



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA  
DE AGUASCALIENTES

CENTRO DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y ADMINISTRATIVAS

TRABAJO PRÁCTICO:

**“Herramientas de manufactura esbelta para la mejora integral del proceso de alineación de llantas en una ensambladora automotriz del estado de Aguascalientes”**

QUE PRESENTA:

***Ivan Jaziel Hernández Méndez***

**PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRÍA EN ADMINISTRACIÓN**

**TUTOR**

**Dr. Salomón Montejano García**

**COMITÉ TUTORAL**

**Dr. Gonzalo Maldonado Guzmán**

**Dra. Margarita Ramírez Ramírez**

**Aguascalientes, Ags., mayo 2023**

## AUTORIZACIONES

### CARTA DE VOTO APROBATORIO INDIVIDUAL

MF. VIRGINIA GUZMAN DIAZ DE LEÓN  
DECANA DEL CENTRO CIENCIAS ECONÓMICAS Y ADMINISTRATIVAS

PRESENTE

Por medio del presente como **TUTOR** designado del estudiante **IVAN JAZIEL HERNÁNDEZ MÉNDEZ** con ID **112463** quien realizó el trabajo práctico titulado: **HERRAMIENTAS DE MANUFACTURA ESBELTA PARA LA MEJORA INTEGRAL DEL PROCESO DE ALINEACIÓN DE LLANTAS EN UNA ENSAMBLADORA AUTOMOTRIZ DEL ESTADO DE AGUASCALIENTES**, un trabajo propio, innovador, relevante e inédito y con fundamento en el Artículo 175, Apartado II del Reglamento General de Docencia doy mi consentimiento de que la versión final del documento ha sido revisada y las correcciones se han incorporado apropiadamente, por lo que me permito emitir el **VOTO APROBATORIO**, para que él pueda proceder a imprimirlo, así como continuar con el procedimiento administrativo para la obtención del grado.

Pongo lo anterior a su digna consideración y sin otro particular por el momento, me permito enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE  
"Se Lumen Proferre"  
Aguascalientes, Ags., a 17 de mayo de 2023.



Dr. Salomón Montejano García  
Tutor de trabajo práctico

c.c.p.- Interesado  
c.c.p.- Secretaría Técnica del Programa de Posgrado

Elaborado por: Depto. Apoyo al Posgrado.  
Revisado por: Depto. Control Escolar/Depto. Gestión de Calidad  
Aprobado por: Depto. Control Escolar/ Depto. Apoyo al Posgrado.

Código: DO-SEE-FD-07  
Actualización: 01  
Emisión: 17/05/19

**CARTA DE VOTO APROBATORIO  
INDIVIDUAL**

**MF. VIRGINIA GUZMAN DIAZ DE LEÓN  
DECANA DEL CENTRO CIENCIAS ECONÓMICAS Y ADMINISTRATIVAS**

**PRESENTE**

Por medio del presente como **ASESOR** designado del estudiante **IVAN JAZIEL HERNÁNDEZ MÉNDEZ** con ID **112463** quien realizó el trabajo práctico titulado: **HERRAMIENTAS DE MANUFACTURA ESBELTA PARA LA MEJORA INTEGRAL DEL PROCESO DE ALINEACIÓN DE LLANTAS EN UNA ENSAMBLADORA AUTOMOTRIZ DEL ESTADO DE AGUASCALIENTES**, un trabajo propio, innovador, relevante e inédito y con fundamento en el Artículo 175, Apartado II del Reglamento General de Docencia doy mi consentimiento de que la versión final del documento ha sido revisada y las correcciones se han incorporado apropiadamente, por lo que me permito emitir el **VOTO APROBATORIO**, para que él pueda proceder a imprimirlo, así como continuar con el procedimiento administrativo para la obtención del grado.

Pongo lo anterior a su digna consideración y sin otro particular por el momento, me permito enviarle un cordial saludo.

**ATENTAMENTE**  
**"Se Lumen Proferre"**  
Aguascalientes, Ags., a 17 de mayo de 2023.

**Dr. Gonzalo Maldonado Guzmán**  
Asesor de trabajo práctico

c.c.p.- Interesado  
c.c.p.- Secretaría Técnica del Programa de Posgrado

Elaborado por: Depto. Apoyo al Posgrado.  
Revisado por: Depto. Control Escolar/Depto. Gestión de Calidad.  
Aprobado por: Depto. Control Escolar/ Depto. Apoyo al Posgrado.

Código: DO-SEE-FQ-07  
Actualización: 01  
Emisión: 17/05/19

**CARTA DE VOTO APROBATORIO  
INDIVIDUAL**


**MF. VIRGINIA GUZMAN DIAZ DE LEÓN**  
**DECANA DEL CENTRO CIENCIAS ECONÓMICAS Y ADMINISTRATIVAS**

PRESENTE

Por medio del presente como **ASESORA** designado del estudiante **IVAN JAZIEL HERNÁNDEZ MÉNDEZ** con ID **112463** quien realizó el *trabajo práctico* titulado: **HERRAMIENTAS DE MANUFACTURA ESBELTA PARA LA MEJORA INTEGRAL DEL PROCESO DE ALINEACIÓN DE LLANTAS EN UNA ENSAMBLADORA AUTOMOTRIZ DEL ESTADO DE AGUASCALIENTES**, un trabajo propio, innovador, relevante e inédito y con fundamento en el Artículo 175, Apartado II del Reglamento General de Docencia doy mi consentimiento de que la versión final del documento ha sido revisada y las correcciones se han incorporado apropiadamente, por lo que me permito emitir el **VOTO APROBATORIO**, para que él pueda proceder a imprimirlo, así como continuar con el procedimiento administrativo para la obtención del grado.

Pongo lo anterior a su digna consideración y sin otro particular por el momento, me permito enviarle un cordial saludo.

**ATENTAMENTE**  
**"Se Lumen Proferre"**  
**Aguascalientes, Ags., a 17 de mayo de 2023.**

  
**Dra. Margarita Ramírez Ramírez**  
**Asesora de trabajo práctico**

c.c.p.- Interesado  
c.c.p.- Secretaría Técnica del Programa de Posgrado

Elaborado por: Depto. Apoyo al Posgrado.  
Revisado por: Depto. Control Escolar/Depto. Gestión de Calidad.  
Aprobado por: Depto. Control Escolar/ Depto. Apoyo al Posgrado.

Código: DO-SEE-FO-07  
Actualización: 01  
Emisión: 17/05/19



DICTAMEN DE LIBERACIÓN ACADÉMICA PARA INICIAR LOS TRAMITES DEL EXAMEN DE GRADO



Fecha de dictaminación dd/mm/aaaa: 19/05/2023

NOMBRE: Hernández Méndez Iván Jaziel ID 112463

PROGRAMA: Maestría en Administración LGAC (del posgrado): Estrategias Empresariales

TIPO DE TRABAJO: ( ) Tesis ( X ) Trabajo Práctico  
 Herramientas de manufactura esbelta para la mejora integral del proceso de alineación de llantas en una ensambladora automotriz del estado de Aguascalientes

TITULO: Mejora de las herramientas y condiciones de trabajo de un proceso en una empresa automotriz, eliminando un cuello de botella existente y logrando la reducción de costos de mano de obra.

IMPACTO SOCIAL (señalar el impacto logrado):

INDICAR	SI	NO	N.A. (NO APLICA)	SEGÚN CORRESPONDA:
<i>Elementos para la revisión académica del trabajo de tesis o trabajo práctico:</i>				
SI				El trabajo es congruente con las LGAC del programa de posgrado
SI				La problemática fue abordada desde un enfoque multidisciplinario
SI				Existe coherencia, continuidad y orden lógico del tema central con cada apartado
SI				Los resultados del trabajo dan respuesta a las preguntas de investigación o a la problemática que aborda
SI				Los resultados presentados en el trabajo son de gran relevancia científica, tecnológica o profesional según el área
SI				El trabajo demuestra más de una aportación original al conocimiento de su área
SI				Las aportaciones responden a los problemas prioritarios del país
SI				Generó transferencia del conocimiento o tecnológica
SI				Cumple con la ética para la investigación (reporte de la herramienta antiplagio)
<i>El egresado cumple con lo siguiente:</i>				
SI				Cumple con lo señalado por el Reglamento General de Docencia
SI				Cumple con los requisitos señalados en el plan de estudios (créditos curriculares, optativos, actividades complementarias, estancia, predoctoral, etc)
SI				Cuenta con los votos aprobatorios del comité tutorial, en caso de los posgrados profesionales si tiene solo tutor podrá liberar solo el tutor
SI				Cuenta con la carta de satisfacción del Usuario
SI				Coincide con el título y objetivo registrado
SI				Tiene congruencia con cuerpos académicos
SI				Tiene el CVJ del Conacyt actualizado
N.A.				Tiene el artículo aceptado o publicado y cumple con los requisitos institucionales (en caso que proceda)
<i>En caso de Tesis por artículos científicos publicados</i>				
N.A.				Aceptación o Publicación de los artículos según el nivel del programa
N.A.				El estudiante es el primer autor
N.A.				El autor de correspondencia es el Tutor del Núcleo Académico Básico
N.A.				En los artículos se ven reflejados los objetivos de la tesis, ya que son producto de este trabajo de investigación.
N.A.				Los artículos integran los capítulos de la tesis y se presentan en el idioma en que fueron publicados
N.A.				La aceptación o publicación de los artículos en revistas indexadas de alto impacto

Con base a estos criterios, se autoriza se continúen con los trámites de titulación y programación del examen de grado: SI  No

FIRMAS

Elaboró:  
 \* NOMBRE Y FIRMA DEL CONSEJERO SEGÚN LA LGAC DE ADSCRIPCIÓN: Dra. Gabriela Citlalli López Torres  
 NOMBRE Y FIRMA DEL SECRETARIO TÉCNICO: Dra. Gabriela Citlalli López Torres  
 \* En caso de conflicto de intereses, firmará un revisor miembro del NAB de la LGAC correspondiente distinto al tutor o miembro del comité tutorial, asignado por el Decano  
 Revisó:  
 NOMBRE Y FIRMA DEL SECRETARIO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO: Dr. Miguel Ángel Ospeca Jagüe  
 Autorizó:  
 NOMBRE Y FIRMA DEL DECANO: M.F. Virginia Guzmán Díaz de León

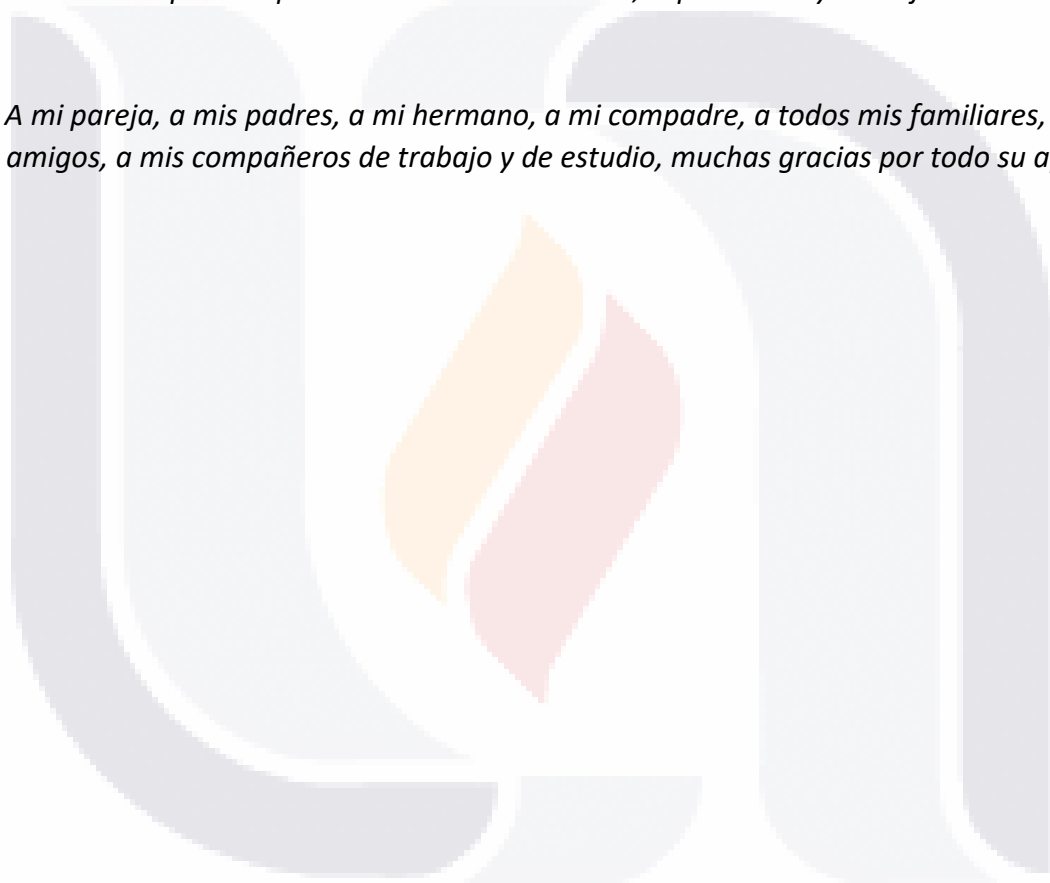
**Nota: procede el trámite para el Depto. de Apoyo al Posgrado**  
 En cumplimiento de lo establecido en el Art. 195C del Reglamento General de Docencia que a la letra señala entre las funciones del Consejo Académico: ... Cuidar la eficiencia terminal del programa de posgrado y el Art. 105F las funciones del Secretario Técnico, llevar el seguimiento de los alumnos.

## AGRADECIMIENTOS

*Dedico estas palabras para agradecer a todas las personas que han estado conmigo durante este proceso, que me han visto caer, pero me han ayudado a levantarme.*

*A mi tutor y a todos mis maestros de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, gracias por compartirme sus conocimientos, experiencias y consejos.*

*A mi pareja, a mis padres, a mi hermano, a mi compadre, a todos mis familiares, a mis amigos, a mis compañeros de trabajo y de estudio, muchas gracias por todo su apoyo.*



## ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE TABLAS Y CUADROS .....</b>	<b>4</b>
<b>ÍNDICE DE GRÁFICOS Y FIGURAS .....</b>	<b>5</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>8</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>9</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>10</b>
<b>CAPÍTULO 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>12</b>
1.1 ANTECEDENTES.....	12
1.2 INDUSTRIA AUTOMOTRIZ EN MÉXICO.....	13
1.2.1 Historia de la manufactura en el país .....	13
1.2.2 Fortalecimiento de la industria y actualidad .....	14
1.3 INFORMACIÓN HISTÓRICA DE LA EMPRESA .....	15
1.3.1 Presencia de la compañía en México.....	15
1.3.2 Delimitación del caso de estudio e historia reciente.....	17
1.4 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA .....	17
1.5 JUSTIFICACIÓN .....	18
1.6 OBJETIVOS.....	19
1.6.1 Objetivo General.....	19
1.6.2 Objetivos Específicos .....	19
1.7 ANÁLISIS SITUACIONAL .....	20
1.7.1 Condiciones Generales de Trabajo .....	20
1.7.2 Infraestructura y equipo .....	22
1.7.3 Condiciones Operativas .....	23

1.7.4	Establecimiento del Tiempo Tacto.....	25
1.7.5	Comparativo de pruebas entre modelos .....	26
1.7.6	Equipo de trabajo multidisciplinario.....	27
<b>CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.....</b>		<b>28</b>
2.1	MANUFACTURA ESBELTA.....	28
2.1.1	Conceptos Básicos de Manufactura Esbelta .....	28
2.1.2	Identificación de Desperdicios.....	30
2.1.3	Herramientas de Manufactura Esbelta.....	32
2.2	PRODUCTIVIDAD .....	34
2.2.1	Conceptos básicos de Productividad .....	34
2.2.2	Esquemas de Productividad.....	35
2.2.3	Medición de la Productividad .....	36
<b>CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA .....</b>		<b>37</b>
3.1	TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	37
3.2	TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN.....	37
3.3	POBLACIÓN CASO DE ESTUDIO .....	39
3.3.1	Limitantes de la Investigación.....	39
3.3.2	Recursos para la Investigación.....	39
3.4	HERRAMIENTAS DE ANÁLISIS.....	40
3.5	ANÁLISIS DE LA CONDICIÓN ACTUAL .....	41
3.5.1	Análisis de 5w2h .....	41
3.5.2	Descripción general de la carga de trabajo.....	43
<b>CAPÍTULO 4. PROPUESTA DE INTERVENCIÓN .....</b>		<b>45</b>
4.1	PUNTO DE PARTIDA DE LA INTERVENCIÓN .....	45



4.1.1	Análisis de Tiempos de Alineación de <i>Head Lamps</i> .....	45
4.1.2	Análisis de Tiempos de Alineación de <i>Front Axle</i> .....	48
4.1.3	Análisis de Tiempos de Alineación de <i>Rear Axle</i> .....	50
4.1.4	Análisis de Tiempos del Equipo de Alineación.....	52
4.1.5	Diagrama de Hombre-Máquina del proceso .....	53
4.2	PROPUESTAS DE MEJORA .....	61
4.2.1	Balanceo de cargas de trabajo.....	62
4.2.2	Eliminación de mediciones de equipo .....	73
4.2.3	Instalación de asistentes y herramientas automáticas.....	77
4.3	EVALUACIÓN DE PROPUESTAS Y DECISIÓN DE MEJOR ALTERNATIVA .....	83
4.3.1	Análisis basado en 4M .....	83
4.3.2	Dificultad de implementación.....	84
4.3.3	Plazo de ejecución .....	85
4.3.4	Nivel de inversión .....	86
4.3.5	Matriz de decisión.....	87
4.4	IMPLEMENTACIÓN Y ESTRATEGIAS DE SEGUIMIENTO.....	91
<b>CAPÍTULO 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>		<b>99</b>
<b>CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES .....</b>		<b>116</b>
<b>CAPÍTULO 7. REFERENCIAS.....</b>		<b>119</b>
<b>CAPÍTULO 8. ANEXOS.....</b>		<b>121</b>
ANEXO A: Listado de plantas de ensamble automotriz en operación en México .....		121
ANEXO B: Criterios de evaluación de Rank Ergonómico .....		122
ANEXO C: Formato de Análisis de Diagrama Hombre-Máquina .....		123
ANEXO D: Formato de Análisis de Patrón de Caminado .....		124

