabaciones de cámaras de seguridad que se encuentran localizadas en diferentes puntos. Se seleccionó un día aleatorio en el cuál, el taller, se encuentre lleno de vehículos.

El día elegido, fue el Miércoles 8 de Febrero de 2012, durante la jornada de trabajo. En este período se observaron los movimientos de 8 autos al azar y se realizaron los diagramas de Spaghetti que se encuentran en el Apéndice G. El diagrama que contiene a todos los autos analizados se encuentra a continuación.

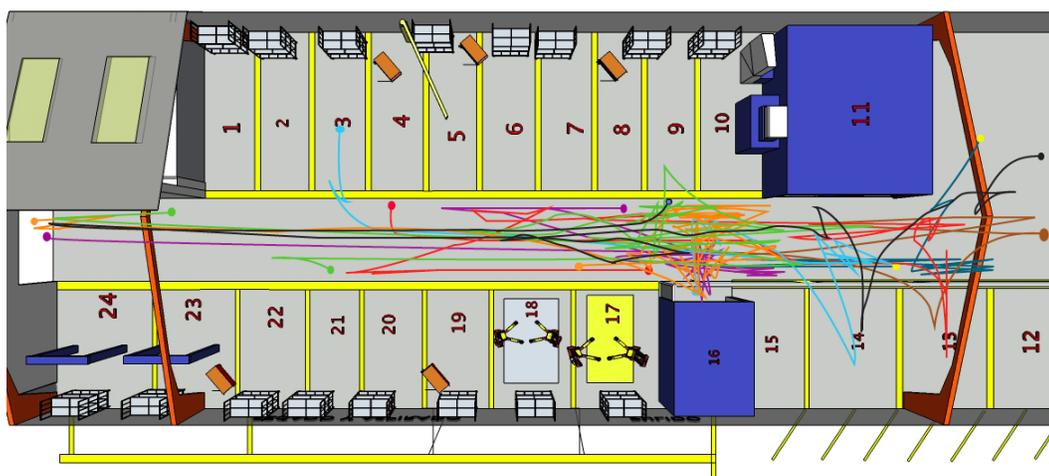


Figura 24. Diagrama de Spaghetti de flujo del taller

Como se puede observar, la congestión se desarrolla en su mayoría en el área de preparación y pintura. De igual forma, cabe recalcar que dos de estos autos, no se sometieron a ninguna actividad del proceso productivo, sino que únicamente se realizaron movimientos.

A su vez, se cuantificó los tiempos de traslado de estos vehículos y los resultados se pueden apreciar a continuación.

Vehículo	Apéndice	Tiempo (MIN)
Sentra Gris	G1	4.16
SanderoRojo	G2	6
Xtrail beige	G3	8.42
Logan rojo	G4	4.42
Tiida	G5	6.75
Xtrail	G6	5.16
Xtrailblanco	G7	9.33
Daihatsunblanco	G8	3.33

Tabla 13. Tiempo de movimientos de vehículos en nave

Se pudo constatar, que durante las horas pico (9:20, 10:55 y 14:30) la cantidad de vehículos dentro del taller fue de aproximadamente 44, de los cuales 14 se encontraban en la zona asignada a la entrada y salida y 6 en la parte exterior de preparación y pintura. Mientras que los restantes 24, estaban localizados en las bahías.

Para cuantificar los costos asignables a estos movimientos, se realizó la asunción de que los 20 autos que se encuentran fuera de las bahías, necesitan desplazarse para que fluyan entre estaciones, porque se encuentran en la zona de flujo o acceso del taller. Por tanto, los técnicos deben dejar de hacer su trabajo para dar paso a esta acción, la cual tiene una duración promedio de 5.9 minutos por auto. Tomando en cuenta que el valor de mano de obra por hora es de \$20, este tiempo representa \$1.98. Esto quiere decir que si se necesitan mover los 20 autos durante el día, el costo es de \$39.64. Proyectando esta cifra a un período anual, significa un mal uso del tiempo con un costo de **\$10,465.4**

De esta manera, se concluye la fase Medir en la cual se obtienen todos los datos del taller y en el capítulo siguiente se procederá a analizarlos para tomar decisiones referentes a la propuesta de mejora del proyecto.

CAPÍTULO 5: ANALIZAR

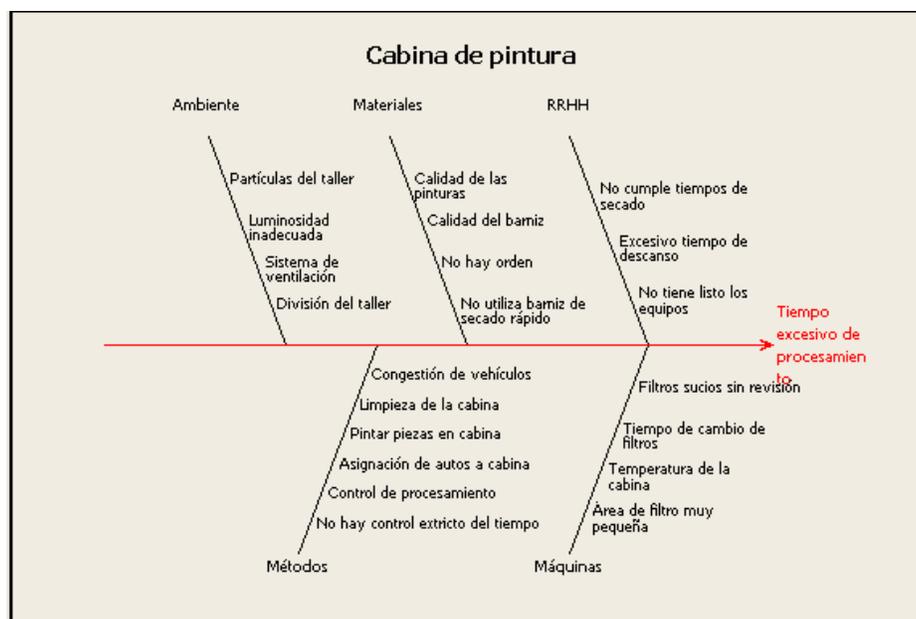
5.1 Análisis del cuellos de botella

En la sección anterior se procesaron los datos de las mediciones de cada una de las áreas del taller de Azucenas, mediante los cuales se pudo obtener algunos resultados para su posterior análisis. De este modo, se calcularon los tiempos de ciclo y las capacidades (Ver Tabla 11, Pág, 90) de cada proceso para determinar el cuello de botella que marca el *throughput* del sistema (tasa de vehículos que se pueden procesar por hora). Por lo tanto, el resultado es el proceso de pintura de ciclo largo, el cual cuenta con una cabina y un técnico encargado. Los datos son los siguientes:

Proceso Cuello de Botella: Pintura		
# Técnicos	Tiempo de Ciclo	Capacidad
1	96 min	0.6 autos/hora

Tabla 14. Cuello de botella

Una vez obtenida la información de este proceso, es importante realizar un análisis para determinar las causas que llevan a que pintura, tenga un alto tiempo total de procesamiento y tenga un número de vehículos en espera de ser atendidos. Para este propósito se realizó un diagrama de Causa y Efecto en conjunto con las partes involucradas, el técnico, Master Kaizen, Jefe del taller y equipo del proyecto.



25. Diagrama Causa y Efecto cuello de botella

De la figura 23 (Pág.91), se eligen las causas más probables y sensibles que pueden ser manipuladas. Estas son las siguientes:

1. Tiempo de secado y control de su cumplimiento: el técnico no siempre cumple con los 40 minutos definidos para este propósito y no existe un sistema de control.
2. No se utiliza barniz de secado rápido: El tiempo de secado se reduce a 15 minutos, pero implica un costo adicional aproximado de \$1.50 por pieza.
3. Congestión de vehículos frente a cabina: al finalizar la pintura, se debe mover los autos para que ingresen al siguiente al proceso.

Adicionalmente, se realizó un estudio del número de autos que se dejan listos al finalizar la jornada laboral para pintar al siguiente día, esto quiere decir que se debe procesar dichos autos primero antes de continuar con las órdenes que son entregadas de preparación o por el contrario están en la zona de espera obstaculizando el flujo y retrasando los tiempos planificados en la cabina para ese día en particular. Para este fin, se utilizaron las grabaciones

del área de pintura de todos los días laborables desde el 8 hasta el 28 de febrero para contabilizar los vehículos que se dejan listos al finalizar la jornada y se obtuvieron los siguientes resultados.

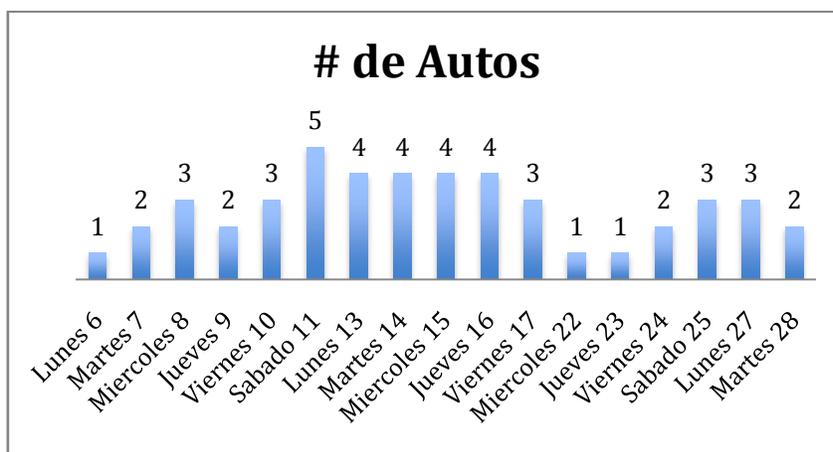


Figura 26. # Autos en espera de pintura de jornada anterior

A partir de estos datos, se obtiene un promedio de 3 autos listos al inicio del día que tienen prioridad para ser pintados, dejando las órdenes de ese día en espera y prolongando el tiempo de entrega estipulado. De los datos de las mediciones, se puede inferir que el tiempo aproximado de procesamiento de estos autos es de 300 minutos o 5 horas, lo que hace resulta en un incremento de vehículos en cola y espacio ocupado innecesariamente. Cabe recalcar, que este estudio se realizó en un mes con demanda promedio.

5.2 Análisis del flujo y congestión interna

En el capítulo anterior se diagramó el flujo de vehículos a lo largo de la jornada laboral. A partir de estas mediciones, se obtuvo el impacto económico que representan estos movimientos para el taller. Por un lado, el costo de mano de obra desperdiciado en trabajos que no agregan valor y el monto que paga el cliente por horas de mano de obra en las que no se atiende su auto. El monto diario promedio es de \$39.64, lo que lleva a una pérdida anual cercana a los \$10,500 en tiempo de trabajo de los técnicos asignados a este fin. Con motivos

de obtener la causa raíz de este problema, se procede a utilizar el método de los “Cinco Por qué”, que permite encontrar el punto crítico del problema y ayuda a buscar soluciones válidas dentro de su contexto (Muro, 2010)

Pregunta?	Respuesta
¿Porqué existetanta congestión de vehículos en el taller?	Porque hay vehícolosestacionados en a zona de circulación
¿Porqué hay vehícolosestacionados en a zona de circulación?	Porque se le asignómás de un auto a cada técnico
¿Porqué se le asignómás de un auto a cada técnico?	Porque el técnico tuvoque suspender el trabajo en el vehícolocorrespondiente
¿Porqué el técnico tuvoque suspender el trabajo en el vehícolocorrespondiente?	Porque en el vehícoloque trabajaban necesitabarepuestos o un turno en el proceso de medición y estiraje.
¿Porqué en el vehícoloque trabajaban necesitabarepuestos o un turno en el proceso de medición y estiraje?.	Porque los asesores asignaron la orden sin contar con todos los repuestos y sin tomar en cuenta la disponibilidad de el proceso de estiraje.

Tabla 15. Análisis 5 Porqués problema de flujo

Como conclusión se puede apreciar que el problema del flujo y la congestión del taller, está directamente relacionado con la mala asignación de vehículos que ingresan.

5.3 Análisis de tiempos muertos

De los datos obtenidos en la fase Medir, se procesan dependiendo el tipo de pausa a la que pertenece y se los clasifica para realizar un análisis más profundo. Es por esto que se presenta a continuación un diagrama de Pareto, herramienta que permite obtener una distribución y asigna su valor porcentual dentro del total de la muestra.

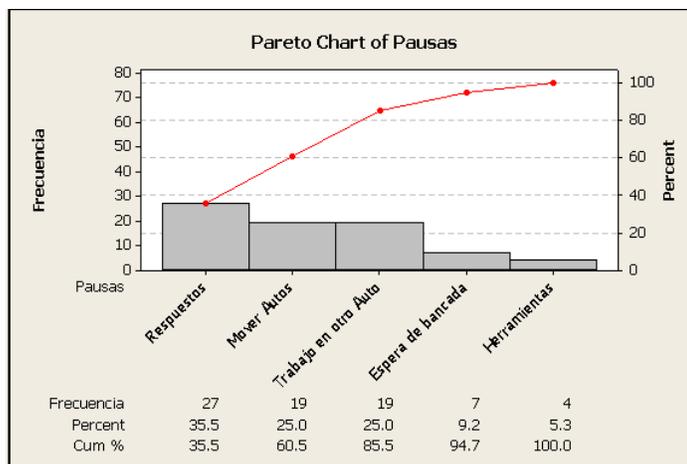


Figura 27. Diagrama de Pareto pausas Latonería

A partir del gráfico se observa que el 80% de las interrupciones se dan por falta de repuestos, movimiento de autos y atención a otro auto. Para explicar el fenómeno causado por estas pausas, se utiliza un gráfico explicativo en el que se muestra la relación que tienen los tres, provocando una especie de “efecto dominó” en la congestión y tiempos muertos del taller.

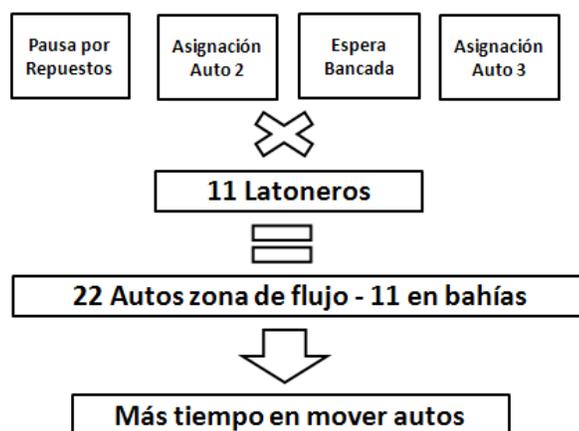


Figura 28. Efecto de relación entre pausas

Todos estos movimientos inciden en los tiempos muertos en los procesos, en los traslados de un área a otra y el tiempo de entrega. Como se vio anteriormente, se gasta un valor aproximado de \$10,500 USD anuales. Con respecto a la principal causa de

interrupciones, la falta de repuestos, genera la mayoría de las demás pausas y se debe en su mayoría por una mala gestión de abastecimiento y asignación.

5.4 Simulación del estado actual

La simulación responde a la representación del estado actual del taller, tomando en cuenta todos los componentes del sistema y la variables correspondientes para obtener una visión del comportamiento del sistema, compararlo con la realidad y hacer propuestas de mejora, mediante la ejecución de diferentes posibles escenarios al variar alguno de estos.

5.4.1 Objetivo de la simulación

Mediante esta herramienta, se pretende generar un modelo en que se represente las operaciones del taller de Azucenas, donde estarían tomados en cuenta todos los procesos y sus operarios. Adicionalmente, se utilizarán los datos recolectados durante el mes de febrero, los cuales fueron recolectados con un riguroso control.

El modelo de simulación, permite experimentar cambios de controles, diseño y forma antes de proceder a una implementación o cambio en el proceso (Banks, 2005). En el caso de TallerAuto, se pretende utilizar algunos de los datos y las asunciones para apreciar los distintos escenarios en cuanto a número de autos procesados, tiempos de ciclo y las capacidades de cada proceso.