**ÍNDICE DE TABLAS Y CUADROS**

Tabla 1.1: *Comparativo de procesos entre modelos de producción* ..... 26

Tabla 2.1: *Principales herramientas que inciden en la productividad* ..... 33

Tabla 4.1: *Desglose de Tiempos Alineación de Head Lamps* ..... 48

Tabla 4.2: *Desglose de Tiempos Alineación de Front Axle* ..... 50

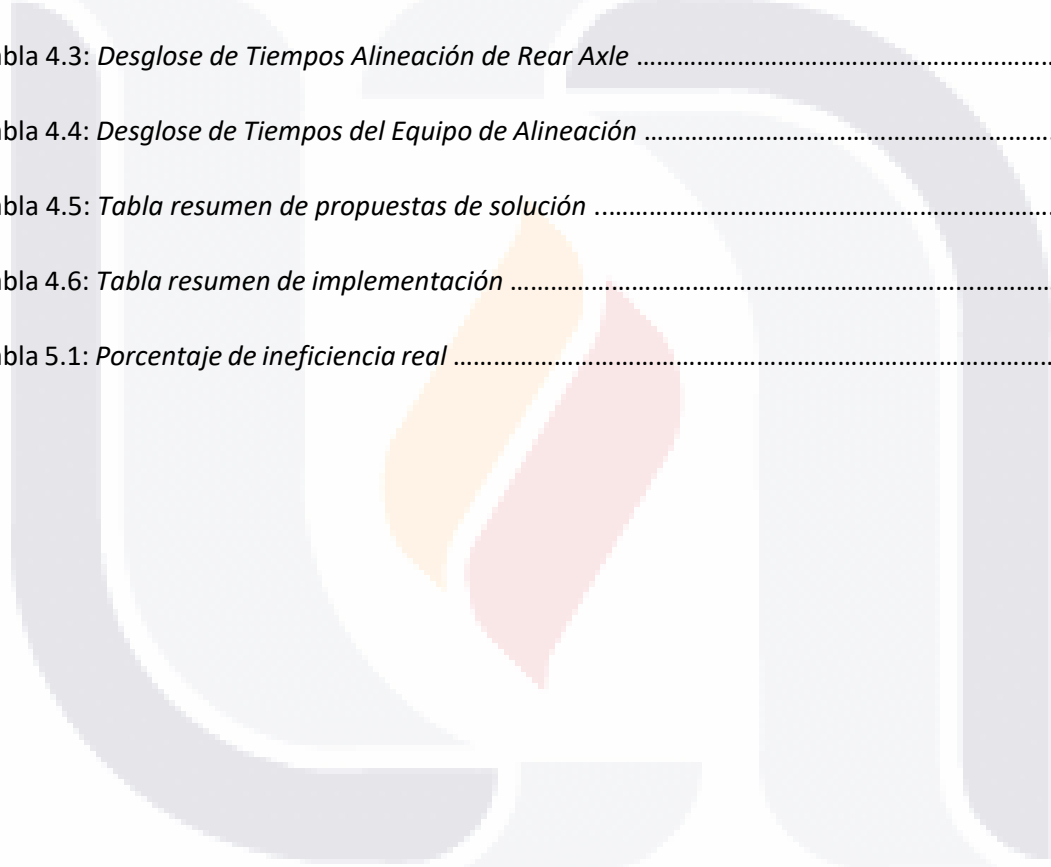
Tabla 4.3: *Desglose de Tiempos Alineación de Rear Axle* ..... 52

Tabla 4.4: *Desglose de Tiempos del Equipo de Alineación* ..... 53

Tabla 4.5: *Tabla resumen de propuestas de solución* ..... 83

Tabla 4.6: *Tabla resumen de implementación* ..... 87

Tabla 5.1: *Porcentaje de ineficiencia real* ..... 112



**ÍNDICE DE GRÁFICOS Y FIGURAS**

Figura 1.1: *Cantidad de plantas ensambladoras en México* ..... 15

Figura 1.2: *Infografía histórica de la compañía en México* ..... 16

Figura 1.3: *Esquema de trabajo 2S3G* ..... 20

Figura 1.4: *Tiempo de producción acumulado* ..... 21

Figura 1.5: *Flowchart Línea de Pruebas* ..... 23

Figura 1.6: *Eficiencia programada de Línea de Pruebas* ..... 24

Figura 1.7: *Organigrama del Equipo de trabajo* ..... 27

Figura 2.1: *Esquema de Valor Agregado y percepción del cliente* ..... 30

Figura 2.2: *Forms of waste* ..... 31

Figura 2.3: *Esquemas de productividad y dificultad de aplicación* ..... 35

Figura 4.1: *Gráfico de Tiempos Head Lamps - operador 1* ..... 45

Figura 4.2: *Gráfico de Tiempos Head Lamps - operador 2* ..... 46

Figura 4.3: *Gráfico de Tiempos Simultáneos Head Lamps* ..... 47

Figura 4.4: *Gráfico de Tiempos Alineador Front Axle* ..... 49

Figura 4.5: *Gráfico de Tiempos Alineador Rear Axle* ..... 51

Figura 4.6: *Gráfico de Tiempos del Equipo de Alineación* ..... 53

Figura 4.7: *Diagrama Hombre-Máquina del proceso de Alineación - parte 1* ..... 54

Figura 4.8: *Diagrama Hombre-Máquina del proceso de Alineación - parte 2* ..... 55

Figura 4.9: *Porcentaje de utilización de la mano de obra* ..... 56

Figura 4.10: *Gráfico de cargas de trabajo contra tiempo tacto* ..... 57

Figura 4.11: *Gráfico de tiempo ciclo contra tiempo tacto* ..... 58

Figura 4.12: *Diagrama de tiempos estación de alineación* ..... 59

Figura 4.13: *Flujo de proceso en diagrama de tiempos* ..... 59

Figura 4.14: *Alcance de propuestas de mejoras* ..... 61

Figura 4.15: *Carga de trabajo de ambas fosas* ..... 63

Figura 4.16: *Sumatoria de cargas de trabajo por fosa* ..... 64

Figura 4.17: *Carga de trabajo combinada* ..... 65

Figura 4.18: *Esquema de operación propuesto con balanceo de cargas de trabajo* ..... 65

Figura 4.19: *Diagrama Hombre-Máquina propuesto por balanceo* ..... 67

Figura 4.20: *Análisis de desplazamientos Front Axle* ..... 69

Figura 4.21: *Análisis de desplazamientos Rear Axle* ..... 71

Figura 4.22: *Estimación de tiempos – Alineador Front Axle* ..... 73

Figura 4.23: *Estimación de tiempos – Alineador Rear Axle* ..... 74

Figura 4.24: *Estimación de tiempos – Equipo de alineación* ..... 75

Figura 4.25: *Diagrama Hombre-Máquina propuesto para 1 giro* ..... 76

Figura 4.26: *Concepto de mejora de postura por brazo de reacción* ..... 78

Figura 4.27: *Revisión de especificaciones de herramientas* ..... 79

Figura 4.28: *Diagrama Hombre-Máquina propuesto con brazo de reacción* ..... 81

Figura 4.29: *Estimación de tiempos – Reingeniería de subensamble* ..... 82

Figura 4.30: *Matriz de decisión* ..... 89

Figura 4.31: *Selección de mejor alternativa* ..... 90

Figura 4.32: *Plan general de trabajo – parte 1* ..... 91

Figura 4.33: *Plan general de trabajo – parte 2* ..... 92

Figura 4.34: *Esquema propuesto de seguimiento* ..... 93

Figura 4.35: *Esquema de sesiones semanales* ..... 94

Figura 4.36: *Ejecución del plan de trabajo – parte 1* ..... 95

Figura 4.37: *Ejecución del plan de trabajo – parte 2* ..... 95

Figura 4.38: *Instalación completa de la herramienta* ..... 96

Figura 4.39: *Retroalimentación directa en el proceso* ..... 97

Figura 5.1: *Reducción de tiempos de proceso* ..... 100

Figura 5.2: *Tiempos de proceso contra tiempo tacto objetivo* ..... 101

Figura 5.3: *Esquema de ubicación de analistas* ..... 104

Figura 5.4: *Tiempo de proceso Prueba Máxima Capacidad* ..... 105

Figura 5.5: *Tiempo ciclo del operador bajo piso* ..... 106

Figura 5.6: *Tiempos de ajustes 1 y 2* ..... 108

Figura 5.7: *Tiempos de operación de equipo: primer y segundo giro* ..... 109

Figura 5.8: *Resultados de eficiencia de la prueba* ..... 110

Figura 5.9: *Porcentaje de recheck por estación* ..... 114

## RESUMEN

El desarrollo de este trabajo tiene como principal objetivo aplicar los conceptos básicos de la ingeniería industrial en conjunto con las herramientas propias de la metodología de la manufactura esbelta para analizar, proponer, evaluar y poner en marcha las actividades requeridas para reducir el tiempo de procesamiento de una estación de trabajo en particular que sobrepasa el tiempo tacto establecido, aún con un alto nivel de desaprovechamiento de la mano de obra, generando un cuello de botella que obstruye el flujo continuo de la producción en una planta de ensamble automotriz.

Por este motivo, en la investigación se emplean múltiples herramientas que permiten la generación y evaluación de tres diferentes propuestas de solución, que sustentan la toma de decisiones durante el desarrollo de este proyecto, realizado en sinergia con un equipo de trabajo multidisciplinario, así como con el soporte de la alta gerencia de la planta; resultando en la instalación de nuevas herramientas semiautomáticas directamente en las líneas de pruebas.

Una vez concluida la intervención, se evaluaron las nuevas condiciones de operación mediante una prueba diseñada para tal motivo, donde se logró corroborar la mejora de tiempos y una serie de beneficios asociados, en términos de calidad, productividad y ergonomía.

No obstante, aunque se logra cumplir el tiempo tacto, la investigación revela y hace evidente la influencia de otros elementos que intervienen en el cumplimiento al volumen de producción, como el índice de eficiencia real del proceso, asociado a factores de calidad de la proveeduría y de la propia manufactura y que deberán ser estudiados con mayor detalle en el futuro.

## ABSTRACT

The main objective while developing this case study is to apply Industrial Engineering basic concepts in conjunction with proper Lean Manufacturing tools, in order to analyze, suggest, evaluate and encourage the required activities to reduce the process time in a particular workstation that is not achieving the established takt time, even with a high level of current manpower being underutilized, generating a bottleneck for the continuous production in an automotive assembly plant.

Therefore, in this research, multiple tools are employed to generate and evaluate three different alternatives, which support the decision-making processes during the development of this project, accomplished in synergy with a workgroup of specialists from separate functional areas of the company, as well as the assistance from executive management, resulting on new semiautomatic tools installation right at the vehicle testing lines.

Once completed the intervention, the new operational conditions were evaluated with a test run specially designed for this purpose, where the process time improvement was confirmed, along with a series of other advantages referred to quality, productivity and ergonomics.

Nevertheless, even so the takt time is reached in the workstation, the outcome report reveals and proves the influence of the other elements involved in production volume achievement, such as the actual process efficiency being affected by both supplied parts and manufacturing quality concerns; for that matter, deeper analysis must be carried out in the near future.

## INTRODUCCIÓN

Contrario a la expectativa de crecimiento prevista hace algunos años para la Industria Automotriz en México y derivado de la incertidumbre en los mercados y las crisis económicas como efectos desencadenados por la emergencia sanitaria por el COVID-19 de manera global, generadas principalmente por restricciones sanitarias, legislaciones aduanales, retrasos en la entrega de materiales, escasez de componentes, entre otras; han ocasionado que las condiciones del mercado automotriz se tornen muy volátiles; tanto, que, en general han mermado las ventas y producción de vehículos en los últimos años, por lo cual, los planes de producción y proyecciones de venta establecidos sufren replanteamientos y adaptaciones constantemente, en función de los diversos factores que intervienen a lo largo de la cadena de valor.

Bajo estas condiciones adversas, empresas de todos los sectores productivos y de servicios, se han dado a la tarea de buscar la manera de continuar compitiendo en el mercado, por lo que el mayor aprovechamiento de los recursos con los que disponen, sean económicos, tecnológicos, de infraestructura, materiales y principalmente mano obra, se vuelve crucial; por ello, es necesario poner en práctica los métodos que permitan detectar y analizar los procesos a detalle, buscando su optimización para mantener a flote el negocio.

Para acercarse a los niveles óptimos de operación, las empresas tienen la posibilidad de fundamentar sus esfuerzos de mejora en herramientas y metodologías estandarizadas, que ya han sido probadas y documentadas durante décadas con resultados sobresalientes, principalmente en la Industria Automotriz a nivel mundial, y que hasta la fecha, se considera relevante su conocimiento y aplicación; ya que estas herramientas pueden ser fácilmente adaptadas a cualquier entorno, siempre con el objetivo de estudiar y mejorar la condición existente de los procesos en empresas de todo tipo.

En este sentido, el concepto de Manufactura Esbelta tiene como principal objetivo adelgazar los procesos en las organizaciones hasta su punto óptimo, donde los flujos de materiales, información, energía y otros recursos viajen de la manera más lineal y continua posible, sin obstrucciones ni fugas en el trayecto, aprovechando además la mayor capacidad de los canales por los que circulan a lo largo de toda la cadena de valor.



Para ello, de la mano de los principios básicos de la Ingeniería Industrial, se han desarrollado una serie de herramientas y metodologías estandarizadas capaces de estudiar, analizar, medir y evaluar los problemas existentes en las organizaciones, basándose en conceptos como el Valor Agregado para identificar las actividades esenciales de transformación y encaminar las actividades de mejora a reducir o eliminar por completo todos aquellos desperdicios que se logran evidenciar en los procesos productivos y de servicios.

Aunque la gran mayoría de las herramientas de manufactura esbelta tienen su origen entre las líneas de producción de una compañía automotriz japonesa, su contribución a esta y otras industrias y sectores económicos ha sido tan valiosa que evolucionaron de sólo ser un sistema de producción en una empresa automotriz, hasta convertirse en una filosofía de gestión empresarial (*Lean Management*); misma, que ha llevado a un incontable número de empresas en todo el mundo a niveles de excelencia operacional; sin embargo, como lo dicta el principio de la mejora continua: la condición de mejora se habrá de convertir en la peor condición existente; es decir, siempre existirán oportunidades de seguir mejorando cualquier condición.

De esta manera, el presente proyecto está encaminado a la implementación de herramientas de análisis propias de la manufactura esbelta, que permitan generar soluciones a los problemas existentes en una estación de trabajo dedicada al ajuste y alineación de llantas dentro de una ensambladora automotriz del estado de Aguascalientes; buscando una mejora integral, que pretende incrementar la capacidad real de la estación, permitiendo cumplir la demanda de volumen requerido y como consecuencia, sea posible reducir los costos de mano de obra, garantizando los niveles de calidad requeridos y mejorando la ergonomía de la operación con la finalidad de contribuir al alcance de los objetivos de producción, costos, calidad y seguridad en la división de manufactura de la compañía.

## CAPÍTULO 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1 ANTECEDENTES

Si bien la teoría es fundamental para sustentar las técnicas y herramientas utilizadas para la resolución de problemas, es mediante los trabajos tipo estudio de caso en los que es posible corroborar y documentar su implementación bajo condiciones reales, generando conclusiones con un cierto nivel de validez, ya que no es posible generalizar del todo los conocimientos derivados de sus resultados, puesto que éstos dependen de las particularidades de cada caso, como los que se revisan a continuación:

Mediante su estudio de caso, Santoyo Ortega (2008), desarrolla la aplicación de diversas herramientas de mejora bajo los principios del modelo *PDCA* tradicional contra el *DMAIC* en una compañía de manufactura de productos electrónicos, con la finalidad de comparar los resultados de la aplicación de cada uno de estos modelos de gestión, apoyado por herramientas de Manufactura Esbelta y de *Six Sigma*; como resultado, se obtiene que el uso de cualquiera de estos modelos ofrece resultados muy similares en cuanto al impacto en las mejoras y por consiguiente, se propone el desarrollo de un nuevo modelo que combina ambos sistemas de gestión aprovechando las bondades prácticas de las herramientas *Lean* y la precisión estadística de las herramientas de *Six Sigma*, con la peculiaridad que tiene como último paso del nuevo ciclo de mejora, la horizontalidad para replicar las actividades mejoradas y estandarizadas hacia todos los niveles de la organización.

Así mismo, Arévalo Barrera y Parreño Marcos (2020) mejoran los procesos de una compañía fabricante de ladrillos, donde a través del uso de las herramientas *Lean*, se logró eliminar los desperdicios y reducir los costos unitarios de fabricación de la compañía, incrementando su rendimiento; aunque existieron herramientas que no fue posible su aplicación debido al corto tiempo de intervención y las inversiones requeridas, que la empresa en ese momento no pudo costear.

Por su parte, Gómez Cando (2021), propone estrategias de identificación de desperdicios en los servicios de mantenimiento de un taller matricero y principalmente la implementación del modelo de gestión *GENBA P<sup>2</sup>CH*, monitoreando los indicadores clave de rendimiento y de habilidad,

obteniendo beneficios de reducción significativa de costos, así como la reducción de tiempos de entrega y una mejora en el nivel de servicio.

Hablar de manufactura esbelta, es hablar entonces de una serie de herramientas y métodos establecidos de manera general encaminados al mismo objetivo: la optimización de los recursos con los que una empresa genera valor a sus productos, reduciendo sus desperdicios al mínimo para maximizar sus rendimientos. Una de las mayores bondades de esta metodología es que es adaptable y aplicable a cualquier proceso productivo y/o de servicios de cualquier empresa, en cualquier ramo o industria y en cualquier lugar del mundo.

En este caso, se utilizarán herramientas de esta metodología, surgida en la industria automotriz para optimizar procesos en una importante compañía de ese mismo sector productivo.

## 1.2 INDUSTRIA AUTOMOTRIZ EN MÉXICO

### 1.2.1 Historia de la manufactura en el país

La manufactura de vehículos en México tiene cerca de 1 siglo de existencia, teniendo su origen con la llegada de la primera planta de Ford en 1925 a la Ciudad de México, fabricando su icónico Modelo "T". En los años posteriores se unen a su llegada General Motors en 1937 y Chrysler en 1938 con sus plantas de fabricación también ubicadas en la Ciudad de México. Estas serían las únicas armadoras en el país hasta la década de 1960, cuando iniciaron operaciones las nuevas plantas de Ford (Estado de México) en 1964, Nissan (Morelos) en 1966, Volkswagen (Puebla) en 1967 y Chrysler (Estado de México) en 1968; cabe mencionar que, en 1951, el Gobierno Federal, a través de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público, constituye la empresa paraestatal Diesel Nacional, aunque su operación está orientada a la fabricación de autobuses de transporte colectivo urbano y foráneo, así como camiones de carga.

En 1981 se suma a la producción automotriz una nueva planta de General Motors en el estado de Coahuila y Ford hace lo propio con el inicio de operaciones de su nuevo complejo de manufactura en el estado de Sonora. Por su parte, Nissan arranca la producción de vehículos en Aguascalientes en 1992, donde ya llevaba diez años de operación, fabricando principalmente los motores y componentes de su marca. En 1995, tres compañías establecen nuevas plantas en el país,

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

nuevamente General Motors y Chrysler, ahora en Guanajuato y Coahuila respectivamente; así como la incorporación a la manufactura en el país de Honda, ubicada en Jalisco.

Para el año 2004, en el estado de Baja California Norte, inició su producción la primera planta de Toyota en territorio nacional y cuatro años más tarde, una vez más General Motors, comienza a fabricar vehículos desde su nueva planta en San Luis Potosí. Durante este periodo y precisamente en el año 2008, se suscitó una severa crisis financiera internacional, atribuible principalmente a los problemas hipotecarios en Estados Unidos, que paralizó prácticamente la economía a nivel mundial, donde por supuesto, la Industria Automotriz resultó entre las más afectadas, a tal grado que se hablaba de periodos de recuperación muy lentos y a largo plazo, principalmente en México.

#### 1.2.2 Fortalecimiento de la industria y actualidad

Contra todo pronóstico y ante las especulaciones más pesimistas que surgieron posterior al gran colapso económico de 2008, la industria y la manufactura automotriz en México logró rehabilitarse en muy poco tiempo y ha logrado resurgir con mucha más fuerza que nunca, puesto que, cada vez más compañías extranjeras, incluso de vehículos denominados de alta gama, han decidido realizar sus inversiones en complejos de manufactura en distintas zonas del país, motivados por la calidad de la mano de obra mexicana, así como por la localización geográfica y los beneficios logísticos y de libre comercio con el gran mercado que representa América del Norte. Tal es el caso, que tan sólo durante la última década, se han establecido el 45% de las plantas que operan en el país al día de hoy, tomando en cuenta que las tres primeras plantas establecidas en la Ciudad de México ya han sido demolidas y ahora albergan diferentes construcciones como centros comerciales, oficinas corporativas y complejos de vivienda.

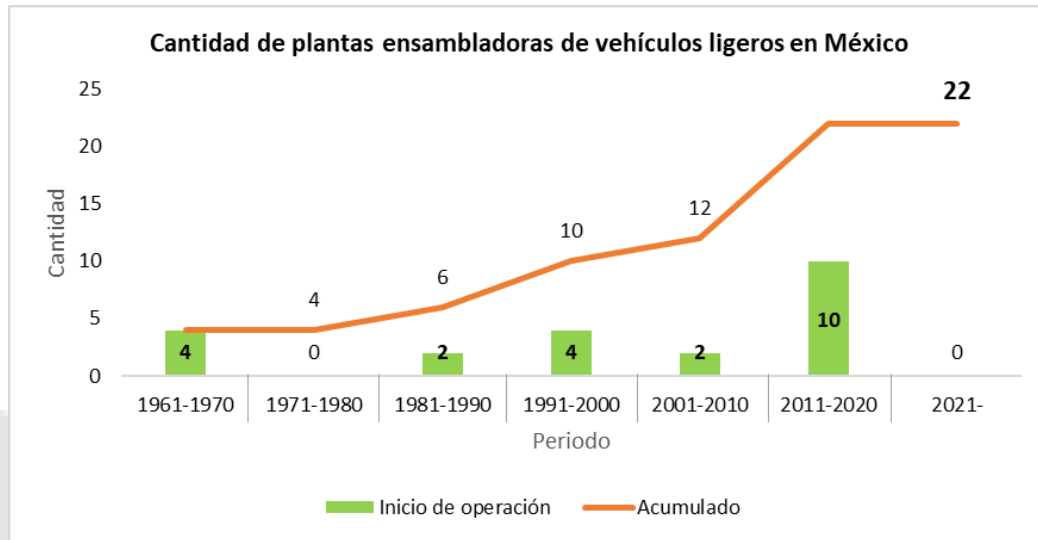


Figura 1.1: Cantidad de plantas ensambladoras en México.  
Fuente: Elaboración propia con base en la investigación (2021).

En la Figura 1.1, puede verse el fenómeno mencionado con anterioridad, en el que diez de las veintidós plantas ensambladoras que operan actualmente en el país, han iniciado su operación en el periodo de 2011 a 2020, marcando una tendencia al alza de inversión extranjera, principalmente de origen asiático y que ha sido frenada en los últimos años por los efectos de la emergencia sanitaria del COVID-19; que de inicio, paralizaron durante algunos meses toda actividad productiva considerada no esencial de acuerdo a las restricciones del Gobierno Federal, así como las diferentes restricciones de los gobiernos en todo el mundo. A raíz de este suceso, aún existen bastantes complicaciones para estabilizar los mercados y principalmente la cadena de suministros de materiales dentro de la industria, por lo que esta incertidumbre ha sido probablemente uno de los principales factores que no ha permitido que se concreten nuevos proyectos de manufactura automotriz en el país.

### 1.3 INFORMACIÓN HISTÓRICA DE LA EMPRESA

#### 1.3.1 Presencia de la compañía en México

Si bien la manufactura de vehículos en México data desde la década de 1920; las operaciones de la compañía caso de estudio, han tenido presencia en México desde 1959, constituyéndose legalmente en el país dos años más tarde. Sin embargo, no fue sino hasta 1966 que incursiona en

la manufactura de vehículos en este país, iniciando operaciones en la que sería la primera planta de fabricación fuera de su país de origen.

A principios de la década de 1980, la compañía apostaría por expandir sus operaciones de manufactura y en 1982 inicia operaciones la primer y única planta de motores de su marca en el país, esta vez ubicada en el estado de Aguascalientes; diez años después se expandiría el complejo contiguo para albergar la segunda planta de vehículos, misma que con los años se convertiría en un referente de la manufactura para la marca y daría paso a una nueva inversión, que en 2013 se materializó con el inicio de operaciones de una nueva planta ensambladora en el estado, atendiendo principalmente la demanda de vehículos para los mercados de exportación.

Actualmente, la compañía cuenta con una ensambladora más en Aguascalientes, dedicada a la fabricación de vehículos correspondientes a la marca *premium*, cuyo complejo de fabricación se comparte en una alianza estratégica con otro fabricante de capital alemán.



Figura 1.2: Infografía histórica de la compañía en México.  
Fuente: Elaboración propia con base en la investigación (2021).

La Figura 1.2 muestra en orden cronológico los sucesos más relevantes del establecimiento de la compañía en México, así como el inicio de operación de sus complejos de manufactura a través del tiempo.

### 1.3.2 Delimitación del caso de estudio e historia reciente

El presente trabajo se realizará en las instalaciones de una planta de fabricación de vehículos en el estado de Aguascalientes, concretamente, en una estación de ajustes posterior al ensamble de los vehículos. En línea con las estrategias de actualización del catálogo de productos de la compañía, a finales del 2019, se definió el arranque de la producción masiva de un nuevo modelo para mercado doméstico y de exportación. Junto con el nuevo diseño del producto, los procesos de manufactura también han tenido que ser renovados y adaptados para atender los nuevos requerimientos del ensamble del vehículo, afrontando un reto sin precedentes en la adecuación de los procesos de producción, puesto que supone la competencia del producto en un segmento superior al de fabricación habitual.

Además, a raíz del cambio generacional del producto, las expectativas de ventas para los primeros años, superó la producción de la planta, que, en ese entonces, ya operaba a máxima capacidad; por lo que las principales inversiones giraron en torno al ajuste de las líneas de producción para incrementar la capacidad de producción, derivando en la integración y renovación de equipos, herramientas y métodos; así como un ajuste a la cantidad de mano de obra requerida.

### 1.4 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Como consecuencia de la innovación en el diseño y adopción de nuevas tecnologías tanto en el producto, como en los procesos de producción y confirmación de calidad, surgen una serie de problemas que deben ser atendidos en función de los objetivos de volumen de producción y costos, donde la cantidad de mano de obra juega un papel relevante, puesto que la directriz marcada por la alta gerencia es obtener el mayor aprovechamiento de este recurso; siendo así, que se vuelve necesario estudiar estos problemas y emprender acciones que permitan alcanzar el cumplimiento de los cada vez más exigentes requerimientos del mercado en términos de cantidad y calidad, buscando mantener la competitividad del negocio aún en condiciones adversas, anteponiendo en todo momento la seguridad e integridad física de los colaboradores.

De esta manera, parte de los cambios en el producto son la incorporación de nuevos sistemas electrónicos que requieren nuevas confirmaciones de funcionamiento; así como la sustitución de algunos componentes por otros más complejos; tal es el caso de la suspensión trasera del

vehículo, en la que ahora es necesario la realización de ajustes y puesta a punto. Esto tiene un impacto directo sobre la estación de trabajo de este caso de estudio, puesto que dichos cambios han incrementado los tiempos de procesamiento y por consiguiente, la capacidad de las estaciones se ha mermado, generando un cuello de botella en la estación.

Así mismo, desde el inicio de la producción del modelo actual, los pronósticos de venta tenían previsto llevar la nueva capacidad de la planta a tope, por lo que se planearon los recursos para este escenario; sin embargo, debido a diversos factores externos, el sistema de producción se ha tenido que adaptar constantemente a la demanda requerida y se ha observado que la condición real del proceso de ajuste/alineación no tiene la capacidad de procesar la cantidad de unidades requerida, por lo que se han realizado estudios previos que han evidenciado la condición de incumplimiento. Al mismo tiempo, se han generado muchos cuestionamientos sobre el presupuesto y el aprovechamiento de la mano de obra en esta estación; puesto que para cumplir con la demanda de producción, ha sido necesario de manera recurrente el pago de tiempo extra entre turnos de trabajo y en días no programados para producción, lo cual repercute directamente en sobrecostos de mano de obra, así como fatiga en el personal operativo y mayor utilización de recursos, como energéticos y equipos, con el desgaste que esto representa, ya que, al habilitar tiempo de producción adicional, el tiempo de mantenimiento predictivo se ve mermado, con los riesgos que esto conlleva.

## 1.5 JUSTIFICACIÓN

Derivado de la condición de incumplimiento al volumen de producción, se generó la necesidad del análisis que se expone en este caso, donde se planteó como premisa por parte de la dirección de planta, garantizar que la operación pueda operar a la máxima capacidad instalada, buscando, además, minimizar la utilización de los recursos.

Si bien el problema antes descrito ya ha sido estudiado con anterioridad por las diversas áreas de la planta, no se ha logrado la ejecución de las actividades por falta de seguimiento; por un lado las condiciones operativas han tenido cambios constantes en los últimos años, lo que ha concentrado los esfuerzos de la organización en adecuar la producción a los volúmenes requeridos; por otro lado, surgen constantemente proyectos de cambios de ingeniería y adopciones de partes que



deben ser atendidas con prioridad ante las regulaciones y cambios de año modelo, entre otras actividades demandantes propias de la industria; mismas que no han permitido la atención requerida para la mejora de la productividad en la línea de pruebas.

Así pues, aunque las condiciones operativas han mitigado un poco el problema de capacidad de la estación del estudio, éste no se ha resuelto, puesto que la cantidad de mano de obra se ha mantenido, con tiempos de operación fuera de los esperados, agravando la situación en tema de costos y cumplimiento al volumen de producción; por lo tanto, la alta gerencia de planta ha decidido retomar y dar soporte a este proyecto para identificar las áreas de oportunidad e implementar la mejor alternativa a largo plazo.

La propuesta de intervención, tiene como finalidad aplicar los conocimientos previos y desarrollados durante el programa de estudios de este posgrado para la solución de un problema existente en una compañía ensambladora automotriz del Estado de Aguascalientes, mediante la implementación de herramientas de la metodología de manufactura esbelta, que permitan estudiar y analizar los principales factores que merman la capacidad real del proceso de alineación de llantas; así como generar, proponer, evaluar, gestionar y dar seguimiento al proceso de mejora para adaptar las condiciones operativas, encaminadas a minimizar los costos generados por la mano de obra e incrementar el aprovechamiento de la capacidad instalada de los equipos de la estación de trabajo, cumpliendo con los requerimientos de calidad y producción.

## 1.6 OBJETIVOS

### 1.6.1 Objetivo General

Generar, evaluar y gestionar alternativas de solución para mejorar el proceso de ajuste/alineación de llantas, mediante el análisis de las operaciones y aplicación de herramientas propias de la manufactura esbelta.

### 1.6.2 Objetivos Específicos

- Analizar y evaluar las condiciones actuales de la estación de trabajo de ajuste/alineación.
- Generar alternativas de mejora del proceso evaluado.

- Gestionar y dar seguimiento a las contramedidas propuestas.
- Mejorar los tiempos de operación mediante la aplicación de herramientas de Manufactura Esbelta (incrementar la capacidad de proceso actual).
- Reducir los costos de mano de obra de los procesos de ajuste y alineación de llantas.
- Mejorar las condiciones de trabajo y ergonomía en la estación (reducción de fatiga).

## 1.7 ANÁLISIS SITUACIONAL

### 1.7.1 Condiciones Generales de Trabajo

Es de suma importancia que se conozcan los esquemas de trabajo, puesto que éstos definen el tiempo disponible de operación, que será relevante para determinar la capacidad efectiva de producción de la planta, así como para las mediciones de capacidad real.

Actualmente, como lo muestra la Figura 1.3, la planta cuenta con un esquema de trabajo denominado 2S3G (por sus siglas en inglés: 2 Schedules, 3 Groups), que consiste en la operación de lunes a sábado mediante tres grupos de trabajo distribuidos a lo largo de la semana, en dos turnos por día (diurno/nocturno); dejando disponible un día por semana para trabajos de mantenimiento, acondicionamiento de instalaciones, pruebas funcionales y/o actividades de mejora que no serían posibles realizar durante los días de producción normal.

Turno / Día	L	M	M	J	V	S	D
Diurno	Gpo. A	Gpo. A	Gpo. A	Gpo. A	Gpo. C	Gpo. C	MTTO
Nocturno	Gpo. C	Gpo. C	Gpo. B	Gpo. B	Gpo. B	Gpo. B	

Figura 1.3: Esquema de trabajo 2S3G.  
Fuente: Elaboración propia con base en la investigación (2021).

Así mismo, para la correcta operación y puesta a punto de los equipos y herramientas de la planta, todos los días se tiene contemplado el tiempo de paro de mantenimiento preventivo, con lo que se reduce el tiempo que el personal operativo se encuentra en la planta.

Durante el tiempo que el personal operativo se encuentra en la planta, se tienen asignados tiempos muertos rutinarios a lo largo de la jornada, destinados principalmente a la alimentación

del personal; así como tiempos de comunicación, donde se reciben instrucciones y tiempos de realización de 5's en general.

Debido a estas condiciones, la planta cuenta con un tiempo disponible total de 20.45 horas, equivalentes a 1227 minutos para la producción a lo largo de cada día de trabajo; mismos, que serán la base para determinar el tiempo requerido de fabricación de cada unidad en función a la demanda de producción y a su vez, están sujetos a la merma causada por falla de equipos, paros no programados, paros por seguridad, atrasos de operación, confirmaciones extraordinarias de calidad, entre otros factores que puedan entorpecer el ritmo de producción.

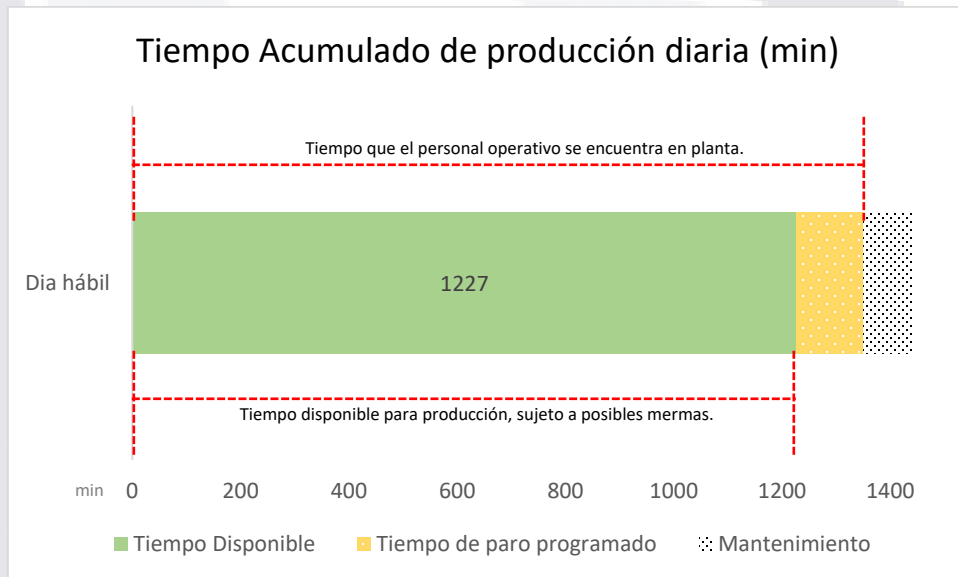


Figura 1.4: *Tiempo de producción acumulado.*  
 Fuente: Elaboración propia con base en la investigación (2021).

La Figura 1.4 muestra el desglose de tiempos de un día hábil de trabajo explicado con anterioridad, donde la suma de 1227 minutos de tiempo disponible para producción más tiempo de paro programado y de mantenimiento, corresponde a los 1440 minutos que integran un día natural.

Adicionalmente, como estrategia de la planta para garantizar el cumplimiento del volumen diario, se considera un margen de 5% del tiempo disponible (ineficiencia), con la finalidad de anticipar eventos de merma de producción antes descritos, considerándose el tiempo restante como eficiencia operativa programada (95 %) y que será base para el cálculo del Tiempo Tacto.

Tanto la demanda, como la eficiencia operativa programada son constantes que pueden variar de acuerdo con las estrategias de la compañía; principalmente la eficiencia puede tener diferentes valores para líneas o procesos que pudieran tener condiciones especiales de operación, independientemente del valor general de la planta. Tal es el caso de la línea de pruebas vehiculares, de la que forma parte la estación de trabajo de este caso.

Las variaciones en estos dos factores mencionados, suponen cambios en el tiempo tacto, mismo que determina el establecimiento de las cargas de trabajo en los procesos, que, a su vez, significa la cantidad de personal requerido para la operación y se traduce a los costos de mano de obra para la fabricación.

Para efectos de este trabajo, todos los valores que hagan referencia a mediciones de tiempo, se expresarán utilizando el minuto como unidad de medida, con números enteros y decimales hasta las centésimas.