Otro de los conceptos utilizados, es el de la variación de las entradas y salidas del sistema, con su influencia el comportamiento general de las entidades y los resultados obtenidos (Banks, 2005). Es por esto, que en la nave se podrá alterar las llegadas de los vehículos y las políticas de asignación a cada bahía para verificar su impacto en las operaciones.

5.4.2 Descripción del sistema a simular

TallerAuto, trabaja en base a las asignaciones de los vehículos a los técnicos, previamente realizada la recepción del vehículo, la valoración de los daños, la proforma y la aprobación del seguro o el cliente particular. Una vez concluido esta paso, se procede a buscar la disponibilidad de repuestos, su obtención o pedido a importación si fuera el caso.

Actualmente, el taller cuenta con algunos problemas de asignaciones, incumplimiento de tiempos de entrega y congestión interna, sin mencionar las interrupciones y pausas mencionadas. Esto lleva a entender el sistema y confirmar los resultados de la fase de medición para posteriormente, buscar posibles mejoras que hagan más eficientes las operaciones internas.

La jornada laboral del taller es de 8 horas durante la semana y; media jornada los días sábados. El personal operativo está dividido según el proceso al que pertenece y está clasificado de la siguiente manera:

Mecánica: 1 técnico (2 Bahías)

Latonería: 12 técnicos (11 Bahías y 1 Bahía Renault Minuto)

Preparación: 5 técnicos

Pintura: 2 pintores (Cabina y Plenum)

Pulido y limpieza: 4 operarios

5.4.3 Descripción del modelo conceptual

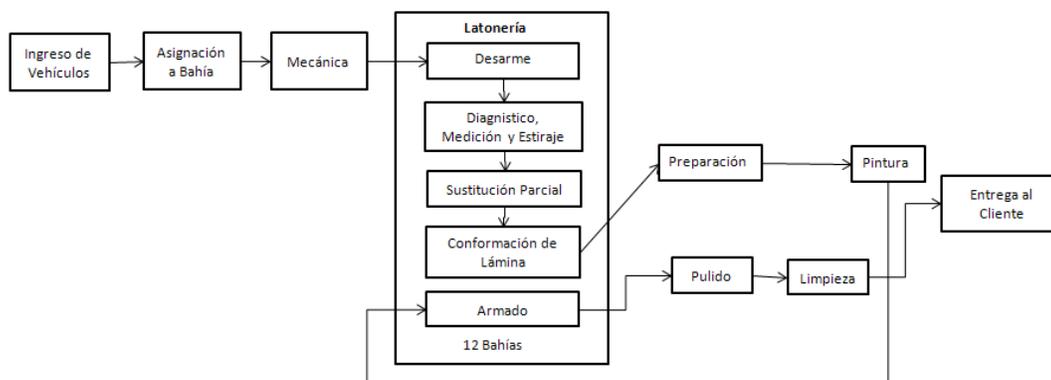


Figura 29. Modelo conceptual

En la parte superior, se define el modelo del grupo de procesos a simular. Para esto, se define el tiempo entre arribos del sistema que sigue una distribución en base a los datos históricos del mes de diciembre del 2011, el cual es el período de más alta demanda. A continuación, se entrega el auto al técnico correspondiente según su disponibilidad y la carga de trabajo que éste tenga, para ser atendido por los procesos siguientes. Se debe recalcar, que no todas las órdenes pasan por todas las fases de reparación. Es por esto que se calculó los porcentajes de órdenes de la muestra que pasan por cada uno de los procesos de latonería y mecánica.

% de Órdenes con requerimiento de sub-procesos de latonería y mecánica			
Ciclo:	Largo	Ciclo:	Largo
Nivel de daño:	Leve	Nivel de daño:	Medio
Proceso	%	Proceso	%
Mecánica	18%	Mecánica	27%
Desarme	100%	Desarme	100%
Disagnóstico y Estiraje	34%	Disagnóstico y Estiraje	58%
Sustitución Parcial	16%	Sustitución Parcial	33%
Conformación de la Lámina	59%	Conformación de la Lámina	72%
Armado	100%	Armado	100%
Ciclo:	Largo	Ciclo:	Corto/RM
Nivel de daño:	Fuerte	Nivel de daño:	RM
Proceso	%	Proceso	%
Mecánica	45%	Mecánica	16%
Desarme	90%	Desarme	50%
Disagnóstico y Estiraje	82%	Disagnóstico y Estiraje	11%
Sustitución Parcial	82%	Sustitución Parcial	-
Conformación de la Lámina	90%	Conformación de la Lámina	55%
Armado	90%	Armado	44%

Tabla 16. Porcentajes de autos por sub-proceso(Base de datos AYASA)

5.4.4 Identificación de eventos, actividades y variables del sistema

Entidades

Autos

Eventos

Arribo de un vehículo al sistema.	A
Arribo del vehículo a bahía de técnico.	AT
Arribo del vehículo a proceso de desarme.	AD
Salida de vehículo de proceso de desarme.	SD
Salida del vehículo de la bahía debido a que existe un auto por armar.	SAR
Salida del vehículo de bahía debido a que existe pausa por repuestos.	SRP
Arribo de vehículo a proceso de medición y estiraje.	AM
Salida del vehículo de la bahía debido a espera por bancada o mini-bench.	SPB
Arribo del vehículo a bahía de bancada o mini-bench.	AB
Salida del vehículo de bancada o mini-bench.	SB
Arribo del vehículo a proceso de sustitución parcial.	AS
Salida del vehículo de proceso de sustitución parcial.	SS
Arribo del vehículo a proceso de laminado.	AL
Salida del vehículo de proceso de laminado.	SL
Arribo del vehículo a proceso de preparación.	AP
Salida del vehículo de proceso de preparación.	SP
Arribo del vehículo a proceso de empapelado.	AE
Salida del vehículo de proceso de empapelado.	SE
Arribo del vehículo a proceso de pintura.	AP

Salida del vehículo de proceso de pintura.	SP
Arribo del vehículo a proceso de armado.	AA
Salida de vehículo de proceso de armado.	SA
Arribo del vehículo a proceso de pulida.	APU
Salida del vehículo de proceso de pulida.	SPU
Arribo del vehículo a proceso de lavado.	ALA
Salida del vehículo de proceso de lavado.	ALA

Noticias de eventos del sistema

Tiempo de arribo del vehículo al sistema	(A,t)
Arribo del vehículo a bahía de técnico.	(AT,t)
Arribo del vehículo a proceso de desarme.	(AD,t)
Salida de vehículo de proceso de desarme.	(SD,t)
Salida del vehículo de la bahía debido a que existe un auto por armar.	(SAR,t)
Salida del vehículo de bahía debido a que existe pausa por repuestos.	(SRP,t)
Arribo de vehículo a proceso de medición y estiraje.	(AM,t)
Salida del vehículo de la bahía debido a espera por bancada o mini-bench.(SPB,t)	
Arribo del vehículo a bahía de bancada o mini-bench.	(AB,t)
Salida del vehículo de bancada o mini-bench.	(SB,t)
Arribo del vehículo a proceso de sustitución parcial.	(AS,t)
Salida del vehículo de proceso de sustitución parcial.	(SS,t)
Arribo del vehículo a proceso de laminado.	(AL,t)
Salida del vehículo de proceso de laminado.	(SL,t)
Arribo del vehículo a proceso de preparación.	(AP,t)

Salida del vehículo de proceso de preparación.	(SP,t)
Arribo del vehículo a proceso de empapelado.	(AE,t)
Salida del vehículo de proceso de empapelado.	(SE,t)
Arribo del vehículo a proceso de pintura.	(AP,t)
Salida del vehículo de proceso de pintura.	(SP,t)
Arribo del vehículo a proceso de armado.	(AA,t)
Salida de vehículo de proceso de armado.	(SA,t)
Arribo del vehículo a proceso de pulida.	(APU,t)
Salida del vehículo de proceso de pulida.	(SPU,t)
Arribo del vehículo a proceso de lavado.	(ALA,t)
Salida del vehículo de proceso de lavado.	(ALA,t)

Variables de estado

Técnico 3 libre u ocupado	TEC3= 0 o 1
Técnico 4 libre u ocupado	TEC4= 0 o 1
Técnico 5 libre u ocupado	TEC5= 0 o 1
Técnico 6 libre u ocupado	TEC6= 0 o 1
Técnico 7 libre u ocupado	TEC7= 0 o 1
Técnico 8 libre u ocupado	TEC8= 0 o 1
Técnico 9 libre u ocupado	TEC9= 0 o 1
Técnico 19 libre u ocupado	TEC19= 0 o 1
Técnico 20 libre u ocupado	TEC20= 0 o 1
Técnico 21 libre u ocupado	TEC21= 0 o 1
Técnico 22 libre u ocupado	TEC22= 0 o 1

Mecánico libre u ocupado	TECM= 0 o 1
Técnico RM libre u ocupado	TECRM= 0 o 1
Pintor libre u ocupado	PIN= 0 o 1
Pulidor libre u ocupado	PUL= 0 o 1
Preparadores libre u ocupado	Prep<3 o =3
Empapelador libre u ocupado	EMP<2 o =2
Lavador libre u ocupado	LAV<3 o =3
Bancada y Mini-bench libre u ocupada	Mini-bench<2 o =2
Número autos en cola para preparación	PrepQ>0
Número autos en cola para empapelado	EmpQ>0
Número autos en cola para pintura cabina	PINQ>0
Número autos en cola para pulida	PulQ>0
Número autos en cola para lavado	LavQ>0
Número autos en cola para Mini-bench	Mini-benchQ>0
Número autos en cola para Bahía (i)*	Bahia(i)Q>0
Número autos en cola para Renault minuto	RMQ>0
Número autos en cola para mecánica	PrepQ>0

*i=3,4,5,6,7,8,9,19,20,21,22

5.5 Simulación en Arena®

5.5.1 Datos de entrada del modelo

En la fase Medir, se recolectaron los datos de los tiempos de procesamiento, tiempo entre arribos y pausas que serán utilizados como “input” en el desarrollo del modelo de

simulación. Los cuales fueron procesados en MINITAB®, Input Analyzer®, MS Excel® y ARENA® para su posterior análisis.

5.5.2 Comprobación de supuestos

Es importante que se realicen pruebas de aleatoriedad e independencia de los datos para asegurar su uso dentro del modelo.

Independencia de los datos

Se realizó una gráfica de dispersión en MINITAB® y se observa que los datos tienen independencia entre sí. Además no existe ninguna tendencia o correlación. Para mayor información ver Apéndice E7.

Aleatoriedad de datos

Para asegurar el supuesto de aleatoriedad se realiza pruebas de corridas en MINITAB®. Con los resultados obtenidos, se observa el valor P de cada uno de los procesos y se verifica que todos están sobre el valor de significancia que en este caso es de 0.05, como se muestra en la Tabla 9 (Pág, 86) del Capítulo Medir. De este modo, no se rechaza la hipótesis nula y se concluye que los datos son aleatorios.

5.5.3 Estimación de parámetros

Una vez comprobados los supuestos de aleatoriedad e independencia, se procede a la estimación de parámetros mediante el Input Analyzer®, donde se realiza un histograma con los datos para identificar la distribución de probabilidad a la que pertenecen y analizar a cuál se ajusta mejor dentro de las opciones que presenta este programa. Para mayor detalle referirse a los Apéndices E1, E2, E3 y E4. A continuación se puede apreciar un ejemplo:

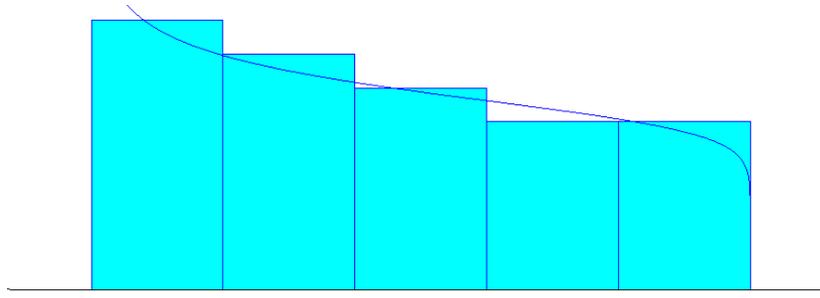


Figura 30 Histograma distribución tiempo de armado ciclo largo medio

Con lo referente al ajuste de las distribuciones, el Input Analyzer® utiliza las pruebas de bondad y ajuste de Kolmogorov-Smirnov y Chi cuadrado. Para este estudio se utilizará la prueba K-S ya que se cuenta con un número reducido de datos y los parámetros han sido obtenidos a partir de los mismos datos, además esta prueba es más confiable que la Chi cuadrado (Banks, 2005). Ambas pruebas poseen las mismas hipótesis y son las siguientes:

Ho: Los datos siguen la distribución deseada

H1: Los datos no siguen la distribución deseada

Adicionalmente, se utiliza el error cuadrado obtenido por el programa, el cual representa la suma de los cuadrados de las distancias entre las frecuencias del histograma y la distribución ajustada (Merrik, 1998). En el 95% de los casos, el error cuadrado es menor al nivel de aceptación definido como 0.05.

Para describir el funcionamiento del modelo, se lo ha dividido en 7 áreas, las cuales se presentan a continuación. De esta forma, se podrá apreciar y entender de mejor manera el flujo de trabajo y las asunciones tomadas.

5.5.4 Asignación

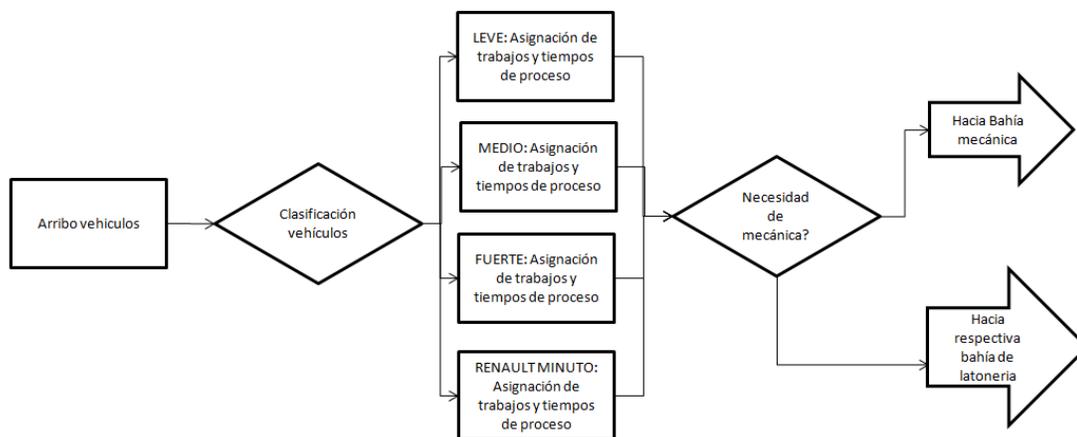


Figura 31. Modelo de Asignación Arena®

Como se puede apreciar en la figura anterior, en esta parte del sistema se realiza:

- Arribo de vehículos: se define un tiempo entre arribos para todos los autos que ingresan al sistema.
- Clasificación de vehículos: Debido a que el análisis del sistema se lo realiza para el mes de mayor demanda (Diciembre), se asigna la proporción de cada tipo de ciclo, de acuerdo a la presentada en dicho mes. En este caso, el 35% de los vehículos ingresados fue para Renault Minuto, el 63% para Ciclo largo y el 2% para pérdida total. De igual forma, dentro de ciclo largo, el 49% fue para medio, el 41% para leve y el 10 % para fuerte.
- Asignación de trabajos y tiempos de proceso: Se asigna al latonero, los trabajos que se van a realizar y los tiempos de proceso en cada uno de los trabajos. La asignación de trabajos dentro de latonería se la realiza por medio de distribuciones discretas utilizando los porcentajes presentados en la Tabla 16.
- Necesidad de trabajo mecánico: De acuerdo a la información histórica obtenida de la base de datos de la empresa y presentada en capítulos anteriores, tan solo

el 10% de los vehículos que ingresan al taller necesitan que se realice trabajo mecánico.

En el Apéndice F1, se puede observar una captura de pantalla de ARENA® en la cual se encuentran todos los módulos asociados a este subproceso.