#### 1.7.2 Infraestructura y equipo

La estación de ajustes/alineación de llantas pertenece a la línea de pruebas vehiculares, que es administrada por el departamento de Calidad Vehicular; le antecede la línea principal de ensambles y se encuentra previo a la evaluación de pruebas dinámicas en la pista de pruebas de la planta; así mismo, esta estación se conforma por un espacio delimitado por una fosa que permite el acceso a los ajustes y donde físicamente sólo es posible procesar un vehículo a la vez. Debido esta limitante de infraestructura, este proceso de pruebas ahora se divide en dos líneas idénticas y el por parte del Dpto. de Ingeniería Industrial se ha asignado una plantilla de cuatro operadores por línea (dos a nivel de piso y dos en fosa) para realizar esta operación en la estación de ajustes; la cual consiste en la interacción constante entre mediciones de parámetros por parte del equipo y el ajuste mediante el uso de herramientas manuales como llaves españolas y torquímetros.

En el Figura 1.5, pueden observarse los procesos que intervienen en la línea de pruebas, así mismo, se delimita el alcance de este trabajo en la estación antes mencionada.

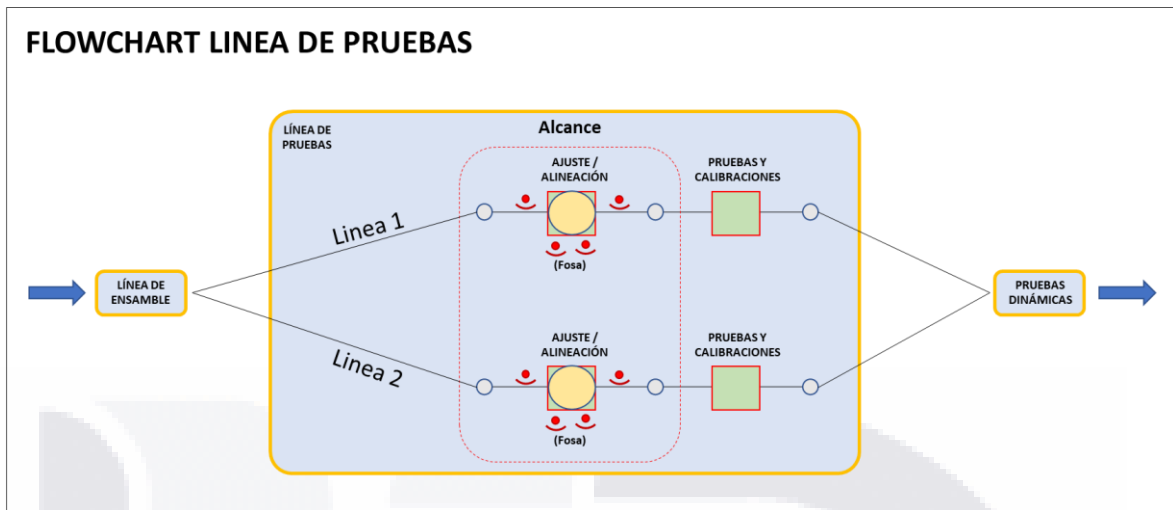


Figura 1.5: Flowchart Línea de Pruebas.  
Fuente: Elaboración propia con base en la investigación (2021).

### 1.7.3 Condiciones Operativas

Además de conocer las generalidades laborales de la planta, como esquemas de trabajo, tiempo disponible para producción, entre otras, que son base para determinar las condiciones de operación en las estaciones de trabajo a lo largo de todo el proceso productivo y de aseguramiento de calidad; se requiere conocer las condiciones operativas de la línea de pruebas y la estación de ajustes en particular; para ello, es necesario establecer el tiempo tacto de la estación, por lo que deben definirse los valores de los siguientes parámetros de operación:

a) Tiempo Disponible:

Como se ha explicado en el apartado de las Condiciones Generales de Trabajo, el tiempo disponible para la operación se establece en 1227 minutos por día.

b) Eficiencia:

A diferencia del resto de la planta, la línea de pruebas tiene consideraciones especiales de operación, puesto que además de procesar la totalidad de la producción, en ocasiones, algunas unidades requieren ingresar nuevamente a alguna de las estaciones de la línea, por lo que estas actividades interfieren con la operación normal del proceso y se ha decidido considerar el 10%, denominado como el porcentaje de *recheck*. De la misma forma, se considera el 5% de pérdida para mitigar cualquier eventualidad de paros no

programados que pudieran ocurrir en la operación. Bajo estas premisas, el valor del porcentaje de eficiencia utilizado para el establecimiento del tiempo tacto será de 85%, quedando el desglose del porcentaje de eficiencia como se muestra en la Figura 1.6.

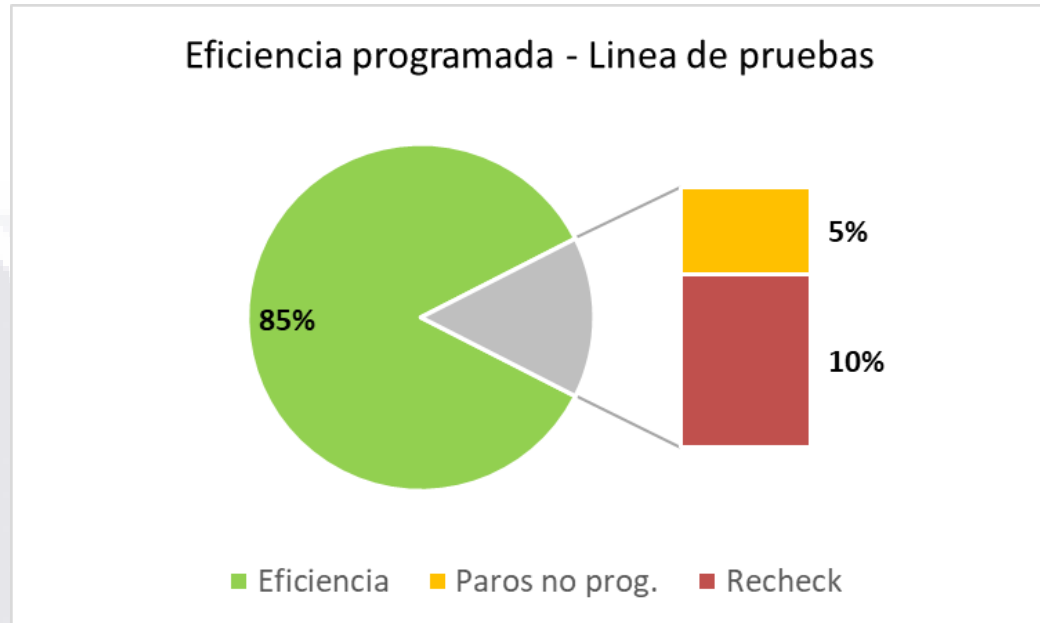


Figura 1.6: Eficiencia programada de Línea de Pruebas.  
Fuente: Elaboración propia con base en la investigación (2021).

c) Volumen de producción requerido:

Actualmente, las condiciones de mercado han estado cambiando frecuentemente los requerimientos de volumen de producción en la planta, debido a diversos factores externos que no han sido posibles de controlar o minimizar su afectación para estabilizar la producción; sin embargo, en el caso de esta estación de trabajo, dada su relevancia para la planta, se ha establecido por la alta gerencia que se debe operar a la máxima capacidad establecida, para garantizar que se encuentre lista ante un posible incremento de producción a tope.

De acuerdo con la máxima capacidad que dicta la infraestructura de la planta y bajo la directriz de la alta gerencia, la cantidad requerida para procesar en la línea de pruebas vehiculares es de 859 vehículos diarios.

1.7.4 Establecimiento del Tiempo Tacto

Con las condiciones operativas ya descritas, es necesario establecer el tiempo tacto de la línea, es decir, el tiempo al que debe procesarse cada vehículo para cumplir la exigencia del volumen a producirse. Para ello, se utiliza la siguiente fórmula:

$$TT = ( TD * EP ) / VP$$

Dónde: TT: Tiempo Tacto  
 TD: Tiempo Disponible  
 EP: Índice de Eficiencia Programada  
 VP: Volumen Programado

Al sustituir los valores, se obtiene que:

$$TT = ( 1227 \text{ min.} * 0.85 ) / 859$$

$$TT = 1.21 \text{ min.}$$

El Tiempo Tacto establecido, es de 1.21 min; es decir, las pruebas vehiculares deben suministrar unidades al siguiente proceso cada 1.21 minutos. Como se observa en la Figura 1.5, debido a las condiciones de infraestructura de la línea de pruebas, ésta se subdivide en dos líneas idénticas, por lo que el tiempo tacto de cada una de ellas en particular se duplica, ya que en realidad se procesa el 50 % del total de volumen en cada una de ellas; por este motivo, el tiempo tacto de referencia es de 2.43 minutos para cada línea.

1.7.5 Comparativo de pruebas entre modelos

Existen diferencias significativas en los sistemas del modelo de producción anterior y el actual; así como las nuevas pruebas de confirmación requeridas.

**Tabla 1.1**

*Comparativo de procesos entre modelos de producción.*

ESTACIÓN	PROCESO	Modelo Anterior		Modelo Actual	
		APLICACIÓN	TIEMPO	APLICACIÓN	TIEMPO
Ajuste/ alineación de llantas	Alineación <i>Head Lamps</i>	Si	1G – 1.54 min	Si	3.03 min
	Alineación <i>FR AXLE</i>	Si		Si	
	Doble Giro (2G)	Desde 1 año previo al fin de producción	2G – 2.69 min	Si	
	<b>Alineación RR AXLE</b>	<b>N/A</b>	<b>NUEVO</b>		
Calibración	Calibración ICC	Si (manual)	1.45 min	Si (automático)	0.96 min
	<b>Calibración AVM / FR Camera</b>	<b>N/A</b>	-	<b>NUEVO (automático)</b>	
Rodillos	Rodillos	Si	1.46 min	Si (15 pruebas nuevas)	1.66 min
Frenos	Frenos	Si	0.96 min	Y	0.85 min
Q-TAS	Q-TAS	Si	1.64 min	Si (32 pruebas nuevas)	2.18 min

Nota: Elaboración propia con base en la investigación (2021).

La Tabla 1.1 muestra el comparativo de los procesos requeridos del modelo de producción anterior y el de fabricación actual, donde se vuelve evidente la incorporación de los nuevos sistemas; así como los cambios e incorporaciones de nuevas pruebas a lo largo de todas las estaciones de la línea. Se destaca la Alineación de *Rear Axle*, ya que es uno de los cambios más importantes en el sistema de suspensión y es la principal causa del problema de este caso.

También es importante mencionar la condición de Doble giro de confirmación que debe realizar el equipo, puesto que se incrementaron directamente los tiempos de procesamiento en la estación, pasando de 1.54 minutos con un giro hasta 2.69 minutos al realizar los dos giros de confirmación establecidos por las áreas de Diseño y Calidad para incrementar la precisión de los ajustes, cuya adopción tuvo lugar desde aproximadamente un año antes del cambio de modelo, con resultados favorables a sus objetivos.



1.7.6 Equipo de trabajo multidisciplinario

Ante la problemática existente y con la finalidad de enriquecer los análisis y la toma de decisiones, se ha conformado un equipo multidisciplinario entre varias funciones de la planta, para analizar la operación y generar las alternativas de mejora bajo la organización explicada en la Figura 1.7.

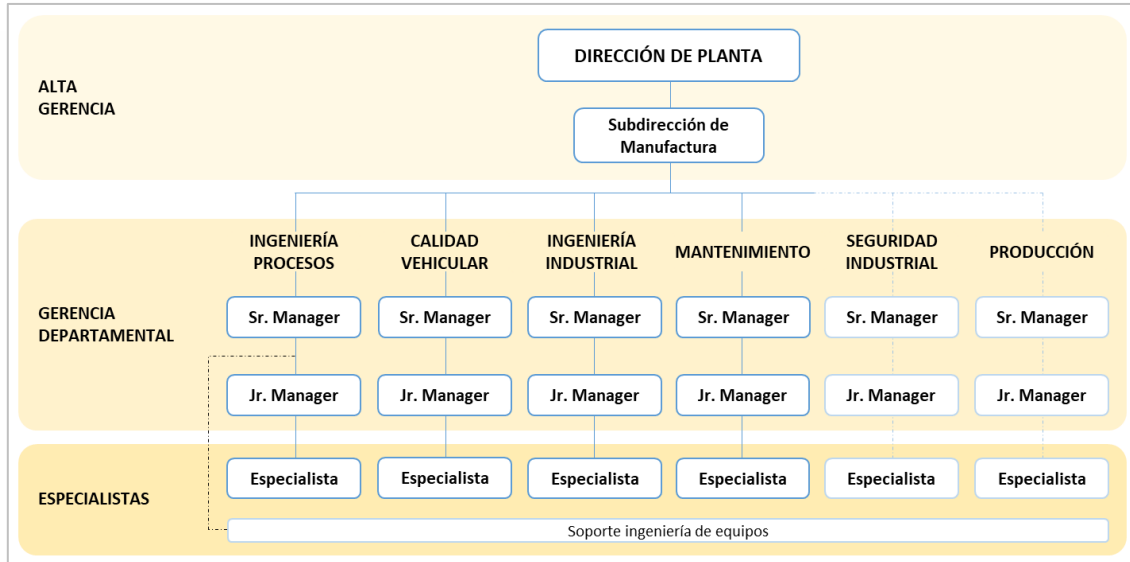


Figura 1.7: Organigrama del Equipo de trabajo.  
Fuente: Elaboración propia con base en la investigación (2021).

## CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

En este apartado, se realiza una revisión de la literatura, resaltando los conceptos, definiciones y aplicaciones de los fundamentos del tema de estudio; en la cual, se busca profundizar el conocimiento de las teorías previamente desarrolladas tanto por autores clásicos, como por investigadores contemporáneos, mismas que darán sustento al desarrollo de este trabajo.

### 2.1 MANUFACTURA ESBELTA

La Manufactura Esbelta como una filosofía de trabajo, tiene su origen en la industria automotriz japonesa; surge directamente del tan aclamado *Toyota Production System* (TPS), desarrollado durante el siglo pasado de la mano de los directivos de Toyota Motor Co., principalmente Eiji Toyoda y Taiichi Ohno, quien en 1978, publicó su libro "*Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*", en el cual, se detalla este sistema que años más tarde revolucionaría por completo las industrias a nivel mundial, tanto por sus aportaciones valiosas en cuanto a la optimización de los procesos productivos, como por su impacto a la rentabilidad de los negocios.

El éxito del *TPS* fue tan evidente y significativo, que rápidamente su aplicación se popularizó por todo el mundo, prácticamente en todo tipo de industrias, no sólo del ramo automotriz; sumándose a su estudio las aportaciones y divulgación a través de los años de una gran cantidad de investigadores, entre los que destacan James Womack, Daniel Jones y Daniel Roos, quienes en 1990 publicaron su obra "*The machine that changed the world*", analizando a profundidad los principios y herramientas del *TPS* y utilizaron por primera vez el término "*Lean Manufacturing*" para referirse a esta filosofía de trabajo (Womack et al., 1990); que ha sido una evolución del *TPS* para su implementación y adecuación a todo tipo de procesos e industrias de manufactura y servicios alrededor del mundo.

#### 2.1.1 Conceptos Básicos de Manufactura Esbelta

De acuerdo con Ibarra-Balderas y Ballesteros-Medina (2017), se puede definir la Manufactura Esbelta como:

Una manera simple de mejorar las operaciones o actividades de cualquier sistema de producción. *Lean* es hacer más con menos y con menos esfuerzo, (menos esfuerzo humano, menos equipamiento, menos tiempo y menos espacio), es un sistema integrado de principios y métodos, una filosofía de gestión de la empresa que lleva a la perfección de todo el sistema. (Desarrollo, párrafo 2).

Bajo este enfoque, podría decirse que la Manufactura Esbelta es una metodología sistematizada encaminada a identificar, reducir y controlar los desperdicios en los procesos productivos para obtener mejores resultados al menor costo posible, entendiéndose como un modelo de gestión óptimo de los recursos de una organización, perteneciente a una cultura de mejora continua (Pérez Vergara y Rojas López, 2019).

Hablar de Manufactura Esbelta, es entonces hablar de procesos justos, seguros y eficientes, en el sentido de reducir o eliminar todas aquellas actividades que no transforman el producto y por consecuente, generan costos innecesarios que el cliente no estaría dispuesto a pagar.

Para lograrlo, deberán identificarse mediante un pensamiento esbelto y desde una perspectiva del cliente, los pasos o actividades que generan valor y los pasos o actividades que no generan valor en los procesos (Rahman et al., 2013).

Se definen dichos conceptos de la siguiente manera:

- Valor Agregado: actividades concretas que a través de un proceso productivo (maquinaria, métodos, mano de obra) van transformando los insumos (materiales) en bienes de consumo (subproductos, productos terminados, servicios).
- No Valor Agregado Necesario: actividades mínimas requeridas, que, aunque no modifican los insumos, son necesarias dentro de los procesos productivos.
- No Valor Agregado: actividades complementarias que no modifican los insumos y suelen no ser necesarias en lo absoluto dentro de los procesos. Generalmente, en estas actividades radica la oportunidad de reducción o eliminación de los desperdicios.

La figura 2.1, resume los conceptos antes mencionados.



Figura 2.1: Esquema de Valor Agregado y percepción del cliente.  
Fuente: Elaboración propia con base en la investigación (2021).

### 2.1.2 Identificación de Desperdicios

En la filosofía *Lean*, existen tres principales conceptos que entorpecen la producción, denominados con las palabras japonesas MUDA, que se traduce en los desperdicios o despilfarros de recursos y/o materias primas; MURA, que nos habla de irregularidades en los procesos que obstruyen el flujo de la producción y MURI, que nos advierte de ambientes de trabajo tensos que atentan contra la productividad de la organización (Ohno, 1978/1988).

En la práctica, es muy común el enfoque de mejora a las MUDAS o los desperdicios en los procesos de producción, ya que, al estar completamente ligados a las actividades de transformación, resultan ser muy evidentes y mucho más fáciles de identificar que las MURA y MURI.

Es por ello, que, desde la concepción del *TPS*, Ohno (1978/1988), realizó una clasificación de los siete desperdicios clásicos dentro del sistema productivo; aunque con los años, otros autores han agregado un octavo desperdicio a la lista; como Womack y Jones (1996), que argumentan que éste se trata de productos y servicios que no cumplen las necesidades del cliente (No Valor Agregado) o Liker (2004) quien considera el talento de las personas como un potencial desperdicio en la organización, ya que en la práctica, las capacidades de las personas suelen ser subestimadas, sobre todo el personal operativo y cuando se plantean propuestas de mejora, resultan tener ideas

más claras y funcionales, puesto que son los actores principales del proceso y como tal, poseen un alto nivel de experiencia en las actividades.

Así pues, en la Figura 2.2 se enlistan los tipos de desperdicios, ordenados de manera que se enfatizan con el acrónimo *DOWNTIME* por sus iniciales en inglés, haciendo referencia al tiempo de no utilización de los recursos.

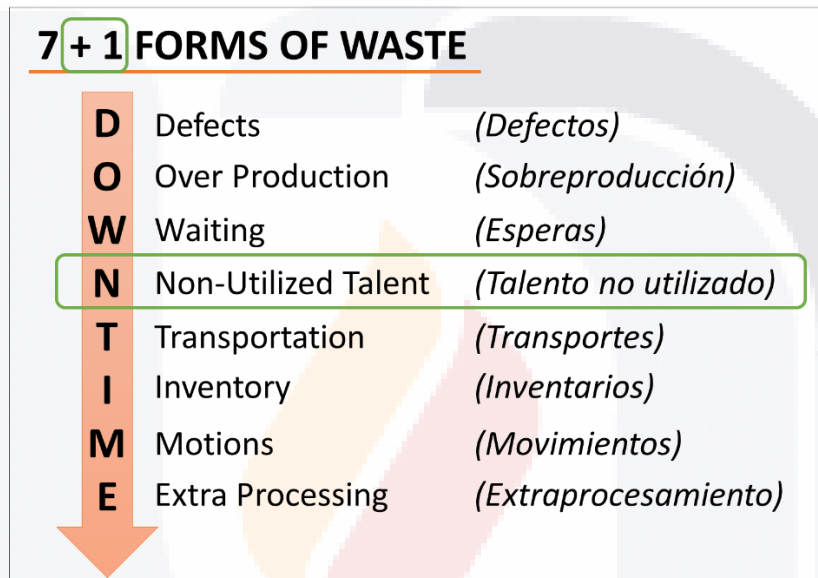


Figura 2.2: *Forms of waste.*  
Fuente: Pons Achell (2014).

De acuerdo con Pons Achell (2014), se definen los tipos de desperdicios a continuación:

1. *DEFECTS*. Defectos: Errores en el diseño, en los procesos de fabricación en los que el producto no cumple con los requerimientos del cliente.
2. *OVER PRODUCTION*. Sobre Producción: Fabricación de productos en cantidades más grandes que las requeridas o más pronto de lo necesario; uso de un equipamiento altamente sofisticado cuando uno mucho más simple sería suficiente; más calidad que la esperada.
3. *WAITING*. Esperas: Demoras e interrupciones del trabajo, tiempo de inactividad en cual los recursos permanecen sin aprovechamiento para la transformación de bienes.

4. *NON-UTILIZED TALENT*. Talento No Utilizado: Es el desperdicio de ideas, aptitudes, actitudes, oportunidades de aprendizaje generadas por no motivar y/o no escuchar a los empleados.
5. *TRANSPORTATION*. Transportes: Se refiere al transporte innecesario relacionado con el movimiento interno de los recursos (materiales, datos, etc.). Por lo general, está relacionado con una pobre planeación de la logística de materiales (internos y externos).
6. *INVENTORY*. Inventarios: Se refiere a los inventarios excesivos, innecesarios o antes de tiempo que conducen a daños y/o pérdidas de material (por deterioro, obsolescencias, condiciones inadecuadas de almacenaje, robo, vandalismo, etc.).
7. *MOTIONS*. Movimientos Innecesarios: Se refiere a los movimientos no requeridos o ineficientes realizados por los trabajadores durante su trabajo. Esto puede ser causado por la utilización de equipo inadecuado, métodos de trabajo ineficaces, falta de estandarización o mal acondicionamiento del lugar de trabajo; así como generar mayor fatiga en el trabajador.
8. *EXTRA PROCESSING*. Sobre Procesamiento: Procesos adicionales que causan el uso excesivo de materia prima, energéticos, mayor desgaste de herramientas y equipos, etc. o que tienen mayor nivel de monitoreo y control innecesario, como las inspecciones duplicadas.

### 2.1.3 Herramientas de Manufactura Esbelta

En la Manufactura Esbelta, existen múltiples herramientas que se han desarrollado con los años y que pueden ser aprovechadas y adecuadas para su aplicación en cualquier organización; éstas representan una serie de técnicas de estudio y análisis con diversos objetivos puntuales; sin embargo, de acuerdo con Hernández Matias y Vizán Idoipe (2013), “el número de técnicas es muy elevado y los expertos en la materia no se ponen de acuerdo a la hora de identificarlas, clasificarlas y proponer su ámbito de aplicación” (p. 34).

Aunque cada autor puede enlistar o agrupar herramientas de Manufactura Esbelta, según su criterio, considerando o no herramientas en sus listados de clasificación o de acuerdo al tipo de industria donde se emplean; Hernández Matias y Vizán Idoipe (2013) proponen una clasificación en tres principales grupos de herramientas:

- Grupo 1: En este grupo, las herramientas tienen una gran posibilidad de aplicación real en cualquier compañía, puesto que se trata de controles básicos de la gestión de procesos en campo, que cualquier organización que busque ser competitiva prácticamente está obligada a su cumplimiento, como las 5's, estandarización de procesos, *SMED*, *TPM*, Controles Visuales, etc.
- Grupo 2: Este grupo de herramientas, si bien también pueden moldearse fácilmente a cualquier organización, se requiere un mayor nivel de compromiso de las personas a todos los niveles y se involucran conceptos como un cambio en la cultura organizacional. Aquí se encuentran herramientas como *Jidoka*, Técnicas de calidad, Sistemas de participación del personal, entre otras.
- Grupo 3: Por último, las herramientas de este grupo son aquellas que, por su aplicación, requieren un mayor nivel de especialización de los agentes de cambio y su enfoque está encaminado a la gestión de toda la cadena de valor como un sistema *Just In Time (JIT)* integral. Se tienen herramientas como *Heijunka* y *Kanban*, por mencionar algunas.

A pesar de la gran diversificación y opiniones respecto a una clasificación de las herramientas de Manufactura esbelta, lo más importante es entender que todas comparten los conceptos de estandarización, control y mejor continua y su enfoque siempre será elevar la rentabilidad de los negocios, que se pueden traducir en términos de Productividad, Eficiencia y Rendimiento.

Según los resultados de una investigación realizada por Favela-Herrera et al., (2019), las principales herramientas *Lean* que inciden en la productividad de una organización son 5's (15 %), *TPM* (14 %), *JIT* (13 %), *Kaizen* (12 %), entre otras, como se muestra en Tabla 2.1.

**Tabla 2.1**

*Principales herramientas que inciden en la productividad.*

HERRAMIENTAS	% DE INCIDENCIA EN LA PRODUCTIVIDAD
5's	15 %
TPM	14 %
JIT	13 %
Kaizen	12 %
SMED	9 %
KANBAN	9 %
VSM	7 %
Otras	21 %

Nota: Elaboración propia (2021). Fuente: Favela-Herrera et al. (2019).

## 2.2 PRODUCTIVIDAD

La productividad es un concepto completamente asociado con la Manufactura Esbelta; en el sentido de que, al hablar de procesos libres de desperdicios y flexibilidad en la demanda con menores tiempos de entrega, implícitamente se hace referencia a la cantidad óptima de insumos requeridos a través del proceso productivo para obtener los bienes esperados, y con ello, se encaminan las mejoras de reducción de costos propias de la filosofía de Manufactura Esbelta.

### 2.2.1 Conceptos básicos de Productividad

Prokopenko (1987/1989) define la productividad como “la relación entre la producción obtenida por un sistema de producción o servicios y los recursos utilizados para obtenerla” (p. 3). También, la define como “la relación entre los resultados y el tiempo que lleva conseguirlos.” (p.3); además, hace referencia al tiempo como un buen factor denominador “puesto que es una medida universal y está fuera del control humano” (p. 3).

Para Krajewski et al., (2008), el concepto de productividad se interpreta como una forma de medir el desempeño de todo tipo de organizaciones y procesos. Así mismo, afirman que “es el valor de los productos (bienes y servicios), dividido entre los valores de los recursos (salarios, costo de equipo y similares) que se han usado como insumos.” (p. 13).

Bajo una definición más contemporánea, Moreno Perea y Reyes López (2015), mencionan que: productividad se entiende como la optimización en la utilización y administración de todos los recursos disponibles, el desarrollo de investigaciones sobre los recursos mejor conocidos, la generación de nuevos recursos a través del pensamiento creativo e innovación tecnológica, así como su búsqueda y desarrollo (p. 5).

De manera general, la productividad se puede asociar a la siguiente fórmula:

$$PRODUCTIVIDAD = SALIDAS / ENTRADAS$$

Por la cual, es posible adoptarla a todo tipo de procesos y organizaciones con las variables o factores de medición de interés.



Es importante mencionar, que como lo explica Fontalvo Herrera et al., (2017), “En muchas ocasiones el concepto de productividad se confunde con otros términos asociados a ella, tales como eficacia y eficiencia”, quienes también los definen de la siguiente manera:

- *Eficacia*: se refiere a la capacidad que tienen las organizaciones de alcanzar los objetivos previamente establecidos, con un enfoque totalmente a los resultados (p. 51).
- *Eficiencia*: se trata de la capacidad de lograr la eficacia, pero con un uso racional de los recursos, en un enfoque más hacia los medios que hacia el fin (p. 52).

Para efectos de este trabajo, se utilizará el término Eficiencia hacer referencia únicamente al nivel de aprovechamiento del tiempo relacionado a la mano de obra; es decir, el tiempo que el personal operativo está en actividad.

### 2.2.2 Esquemas de Productividad

Dentro de las estrategias de incremento de la productividad en las organizaciones, existen tres diferentes escenarios en los que es posible ejecutarlas bajo diferentes niveles de dificultad al momento de su aplicación. La Figura 2.3 explica el esquema de incremento de productividad y su dificultad de aplicación.

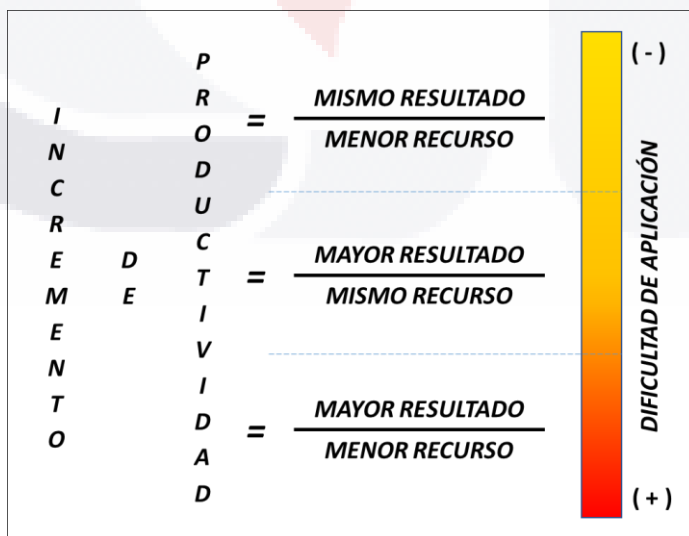


Figura 2.3: Esquemas de productividad y dificultad de aplicación.  
Fuente: Elaboración propia con base en la investigación (2021).

### 2.2.3 Medición de la Productividad

Para medir la productividad, es posible hacer los cálculos mediante variables de un solo factor, por ejemplo, “la *productividad de la mano de obra*, que es un índice de la producción por persona u hora trabajada” (Krajewski et al., 2008, p.13). En esta misma línea, es posible hacer los ejercicios con alguna otra variable, ya sea la maquinaria, energéticos, etc.

Así mismo, es posible medir varios insumos simultáneamente. “La *productividad multifactorial* es un índice de la producción correspondiente a más de uno de los recursos que se utilizan en la producción.” (Krajewski et al., 2008, p.13).

De acuerdo con García Erazo (2020), algunas de las variables más comunes que podemos utilizar para medir la productividad, son las siguientes:

- **Capital:** Volumen de productos producidos dividido entre el valor de los activos.
- **Materiales:** Volumen de productos producidos dividido entre el dinero desembolsado en la compra de materiales.
- **Mano de obra directa:** Volumen de productos producidos dividido entre horas de mano de obra directa consumida.
- **Gastos generales:** Volumen de productos producidos dividido entre el dinero desembolsado en gastos generales.

Para efectos del presente trabajo, se hablará de productividad únicamente en función de los costos asociados a la mano de obra; sean cantidad de horas de trabajo, cantidad de personal, utilización de personal, etc.

## CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

### 3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Para este trabajo, el tipo de investigación que se utilizará será el Estudio de Caso, debido a que se buscará una solución a un problema en particular dentro de una empresa determinada; así mismo, el Estudio de Caso permite utilizar técnicas de investigación tanto cualitativas, como cuantitativas, lo cual permite la obtención de datos e información desde diversas fuentes y perspectivas para su análisis y evaluación. De igual manera, el Estudio de Caso está enfocado en la aplicación de conocimientos y la expectativa es que sus resultados tengan un impacto real en la empresa.

### 3.2 TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

Para la presente investigación se dispondrá de múltiples técnicas que permitan recabar información relevante del proceso a estudiar; algunas de las posibles técnicas a utilizar se enlistan a continuación:

- Técnicas de Investigación Cualitativas
  - Entrevistas con operadores, supervisores (formal/informal): Se visita el área de trabajo para realizar algunas preguntas a los operadores o al supervisor, pueden estar previamente formuladas o en estilo libre a modo de conversación con la finalidad de obtener información y conocer las opiniones de los usuarios respecto a las condiciones y propuestas de la estación de trabajo.
  - *Focus Groups* (Equipos de trabajo multidisciplinarios): Se realizan sesiones de trabajo con los especialistas de todas las áreas para compartir experiencias y observaciones derivadas del análisis de los procesos.
  - Observación de operación (informal): Se visita el área de trabajo para visualizar de manera general las condiciones de trabajo en la estación, pueden ser condiciones de 5's, infraestructura, etc.
  - Auditorías del proceso: Se revisan físicamente las condiciones de trabajo contra los estándares establecidos, pueden ser 5's, equipo de seguridad, iluminación, niveles de habilidad, etc.

- Técnicas de Investigación Cuantitativas
  - Observación de operación: Se revisa físicamente la operación y se evalúa contra las Hojas de Operación Estándar, pueden medirse la cantidad de actividades realizadas, secuencia de operación, cantidad de pasos, materiales, herramientas, entre otros datos.
  - Estudios de tiempos: Se visita el área de trabajo para cronometrar y realizar registros de los tiempos de las operaciones y sucesos que se presenten durante la muestra, pueden ser de manera general o a detalle, dividiendo las actividades en elementos y se procesan los datos para obtener información sujeta al análisis.
  - Análisis de patrón de caminado: Se realiza el registro de los trayectos de los operadores en la estación de trabajo, se contabiliza la cantidad de pasos durante cada ciclo y se pueden medir o estimar las distancias de recorrido a lo largo de un lapso determinado de tiempo.
  - Registros en la línea: Se solicita a los supervisores y/o operadores el registro manual de datos directamente en el proceso a lo largo del turno, en formato libre de acuerdo a la información que se desea recopilar.
  - Pruebas y simulaciones: Se organizan eventos controlados durante un lapso de tiempo determinado para simular físicamente las condiciones de los escenarios previstos que se desean replicar, con la finalidad de obtener datos e información relevante como funcionamiento del proceso, flujos, métodos, secuencias de operación, tiempos, etc., para su análisis y evaluación.
  - Historial de fallas y parámetros de equipos: Se tiene disponibilidad de acceso a la información de los equipos para estudiar su funcionamiento.
  - Diagramas Hombre-Máquina: Se registra en un formato todas las actividades que realiza la mano de obra y las máquinas en columnas separadas, se va llenando la duración de cada actividad que realiza cada operador y cada máquina contra una línea de tiempo desde el inicio hasta completar el ciclo para visualizar la interacción existente entre ambos recursos.

### 3.3 POBLACIÓN CASO DE ESTUDIO

Para el presente trabajo se utilizará información y datos derivados del procesamiento de los vehículos en la línea de pruebas durante el periodo de investigación; así mismo, podrá consultarse los registros históricos disponibles y de ser posible, se solicitará información a otras armadoras en el estado, únicamente como referencia y comparativo de los procesos.

#### 3.3.1 Limitantes de la Investigación

Debido a la unificación de especificación de las partes de interés en los vehículos, la recolección de datos puede obtenerse de la totalidad de la producción; sin embargo, el tiempo de observación y análisis está sujeto al horario administrativo, esto es, unidades producidas únicamente de lunes a viernes durante primer turno; de igual manera, sólo se podrá observar al personal operativo del grupo de trabajo en turno, pudiendo tener también variación en las observaciones realizadas a diferentes trabajadores, debido a la rotación de operaciones durante el turno.

De ser necesario, es posible recabar diversos datos de las unidades no observadas durante otros turnos en los registros de los sistemas de control internos.

La realización de pruebas especiales o simulaciones para la captura de datos está sujeta a la disponibilidad de mano de obra y principalmente, al cumplimiento del volumen de producción.

Los materiales de trabajo, herramientas, planos, manuales, información detallada, material audiovisual, impreso, etc., se consideran como confidenciales y no es posible compartir o mostrar esta información fuera de la compañía.

Así mismo, el ingreso de equipo de cómputo externo, cámaras de video profesionales, herramientas adicionales, etc. está restringido y sólo se podrá utilizar el equipo disponible durante la jornada; por lo que, de ser necesario, se procesará toda la información mediante software y equipo de cómputo ajeno a la compañía, permitiendo el análisis y la obtención de resultados.

#### 3.3.2 Recursos para la Investigación

Para la realización y durante el periodo de tiempo destinado a la realización de este trabajo, se contará con la disponibilidad de los siguientes recursos:

- TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS
- Equipo de cómputo (Software paquetería básica Office y conexión wifi a internet)
  - Herramientas de trabajo (rotafolios, marcadores, cronómetros, tablas, formatos, etc.)
  - Manuales de diseño, maquetas de piezas
  - Salas de juntas y mobiliario
  - Soporte del personal administrativo y operativo

#### 3.4 HERRAMIENTAS DE ANÁLISIS

La propuesta de intervención consiste en generar e implementar alternativas de solución al problema existente, mediante el uso de metodologías, técnicas y herramientas de análisis propias de la Manufactura Esbelta, principalmente las siguientes:

- 5W2H: para realizar un análisis general de condición actual, mediante la obtención de información cualitativa y cuantitativa del problema.
- 5's: para determinar los objetos que pueden entorpecer la operación incluso como seguridad.
- Estandarización de proceso: aquí se habrá de observar, medir y/o determinar condiciones generales de la operación del proceso, como eficiencia y tiempo tacto propio de la estación, secuencia de operación, revisión hojas de operación estándar, incremento y control de habilidad del personal, controles visuales, etc.
- Controles de Calidad: revisión de equipos, ajuste de parámetros y análisis de resultados de calidad, etc.
- Análisis de tiempos: mediciones y monitoreos de tiempos de las operaciones.
- Diagrama Hombre-Máquina: elaboración de diagramas H-M para estudiar la interacción de la mano de obra con la maquinaria.
- *Just In Time*: reducción de las pérdidas de tiempo por esperas de vehículos, sincronización de las líneas de producción e inspección.
- Sistemas *Poka-Yoke*: garantizar la correcta operación antes de pasar al siguiente proceso.
- Observación de la operación: técnicas de observación para verificar el respeto al estándar, identificación oportuna de los desperdicios.