5.5.5 Bahía mecánica

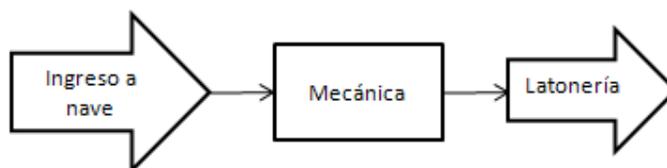


Figura 32. Modelo de Mecánica Arena®

En el gráfico anterior se encuentra una descripción del flujo dentro de ésta área. Como se puede apreciar, sólo se realiza la actividad de trabajo mecánico. Después, los vehículos regresan a la zona de asignación para dirigirse a la bahía asignada.

En el Apéndice F2, se puede observar una captura de pantalla de ARENA® en la cual se encuentran todos los módulos asociados a este subproceso.

5.5.6 Bahías latonería

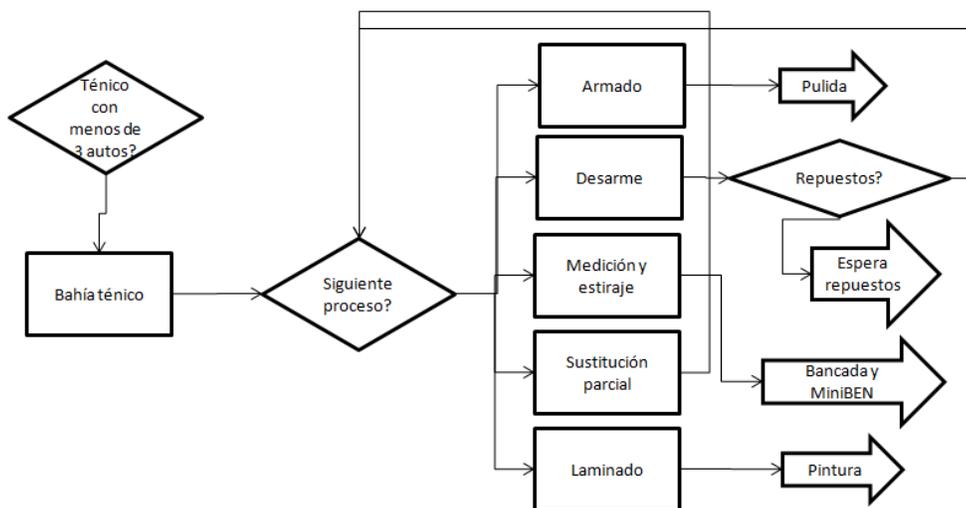


Figura 33. Modelo de Latonería Arena®

En el gráfico anterior se encuentra una descripción del flujo dentro de ésta área.

- Asignación de autos al técnico: Se permite el ingreso de los vehículos la bahía, sólo si el técnico se encuentra con menos de 3 autos por trabajar en la misma.
- Asignación del siguiente proceso: Una vez que los autos se encuentran dentro de la bahía se le asigna el trabajo siguiente a realizarse. Esto se debe a que, no todos los vehículos necesitan pasar por todos los sub procesos dentro de latonería. De igual forma, se ha definido una prioridad a las entidades que se dirigen al proceso de armado.
- Procesos de trabajo: Se realiza las actividades a ejecutarse y los tiempos de trabajo de las mismas, que fueron definidas para el auto correspondiente en el área de asignación. Una vez terminada, el técnico revisa si hay algún vehículo por armarse. Si lo existiera, pausa esta actividad y pasa a armar el correspondiente y enviarlo a la zona de pulida. Caso contrario, el técnico continúa con el proceso de reparación. Una vez terminado el proceso de laminado, el latonero envía el automóvil a la zona de preparación para pintura.
- Pausa por repuestos: Al terminar fase de desarme, se asume que existe un 40% de probabilidad (Figura 23, pág 91) de que el vehículo necesite repuestos que no se encuentran en el taller. El técnico pausa la reparación de este auto por un tiempo asignado por la distribución presentada en el Apéndice E5, y prosigue a reparar el siguiente.
- Proceso de estiraje: Como se explicó anteriormente, para realizar éste proceso, el latonero requiere utilizar la bancada o mini-bench (de acuerdo al caso). Por

tanto, la entidad procede las bahías de estiraje. Existe una parte del modelo de simulación que se enfoca en este procedimiento, que se explicará más adelante.

En el Apéndice F3, se puede observar una captura de pantalla de ARENA® en la cual se encuentran todos los módulos asociados a este subproceso. Cabe resaltar que éstos módulos se repiten para las 11 bahías de latonería que tiene el taller.

5.5.7 Bahía Renault Minuto

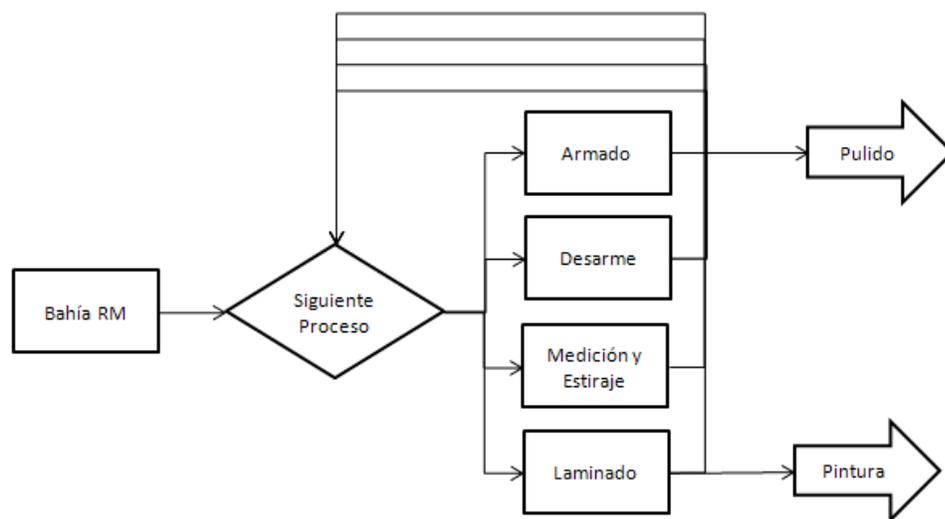


Figura 34. Modelo Renault Minuto Arena®

En el gráfico anterior se encuentra una descripción del flujo dentro de ésta área.

Esta bahía sigue el mismo procedimiento que las descritas anteriormente, con la diferencia de que no se presenta pausa por repuestos o necesidad de utilizar la bancada o mini-bench para el proceso de estiraje, ya que se dispone de una herramienta particular para este fin. Luego del procedimiento de laminado el vehículo se dirige al área de pintura para ciclo express. Finalmente, luego del proceso de armado (si lo requiriese), pasa a la bahía de pulida.

En el Apéndice F4, se puede observar una captura de pantalla de ARENA® en la cual se encuentran todos los módulos asociados a este subproceso.

5.5.8 Bahías de medición y estiraje

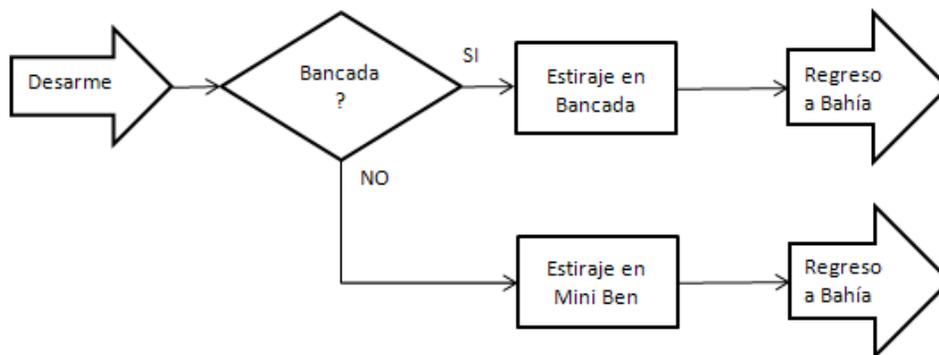


Figura 35. Proceso de Medición y Estiraje Arena®

En el gráfico anterior se encuentra una descripción del flujo dentro de ésta área. Éste comprende lo siguiente:

- Necesidad de Bancada o Mini-bench: Cómo primer paso, se define qué bahía necesita el vehículo. En este caso se asume que los de tipo fuerte y el 30% de los medios (Jaramillo, 2012) requieren la utilización de la bancada. El restante de medios junto con todos los de ciclo leve, utilizan el Mini-bench.
- Verificación de disponibilidad de la bahía: En cada uno de los casos se verifica si la bahía deseada se encuentra disponible. Si es así, el técnico ingresa con el vehículo a la bahía para repararlo. Caso contrario, el automóvil se pone en fila de espera mientras el técnico asignado trabaja en otros vehículos.
- Proceso de estiraje: Al liberarse la bahía de interés, el auto ingresa y espera a que su latonero establecido termine la actividad que estuviese realizando con otros vehículos. El tiempo del procedimiento de estirado es el que se encuentra asignado a la entidad desde la primera estación.

Al finalizarse este proceso, el vehículo regresa a su bahía correspondiente para continuar con su reparación. En el Apéndice F5, se puede observar una captura de pantalla de ARENA® en la cual se encuentran todos los módulos asociados a este subproceso.

5.5.9 Bahías preparación y pintura

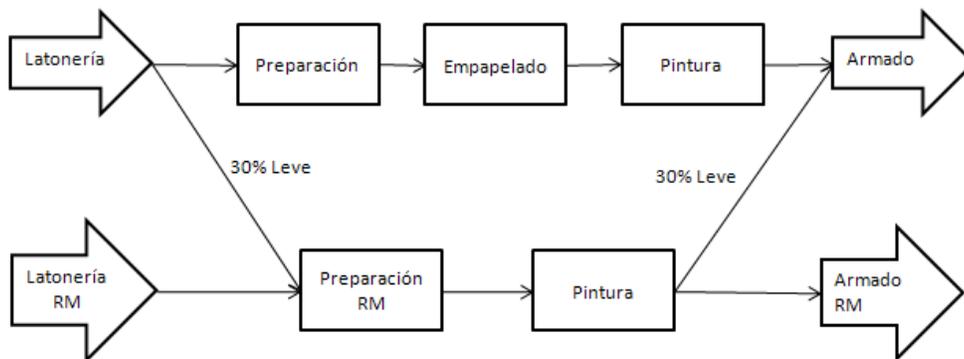


Figura 36. Modelo de Preparación y Pintura Arena®

En la Figura 36, se representa el comportamiento del área de preparación y pintura para ciclo largo y Renault Minuto. Para los vehículos de ciclo largo, los técnicos latoneros entregan al preparador una vez finalizado su trabajo de enderezada, en donde se alista el auto para la pintura. Se debe destacar, que los vehículos de ciclo largo leve son procesados en un 70% en la cabina y el 30% restante en el Plenum de Renault Minuto. Este porcentaje de vehículos solo se divide en esta etapa, para luego regresar a su bahía normal.

Como se observa, el ciclo corto, posee sus propias instalaciones para sus procesos, ya que su tiempo de operación es menor por el número de piezas que trabaja. En el Apéndice F6, se puede observar una captura de pantalla de ARENA® en la cual se encuentran todos los módulos asociados a este subproceso.

5.5.10 Pulida y limpieza

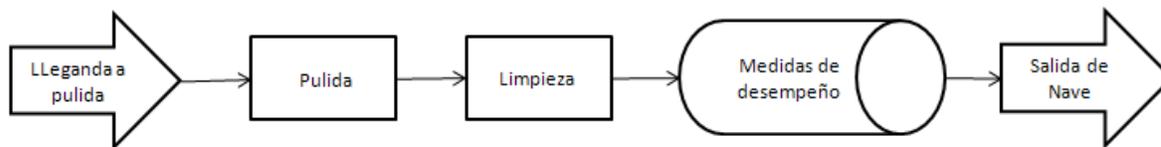


Figura 37. Modelo Pulida y Limpieza Arena®

En la imagen de arriba, se muestra el proceso final de pulida. Por esta etapa pasan todas las entidades del sistema para luego ser procesadas por el área de limpieza. Al finalizar estos módulos, se registran las medidas de desempeño referentes a la cantidad de autos procesadas por el taller. En el Apéndice F7, se puede observar una captura de pantalla de ARENA® en la cual se encuentran todos los módulos asociados a este subproceso.

5.5.11 Atributos asignados a la entidad en el software ARENA®

Los atributos descritos como “Asignación” se utilizan para definir si el vehículo necesita someterse a cada uno de esos procesos. Como se explicó anteriormente, no todos los vehículos pasan por todas las actividades que se realizan en latonería.

Los atributos descritos como “Tiempo de proceso” se utilizan para establecer el periodo que le va a tomar al técnico realizar dicha actividad. Dicho de otro modo, toda esta definición de atributos se asimilaría a la proforma que tiene cada uno de los vehículos. A continuación se presentan los atributos:

- Asignación de desarme.
- Asignación de medición y estiraje.
- Asignación de sustitución parcial.
- Asignación de laminado.
- Asignación de armado.
- Tiempo de proceso de desarme.

- Tiempo de proceso de medición y estiraje.
- Tiempo de proceso de sustitución parcial.
- Tiempo de proceso de laminado.
- Tiempo de proceso de armado.
- Tiempo de proceso de preparación.
- Tiempo de proceso de empapelado.
- Tiempo de proceso de pintura.
- Tiempo de proceso de pulida.
- Tiempo de proceso de lavado.

Por otro lado, se asignaron atributos como:

- Bahía: asignar equitativamente al técnico latonero que va a realizar el trabajo.
- Tiempo de arribo al sistema: tiempo en el cual el vehículo ingreso al sistema.
- Siguiete proceso: Este atributo se lo asigna con el valor de 10, para darle una prioridad baja dentro del sistema.

5.5.12 Verificación y validación del modelo

Para la simulación de este modelo, se requirió alrededor de 600 módulos o componentes, por lo que fue necesario su verificación. Este procedimiento consta de un seguimiento de cada unos de los pasos por el que las entidades se mueven y los parámetros, atributos y condiciones que tienen para su procesamiento. Debido a la complejidad del sistema de TallerAuto, es imprescindible su constante revisión, ya que cada proceso consta de diferentes alternativas o proporciones en las que se debe decidir la ruta correspondiente, el tiempo o los recursos requeridos.

El equipo del proyecto realizó un seguimiento de todos los posibles escenarios, para lo cual se analizaron todos los resultados estadísticos suministrando diferentes valores a los parámetros del sistema y comparándolos con los datos de la realidad proporcionados por la empresa. Adicionalmente, se monitoreó cada proceso individualmente tomando en cuenta todos sus atributos y asunciones, con el objetivo de resaltar alguna anomalía o discrepancia con el modelo conceptual.

Finalmente, se utilizó la herramienta “InteractiveRunController (IRC)”, componente de ARENA® que permite identificar errores, lazos infinitos o estancamientos de las entidades. El resultado fue positivo, permitiendo avanzar con el análisis de los resultados y su interpretación técnica.

Con lo referente a la validación del modelo, se mantuvo una reunión con el Master Kaizen de la Empresa, a quien se le presentó el modelo para comprobar que se ajuste a las operaciones del taller y recibir sugerencias o asunciones que no se estaban considerando en su desarrollo (Jaramillo, 2012). En esta reunión, se presentó todo el modelo de simulación, explicándolo fase por fase. Adicionalmente, se presentaron los datos obtenidos en los reportes y las medidas de desempeño del sistema y se los aprobó por la cercanía con la realidad del mes de más alta demanda del taller. El punto más destacado fue observar el half-width (intervalo del 95% de confianza) de cada tipo de ciclo, ya que no puede ser muy alto debido a la realidad de producción del taller, es decir que del resultado promedio que entrega ARENA®, no puede procesarse muchos más autos en ese período. Con este procedimiento, se puede proceder a la ejecución del modelo y el manejo de los resultados para la toma de decisiones en la situación propuesta del taller.

5.5.13 Ejecución del modelo

Para realizar la ejecución del modelo, se asignaron las siguientes configuraciones:

Número de réplicas: Se definieron 60 réplicas para reducir a un margen de error de ± 1 para el número de vehículos de ciclo largo medio que se procesan durante el mes. En el Apéndice F8 se puede apreciar los cálculos realizados para la obtención de este número.