- *Kaizen*: actividades de mejora inmediata, planeación de actividades a mediano y largo plazo, medición de impacto de la actividad.
- Pruebas Funcionales: pruebas de máxima capacidad, simulaciones de las propuestas, producción de lotes controlados, etc.

### 3.5 ANÁLISIS DE LA CONDICIÓN ACTUAL

De manera previa, ya se ha trabajado en el proceso de recolección de datos para el mejor entendimiento de la condición actual, obteniendo información relevante que serán la base para la puesta en marcha de la intervención; donde se buscará profundizar en los análisis para generar y evaluar alternativas de solución que proyecten los mejores resultados para cumplir los objetivos establecidos en el proyecto.

#### 3.5.1 Análisis de 5w2h

El primer análisis consiste en utilizar la herramienta de 5w2h, en la que se responden 7 preguntas básicas, que, por sus iniciales en inglés, cinco inician con la letra W y dos con la letra H; mediante la cual, se ha obtenido la siguiente información:

- *What?* (¿Qué?)

Se requiere reducir el tiempo ciclo de la operación de alineación de llantas, al mismo tiempo que se mantenga o mejore el nivel de aseguramiento de calidad, se reduzcan los costos de mano de obra y se mejore la condición general de trabajo y ergonómica de la estación.

- *Why?* (¿Por qué?)

El tiempo de procesamiento actual en la estación supera el tiempo tacto establecido, generando incumplimiento en el volumen de producción; así mismo, existe un alto nivel de ociosidad de la mano de obra durante el proceso, por lo que los costos generados por este recurso deben reducirse; además, el uso de las herramientas actuales en la operación genera demasiada fatiga a los operadores en el transcurso de la jornada.

- *Where?* (¿Dónde?)

En las fosas de las estaciones de alineación de llantas, pertenecientes a la línea de pruebas vehiculares de la planta.

- *Who?* (¿Quién?)

Se ha conformado un equipo de trabajo multidisciplinario con especialistas de la planta, que se describe en el apartado 1.7.6 de este documento.

- *When?* (¿Cuándo?)

Aunque aún no es clara la fecha de conclusión, se pretende que este proyecto se ejecute durante el año fiscal 2022, siempre y cuando la factibilidad y las condiciones de operación de la planta lo permitan.

- *How?* (¿Cómo?)

Mediante el uso de metodologías, técnicas y herramientas de análisis, toma de decisiones, pruebas funcionales; tales como análisis de 4M, estudios de tiempos, estudios ergonómicos, matriz de decisión, etc. También se plantea el establecimiento de revisiones periódicas con los Gerentes, así como juntas de seguimiento a nivel Dirección, que de ser necesario deriven en estrategias de *Benchmark* y mejores prácticas con otras plantas de la compañía y gestión de visitas a otras armadoras del estado; así como consultorías externas con proveedores de equipo y herramental especializado.

- *How Much?* (¿Cuánto?)

La tasa de salida de la estación es de 3.03 minutos, excediendo 0.60 min el tiempo tacto establecido, incumpliendo el requerimiento de producción de 859 unidades/día.

La utilización aproximada de la mano de obra en las fosas es de entre 40 y 50 %.

El promedio de torque manual por *bolt* es de 17.5 kg, para un total de 70 kg de fuerza por ajuste de cada unidad.



### 3.5.2 Descripción general de la carga de trabajo

En la estación de ajustes/alineación (de cada línea) intervienen directamente 4 operadores, de los cuales, dos trabajan a nivel de piso y dos trabajan en fosa con acceso a la parte inferior del vehículo, realizando las actividades que se enlistan a continuación:

- Trabajo a nivel de piso (intercalado entre dos operadores)
  - Operadores 1 y 2 (Alineadores de *Head Lamps*)
    - Ingreso de unidad a la estación de Ajustes/Alineación
    - Conexión de cable *OBD* y descenso de unidad
    - Colocación de *balancer* en volante
    - Colocación de *caps A/C*
    - Alineación de *Head Lamps* (izquierdo/derecho)
    - Retiro de *balancer* de volante
    - Liberación de equipo alineación
    - Ascenso a unidad y desconexión de cable *OBD*
    - Ingreso de unidad a estación de Calibración de sensores
    - Lectura de hoja viajera de unidad
    - Arranque de equipo de calibraciones
    - Caminado por siguiente unidad
    - Confirmaciones al interior de la unidad (eléctrico)
    - Lectura de hoja viajera de unidad
- Trabajo bajo piso (en fosa)
  - Operador 1 (Alineación de suspensión Frontal "*Front Axle*")
    - Confirmación visual y al tacto de ensamblajes bajo piso
    - Aflojar *nuts* de ajuste de suspensión frontal (izquierda y derecha)
    - Ajuste de alineación frontal (izquierda y derecha)
    - Liberación equipo para segunda confirmación (segundo giro de llantas)
    - Torque de *nuts* de ajuste frontales (izquierda y derecha)
    - Colocación de marcas de garantía de torque (izquierda y derecha)
  - Operador 2 (Alineación de suspensión Trasera "*Rear Axle*")
    - Aflojar *nuts* de ajuste de suspensión trasera (*Toe/Camber*, izquierda/derecha)

- Ajuste de alineación trasera (*Toe/Camber*, izquierda/derecha)
- Torque de *nuts* (*Toe/Camber*, izquierda/derecha)
- Colocación de marcas de garantía de torque (*Toe/Camber*, izquierda/derecha)

Con la carga de trabajo definida y la información obtenida previamente de observaciones en la operación y estudios de tiempos y movimientos, y derivado de las nuevas confirmaciones en el proceso por el cambio de modelo de producción, se ha determinado el tiempo de proceso de la estación de ajustes/alineación, el cual, como se ha mostrado anteriormente en la tabla 1.1 de este trabajo, es de 3.03 minutos.

Dicho tiempo incluye el tiempo de ingreso del vehículo a la estación, las confirmaciones y ajustes a nivel de piso en el vehículo de manera simultánea con los ajustes bajo piso de suspensión frontal y trasera; así como el tiempo de salida del vehículo a la siguiente estación. Así mismo, durante el proceso de ajustes, existe una constante interacción con los equipos de medición y se contemplan sus tiempos de preparación, operación y emisión de resultados, que, a su vez, pueden ser considerados como tiempo ocioso en la mano de obra.

## CAPÍTULO 4. PROPUESTA DE INTERVENCIÓN

### 4.1 PUNTO DE PARTIDA DE LA INTERVENCIÓN

Tomando como base la experiencia previa del problema y la información descrita con anterioridad en el apartado 3.5 y dado que se trata de un incumplimiento de volumen de producción debido a un cuello de botella, se decide comenzar con el estudio de tiempos de las operaciones en la estación, mismos que darán soporte al análisis y la generación de propuestas de mejora.

#### 4.1.1 Análisis de Tiempos de Alineación de *Head Lamps*

Como se ha mencionado con anterioridad, la operación de Alineación de *Head Lamps* se realiza a nivel de piso y la carga de trabajo se extiende a las estaciones previa y posterior a la Alineación, debido al movimiento de unidades entre estaciones.

A continuación, se muestran los gráficos de tiempos de los dos operadores que trabajan en la Alineación de *Head Lamps*.

- Operador 1

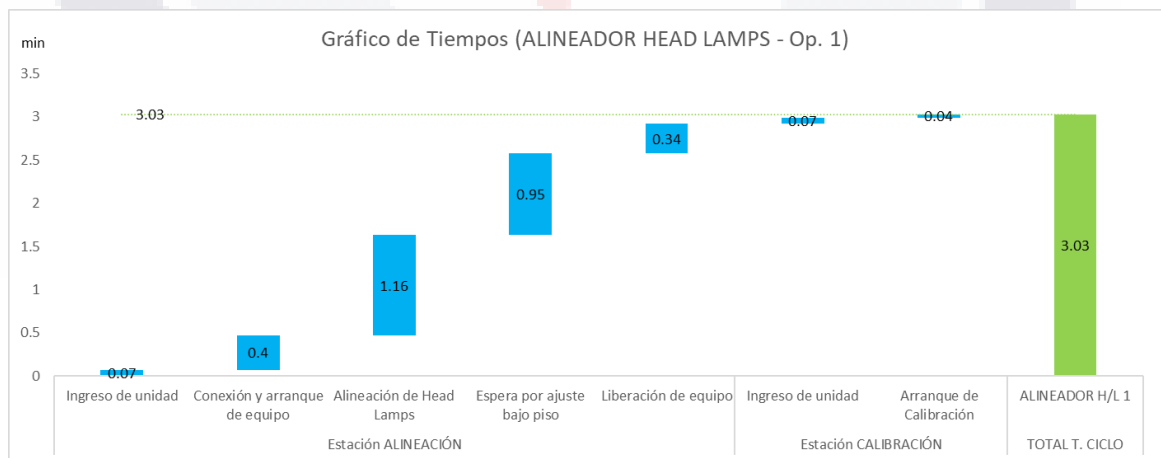


Figura 4.1: Gráfico de Tiempos Head Lamps - operador 1.  
Fuente: Elaboración propia con base en la investigación (2022).

- Operador 2

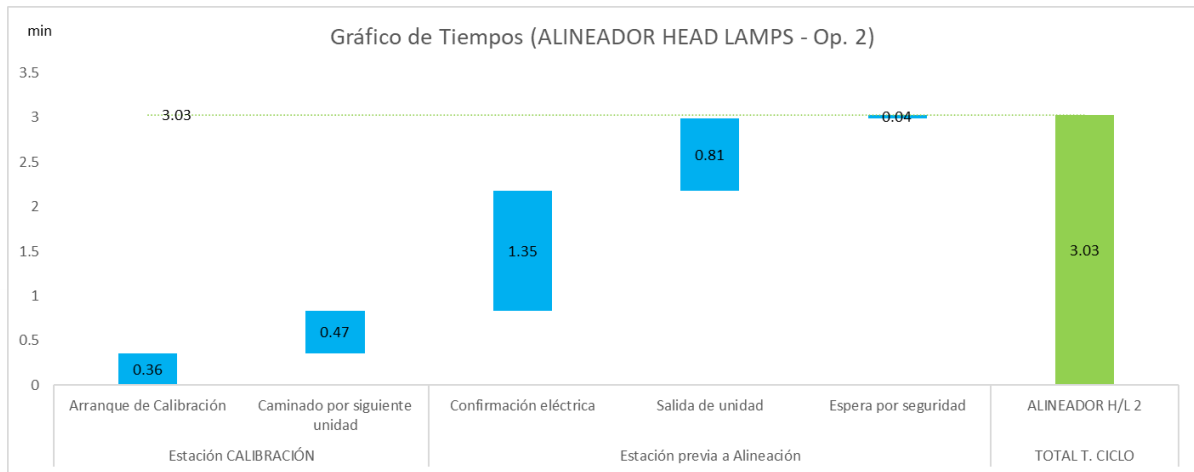


Figura 4.2: Gráfico de Tiempos Head Lamps - operador 2.  
Fuente: Elaboración propia con base en la investigación (2022).

Como puede verse en las Figura 4.1 y 4.2 respectivamente, ambos operadores realizan actividades en las otras estaciones de la línea. Se puede observar que el operador 1 trabaja en la estación de Alineación y la estación de Calibración y el operador 2, trabaja en la estación de Calibración y en la estación previa a la Alineación.

Sin embargo, realmente para completar toda carga de trabajo, los dos operadores se intercalan las unidades a procesar a lo largo de estas estaciones; es decir, cuando un operador va a la mitad de la carga de trabajo, el otro comienza su operación con el ingreso de la siguiente unidad a la estación de Alineación.

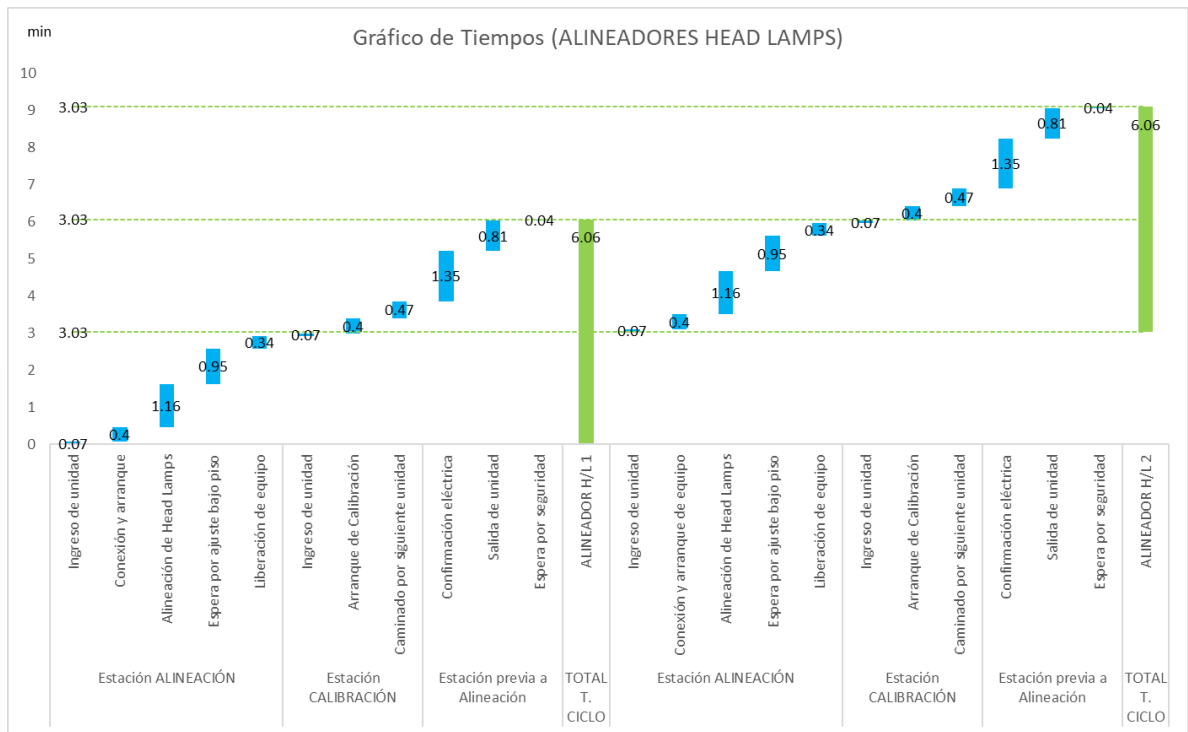


Figura 4.3: Gráfico de Tiempos Simultáneos Head Lamps.  
Fuente: Elaboración propia con base en la investigación (2022).

De esta manera, en la Figura 4.3 puede verse como los operadores alternan el ingreso de unidades cada 3.03 minutos a la estación de Alineación, pero en ciclos continuos de proceso que en realidad tienen una duración de 6.06 minutos en los que se realizan actividades en otras estaciones de trabajo para mantener el flujo de entrega de los vehículos.

Así mismo, la Tabla 4.1 muestra las estaciones de trabajo donde se realizan las actividades principales y que, a su vez, se subdividen en elementos más detallados con sus tiempos unitarios para obtener mayor precisión en el análisis de los tiempos de operación.

**Tabla 4.1**

*Desglose de Tiempos Alineación de Head Lamps.*

ALINEACIÓN DE HEAD LAMPS				
ESTACIÓN	ACTIVIDAD	ELEMENTO	T. UNITARIO	T. ACUMULADO
ALINEACIÓN	Ingreso de unidad	Ingreso unidad a estación de Alineación	0.07	0.07
	Conexión y arranque	Conexión de cable OBD y descenso de unidad	0.14	0.21
		Colocación de balancer en volante	0.26	0.47
	Alineación de Head Lamps	Caminado a parte frontal de la unidad	0.10	0.57
		Apertura de hood	0.08	0.65
		Colocación de caps A/C	0.12	0.77
		Alineación de Head Lamps (izquierdo/derecho)	0.71	1.48
		Cierre de hood	0.05	1.53
		Caminado a puerta frontal izquierda	0.10	1.63
	Espera por ajuste bajo piso	Espera por ajuste bajo piso	0.95	2.58
	Liberación de equipo	Retiro de balancer de volante	0.07	2.65
		Liberación de equipo de alineación	0.11	2.76
Ascenso a unidad y desconexión de cable OBD		0.16	2.92	
CALIBRACIÓN	Ingreso de unidad	Ingreso de unidad a siguiente estación (Calibración)	0.07	2.99
	Arranque de Calibración	Descenso de unidad	0.11	3.10
		Lectura de hoja viajera en estación de Calibración	0.17	3.27
		Arranque de equipo de calibraciones	0.12	3.39
	Caminado por siguiente unidad	Caminado a la estación previa a la Alineación	0.47	3.86
BUFFER PREVIO A ALINEACIÓN	Confirmación eléctrica	Ascenso a unidad	0.10	3.96
		Confirmaciones al interior de la unidad (eléctrico)	1.04	5.00
		Avance de unidad	0.04	5.04
	Salida de unidad	Lectura de hoja viajera previo a Alineación	0.17	5.21
		Espera disponibilidad de estación de Alineación	0.81	6.02
		Espera por seguridad	Espera mínima para evitar colisión	0.04
<b>TIEMPO TOTAL</b>			<b>6.06</b>	

Nota: Elaboración propia con base en la investigación (2022).

#### 4.1.2 Análisis de Tiempos de Alineación de *Front Axle*

El proceso de alineación de *Front Axle*, es una operación que, por su naturaleza, es realizada dentro de una fosa ubicada en la estación de Alineación, de manera que permite que los operadores tengan acceso a la parte inferior del vehículo donde es posible realizar los ajustes requeridos. En dicha fosa, se cuenta con una plataforma elevada donde labora el personal y por seguridad, se tiene establecido mantenerla libre cuando exista movimiento de vehículos; es decir el operador debe permitir el ingreso de la unidad a la estación antes de subir a realizar la operación y debe desalojar la plataforma antes de que la unidad salga al siguiente proceso. Estos requerimientos de seguridad impactan en el tiempo de proceso de los operadores de fosas debido a que reducen el tiempo disponible en la operación bajo piso.

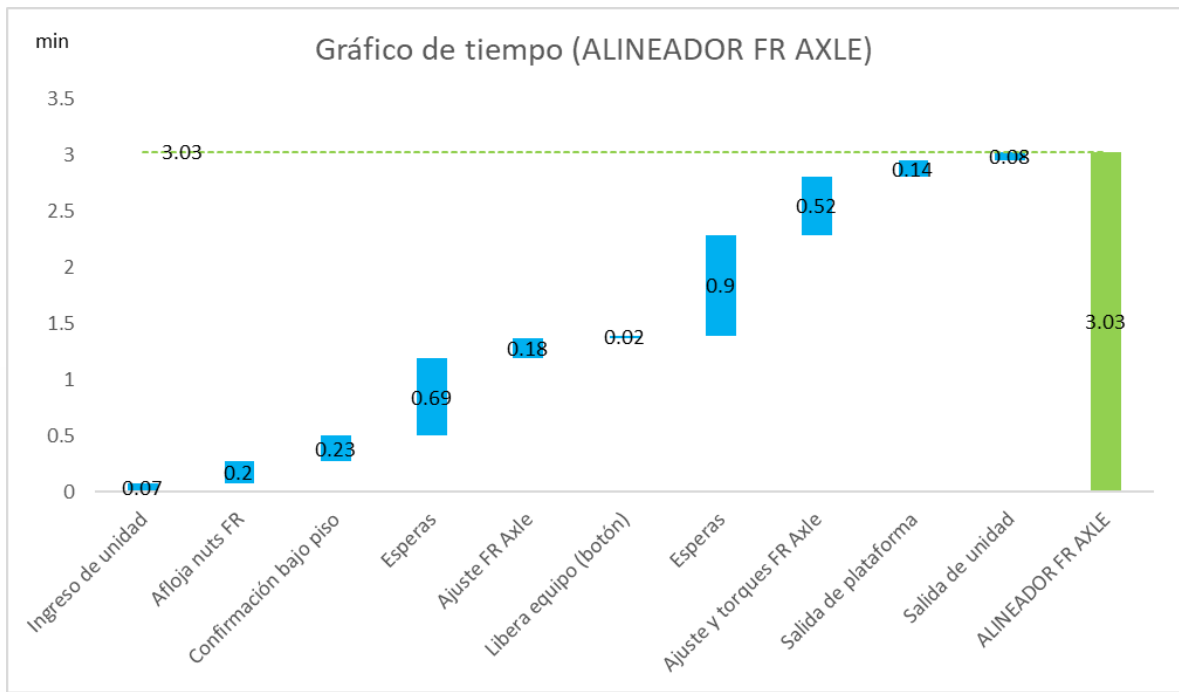


Figura 4.4: Gráfico de Tiempos Alineador Front Axle.  
Fuente: Elaboración propia con base en la investigación (2022).

Como muestra la Figura 4.4, este operador realiza una confirmación en la parte inferior del vehículo, en la que garantiza algunos ensambles de componentes que no pueden ser vistos en ninguna otra estación dentro de esta línea; así mismo, por secuencia de operación, registra un total de 1.59 minutos de esperas entre ajustes.

En la Tabla 4.2, se detallan los elementos que conforman las actividades del proceso de alineación de *Front Axle*.

**Tabla 4.2**

*Desglose de Tiempos Alineación de Front Axle.*

ALINEACIÓN FR AXLE				
ESTACIÓN	ACTIVIDAD	ELEMENTO	T. UNITARIO	T. ACUMULADO
ALINEACIÓN (FOSA)	Ingreso de unidad	Espera ingreso de unidad	0.07	0.07
	Afloja nuts FR	Ingreso a plataforma elevada	0.10	0.17
		Aflojar nuts de ajuste de suspensión frontal (izquierda y derecha)	0.10	0.27
	Confirmación bajo piso	Confirmación visual y al tacto de ensambles bajo piso	0.23	0.5
	Esperas	Espera por equipo (1er giro)	0.25	0.75
		Espera por ajuste RR	0.44	1.19
	Ajuste FR Axle	Ajuste de alineación frontal (izquierda y derecha)	0.18	1.37
	Libera equipo (botón)	Libera equipo para segunda confirmación	0.02	1.39
	Esperas	Espera por equipo (2nd giro)	0.52	1.91
		Espera por ajuste RR Axle	0.38	2.29
	Ajuste y torques FR Axle	Ajuste de alineación frontal (izquierda y derecha)	0.25	2.54
		Libera equipo	0.04	2.58
		Torque de nuts de frontales (izquierda y derecha)	0.15	2.73
		Colocación de marcas de garantía de torque (izquierda y derecha)	0.08	2.81
	Salida de plataforma	Espera para salir de plataforma	0.04	2.85
		Salida de plataforma elevada	0.10	2.95
	Salida de unidad	Espera por salida de unidad	0.04	2.99
Espera de ingreso por seguridad		0.04	3.03	
<b>TIEMPO TOTAL</b>			<b>3.03</b>	

Nota: Elaboración propia con base en la investigación (2022).

#### 4.1.3 Análisis de Tiempos de Alineación de *Rear Axle*

Dado que la zona de trabajo para la alineación de *Front* y *Rear Axle* es la misma, se aplican las mismas condiciones de seguridad en ambos procesos, por lo que el tiempo disponible del operador de alineación *Rear Axle* está sujeto a la espera por el movimiento de unidades entre estaciones.



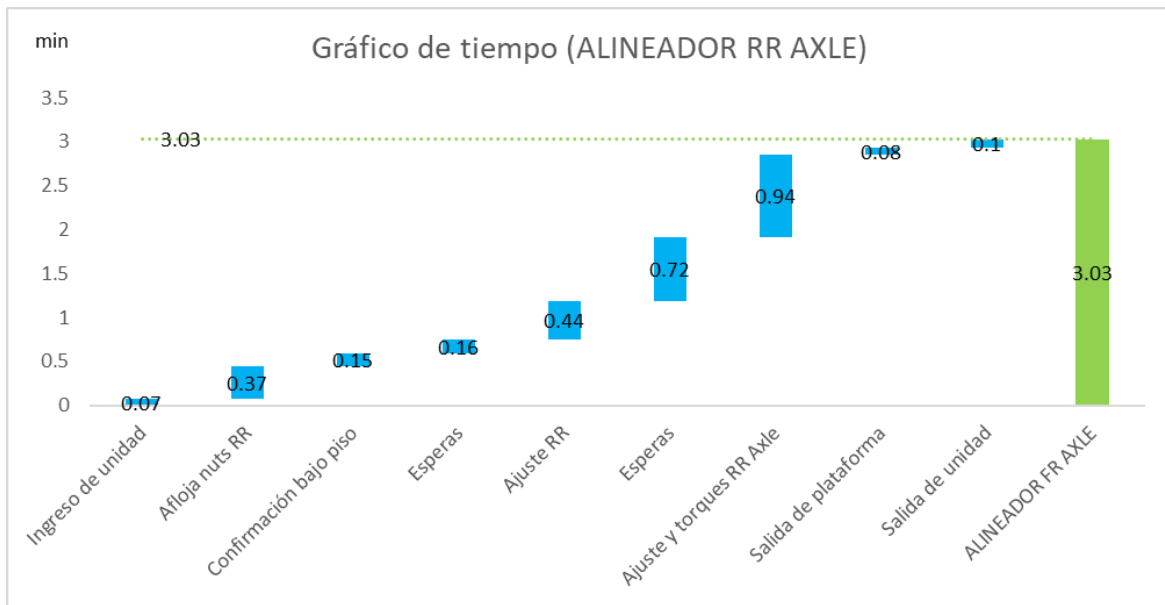


Figura 4.5: Gráfico de Tiempos Alineador Rear Axle.  
Fuente: Elaboración propia con base en la investigación (2022).

En la Figura 4.5, puede observarse que el operador de *Rear Axle* también realiza algunas confirmaciones de ensamble bajo piso al iniciar su ciclo, sin embargo, aquí se centra la mayor parte de la carga de trabajo en la fosa de alineación, ya que este operador registra esperas entre ajustes por total de 0.88 minutos y prácticamente el resto del tiempo se encuentra en actividad, puesto que en este caso, el ajuste es la parte medular de la operación y de ello depende el flujo de los vehículos en la línea.

En la Tabla 4.3 se observa el detalle de la actividad de esta operación.

**Tabla 4.3**

*Desglose de Tiempos Alineación de Rear Axle.*

ALINEACIÓN RR AXLE				
ESTACIÓN	ACTIVIDAD	ELEMENTO	T. UNITARIO	T. ACUMULADO
ALINEACIÓN (FOSA)	Ingreso de unidad	Espera ingreso de unidad	0.07	0.07
	Afloja nuts RR	Espera ingreso a plataforma elevada	0.02	0.09
		Ingreso a plataforma elevada	0.07	0.16
		Aflojar nuts de suspensión trasera (TOE/CAMBER, izquierda/derecha)	0.28	0.44
	Confirmación bajo piso	Confirmación visual y al tacto de ensambles bajo piso	0.15	0.59
	Esperas	Espera por equipo (1er giro)	0.16	0.75
	Ajuste RR	Ajuste de alineación trasera (TOE/CAMBER, izquierda/derecha)	0.44	1.19
	Esperas	Espera por ajuste FR Axle	0.20	1.39
		Espera por equipo (2nd giro)	0.52	1.91
	Ajuste y torques RR Axle	Ajuste de alineación trasera (TOE/CAMBER, izquierda/derecha)	0.40	2.31
		Torque de nuts (TOE/CAMBER, izquierda/derecha)	0.38	2.69
		Colocación de marcas de garantía de torque (TOE/CAMBER, izquierda/derecha)	0.16	2.85
	Salida de plataforma	Salida de plataforma elevada	0.08	2.93
	Salida de unidad	Espera por salida de unidad	0.06	2.99
		Espera de ingreso por seguridad	0.04	3.03
<b>TIEMPO TOTAL</b>			<b>3.03</b>	

Nota: Elaboración propia con base en la investigación (2022).

#### 4.1.4 Análisis de Tiempos del Equipo de Alineación

Como parte del trabajo realizado en la estación de Alineación, los ajustes en la suspensión se confirman mediante un equipo especializado que detecta y evalúa la posición de los neumáticos del vehículo contra los parámetros establecidos y verifica que la posición final se encuentre dentro de las tolerancias especificadas de acuerdo a los grados de inclinación permitidos. Para ello, el equipo centra la unidad en el banco de ajustes, realiza mediciones y confirma la posición de las llantas haciéndolas girar mediante un sistema de rodillos para posteriormente emitir los resultados a través de las pantallas instaladas en la estación.

Actualmente, se tiene establecido que el equipo realice dicha confirmación de posición 2 veces por unidad, por lo que el tiempo de operación del equipo es un factor a considerar en el tiempo de proceso de la estación puesta que interactúa directamente en la carga de trabajo de los operadores. La Figura 4.6 muestra la información de tiempos del equipo respecto al tiempo total de proceso de la estación.

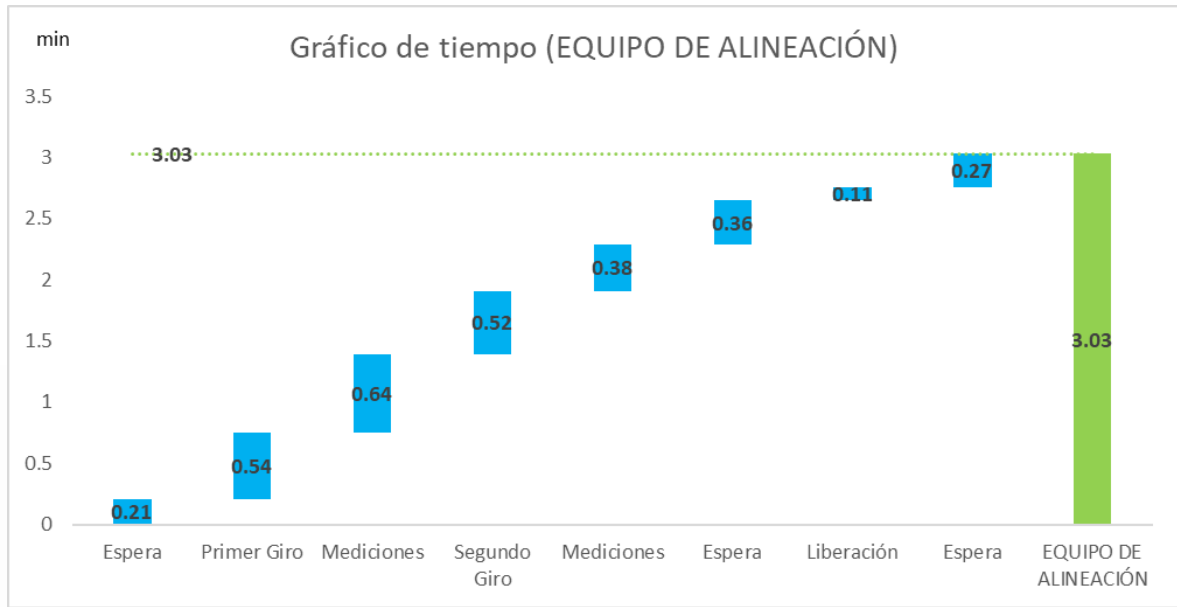


Figura 4.6: Gráfico de Tiempos del Equipo de Alineación.  
Fuente: Elaboración propia con base en la investigación (2022).

Así mismo, la Tabla 4.4 muestra la información de tiempos detallada del equipo de medición.

**Tabla 4.4**

*Desglose de Tiempos del Equipo de Alineación.*

EQUIPO DE ALINEACIÓN DE LLANTAS				
ESTACIÓN	ACTIVIDAD	ELEMENTO	T. UNITARIO	T. ACUMULADO
ALINEACIÓN	Espera	En espera a levantar balancer	0.21	0.21
	Primer Giro	Centrado (medición laser)	0.18	0.39
		Primer Giro de confirmación	0.29	0.68
		Entrega de resultados (pantalla)	0.07	0.75
	Mediciones	Mediciones de parámetros mediante ajuste	0.64	1.39
		Centrado (medición laser)	0.15	1.54
		Segundo Giro	Segundo Giro de confirmación	0.3
	Mediciones	Entrega de resultados (pantalla)	0.07	1.91
		Mediciones de parámetros mediante ajuste	0.38	2.29
		Espera	Espera para liberación	0.36
	Liberación	Liberación de equipo de alineación	0.11	2.76
	Espera	En espera siguiente unidad	0.27	3.03
	<b>TIEMPO TOTAL</b>			<b>3.03</b>

Nota: Elaboración propia con base en la investigación (2022).

#### 4.1.5 Diagrama de Hombre-Máquina del proceso

Debido a la interacción que existe en esta estación del personal con los equipos de alineación y para facilitar el análisis de tiempos, así como poder visualizar la secuencia de operación, se ha elaborado el siguiente diagrama de Hombre-Máquina:

**DIAGRAMA HOMBRE-MÁQUINA**  
**ESTACIÓN DE AJUSTES/ALINEACIÓN**

Elaboró: Hernández, I.

CICLO	MINUTOS	ALINEADOR HEAD LAMPS 1		ALINEADOR HEAD LAMPS 2		ALINEADOR FR AXLE		ALINEADOR RR AXLE		EQUIPO DE ALINEACIÓN	
		ACTIVIDAD	TIEMPO	ACTIVIDAD	TIEMPO	ACTIVIDAD	TIEMPO	ACTIVIDAD	TIEMPO	ACTIVIDAD	TIEMPO
1	0.00	Ingreso Unidad	0.07	Descenso	0.07	Ingreso Unidad	0.07	Ingreso Unidad	0.07		
	0.10	Conexión OBD	0.14	Lectura hoja viajera	0.17	Ingreso a plataforma	0.10	Espera Ingreso a plataforma	0.07	Espera a levantar balancer	0.21
	0.20					Afloja nuts FR	0.10				
	0.30	Colocación balancer	0.26	Arranque equipo Calib.	0.12			Aflojar nuts RR	0.28	Centrado de unidad	0.18
	0.40					Confirmación bajo piso	0.23				
	0.50	Caminado	0.10					Confirmación bajo piso	0.15	Primer giro	0.29
	0.60	Apertura de hood	0.08	Caminado por unidad	0.47	Espera 1er giro	0.25				
	0.70	Colocación caps A/C	0.12					Espera 1er giro	0.16	Emisión resultado	0.07
	0.80										
	0.90			Ascenso	0.10						
	1.00					Espera por ajuste RR	0.44	Ajuste RR Axle	0.44	Mediciones mediante ajuste	0.64
	1.10	Alineación de Head Lamps	0.71								
	1.20					Ajuste FR	0.18	Espera por ajuste FR	0.20		
	1.30					Lib. Botón	0.02				
	1.40			Confirmación eléctrica	1.04						
	1.50	Cierre hood	0.05							Centrado de unidad	0.15
	1.60	Caminado	0.10								
	1.70					Espera 2nd giro	0.52	Espera 2nd giro	0.52	Segundo giro	0.30
	1.80										
	1.90									Emisión resultado	0.07
	2.00			Avance	0.04						
	2.10	Espera por ajuste bajo piso	0.95	Lectura hoja viajera	0.17	Espera por ajuste RR	0.38	Ajuste RR Axle	0.38	Mediciones mediante ajuste	0.38
	2.20										
	2.30										
	2.40					Ajuste FR	0.25				
	2.50							Torque nuts RR	0.40	Espera a liberación de equipo	0.36
	2.60	Retiro de balancer	0.07	Espera disponibilidad en Alineación	0.81	Lib. Botón	0.04				
	2.70	Liberación equipo	0.11			Torque nuts FR	0.15			Liberación	0.11
2.80					Marcas de torque	0.08	Marcas de torque	0.16			
2.90	Desconexión OBD	0.16			Espera salida	0.04					
3.00	Ingreso unidad a Calib.	0.07			Salida de plataforma	0.10	Salida de plataforma	0.08	Espera siguiente ciclo	0.27	
					Espera salida	0.04	Espera salida	0.06			
	Descenso de	0.11	Espera	0.04	Espera	0.04	Espera	0.04			

Figura 4.7: Diagrama Hombre-Máquina del proceso de Alineación - parte 1.  
Fuente: Elaboración propia con base en la investigación (2022).