Periodo de calentamiento: Debido a que al inicio del mes de diciembre el taller no empieza sus actividades totalmente vacío, se necesita definir un periodo de calentamiento que simule el estado actual del taller al inicio de este mes. Por tanto, utilizando procedimientos de prueba y error, se definió este tiempo como 5 días.

Duración de cada réplica: El objetivo es simular el mes de diciembre. Por tanto se contabilizó el número de días que trabajó la empresa en horario completo, añadiendo los días que se trabajó media jornada que son todos los sábados y el lunes 5 de diciembre. Por tanto se puede asumir que éstas 6 medias jornadas equivalen a 3 días laborables. En consecuencia, se trabajó en total 23 días. A este valor hay que aumentar el tiempo de calentamiento presentado anteriormente. Finalmente la duración de cada réplica sería de 28 días.

Duración de cada día: Debido al incremento en la demanda en el mes de diciembre, los técnicos trabajaron en promedio una hora adicional fuera de la jornada normal de trabajo. Por esto, la duración del periodo de trabajo diario en la simulación es de 9 horas.

5.5.14 Análisis de resultados de simulación

Los resultados de la simulación para el modelo enfocado al mes de diciembre del 2011 fueron los siguientes (Apéndice F9):

Medida de desempeño	Promedio	Half Width
Número total de autos procesados	192,07	2,32
Fuerte	9,6667	0,73
Medio	58,5	1,54
Leve	50,0667	1,92
Renault Minuto	73,833	2,32

Tabla 17. Medidas de desempeño dic 2011 (ARENA®)

El promedio representa a la media muestral de los resultados de cada una de las réplicas. Mientras que el “HalfWidth” o “Mitad de ancho del intervalo”, representa al intervalo de confianza dado para esta media de acuerdo al número de réplicas realizadas, como se puede apreciar en la siguiente ecuación:

$$H = t_{\frac{\alpha}{2}, R-1} \frac{S}{\sqrt{R}}$$

Es decir, los intervalos de confianza para cada una de las medidas de desempeño serían:

Medida de desempeño	L. Inferior	< Promedio >	L. Superior
Número total de autos procesados	189,75	192,07	194,39
Fuerte	8,94	9,67	10,40
Medio	56,96	58,50	60,04
Leve	48,15	50,07	51,99
Renault Minuto	71,51	73,83	76,15

Tabla 18. Intervalo de confianza dic 2011(ARENA®)

Para comprobar la validez de los resultados, se compara el valor de la media del número total de autos procesos con el valor referencial obtenido de la base de datos y validado con Ismael Jaramillo (Master Kaizen encargado del taller de Azucenas), de 191 para el mes de diciembre del 2011. Se procede a realizar una prueba t ya que se desconoce el valor de la varianza poblacional, aunque debido a la gran cantidad de datos, la variación entre una prueba

t y una prueba z sería mínima (Montgomery, 2007). Los resultados se pueden apreciar en la gráfica a continuación:

```

Test of mu = 191 vs not = 191

      N      Mean  StDev  SE Mean      95% CI          T      P
60  192.07   8.98    1.16  (189.75, 194.39)  0.92  0.360

```

Figura 38. Resultados prueba t dic 2011 (MINITAB®)

Como se puede apreciar el valor P es mayor a 0,05 por tanto no existe evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula de que las medias son iguales. Este resultado era de esperarse ya que el valor de 191 se encuentra dentro del intervalo de confianza.

Una vez validado el principal indicador de la eficiencia del taller, se pasa a analizar el desempeño de los distintos puntos de interés que se han venido monitoreando a lo largo del trabajo, los cuales son:

Proceso	Utilización instantánea	Tiempo promedio en cola (Hr)	Número promedio en cola. (Aprox)
Cabina de pintura	0,8529	3,17	2
Estiraje (Mini Bench)	0,6942	16,55	3
Bancada	0,4575	8,2391	1

Tabla 19. Indicadores de cuello de botella dic 2011 (ARENA®)

Analizando la cabina de pintura, se puede apreciar que su utilización instantánea (que representa a la proporción del tiempo total que el recurso se encuentra ocupado), es el más alto de todo el taller. Por tanto, se comprueba que este proceso es el cuello de botella. Asimismo, este valor se encuentra sobre el 80% recomendado para el óptimo funcionamiento de un

sistema. Por otro lado, analizando su tiempo promedio en cola, se observa que es alto, en promedio un auto totalmente empapelado y listo para ser pintado, espera la tercera parte de la jornada laboral establecida para diciembre (9 horas), por ser pintado. Como consecuencia, existen en promedio 2 autos esperando por este proceso.

En cuanto al estiraje en Mini-Bench, la utilización instantánea es la segunda más alta de todo el taller. Por tanto, se puede comprobar que éste representa otro de los puntos importantes a solucionar. El tiempo promedio en cola es de 16 horas, es decir, cada vehículo tiene que esperar casi 2 días laborables para poder entrar a dicho proceso. Esto se lo puede comprobar fácilmente de manera visual en el tablero de asignación que manejan los técnicos para la utilización de la bahía del Mini-Bench. En consecuencia, el número promedio de vehículos que se encuentran totalmente pausados por espera de este recurso son aproximadamente 3. Este valor es considerable debido a que los tiempos de proceso de estiraje son significativos (mínimo 4 horas por vehículo)

Finalmente, el proceso de estiraje realizado en la bancada no representa a uno de los cuellos del botella del taller. Esto se ve reflejado en todos los indicadores observados en la tabla anterior. La razón es que este recurso lo utilizan por lo general sólo los vehículos de tipo fuerte, y unos pocos de medios, procesando un número mínimo de vehículos a comparación de la otra bahía de estiraje. Efectivamente necesitan más recursos para realizar el trabajo del Mini-Bench y Cabina de pintura, si el objetivo final es aumentar la capacidad de procesamiento del taller.

5.5.15 Simulación del taller con valores promedio.

Una vez realizado este estudio para el peor escenario del taller, se pasa a analizar al taller configurado como para un mes promedio, tomando en cuenta las siguientes asunciones:

- La proporción de vehículos de acuerdo al tipo de daño es de 42% para ciclo largo, 1% PT y 57 % Renault minuto o Ciclo Express.
- La proporción dentro de ciclo largo es de 25% para leve, 63% para medio y 12% para fuerte.
- La jornada laboral tiene una duración de 8 horas.
- El mes promedio tiene en total 23.5 días laborables (Sumado las medias jornadas de los sabados)
- El periodo de calentamiento es de 5 días laborables.
- La réplica tiene una duración total de 28.5 días.

El tiempo entre arribos aumenta en 5% ya que ésta es la diferencia entre el mes de más alta demanda y el mes promedio. En este punto, cabe recalcar que si bien un 5% de diferencia de vehículos atendidos no parece relevante, la proporción de autos de ciclo fuerte en el mes de diciembre es significativamente mayor que en el resto del año.

Los resultados de la simulación para el modelo enfocado al mes promedio del 2011 fueron los siguientes(Apéndice F10):

Medida de desempeño	Promedio	Half Width
Número total de autos procesados	181,37	2,51
Fuerte	8,933	0,69
Medio	48,93	1,62
Leve	20,45	1,08
Renault Minuto	103,05	1,77

Tabla 20. Medidas de desempeño mes promedio 2011(ARENA®)

Como en el caso anterior, para comprobar la validez de los mismos, se compara el valor de la media del número total de autos procesados con el valor referencial obtenido de la base de datos y validado con Ismael Jaramillo (Master Kaizen), de 181 para el mes promedio. Este valor se obtuvo dividiendo el número total autos procesados para el número de meses. A continuación se presenta los valores del intervalo de confianza para este escenario.

Medida de desempeño	L. Inferior	< Promedio >	L. Superior
Número total de autos procesados	178,86	181,37	183,88
Fuerte	8,24	8,93	9,62
Medio	47,31	48,93	50,55
Leve	19,37	20,45	21,53
Renault Minuto	101,28	103,05	104,82

Tabla 21. Intervalo de confianza mes promedio 2011 (ARENA®)

Posteriormente, se procede a realizar una prueba t ya que se desconoce el valor de la varianza poblacional, aunque debido a la gran cantidad de datos, la variación entre una prueba t y una prueba z sería mínima (Montgomery, 2009). Los resultados se pueden apreciar en la gráfica a continuación:

Test of mu = 181 vs not = 181

N	Mean	StDev	SE Mean	95% CI	T	P
60	181.37	9.72	1.25	(178.86, 183.88)	0.29	0.769

Figura 39. Resultado prueba t mes promedio 2011 (MINITAB®)

Como era de esperarse, no existe suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis de igual de medias entre el valor obtenido en la simulación y el obtenido por la base de datos.

De igual forma que en el caso anterior, se procede a analizar indicadores del rendimiento del taller.

Proceso	Utilización instantánea	Tiempo promedio en cola (Hr)	Número promedio en cola
Cabina de pintura	0,6583	1,27	1
Estiraje (Mini Bench)	0,4682	6	1
Bancada	0,3784	7,52	1

Tabla 22. Indicadores de cuello de botella mes promedio 2011(ARENA®)

En este escenario en particular, es importante mencionar que debido a la gran proporción de vehículos asignada a ciclo express, se puede encontrar apreciar valores relativamente menores de cada uno de estos indicadores, comparados con el caso anterior. Pero como se explicó en la fase inicial del estudio, el enfoque se encuentra a los vehículos pertenecientes a ciclo largo, ya que los mismos generan mayores ingresos al taller.

Dentro de los procesos en los que participan los vehículos de ciclo largo, se puede observar que la cabina de pintura sigue siendo el que tiene una mayor utilización instantánea, provocando que siga existiendo vehículos totalmente listos para ser pintados, en espera por un espacio en la cabina.

En el caso del estiraje en Bancada y Mini-Bench se puede apreciar que existe un promedio de tiempo de espera de casi un día laborable para la utilización de los mismos. Como se mencionó anteriormente, estos valores dependen directamente de la cantidad de vehículos que circulen por estas bahías. En los meses que aumenta la cantidad de vehículos de ciclo largo, estos recursos son los primeros en estar totalmente sobrecargados.

Para concluir, estos resultados soportan el análisis de capacidades presentado anteriormente y será la base para las propuestas que se generarán a continuación.

CAPÍTULO 6:MEJORAR

Es este capítulo, se presenta las propuestas de mejora para el taller, en donde se pretende dar solución a los problemas identificados en la fases anteriores. Cada una cuenta con su descripción general, el análisis financiero y los resultados de la simulación considerando los cambios en los parámetros para cada escenario.

6.1 Instalación de sistema de estiraje

En la fase Medir, se calculó la capacidad y los tiempos de ciclo de los procesos, donde se encontró que las bahías de medición y estiraje tiene el mayor tiempo de ciclo del sistema ya que deben abastecer el trabajo de 11 técnicos. Si bien es cierto, la ocupación de estas estaciones es alta, no se la considera el cuello de botella del sistema ya que no todos los vehículos son atendidos como el caso de pintura. El porcentaje de vehículos que requieren de este proceso, esta descrito en la Tabla 16 (Pág, 102) del capitulo anterior.

Su tiempo de ciclo del es de 105 minutos y su capacidad de 0.57 autos por hora, por lo que es evidente que es un problema para el desempeño del taller. Los técnicos latoneros deben hacer una fila que puede durar desde medio día hasta 7 días, lo que ocasiona que los vehículos deben estar parados sin poder ser trabajados. El equipo de proyecto, desde el levantamiento de información, observó este problema y estaba dentro de la lista de problemas del taller. Como una de las bahías contaba con un sistema de estiraje provisional, se pensó que se podía instalar en otras estaciones, de tal manera que se aliviane la carga de trabajo de la bancada y el mini-bench para los vehículos que poseen daños leves o medios, donde su proceso de estiraje es más sencillo y no requiere de tanta precisión.

Durante el desarrollo de la tesis, se conversó con la gerencia general, el jefe de servicio y el líder del proyecto, para hacer una evaluación del avance y las recomendaciones técnicas que podían contribuir con el estudio. Aquí, se manifestó la idea de instalar más sistemas de estiraje provisional, ya que podrían ayudar a disminuir el tiempo de procesamiento de las órdenes. Con este precedente, el equipo de proyecto planeaba calcular el impacto de esta adecuación, el número necesario, los costos y la incidencia en la rentabilidad del taller, pero la gerencia decidió ejecutar su instalación sin ningún análisis previo. Se decidió equipar a tres bahías de latonería y se utilizó el feriado de febrero del 2012 para su instalación.

6.1.1 Descripción de la propuesta

La propuesta consiste en equipar un número de bahías con el sistema de estiraje provisional, donde se puedan procesar los vehículos que posean daños leves y medios para que su estiraje se realice localmente en la bahía de trabajo. Básicamente, se utilizaría el sistema para los accidentes que provienen de la parte frontal o trasera del vehículo. Esto lograría que se reduzca el tiempo de espera por bancada y se avance con el trabajo de manera más eficiente y continua. Con estos cambios se puede contar con la bancada, el mini-bench y tres bahías adicionales para medición y estiraje. Estos afectan directamente en la reducción de tiempos y los movimientos que se deben realizar para pasar de una estación a otra. Como consecuencia, el tiempo de ciclo y la capacidad del proceso se vera reducida en gran medida. El análisis de su impacto no se lo puede realizar ya que desde la fecha de instalación se debe esperar alrededor de un mes para que se seque la estructura y soporte la presión sin descuadrarse o trizarse. Es por esto que se presentará únicamente el diseño y los costos de la instalación en la siguiente sección.

6.1.2 Diseño del sistema de estiraje

El sistema de estiraje consiste en una estructura de soporte enterrada en el piso en donde se introduce un tubo cuadrado de tipo hembra para fundirse con cemento. La parte movable del sistema consiste de un tubo macho que es introducido en la estructura del piso, al que esta soldadas cadenas con ganchos que sujetan al vehículo. Con la ayuda de un tecele se realiza el estiraje del chasis que es asegurado en diferentes puntos. A continuación se muestra los gráficos del sistema.

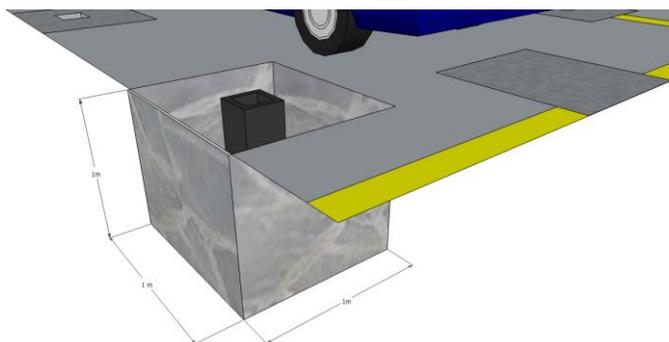


Figura 40. Estructura interna de sistema de estiraje (Elaboración propia)

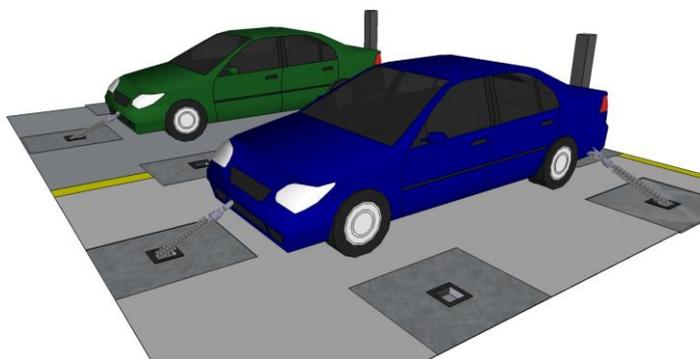


Figura 41. Sistema de estiraje vista frontal (Elaboración propia)

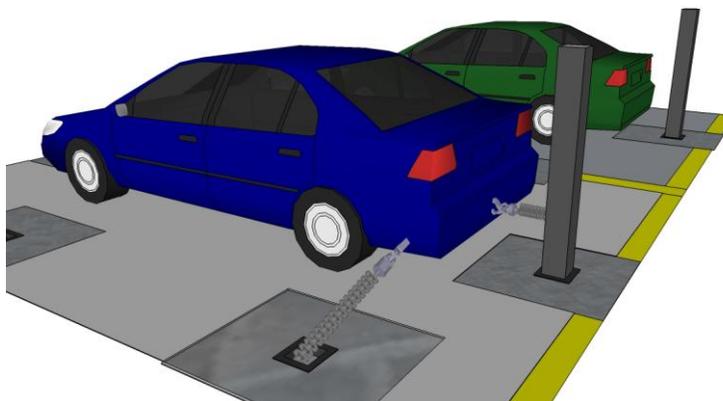


Figura 42 Sistema de estiraje vista posterior (Elaboración propia)

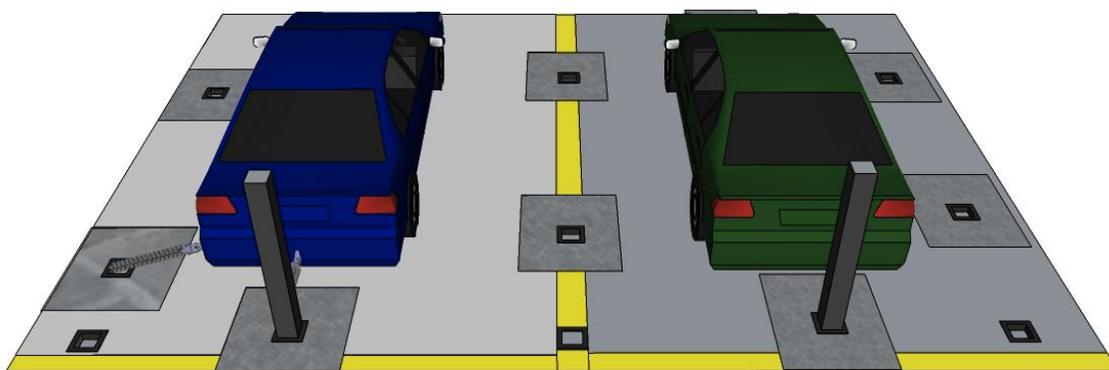


Figura 43. Sistema de estiraje 2 bahías (Elaboración propia)

En las figuras anteriores se muestra desde diferente ángulos el funcionamiento del estiraje local en cada bahía. Como se mencionó anteriormente, 3 de las 11 bahías están equipadas y se espera que agilite el proceso.

6.1.3 Costo de la implementación

Es importante mencionar el detalle de los costos de instalar un sistema de estiraje convencional y el del sistema provisional. El taller preferiría adecuar las bahías con esta segunda opción debido a que el costo de un sistema nuevo mini-bench es alto para la situación actual del taller, dado que implicaría reducir una bahía de latonería para proceder con su instalación y no justifica ya que a mediano plazo la empresa trasladará sus operaciones a unas nuevas instalaciones.

El costo de un nuevo Mini-Bench es de \$15,000 más \$1,000 de instalación (Ayasa, Marzo 2012), por el contrario, el sistema instalado tendría una inversión de \$1,500 por bahía, es decir \$4,500. Valor, que se estima recuperar dentro de seis meses de producción después de su ejecución (Jaramillo, 2012).

6.2 Propuesta de cabina adicional y rediseño de *layout*

Como se identificó en capítulos anteriores, el proceso de pintura es el cuello de botella, con un tiempo de ciclo de 96 minutos y una capacidad de 0.62 autos por hora, tomando en cuenta que todos los autos deben pasar por esta estación. Además de identificó un 30% de los vehículos de ciclo largo leve que son procesados en la cabina de pintura de Renault Minuto (Plenum), lo que permite identificar el problema que existe en esta zona del taller en cuanto a la utilización, los movimientos y los tiempos de pintura. De esta manera, se plantea la opción de instalar una nueva cabina de pintura y rediseñar el *layout* actual del taller. A continuación se describe las características de la propuesta y se presenta su análisis financiero, junto con los resultados de la simulación que toma en cuenta estos cambios.

6.2.1 Descripción de la propuesta 1

Para el planteamiento de esta propuesta, se tomó en consideración algunos cambios en la disposición del taller, así como la adquisición de una nueva cabina de pintura con el sistema de secado y circulación de aire.

En primer lugar se tratará de la cabina de pintura, la cual consiste de la compra de una nueva, similar a la existente de origen italiano. Con su instalación, se pretende procesar mayor cantidad de autos en el día y no dejar autos en espera para el día siguiente. Este procedimiento, minimizaría el flujo de autos y la congestión interna, lo que facilita el trabajo de los técnicos y se procesaría más autos por mes reduciendo el tiempo de entrega al cliente.

Para poder introducir la nueva cabina, es preciso hacer algunas modificaciones en el *layout* del taller. Para esto se utilizarán dos herramientas, en primer lugar la experiencia de los miembros de la empresa en conjunto con el equipo de proyecto, que mediante una reunión de análisis, se determinó la posible distribución del taller, tomando en consideración algunos factores que se enumeran a continuación.

1. El lugar de instalación de la nueva cabina es recomendable donde se encuentra el Plenum por la cercanía con la zona de preparación y empapelado. De esta manera todos los autos de ciclo largo se dirigen a la misma zona del taller y son procesados por el mismo personal.
2. La cabina original no está en la capacidad de procesar todos los vehículos de ciclo largo, por lo que el Plenum de Renault Minuto debe ocupar sus recursos para este fin, es por esto que la nueva cabina estaría en la capacidad de atender todos los autos de este tipo de ciclo.
3. Al ubicar la cabina en esta posición se aprovecha la instalación ya existente de ventilación y secado, lo que hace que la inversión inicial se disminuya.
4. Adicionalmente, la marca exige que los procesos de Renault Minuto sean exclusivos para este tipo de vehículos y se encuentren juntos entre sí para incrementar su flujo y procesar los daños en menos de 3 días.
5. El Plenum de Renault Minuto, tiene una estructura no hermética, lo que hace que las partículas tanto del área de preparación, como de latonería ingresen a la cabina y ocasionen re-procesos en la pintura provocando un mayor trabajo en la sección de pulida.
6. El hecho de que Renault Minuto es un proceso totalmente independiente y se lo puede reubicar dentro de la nave donde no tenga que atravesar todo el taller

para pasar de un proceso a otro. Esto descongestiona el proceso de pintura de ciclo largo y reduce las pausas por movimientos de las bahías.

7. Ubicar a todos los procesos de Renault Minuto juntos agilizaría el flujo y evita la contaminación por parte de preparación de ciclo largo y las bahías adyacentes, por ende se elimina el 80% de re-trabajos y demoras (Ayasa).
8. La norma de la marca dice que los vehículos catalogados como Renault Minuto, deben procesarse en sus propias instalaciones, sin compartir con autos de otro tipo de ciclo.
9. Con estos cambios el taller contaría con 4 bahías de preparación para ciclo largo y una para Renault Minuto. Independizando totalmente ambos ciclos en cuanto a recursos, herramientas y personal.

Como segunda herramienta, se validará esta modificación del *layout* con un análisis de relaciones, donde se confirmará el cambio en base a un método de medición cualitativa de la disposición.

Este análisis consiste en enumerar las distintas relaciones que tienen entre sí cada una de las estaciones de trabajo referente a un parámetro en común. En primer lugar se califica la cercanía entre las distintas estaciones. Esta valoración se presenta en la siguiente tabla.

Valor	Cercanía	
A	Absolutamente necesaria	
E	Muy importante	
I	Importante	
O	Está bien, cercanía normal	
U	No es importante	
X	No es conveniente	

Tabla 23. Valores de cercanía de una relación(Thompkins, White, Bozer, & Tanchoco, 2006)

Posteriormente, se define la razón por la que se asigna este valor de cercanía según el flujo, la contaminación y los recursos en común. Esta calificación se presenta a continuación.

Código	Razón
1	Flujo entre bahías alta
2	Flujo entre bahías medio
3	Flujo entre bahías bajo
4	Flujo entre bahías nulo
5	Contaminación
6	Recursos en común

Tabla 24. Razón del valor de cercanía(Elaboración propia)

Con estos parámetros, se desarrolla la matriz de relaciones respecto a la medición cualitativa del flujo, que proporciona información para la configuración del nuevo *layout*. Para esto se tomaron en cuenta las estaciones de trabajo que se encuentran dentro de la nave.

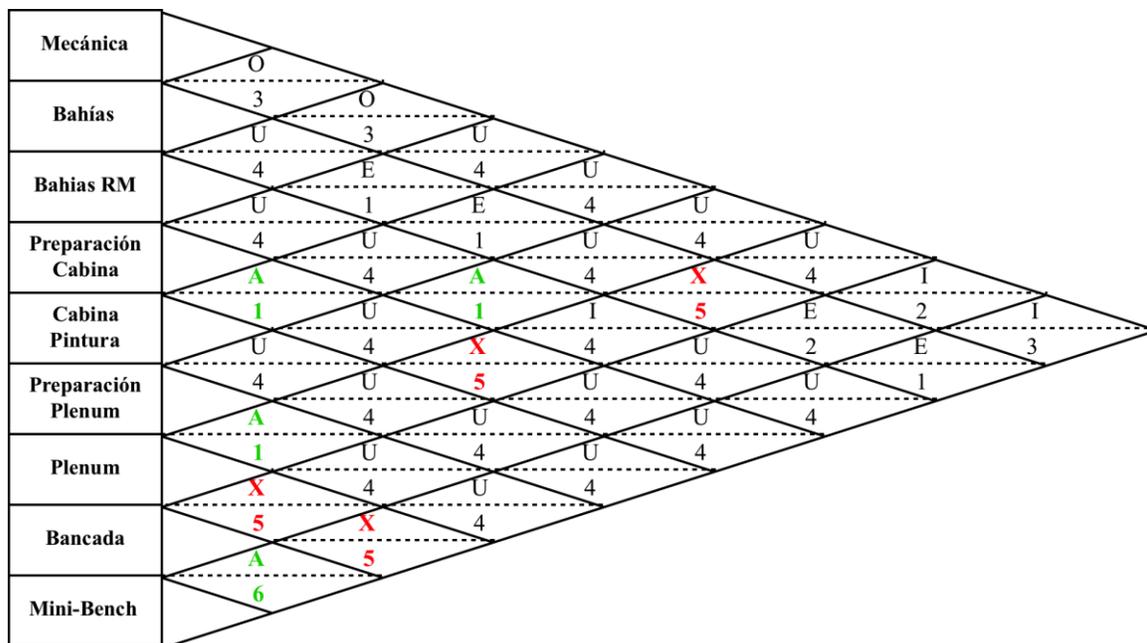


Figura 44. Tabla de relaciones Taller Auto

Este análisis, demuestra que no deben estar juntas por motivos de contaminación el Plenum con bahías que producen algún tipo de partículas como el las bahías de estiraje, latonería y preparación para ciclo largo. Del mismo modo, es absolutamente necesario que las cabinas de pintura se encuentren cerca de las bahías de latonerías y preparación para cabina. Para finalizar se realiza una estimación de la eficiencia del *layout* actual, obteniendo como resultado un 53% de eficiencia con el objetivo basado en adyacencia (Apéndice H1).

Una vez confirmado esta modificación de diseño del taller, se presenta la imagen de la disposición actual y la propuesta como referencia.

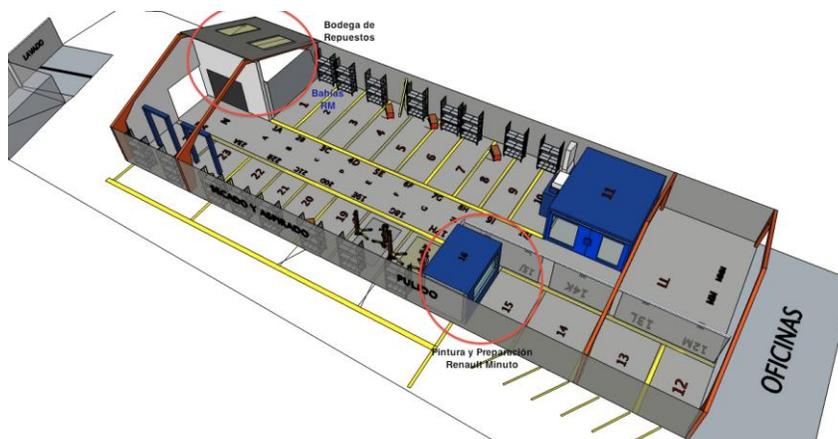


Figura 45. Layout Actual TallerAuto(Elaboración propia)

En esta disposición, el Plenum de RM está frente a la cabina de ciclo largo y en medio de preparación y latonería. En la esquina superior izquierda, está la bodega de repuestos y los servicios higiénicos del personal. La propuesta consiste en eliminar la bodega de repuestos y reubicarla en un terreno frente al taller como lo tenía planificado la empresa para los próximos meses. De esta manera, se pudo diseñar la siguiente disposición de bahías para cada tipo de ciclo.

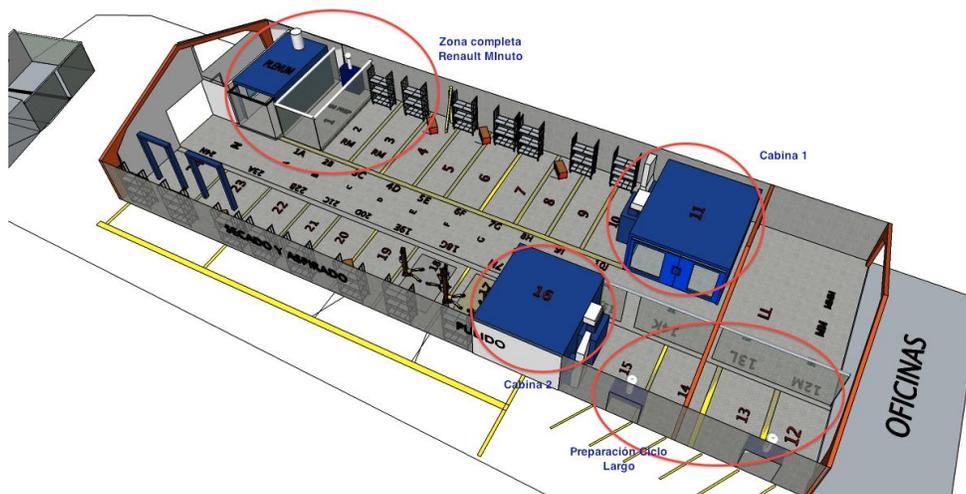


Figura 46. Layout propuesta (Elaboración propia)

Con este diseño, se pretende aumentar la capacidad de operación de pintura ciclo largo e independizar el proceso de Renault Minuto, en un área de mayor accesibilidad y menos

congestionado, donde los autos pueden entrar estar ubicados de forma adyacente entre todas las fases de reparación. Ciclo largo tendría un mayor número de bahías de preparación que abastecen las 2 cabinas. El flujo y movimientos de vehículos disminuye y en consecuencia los tiempos de reparación y entrega. El detalle de estos resultados se mostrarán en las siguientes secciones tanto el análisis financiero como el *output* del modelo de simulación. Al igual que en el caso anterior, se realiza una estimación de la eficiencia del *layout*, obteniendo un 94% significativamente mayor al estado actual(Apéndice H2).

6.2.2 Análisis financiero y punto de equilibrio

A continuación se presenta el análisis económico de la propuesta, donde se incluirá la inversión necesaria para realizar las modificaciones, los costos de implementación y el personal adicional. Estos datos están basados en la información que proporcionó la empresa y los avalúos para las modificaciones civiles requeridas. Además, se calcula el punto de equilibrio en número de vehículos procesados anualmente para justificar el proyecto.

Este análisis se desglosa en cada uno de los componentes antes mencionados y se concluye con el flujo de caja propuesto para recuperar la inversión en un período de 3 años establecido por la empresa para este tipo de proyectos. De igual manera, por política de Automotores y Anexos se utiliza el 12% en la tasa mínima atractiva de retorno. (Jaramillo, 2012).

Detalle de inversión

Para realizar los cálculos de la inversión que requiere esta propuesta, se debe tomar en cuenta algunos componentes y costos:

Inversión		
	Concepto	Costo
Pintura Ciclo Largo	Cabina de pintura SPANESI	\$ 46.900,00
	Obra civil cabina	\$ 6.700,00
	Obra civil de preparación	\$ 2.300,00
	Instalación de cabina y bahía preparación	\$ 2.900,00
Bahías RM	Obra civil Plenum	\$ 5.900,00
	Obra civil preparación Plenum	\$ 2.300,00
	Instalación bahía de preparación	\$ 1.300,00
	Instalación Plenum	\$ 2.500,00
	Reconstrucción de bodega	\$ 48.700,00
	Equipamiento baños y lockers	\$ 9.000,00
TOTAL		\$128.500,00

Tabla 25. Inversión inicial propuesta I (AYASA, 2012)

El resultado total de la tabla es el valor que de la inversión inicial para todos los cambios estructurales para la ejecución de la propuesta. Además, se debe tomar en cuenta los costos variables asignados a la contratación de 2 personas adicionales para las bahías de preparación y pintura. Este costo mensual fue proporcionado por el departamento de recursos humanos de la empresa, el cual toma en cuenta el salario, alimentación, beneficios de ley y comisiones promedio.

CARGO	SUELDO BASE	COMISIONES	SUBTOTAL	IESS	UNIFORMES	ALMUERZO/ LUNCH	SEGURO MEDICO	COSTO TOTAL MENSUAL
PREPARADOR DE PINTURA	\$ 300,00	\$ 200,00	\$ 500,00	\$ 60,75	\$ 33,33	\$ 80,00	\$ 28,38	\$ 702,46
PINTOR	\$ 300,00	\$ 200,00	\$ 500,00	\$ 60,75	\$ 33,33	\$ 80,00	\$ 28,38	\$ 702,46

Tabla 26. Costos mensuales operadores propuesta 1

Para obtener el costo anual, se debe aumentar el décimo tercer y cuarto sueldo, junto con las vacaciones para el primer año. A partir del segundo año, se debe incrementar el monto asignado a los fondos de reserva.

CARGO	SUBTOTAL ANUAL	DÉCIMOS	VACACIONES	TOTAL AÑO 1	FONDOS RESERVA ANUAL	TOTAL AÑO 2 Y 3
PREPARADOR DE PINTURA	\$ 8.429,52	\$ 792,00	\$ 250,00	\$ 9.471,52	\$ 499,80	\$ 9.971,32
PINTOR	\$ 8.429,52	\$ 792,00	\$ 250,00	\$ 9.471,52	\$ 499,80	\$ 9.971,32

Tabla 27. Costos anuales operadores propuesta 1

A diferencia de los costos de la inversión, este valor se incrementaría en un 10.3% anual de acuerdo a los aumentos salariales realizados por el gobierno en los últimos 3 años.(Ministerio de relaciones laborales, 2012)

Punto de equilibrio

Es importante determinar el valor mínimo de ingreso anual para cubrir con la inversión en el período establecido. Para esto se tomó en cuenta la inversión, los costos variables de los próximos tres años y el valor de salvamento de la cabina de pintura llevados al valor presente. Para esto, se utiliza la ecuación 15 presentada en el capítulo 2 :

$$VP = \frac{VF}{(1 + i)^n}$$

n= Número de períodos a calcular.

i= 12% (tasa establecida por la empresa)

VP= valor presente

VF=Valor futuro de la inversión.

A continuación se detalla los componentes de la fórmula para el cálculo del valor presente de cada costo en cada uno de los períodos. Se incluye un valor de salvamento mediante el cálculo de una depreciación anual del 12.5%(AYASA), considerando que la empresa contará con la cabina para el nuevo taller que posiblemente se elabore en 5 años.

Concepto	Valor futuro	Número de periodos	Tasa de interés	Valor presente
Inversión inicial	\$ 128,500.00	0	12%	\$ 128,500.00
Costos variables año 1	\$ 18,943.04	1	12%	\$16,913.43
Costos variables año 2	\$ 21,996.73	2	12%	\$17,535.66
Costos variables año 3	\$ 24,262.40	3	12%	\$17,269.49
Valor de salvamento cabina	\$ 30,437.50	3	12.5%	\$21,664.81

Tabla 28. Datos fórmula valor presente.

A continuación se presenta un detalle de los ingresos y egresos de los próximos 3 años, sin considerar el flujo de caja anual generado por la rentabilidad de la propuesta.

	Ingresos	Egresos	Valor Presente
Inversion Inicial		\$128.500,00	\$128.500,00
Año 1		\$ 18.943,04	\$16.913,43
Año 2		\$ 21.996,73	\$17.535,66
Año 3		\$ 24.262,40	\$17.269,49
Valor de salvamento cabina	\$30.437,50		-\$21.664,81
		TOTAL	\$158.553,77

Tabla 29. Punto de equilibrio de la inversión

Este valor representa el costo total de la inversión llevada al valor presente. Por tanto, se debe definir el flujo de caja adicional que debe generar la compañía para cubrir el proyecto en el período determinado. Utilizando la fórmula del valor anual (Marco Teórico, Pág 47) $A=(A/P, i, n)$ que requiere como parámetros el número de periodos de dicha anualidad (en este caso serían 3 años) , la tasa de interés (12%) y el valor presente a igualarse (definido como \$158.553,77) se determinó que se necesitan ingresos anuales de **\$66.013,70**.

Gracias a la información proporcionada por la empresa respecto al número total de vehículos atendidos en el 2011 y la rentabilidad promedio por cada uno \$440.60¹, se obtiene que se debería procesar **13órdenes mensuales** adicionales a los 181 autos promedio. A continuación se presenta el flujo de caja correspondiente:

¹ Cálculo de este valor es confidencial

	Ingresos	Egresos	Valor Presente
Inversion Inicial		\$ 128.500,00	\$128.500,00
Año 1	\$66.013,70	\$ 18.943,04	-\$42.027,38
Año 2	\$66.013,70	\$ 21.996,73	-\$35.090,06
Año 3	\$66.013,70	\$ 24.262,40	-\$29.717,75
Valor de salvamento cabina	\$30.437,50		-\$21.664,81
		TOTAL	\$0,00

Tabla 30. Flujo de caja propuesta 1

A continuación se sustenta esta información financiera con los resultados del modelo de simulación para confirmar la justificación de esta propuesta.

6.2.3 Simulación de la propuesta 1

Una vez definidos los detalles de la propuesta, se procede a plasmarlos en el modelo de simulación presentado anteriormente. Por tanto, se debe realizar los siguientes cambios:

- El número de recursos asignados para pintura aumenta a 2 debido a la instalación de la nueva cabina.
- El número de recursos asignados a Preparación para pintura, asciende a 4, ya que la zona de preparación para el Plenum ahora se la utilizará para la cabina.
- El número de recursos para el proceso de estiraje en Mini Bench aumenta a 4, debido a que se implemento en 3 bahías, un sistema alternativo para este procedimiento.
- La proporción de autos que de tipo de daño medio que utilizan la bancada se reduce del 30% al 10%, ya que se dispone de suficientes equipos de estiraje destinados a este tipo de daño.
- Todos los autos de ciclo largo leve se procesan en la cabina de pintura y en sus respectivas bahías de preparación.

Por otro lado, las condiciones generales del estado se mantienen iguales a las presentadas en la situación promedio mensual.

- La proporción de vehículos de acuerdo al tipo de daño es de 42% para ciclo largo, 1% PT y 57 % Renault minuto o Ciclo Express.
- La proporción dentro de ciclo largo es de 25% para leve, 63% para medio y 12% para fuerte.
- La jornada laboral tiene una duración de 8 horas.
- El mes promedio tiene en total 23.5 días laborables (Sumado las medias jornadas de los sábados)
- El periodo de calentamiento es de 5 días laborables.
- La réplica tiene una duración total de 28.5 días.
- El tiempo entre arribos, que representa a la cantidad de autos que ingresarán al taller, para éste primer escenario será igual al promedio del 2011.

Los resultados de las medidas de desempeño para este escenario, se presentan en la tabla a continuación(Apéndice II):

Medida de desempeño	Promedio	Half Width
Número total de autos procesados	191,43	1,47
Fuerte	8,9	0,84
Medio	51,93	1,56
Leve	21,75	1,07
Renault Minuto	108,85	1,03

Tabla 31. Medidas de desempeño propuesta 1 (ARENA®)

A continuación se presentan los valores del intervalo de confianza para cada una de estas medidas.

Medida de desempeño	L. Inferior	< Promedio >	L. Superior
Número total de autos procesados	189,96	191,43	192,90
Fuerte	8,06	8,90	9,74
Medio	50,37	51,93	53,49
Leve	20,68	21,75	22,82
Renault Minuto	107,82	108,85	109,88

Tabla 32. Intervalo de confianza propuesta 1 (ARENA®)

Se puede observar que en cuanto al número total de autos procesados existe una diferencia de aproximadamente 11 autos. Se elaboraron pruebas de hipótesis para comparar los resultados obtenidos del promedio de la situación actual promedio, y comprobar si existe evidencia estadística que valide que efectivamente los resultados de la situación propuesta son mayores a los de la situación actual.. Por tanto, las hipótesis serían:

$$H_0 = \mu_1 - \mu_2 = 0$$

$$H_1 = \mu_1 - \mu_2 > 0$$

Los resultados para cada una de las medidas de desempeño se encuentran a continuación:

Número total de autos atendidos

Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
1	60	191.43	5.69	0.73
2	60	181.37	9.72	1.3

Difference = mu (1) - mu (2)
 Estimate for difference: 10.06
 95% lower bound for difference: 7.64
 T-Test of difference = 0 (vs >): T-Value = 6.92 P-Value = 0.000 DF = 95

Figura 47. Resultado prueba t número total de autos atendidos (MINITAB®)

Se puede apreciar que existe evidencia estadística que rechaza la hipótesis nula y acepta la alternativa. En este caso se evidencia que existe una diferencia promedio de 10.06 vehículos. Éste resultado era de esperarse ya que la propuesta afecta directamente al número total de vehículos procesados por ciclo largo y Renault Minuto.

Número de autos ciclo largo fuerte

Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
1	60	8.90	3.23	0.42
2	60	8.93	2.67	0.34

```
Difference = mu (1) - mu (2)
Estimate for difference: -0.030
95% lower bound for difference: -0.927
T-Test of difference = 0 (vs >): T-Value = -0.06 P-Value = 0.522 DF = 113
```

Figura 48. Resultado prueba t ciclo largo fuerte (MINITAB®)

En este caso, se puede observar que no existe evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula. Por tanto, el resultado de la situación propuesta no es mayor al de la situación actual. Esto se debe a que ninguno de los cambios que se aconsejan para el taller, se enfocan en este tipo de ciclo ya que la cantidad de autos que procesa es menor al resto.

Número de autos ciclo largo medio

Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
1	60	51.96	6.04	0.78
2	60	48.93	6.27	0.81

```
Difference = mu (1) - mu (2)
Estimate for difference: 3.03
95% lower bound for difference: 1.17
T-Test of difference = 0 (vs >): T-Value = 2.70 P-Value = 0.004 DF = 117
```

Figura 49. Resultado prueba t ciclo largo medio (MINITAB®)

Se puede ver que existe evidencia estadística que rechaza la hipótesis nula y acepta la alternativa. En este caso existe una diferencia promedio de 3.03 vehículos adicionales que se

procesan en la situación propuesta. Éste resultado era de esperarse ya que la propuesta pretende aumentar el número total de autos procesados asignados a éste ciclo, ya que proporcionan los mayores ingresos para la compañía.

Número de autos ciclo largo leve

Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
1	60	21.75	4.14	0.53
2	60	20.45	4.18	0.54

```

Difference = mu (1) - mu (2)
Estimate for difference: 1.300
95% lower bound for difference: 0.041
T-Test of difference = 0 (vs >): T-Value = 1.71 P-Value = 0.045 DF = 117

```

Figura 50. Resultado prueba t ciclo largo leve (MINITAB®)

Se puede apreciar que existe evidencia estadística que rechaza la hipótesis nula y acepta la alternativa. En este caso existe una diferencia promedio de 1.3 vehículos. Como en el caso anterior, se esperaba que aumenten este tipo de órdenes debido a los cambios propuestos.

Número de autos Renault Minuto

Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
1	60	108.85	3.98	0.51
2	60	103.05	6.85	0.88

```

Difference = mu (1) - mu (2)
Estimate for difference: 5.80
95% lower bound for difference: 4.10
T-Test of difference = 0 (vs >): T-Value = 5.67 P-Value = 0.000 DF = 94

```

Figura 51. Resultado prueba t Renault Minuto (MINITAB®)

Se puede observar que existe evidencia estadística que rechaza la hipótesis nula y acepta la alternativa. En este caso existe una diferencia promedio de 5.8 vehículos adicionales que se procesan en la situación propuesta. Éste resultado era predecible, debido a que las zonas de preparación y pintura en el Plenum, se utilizarían exclusivamente para los vehículos de ciclo express, a diferencia del estado actual, en el cual existe un porcentaje de autos de ciclo corto que utilizan dichos recursos.

Resumiendo los resultados, se puede observar que la implementación de los recursos adicionales, aumenta el número de vehículos procesados de ciclo largo medio y leve, y de ciclo Renault Minuto.

Analizando los factores de interés que se expusieron en la situación actual, se puede apreciar una diferencia significativa (Apéndice H2):

Proceso	Utilización instantánea	Tiempo promedio en cola (Hr)	Número promedio en cola
Cabina de pintura	0,3716	0,09	0,05
Estiraje (Mini Bench)	0,1339	0,01	0
Bancada	0,2549	4,74	0,15

Tabla 33. Indicadores de cuello de botella propuesta 1 (ARENA®)

Se puede apreciar que todos los indicadores de los cuellos de botella relacionados a la utilización de los recursos, el tiempo promedio en cola y el número promedio en cola, disminuyeron significativamente. De igual forma, se observa que los referentes a la Bancada también se redujeron ya que este recurso quedaría casi exclusivamente para el uso de los vehículos de ciclo largo fuerte.

Como se evidencia en la tabla anterior se obtiene un valor de utilización de la cabina de pintura de 37% lo que indica que existe capacidad de sobra para este proceso al aumentar la

segunda cabina de pintura, lo que significa que el recurso esta libre pero la estación está ocupada y el técnico requiere de tiempo para realizar la limpieza de las herramientas y mover los autos que van a ser procesados a continuación. Se considera aceptable este valor y se lo está tomando en consideración ya que al contar con este porcentaje, se asegura que se reduzcan al mínimo los tiempos de espera y se elimina los tiempos muertos en movimientos de vehículos en la zona de preparación. Además, se sacrifica el exceso de capacidad con el propósito de mejorar el nivel de servicio y la satisfacción del cliente, ya que se entregarán los vehículos en menos tiempo de lo que actualmente se lo hace. Para la empresa, es prioridad mejorar esta percepción respecto a los autos de ciclo medio ya que es el tipo de daño en el que más se incumple la promesa de entrega.

Finalmente, debido a que se ha aumentado los recursos en los cuellos de botella, es de esperarse que éste se traslade a otro punto del proceso. En este caso sería a la zona de pulida, ya que sólo existe una persona que se dedica a pulir todos los vehículos. Analizando el valor de utilización de este recurso en la simulación, se observa que tiene un 65%, siendo un valor aceptable. Por tanto, no se necesitaría otro recurso en dicha estación.

Simulación estado propuesto tomando en cuenta aumento de demanda.

El parque automotor del Ecuador, en el año 2011 tuvo un crecimiento del 5,8% respecto al 2010 (El Universo, 2011). Se puede asumir que este porcentaje refleja el aumento en general de la demanda de los talleres de todas las marcas presentes en el mercado. Para motivos de este estudio, se asumirá un aumento pesimista, que sea tan solo del 2,5%.

En cuanto a las condiciones de la simulación, éstas son las mismas presentadas para la situación promedio del taller.

Los resultados de las medidas de desempeño se presentan a continuación (reportes en Apéndice I2):

Medida de desempeño	Promedio	Half Width
Número total de autos procesados	195,18	1,78
Fuerte	9,42	0,76
Medio	54,12	1,45
Leve	21,68	1,3
Renault Minuto	109,97	1,78

Tabla 34. Medidas de desempeño propuesta 1 con aumento demanda (ARENA®)

En relación al modelo anterior, se puede apreciar un aumento significativo para el ciclo largo medio al igual que en Renault Minuto o Ciclo express. Está por demás realizar una prueba de comparación de medias de éstas con la situación del estado actual, ya que si en el caso anterior la mayoría salieron estadísticamente mayores, en éste lógicamente ocurriría lo mismo. A continuación se presentan los intervalos de confianza para éstas medidas:

Medida de desempeño	L. Inferior	< Promedio >	L. Superior
Número total de autos procesados	193,40	195,18	196,96
Fuerte	8,66	9,42	10,18
Medio	52,67	54,12	55,57
Leve	20,38	21,68	22,98
Renault Minuto	108,19	109,97	111,75

Tabla 35. Intervalo de confianza propuesta 1 con aumento de demanda (ARENA®)

Al igual que en los apartados anteriores, se muestran indicadores de los cuellos de botella:

Proceso	Utilización instantánea	Tiempo promedio en cola (Hr)	Número promedio en cola
Cabina de pintura	0,3863	0,09	0,05
Estiraje (Mini Bench)	0,1381	0,05	0
Bancada	0,2259	3,87	0,08

Tabla 36. Indicadores de cuello de botella propuesta 1 con aumento de demanda (ARENA®)

Se puede observar que la utilización, los tiempos y el número promedio de autos en espera se encuentran con valores similares a los presentados en el modelo anterior. Como se describió en el modelo anterior, en este escenario también existe una capacidad de sobra que se la esta incluyendo debido a los niveles de satisfacción y servicio que representa para el cliente la reducción de los tiempos de entrega. Del igual forma, estos indicadores muestran que se reducirán radicalmente los tiempos muertos y las filas que sufrían los vehículos en estos procesos.

Con estos resultados, se estima que exista un aumento promedio **14 vehículos mensuales**. Por tanto, con este valor referencial, se podría afirmar que si es posible cumplir con el retorno de la inversión en 3 años.

6.3 Propuesta de modificación de jornada laboral

Otra de las alternativas que permite solucionar el problema del cuello de botella de pintura es mediante el incremento de hora de trabajo durante la jornada laboral. Este cambio se puede dar mediante la creación de un medio turno. En la siguiente sección se describe la alternativa y posteriormente los requerimientos de costos de esta implementación.

6.3.1 Descripción de la propuesta 2

Como se determinó en la fase Analizar, existe un número de autos listos para el proceso de pintura que están listos al finalizar la jornada y deben procesarse al día siguiente, lo que retrasa las órdenes planificadas. A partir de la figura 23 (pág, 92) se determina que en promedio durante el un mes promedio se dejan 3 autos listos para pintura, lo que significa alrededor de 300 minutos de trabajo. En base a estos resultados, al incrementar un medio turno se podría atender los autos pendientes del día para liberar las órdenes. De esta manera, al día siguiente los vehículos que provienen de las 11 bahías de pintura pueden ser atendidos inmediatamente sin tener un tiempo promedio de espera de 1 hora con 20 minutos como se midió en los tiempos de espera de los vehículos.

Esta modificación requiere de contar con los siguientes recursos:

- Pintor
- Preparador
- Empapelador
- Control de calidad o supervisor

Este personal adicional para el segundo medio turno es considerado por el equipo de proyecto en base a los resultados del estudio y adicionalmente por las sugerencias de la empresa. El costo requerido para su implementación está descrito en la siguiente sección , donde se desglosa la mano de obra, beneficios de ley, refrigerio, etc.

6.3.2 Análisis financiero y punto de equilibrio

A continuación se presenta el análisis económico de la segunda propuesta, donde se incluirá los costos asociados personal adicional. Estos datos están basados en la información que proporcionó la empresa. Además, se calcula el punto de equilibrio en número vehículos procesados anualmente para justificar la implementación de esta propuesta.

A diferencia de la propuesta 1, en este caso no se requiere de una inversión inicial, simplemente los costos variables adicionales por año deben ser menores a los ingresos extras generados por la propuesta.

Detalle de costos

Para realizar los cálculos de la inversión que requiere esta propuesta, se debe tomar en cuenta algunos componentes y costos:

Los costos variables mensuales asignados a la contratación de 4 personas adicionales para los procesos de pintura, preparación, empapelado y control de calidad para la media jornada. Estos costos fueron proporcionados por el departamento de recursos humanos de la empresa, el cual toma en cuenta el salario, alimentación, beneficios de ley y comisiones promedio y se encuentran a continuación:

CARGO	SUELDO BASE	COMISIONES	H. NOCTURNAS	SUBTOTAL	IESS	UNIFORMES	ALMUERZO / LUNCH	SEGURO MEDICO	COSTO TOTAL
SUPERVISOR DE CALIDAD	\$ 175,00	\$ 200,00	\$ 54,69	\$ 429,69	\$ 52,21	\$ 33,33	\$ 80,00	\$ 28,38	\$ 623,60
PREPARADOR DE PINTURA	\$ 150,00	\$ 100,00	\$ 46,88	\$ 296,88	\$ 36,07	\$ 33,33	\$ 80,00	\$ 28,38	\$ 474,66
PINTOR	\$ 150,00	\$ 100,00	\$ 46,88	\$ 296,88	\$ 36,07	\$ 33,33	\$ 80,00	\$ 28,38	\$ 474,66
EMPAPELADOR	\$ 150,00	\$ 100,00	\$ 46,88	\$ 296,88	\$ 36,07	\$ 33,33	\$ 80,00	\$ 28,38	\$ 474,66

Tabla 37 Costos mensuales propuesta 2

Para obtener el costo anual, se debe aumentar el décimo tercer y cuarto sueldo, junto con las vacaciones para el primer año. A partir del segundo año, se debe incrementar el monto asignado a los fondos de reserva.

CARGO	SUBTOTAL ANUAL	DÉCIMOS	VACACIONES	TOTAL AÑO 1	FONDOS RESERVA ANUAL	TOTAL AÑO 2 Y 3
SUPERVISOR DE CALIDAD	\$ 7.483,25	\$ 575,69	\$ 214,84	\$ 8.273,79	\$ 429,52	\$ 8.703,30
PREPARADOR DE PINTURA	\$ 5.695,86	\$ 442,88	\$ 148,44	\$ 6.287,18	\$ 296,76	\$ 6.583,93
PINTOR	\$ 5.695,86	\$ 442,88	\$ 148,44	\$ 6.287,18	\$ 296,76	\$ 6.583,93
EMPAPELADOR	\$ 5.695,86	\$ 442,88	\$ 148,44	\$ 6.287,18	\$ 296,76	\$ 6.583,93

Tabla 38 Costos anuales propuesta 2

Adicionalmente, se considera los costos de energía eléctrica para la operación de las bahías que se asume que representa al 45% del total de consumo (Jaramillo, 2012). Este valor se lo dedujo del consumo de energía mensual proporcionado por la empresa. El porcentaje incluye el funcionamiento de los sistemas de ventilación, compresión, iluminación y la energía para operar la cabina de pintura.

Costos Variables	
Concepto	Costo Anual
Pintor	\$ 8,703
Empapelador	\$ 6,584
Preparador	\$ 6,584
Control de calidad	\$ 6,584
Energía eléctrica	\$ 2,624
TOTAL	\$ 31,079

Tabla 39. Costos variables anuales propuesta 2 (AYASA, 2012)

Punto de equilibrio

Es importante determinar el valor mínimo de ingreso anual para cubrir con los costos de esta propuesta. Para aquello, se utiliza la información de la rentabilidad promedio por auto, que es de \$440.60² con lo cual se determina que se necesitan **6 vehículos** adicionales por mes, tomando en cuenta que según la base de datos el promedio mensual es de 181 autos.

A continuación se sustenta esta información financiera con los resultados del modelo de simulación para confirmar la justificación de esta propuesta.

6.3.3 Simulación de la propuesta 2

Una vez definidos los detalles de la propuesta, se procede a plasmarlos en el modelo de simulación presentado anteriormente. Por tanto, se debe realizar los siguientes cambios respecto a la situación actual:

²Cálculo de este valor es confidencial

- Cada día está comprendido de 12 horas laborables: 8 para el primer turno y 4 para el segundo turno.
- Se define un horario para la disponibilidad de recursos, es decir, todas las bahías de latonería, lavado, pulida y la de los procesos de Renault minuto, tendrían a disposición durante las 8 primeras horas de la jornada laboral, todos sus recursos. A partir de la 8va hora, estas bahías se encuentran deshabilitadas debido a que no se asignó un segundo turno para ellas.
- Por otro lado, las bahías de preparación tendrían 3 recursos disponibles durante las 8 primeras horas, desde la 9na hasta la 12va tendrían un recurso disponible. De esta forma, se puede simular el hecho de que se asignaría un segundo medio turno de tan sólo 1 preparador.
- De igual manera, durante las 8 primera horas, se asignarían los 2 recursos correspondientes al empapelador. Desde la 8va en adelante se fijaría 1 recurso. Esto modela la definición de 1 empapelador en un segundo medio turno.
- Para la cabina de pintura, se asigna 1 recurso para las 12 horas de trabajo. Durante las 8 primeras, ejecuta sus labores un pintor, y durante las 4 horas del segundo medio turno, las realiza el segundo pintor.
- El número de recursos para el proceso de estiraje en Mini Bench aumenta a 4, debido a que se implementó en 3 bahías, un sistema alternativo para este procedimiento.
- La proporción de autos de tipo de daño medio que utilizan la bancada se reduce del 30% al 10%, ya que se dispone de suficientes equipos de estiraje destinados a este tipo de daño.

- Todos los autos de ciclo largo leve se procesan en la cabina de pintura, ya no existe una proporción que se procese en el Plenum.

Por otro lado, las condiciones generales del estado se mantienen iguales a las presentadas en la situación promedio mensual.

- La proporción de vehículos de acuerdo al tipo de daño es de 42% para ciclo largo, 1% PT y 57 % Renault minuto o Ciclo Express.
- La proporción dentro de ciclo largo es de 25% para leve, 63% para medio y 12% para fuerte.
- El mes promedio tiene en total 23.5 días laborables (Sumado las medias jornadas de los sábados)
- El periodo de calentamiento es de 5 días laborables.
- La réplica tiene una duración total de 28.5 días.
- El número de autos que ingresar al taller en este escenario será igual al promedio del 2011, aumentado el 2.5% del incremento en el parque automotor explicado en la propuesta anterior.

Los resultados de las medidas de desempeño para este escenario, se presentan en la tabla a continuación(Apéndice I3):

Medida de desempeño	Promedio	Half Width
Número total de autos procesados	194,08	1,61
Fuerte	10,28	0,89
Medio	54,36	1,69
Leve	21,6	1,28
Renault Minuto	107,83	1,95

Tabla 40. Medidas de desempeño propuesta 2 (ARENA®)

Como se puede apreciar en el cuadro anterior, las medidas son muy similares a la propuesta 1. Esto se debe a que al igual que en la situación anterior, se está aumentando el recurso de cabina de pintura y preparación, con la diferencia de que en este caso, se lo realiza con un segundo medio turno. Al igual que en la propuesta anterior, se realiza una prueba de comparación de medias, para tener un respaldo estadístico de que efectivamente estos resultados son mayores al expuesto en la situación actual. Por tanto, las hipótesis serían:

$$H_0 = \mu_1 - \mu_2 = 0$$

$$H_1 = \mu_1 - \mu_2 > 0$$

Número total de autos atendidos

Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
1	60	194.08	6.23	0.80
2	60	181.37	9.72	1.3

```
Difference = mu (1) - mu (2)
Estimate for difference: 12.71
95% lower bound for difference: 10.24
T-Test of difference = 0 (vs >): T-Value = 8.53 P-Value = 0.000 DF = 100
```

Figura 52. Resultado prueba t número total de autos atendidos (MINITAB®)

Se puede apreciar que existe evidencia estadística que rechaza la hipótesis nula y acepta la alternativa. En este caso se evidencia que existe una diferencia promedio de 12.71 vehículos. Éste resultado era de esperarse ya que la propuesta afecta directamente al número total de vehículos procesados por ciclo largo e indirectamente los de Renault Minuto.

Número de autos ciclo largo fuerte

Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
1	60	10.28	2.44	0.32
2	60	8.93	2.67	0.34

Difference = mu (1) - mu (2)
 Estimate for difference: 1.350
 95% lower bound for difference: 0.576
 T-Test of difference = 0 (vs >): T-Value = 2.89 P-Value = 0.002 DF = 117

Figura 53. Resultado prueba t número de autos ciclo largo fuerte (MINITAB®)

Se puede observar que al igual que en la medida de desempeño anterior, se rechaza la hipótesis nula y se afirma que el escenario propuesto es mayor al actual. Aun cuando las mejoras no han sido enfocadas al ciclo fuerte, el número de autos procesados aumenta gracias a que existe un aumento en la demanda.

Número de autos ciclo largo medio

Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
1	60	54.36	6.54	0.84
2	60	48.93	6.27	0.81

Difference = mu (1) - mu (2)
 Estimate for difference: 5.43
 95% lower bound for difference: 3.49
 T-Test of difference = 0 (vs >): T-Value = 4.64 P-Value = 0.000 DF = 117

Figura 54. Resultado prueba t número de autos ciclo largo medio (MINITAB®)

Se puede ver que existe evidencia estadística que rechaza la hipótesis nula y acepta la alternativa. En este caso existe una diferencia promedio de 5.43 vehículos adicionales que se procesan en la situación propuesta. Éste resultado era de esperarse ya que la propuesta pretende aumentar el número total de autos procesados asignados a éste ciclo, ya que proporcionan los mayores ingresos para la compañía.

Número de autos ciclo largo leve

Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
1	60	21.60	4.95	0.64
2	60	20.45	4.18	0.54

Difference = mu (1) - mu (2)
 Estimate for difference: 1.150
 95% lower bound for difference: -0.237
 T-Test of difference = 0 (vs >): T-Value = 1.37 P-Value = 0.086 DF = 114

Figura 55. Resultado prueba t número de autos ciclo largo leve (MINITAB®)

En este caso, no existe diferencia estadística entre las medias, ya que el valor P es mayor al 0,05 establecido por el nivel de confianza. Esto no es para alarmarse ya que, este tipo de daño es el que genera la menor rentabilidad para la compañía, como se pudo determinar en el capítulo 3.

Número de autos Renault Minuto

Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
1	60	107.83	7.55	0.97
2	60	103.05	6.85	0.88

Difference = mu (1) - mu (2)
 Estimate for difference: 4.78
 95% lower bound for difference: 2.60
 T-Test of difference = 0 (vs >): T-Value = 3.63 P-Value = 0.000 DF = 116

Figura 56. Resultado prueba t número de autos Renault Minuto (MINITAB®)

Se puede apreciar que existe evidencia estadística que rechaza la hipótesis nula y acepta la alternativa. En este caso existe una diferencia promedio de 4.78 vehículos adicionales que se procesan en la situación propuesta. Éste resultado era predecible, debido a que las zonas de preparación y pintura en el Plenum, se utilizarían exclusivamente para los vehículos de ciclo

express, a diferencia del estado actual, en el cual existe un porcentaje de autos de ciclo corto que utilizan dichos recursos.

En la tabla siguiente se aprecia los intervalos de confianza para estas medidas.

Medida de desempeño	L. Inferior	< Promedio >	L. Superior
Número total de autos procesados	192,47	194,08	195,69
Fuerte	9,39	10,28	11,17
Medio	52,67	54,36	56,05
Leve	20,32	21,60	22,88
Renault Minuto	105,88	107,83	109,78

Tabla 41. Intervalo de confianza propuesta 2 (ARENA®)

Del mismo modo, se observa la variación que existe en los indicadores de los cuellos de botella con los observados en la situación actual:

Proceso	Utilización instantánea	Tiempo promedio en cola (Hr)	Número promedio en cola
Cabina de pintura	0,5144	0,63	0,2
Estiraje (Mini Bench)	0,0906	0,01	0
Bancada	0,1409	3,37	0,03

Tabla 42. Indicadores de cuello de botella propuesta 2 (ARENA®)

Se puede notar que el porcentaje de utilización instantánea se encuentra un poco menor al de la situación promedio (0,66), pero sin embargo sigue siendo el mayor de todos los procesos de ciclo largo. Esto quiere decir que sigue siendo el cuello de botella. Sin embargo, los tiempos de espera y el número promedio en disminuyeron notablemente.

Por otro lado, como en el caso de la propuesta 1, los indicadores de los procesos de estiraje disminuyeron considerablemente. Como consecuencia, se puede afirmar que el cuello de botella localizado en este procedimiento se ha eliminado.

En conclusión, sí se podría procesar los 6 autos adicionales para justificar los costos anuales de esta propuesta.

6.4 Comparación de propuestas

A continuación se presenta una tabla comparativa entre las propuestas del proyecto:

	Ventajas	Desventajas
PROPUESTA 1	1. Al aumentar una cabina de pintura, se elimina el cuello de botella y se balancea la línea de producción.	1. El costo de inversión es alto
	2. Se lograría abastecer la demanda actual más el incremento esperado por la empresa, para llegar a la meta de la ruta 2020.	2. Se debe parar el taller (o interrumpir ciertas operaciones) para realizar la instalación y redistribución de layout.
	3. Se reduce la congestión en la zona de pintura y preparación, debido a que disminuye aproximadamente a cero el número de autos en espera por entrar a las cabinas.	3. La inversión se la realizaría para un periodo temporal, ya que se piensa mover las instalaciones en 5 años.
	4. La disposición de las bahías de Renault Minuto, estarían juntas, como recomienda la marca. De esta manera se reduce el flujo de vehículos en la nave.	
	5. A partir del tercer año de cubrir con la inversión, se podría recibir una rentabilidad mínima adicional de \$71,336.	
	6. Al momento de trasladar las operaciones a unas nuevas instalaciones, la empresa ya dispondría de dos cabinas de pintura como establece la marca, en relación al número de autos procesados por mes.	
	7. El tiempo de ciclo de los autos dentro del taller sería menor, aumentando el nivel de servicio	
PROPUESTA 2	1. No se necesita realizar una inversión inicial muy costosa ya que los costos son únicamente los variables.	1. Es una solución temporal ya que no lograría abastecer el crecimiento a largo plazo
	2. No se necesitaría parar las actividades del taller para implementar esta propuesta.	2. No se elimina el cuello de botella en pintura, ya que sólo se asigna una capacidad adicional a este proceso. Es decir, éste sigue siendo el que define el throughput del sistema.
		3. La congestión de vehículos durante el día en el área de pintura, sería la misma.
		4. Existe recargas nocturnas en el salario de los operarios adicionales.
		5. Debido a que en el taller sólo existirían 4 personas trabajando, puede darse situaciones de pérdidas, hurtos, mal entendidos que pueden afectar las relaciones laborales.
		6. Puede existir equivocaciones en la tonalidad del color, que sólo podría ser remediada al día siguiente.
		7. Necesariamente se requiere de una persona que supervise el trabajo, y realice el control de calidad del mismo.
		8. Adicionalmente, la seguridad de los operarios se puede ver comprometida, provocando accidentes laborales <i>initinere</i> .

Tabla 43. Comparación de propuestas

Como se puede observar, la propuesta 1 ofrece un mayor número de ventajas tomando en cuenta que esta requiere de una inversión inicial considerable. Esta vendría a ser la solución al problema del cuello de botella en pintura, el flujo y congestión de vehículos en el taller y los tiempos muertos entre procesos (sin considerar problemas de repuestos). Esta mejora junto a la implementación del sistema de estiraje brindará un cambio significativo en la capacidad de procesamiento del taller a mediano y largo plazo.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- La variabilidad de los procesos dentro del taller es insignificante a comparación de la variación de los daños de cada vehículo. Estos pueden ingresar por un trabajo sencillo como un raspón o una labor compleja como un volcamiento. Es por esto que dentro de cada clasificación de nivel de daño, existe un amplio rango de variabilidad.
- Por medio de los manuales de procedimiento realizados por TallerAuto se entendió el proceso de reparación de los vehículos. Adicionalmente, se validó las actividades desempeñadas en cada una de las áreas y esto permitió identificar las oportunidades de mejora.
- Durante la jornada laboral, se producen diversas pausas en el trabajo de los técnicos por diferentes motivos tales como: falta de repuestos (35.5%), espera por sistema de medición y estiraje(10%), atender varios autos a la vez (25%) y mover autos (25%). Esto provoca una congestión interna que afecta las operaciones de reparación y provoca movimientos innecesarios al momento de trasladar los vehículos entre bahías.
- Con la medición de tiempos de operación, se determina que los que limitan a la producción son: pintura con capacidad de 0.62 autos/hora, medición y estiraje con 0.57 autos/hora y mecánica con 0.41 autos/hora. Tomando en cuenta que todos los autos pasan por el proceso de pintura y en los otros tan solo un porcentaje, se establece a éste como cuello de botella.

- La validación del modelo de simulación se realiza mediante la comparación del número de autos atendidos el mes de diciembre del 2011 (191 autos/mes) y el promedio del año (181 autos /mes) de la base de datos de la empresa, con los reportes de resultados del software.
- La simulación es una herramienta que permitió confirmar los resultados de las mediciones y la definición de los cuellos de botella del sistema de la situación actual:
 - La mayor congestión vehicular se produce en la zona de preparación y pintura debido a que existen varios autos para ser atendidos. Ocasionando un problema al sacar un auto de la cabina e ingresar otro.
 - El tiempo de espera en las bahías de medición y estiraje es excesivo, tomando en cuenta que existen vehículos que requieren de un trabajo menor, incrementando el tiempo de procesamiento.
- Debido a las demoras en el área de Bancada y Mini-Bench, se planteó a la gerencia instalar un sistema de estiraje local en algunas bahías. La cual no esperó a la finalización del proyecto y procedió a su instalación sin ningún análisis para determinar el número de estaciones y el impacto que generaría. De todas maneras, se incluyó estas variables en el modelo de simulación para ver los resultados en los escenarios de las propuestas.
- La propuesta de rediseño de layout incluye los problemas actuales y toma en cuenta el crecimiento a mediano y largo plazo; es decir, elimina el cuello de botella de a cabina de pintura, reduce la congestión en la zona de preparación y procesa 195 vehículos por mes. Mediante la matriz de relaciones, se obtuvo una

valoración cualitativa de la eficiencia del layout del taller (actual y propuesto), basado en adyacencias. El resultado es un incremento del 41% lo que significa un 94% de eficiencia final.

- La propuesta permite reubicar los procesos de preparación y pintura de Renault Minuto, para reducir la congestión, los movimientos, contaminación y re-trabajos.
- Con la propuesta de aumento de un medio turno, se lograría procesar 194 vehículos mensuales frente a los 181 autos promedio actuales. Sin embargo, esta propuesta no elimina el cuello de botella en pintura y no abastece el aumento de demanda a largo plazo, convirtiéndola en una solución temporal.

Recomendaciones

- Es importante que la empresa establezca una política objetiva de valoración de daños que permita clasificar cada vehículo, para realizar una asignación acertada. Actualmente, esta depende del criterio de la persona que la realiza.
- La evaluación y valoración de daños debe ser realizada a profundidad. Con el fin de evitar encontrar daños ocultos, que retrasarán el proceso de reparación por falta de repuestos y aprobación de alcances.
- No se debe ingresar a la nave vehículos en estado “Reparable” si no se tiene la confirmación de la disponibilidad de todos los repuestos y/o la fecha de entrega. Debe existir mayor control en la calificación de cada orden y el stock de repuestos.

- Para esto se sugiere manejar una base de datos compartida entre el departamento de Repuestos y Operaciones, donde se administre el arribo y disponibilidad de los repuestos.
- Contando con una base certera, se debe establecer un procedimiento para asignar el estado de “Reparable” a los vehículos.
- Generar un estado de “Asignado” a los repuestos que ya han sido reservados para una orden.
- Para reducir o eliminar las pausas por la espera de las estaciones de estiraje se recomienda establecer un sistema de asignación de autos que requieren este proceso, desde la etapa de valoración de daños. El objetivo será entregar los autos a las bahías de acuerdo a la disponibilidad de la bancada, Mini-Bench y estaciones de estiraje. Adicionalmente, esta acción reduce la congestión interna ya que evita que los técnicos ingresen vehículos al taller sin terminar órdenes previas.
- Es importante hacer revisiones periódicas del estado de la herramientas y equipos de trabajo para que los técnicos y las bahías estén siempre operativos y no existan pausas por préstamos o disponibilidad. Con lo que respecta al sistema local de estiraje, cada bahía debe contar con el set de partes para su uso.
- Para maximizar el tiempo de utilización de la cabina de pintura, se sugiere instalar un sistema de control de tiempo de secado. Este debería constar de un cronómetro que active una señal luminosa o sonora para indicar al operario el cambio de vehículo. Esta puede activar una señal secundaria previo a la culminación del proceso para que el equipo deje libre la zona de acceso.

- Se debería establecer un sistema de control de tiempos para las actividades de latonería, respaldado en el sistema de evaluación Audatex, proporcionado por las aseguradoras. Esto permitirá hacer una programación más eficiente del trabajo y ajustarse a los estándares propuestos. Las bahías de enderezado, son las únicas áreas que no tienen un estricto control de procesamiento, lo que da lugar a que se tome más tiempo del requerido para la reparación.
- Con la información obtenida en la tabla 43 (Pág, 160) de comparación de propuestas, se recomienda a la empresa invertir en la nueva cabina de pintura y en la reubicación del Plenum. La ventaja más importante es que no solo soluciona el problema actual de operación, sino que también considera el crecimiento de la demanda en los próximos años.
- Evaluar el rediseño del sistema de extracción de la cabina de pintura, ya que está expuesta al aire interno del taller, lo que genera que recircule aire contaminado y afecte a calidad de la pintura. Esto genera un trabajo adicional en el área de pulida. Este cambio se debe tomar en consideración al implementar la propuesta 1.
- Las instalaciones de la cabina y las zona de preparación de la propuesta 1 deben estar diseñadas para maximizar el flujo de aire y reducir los contaminantes o partículas, que afectan la calidad del terminado.
- Es importante que se involucre a los técnicos en los proyectos de mejora continua, ya que de ellos pueden contribuir con ideas, levantar problemas y apuntar a nuevas oportunidades. Esto fomentará un mayor compromiso al momento de ejecutar la propuesta.

- Es importante tomar en cuenta en las proyecciones de demanda y ventas tomar en cuenta el índice de nivel de accidentes en el país y no solo el crecimiento de parque automotor, lo que brindará un dato más acertado de las órdenes que se pueden procesar para ajustar los procesos y realizar mejoras internas.

BIBLIOGRAFÍA

- Adler, P. (2003). *Time and Motion Regained*. Harvard Business School. Boston: Harvard Business School.
- AFHA. (n.d.). Metodología de Muestreo. Retrieved 12 de Enero de 2012 from Centro de Educación Superior Don Bosco:
<<http://www.cesdonbosco.com/cii/documentos/IT%20METODOLOG%C3%8DA%20DE%20MUESTREO.pdf>>
- Álvarez, M. (2011). *Jefe Nacional de Enderezada y Pintura. Reporte financiero Octubre 2011*.
- Ayasa del Ecuador. (2007). *Manual del Trabajador*. Quito.
- Banks, J. (2005). *Discrete-Event system simulation* (4 th Edition ed.). New Jersey: Pearson Prentice Hall.
- Black, J., & Hunter, S. (2003). *Lean Manufacturing Systems and Cell Design*. Dearborn: Society Of Manufacturing Engineers.
- Carrera, D., & Ramírez, D. (2011). *Propuesta de Estandarización del Servicio de Mantenimiento Preventivo Chevrolet con Dos Técnicos para los Modelos Atendidos con Mayor Frecuencia en el Concesionario Automotores Continental S.A. e implementación de prueba de la misma en una Bahía*. Tesis de pregrado, Quito.
- Cisneros, P. (2008). Apuntes de clase Ingeniería Industrial.
- Comisión de Tránsito del Ecuador. (n.d.). *Estadísticas accidentes 2010*. Retrieved 16 de Octubre de 2011 from Comisión de Tránsito del Ecuador: http://www.cte.gob.ec/wp-content/uploads/2011/04/estadisticas_accidentes_2010.pdf
- Delgado, M., & Naranjo, G. (2010). *Propuesta de Estandarización de Tiempos para Mantenimiento Preventivo Chevrolet en los Volume Makers basada en el Levantamiento y Validación de los Temparios Actuales en los Concesionarios: Automotores Continental y Automotores de la Sierra*. Tesis de pregrado, Quito.
- Fundibeq. (n.d.). *Fundación Iberoamericana para la Gestión de Calidad*. Retrieved 28 de Enero de 2012 from ww.fundibeq.com
- Guitierrez, H., & De la Vara, R. (2004). *Control Estadístico de la Calidad y Seis Sigma*. Mexico DF, México: Mc Graw Hill.
- Jaramillo, I. (Marzo de 2012). Entrevista personal - AYASA.

- Martínez, L., & Mera, D. (2011). *Propuesta de Estandarización de los Procesos Administrativos del Taller de Servicios y Optimización de los Procesos de Apoyo del Mantenimiento Preventivo del Taller Matriz de PROAUTO C.A.* Tesis de pregrado.
- Martinez, M. (n.d.). *Diagramas Causa Efecto - Gestión de Calidad*. Retrieved 2 de Febrero de 2012 from www.gestiopolis.com
- Material., S. S. (n.d.). *Six Sigma Material*. (SBI) Retrieved 23 de 11 de 2011 from www.six-sigma-material.com/spaghetti-diagram.html
- Maynard. (1998). *Manual del Ingeniero Industrial*. (Hodson, Ed.) Mexico: Mc Graw Hill.
- Mejía García, B. (2006). *Gerencia de Procesos*. Bogotá: Ecoe Ediciones.
- Metodología DMAIC. (n.d.). Retrieved 16 de Octubre de 2011 from <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/20189/Capitulo2.pdf>
- Merrik, J. (20 de Agosto de 1998). Simulation class PPT. Retrieved 10 de Marzo de 2012 from www.vcu.edu
- Montgomery, D. (2009). *Probabilidad y estadística aplicadas a la ingeniería*. (Vol. 2da edición). Mexico, Mexico: Limusa Wiley.
- Montgomery, D. (2006). *Control estadístico de la calidad*. (Vol. 3ra edición). Mexico, Mexico: Limusa Wiley.
- Montgomery, D. C. (2007). *Diseño y análisis de experimentos*. México: Limusa.
- Moon, D., Cho, H., Kim, H., Sunwoo, H., & Jung, Y. (2006). A case study of the body shop design in an automotive factory using 3D simulation. *International Journal of Production Research*, 44.
- Mundel, M. (1984). *Estudio de tiempos y movimientos* (Vol. 9na Ed.). (F. Ibarra, Trans.) Mexico: Aispuro CECSA.
- Muro, P. (2010). *Los 5 Por Qué*. Retrieved 28 de Abril de 2012 from www.arpcalidad.com
- Niebel, B., & Frievalds, A. (2007). *Ingeniería Industrial Méodos, estándares y diseño del trabajo*. Mexico: Alfaomega.
- Nissan Ecuador - Posventa. (n.d.). Retrieved 2011 йил 5-Febrero from <http://www.nissan.com.ec/sp/web/nscuploader/posventa.html>
- Palacios, L. C. (2009). *Ingeniería de Métodos*. Bogotá: Ecoe Ediciones.

SixSigma. (2005).*SixSigma US*. Retrieved 15 de Octubre de 2011 from SixSigma US:www.6sigma.us

Thompkins, J., White, J., Bozer, Y., & Tanchoco, J. (2006). *Planeación de instalaciones* (3ra Edición ed.). Mexico, DF: Thomson.

El Universo. (17 de Julio de 2011). En diez años el parque automotor creció un 113% y caotizó la ciudad. El Universo .

White, J. A., Case, K. E., & Pratt, D. B. (2010). *Principles of Engineering Economy* (Fifth Edition ed.). USA: Wiley.