2	3.00	Calib.		Espera salida	0.04	Espera salida	0.04				
		Descento de unidad	0.11	Ingreso Unidad	0.07	Ingreso Unidad	0.07	Espera a levantar balancer	0.21		
	3.10			Conexión OBD	0.14	Ingreso a plataforma	0.10				
	3.20	Lectura hoja viajera	0.17			Afloja nuts FR	0.10				
	3.30	Arranque equipo Calib.	0.12	Colocación balancer	0.26	Confirmación bajo piso	0.23	Aflojar nuts RR	0.28	Centrado de unidad	0.18
	3.40										
	3.50			Caminado	0.10			Confirmación bajo piso	0.15	Primer giro	0.29
	3.60	Caminado por unidad	0.47	Apertura de hood	0.08	Espera 1er giro	0.25				
	3.70			Colocación caps A/C	0.12			Espera 1er giro	0.16	Emisión resultado	0.07
	3.80										
	3.90	Ascenso	0.10								
	4.00					Espera por ajuste RR	0.44	Ajuste RR Axle	0.44	Mediciones mediante ajuste	0.64
	4.10			Alineación de Head Lamps	0.71						
	4.20										
	4.30					Ajuste FR	0.18	Espera por ajuste FR	0.20		
	4.40					Lib. Botón	0.02				
	4.50	Confirmación eléctrica	1.04							Centrado de unidad	0.15
	4.60			Cierre hood	0.05						
	4.70			Caminado	0.10						
	4.80					Espera 2nd giro	0.52	Espera 2nd giro	0.54	Segundo giro	0.30
	4.90										
	5.00	Avance	0.04								
	5.10	Lectura hoja viajera	0.17	Espera por ajuste bajo piso	0.95	Espera por ajuste RR	0.38	Ajuste RR Axle	0.38	Mediciones mediante ajuste	0.38
	5.20										
	5.30										
	5.40					Ajuste FR	0.25				
	5.50							Torque nuts RR	0.40	Espera a liberación de equipo	0.36
	5.60	Espera disponibilidad en Alineación	0.81			Lib. Botón	0.04				
5.70			Retiro de balancer	0.07							
5.80			Liberación equipo	0.11		Torque nuts FR	0.15		Liberación	0.11	
5.90			Desconexión OBD	0.16		Marcas de torque	0.08	Marcas de torque	0.16		
6.00			Ingreso unidad a Calib.	0.07		Espera salida	0.04	Salida de plataforma	0.08	Espera siguiente ciclo	
								Espera salida	0.06		
			Espera	0.04	Descento	0.04	Espera	0.04			

Figura 4.8: Diagrama Hombre-Máquina del proceso de Alineación - parte 2.  
 Fuente: Elaboración propia con base en la investigación (2022).

Como se muestra en la Figura 4.7 y 4.8, existe una interacción entre los cuatro operadores y el equipo de alineación que determinan el flujo del proceso a lo largo del tiempo. Además, se identifican claramente todas las actividades realizadas por cada elemento que interviene en el ciclo de la operación, con su tiempo unitario; donde los recuadros verdes sólidos representan las actividades claves para el flujo de la operación, los recuadros verdes punteados son el complemento de la carga de trabajo de los operadores y los recuadros vacíos representan el tiempo ocioso. Se ejemplifican dos ciclos de la operación (marcados con las líneas azules) para denotar la interacción de los alineadores de *Head Lamps* entre cada unidad; mientras los alineadores bajo piso completan cada ciclo en la misma estación. En este diagrama se identifica que la mayoría de los espacios de tiempo ocioso suceden en la mano de obra y se derivan principalmente de los ajustes de *Rear Axle*.

De esta forma, si se toman como referencia los tiempos de las actividades que componen la carga de trabajo de los operadores (incluyendo los desplazamientos y únicamente la espera por seguridad), se puede obtener el porcentaje de utilización de la mano de obra como se muestra en la Figura 4.9.

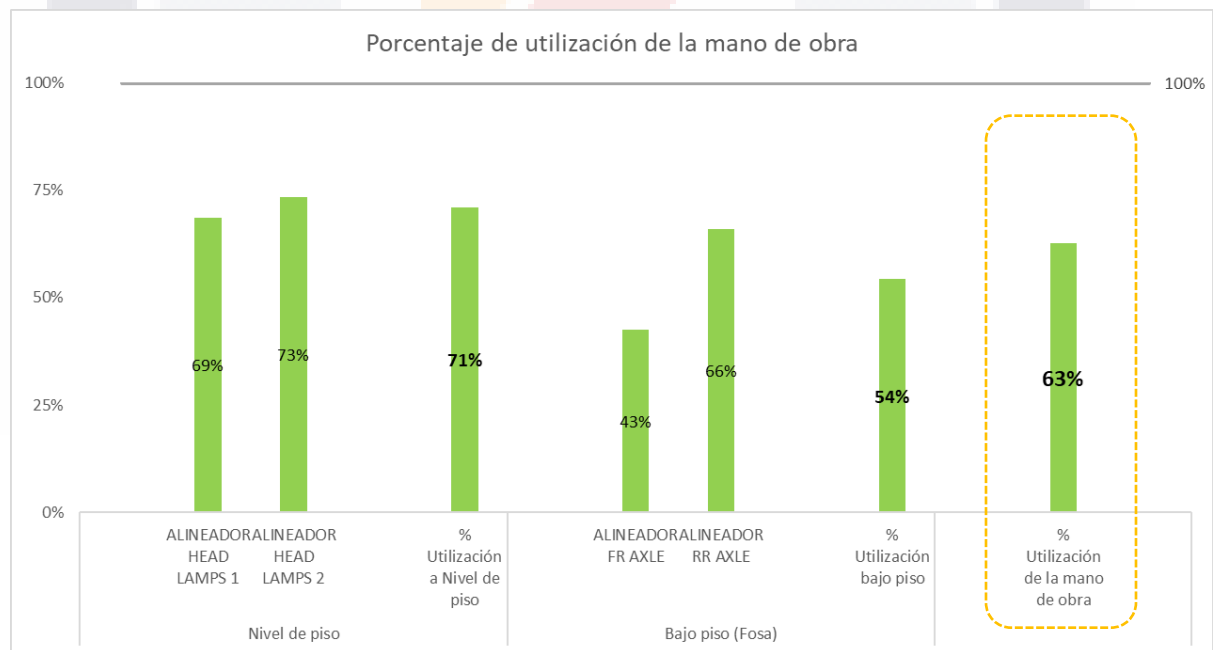


Figura 4.9: *Porcentaje de utilización de la mano de obra.*  
 Fuente: Elaboración propia con base en la investigación (2022).

Se puede obtener entonces el porcentaje de utilización de la mano de obra actual, que corresponde al 63%, donde se observa que ningún operador llega al 75% de ocupación y el mayor desaprovechamiento de este recurso sucede en la operación bajo piso, concretamente en el Alineador de *Front Axle*.

Así mismo, con la información de tiempos de la carga de trabajo, se realiza un comparativo contra el Tiempo Tacto.

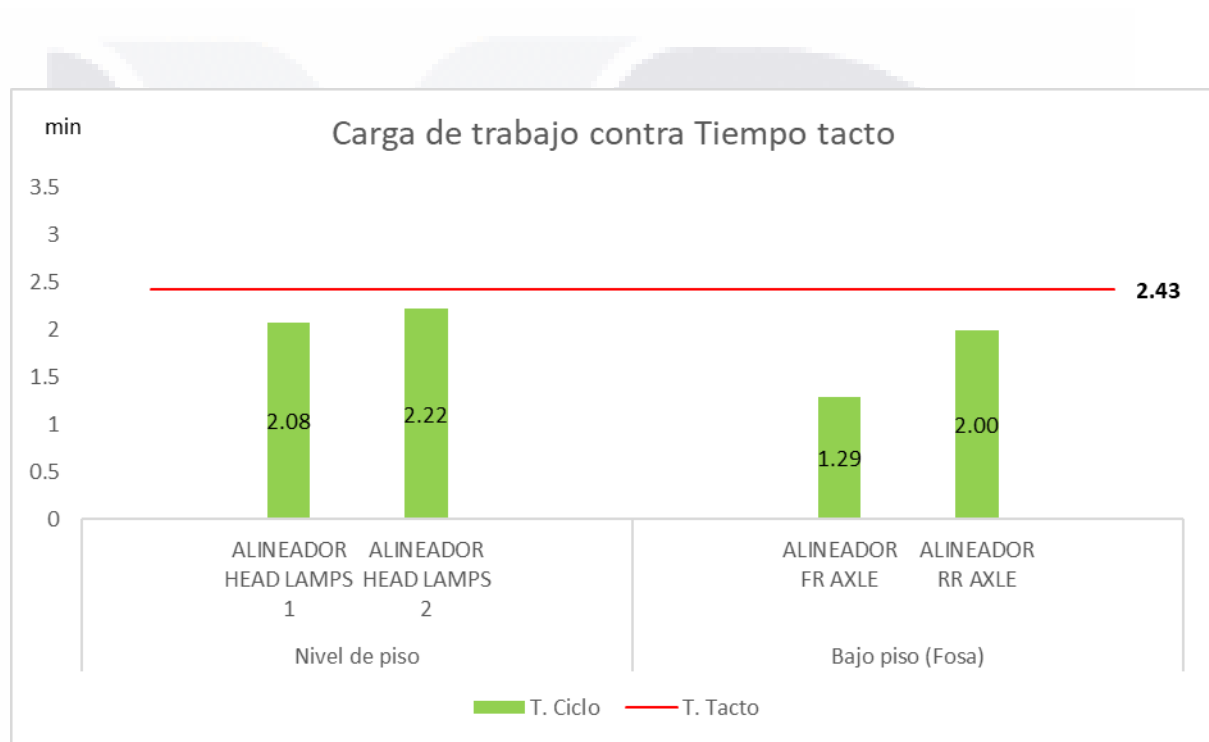


Figura 4.10: Gráfico de cargas de trabajo contra tiempo tacto.  
Fuente: Elaboración propia con base en la investigación (2022).

Al observar la Figura 4.10, se entendería que el recurso asignado cuenta con la capacidad suficiente para satisfacer la demanda de la producción, incluso puede hablarse de una disponibilidad de la capacidad en el proceso a nivel de piso del 11% y del 32% en la Fosa bajo piso.

Sin embargo, como se ha observado en el diagrama de Hombre-Máquina, existe una interacción entre todas las operaciones y el equipo de alineación, que se refleja en esperas dentro del tiempo de operación y que se vuelven parte del tiempo ciclo de los operadores. La figura 4.11, muestra una comparación de los acumulados de esperas y tiempo ciclo contra el tiempo tacto.

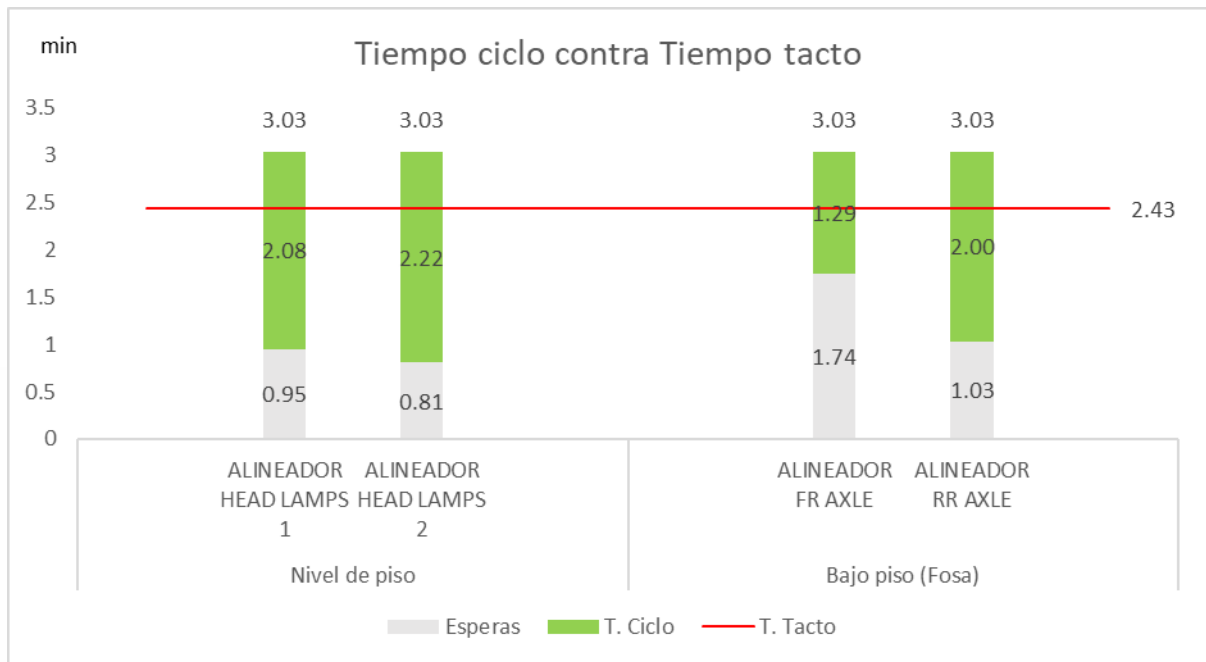


Figura 4.11: Gráfico de tiempo ciclo contra tiempo tacto.  
Fuente: Elaboración propia con base en la investigación (2022).

Es claro entonces que, aunque el porcentaje de ocupación de la mano de obra es bajo, no es posible lograr el cumplimiento a la demanda de producción requerida, debido a la interacción de operaciones en la estación, quedando fuera de tiempo por 0.60 minutos por ciclo, lo cual genera el cuello de botella que entorpece el flujo continuo de entrega de los vehículos al siguiente proceso.

Basado en la información obtenida del diagrama de hombre-máquina, la Figura 4.12 explica un diagrama de tiempos, realizado para facilitar el análisis e identificar las actividades claves a lo largo del proceso de alineación.



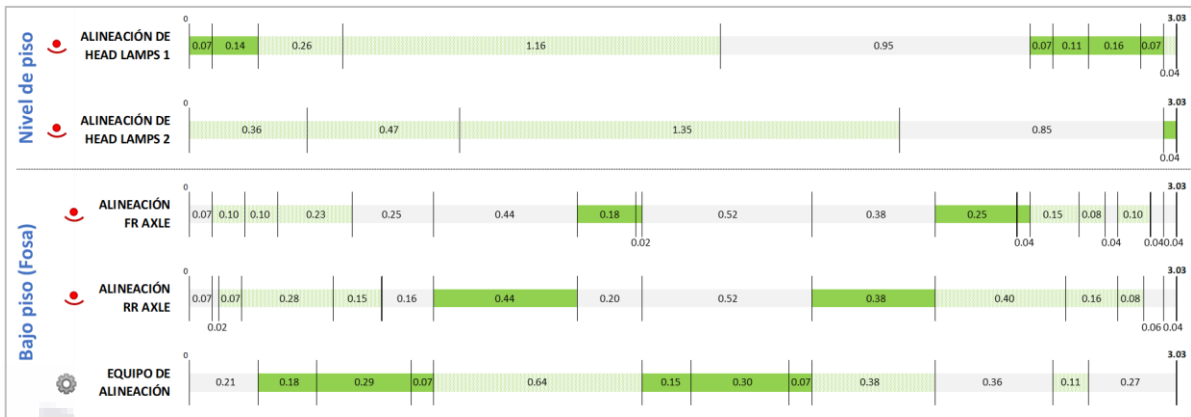


Figura 4.12: Diagrama de tiempos estación de alineación.  
Fuente: Elaboración propia con base en la investigación (2022).

En el diagrama de tiempos se han identificado nueve momentos claves que definen el flujo del proceso de alineación y se muestran en la Figura 4.13.

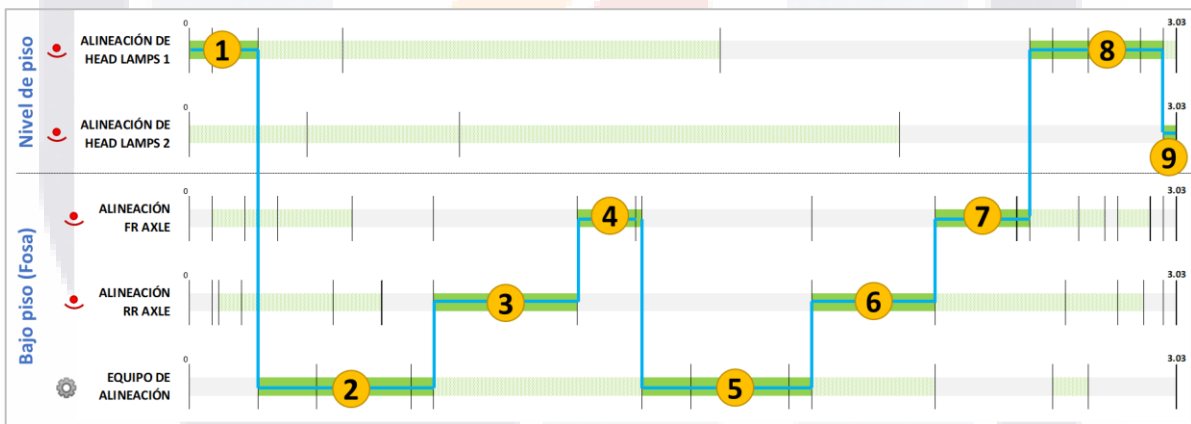


Figura 4.13: Flujo de proceso en diagrama de tiempos.  
Fuente: Elaboración propia con base en la investigación (2022).

1. Inicio de ciclo: Sucede al comenzar la operación, se introduce la unidad a la estación, se realiza la conexión del cable *ODB* al vehículo para tener comunicación con el equipo y el operador desciende de la unidad.
2. Primer giro de llantas: Al momento que el operador a nivel de piso levanta el *balancer* de su base para colocarlo en el volante, el equipo recibe la instrucción para comenzar su operación.

3. Primer ajuste trasero: Cuando el equipo emite los resultados de la condición de alineación del vehículo, el operador de alineación de *Rear Axle*, comienza a manipular el vehículo para aflojar las *nuts* y realizar el ajuste.
4. Primer ajuste frontal: Al concluir el ajuste trasero, el operador de alineación *Font Axle* ajusta en la parte frontal del vehículo y al concluir, oprime el botón que da inicio al segundo giro de confirmación del equipo.
5. Segundo giro de llantas: Cuando se presiona el botón, el equipo recibe la instrucción de realizar el segundo giro de confirmación.
6. Segundo ajuste trasero: Cuando el equipo emite los resultados de la condición de alineación del vehículo, el operador de alineación de *Rear Axle* realiza el ajuste final.
7. Ajuste frontal: Al término del ajuste trasero, el operador de alineación *Font Axle* comienza el ajuste frontal y al finalizar oprime el botón de para indicar la liberación de la unidad.
8. Liberación: Cuando se oprime el botón de liberación de unidad, se emite un mensaje en las pantallas de la estación, en ese momento, el operador de alineación de *head lamps* puede retirar el *balancer* del volante y tira de unos cables que liberan y dan fin al ciclo del equipo, posteriormente asciende a la unidad, desconecta el cable *OBD* y avanza la unidad a la siguiente estación.
9. Espera de seguridad: Con la finalidad de evitar colisiones, se considera un tiempo mínimo de espera para permitir que la unidad alineada abandone completamente la estación antes de que el otro alineador de *head lamps* ingrese una nueva unidad a la estación de alineación y con ello concluye el ciclo del proceso.

De esta manera, al tener identificado el flujo del proceso y los tiempos de ocio, se determina el alcance de las propuestas, como se observa en la Figura 4.14.

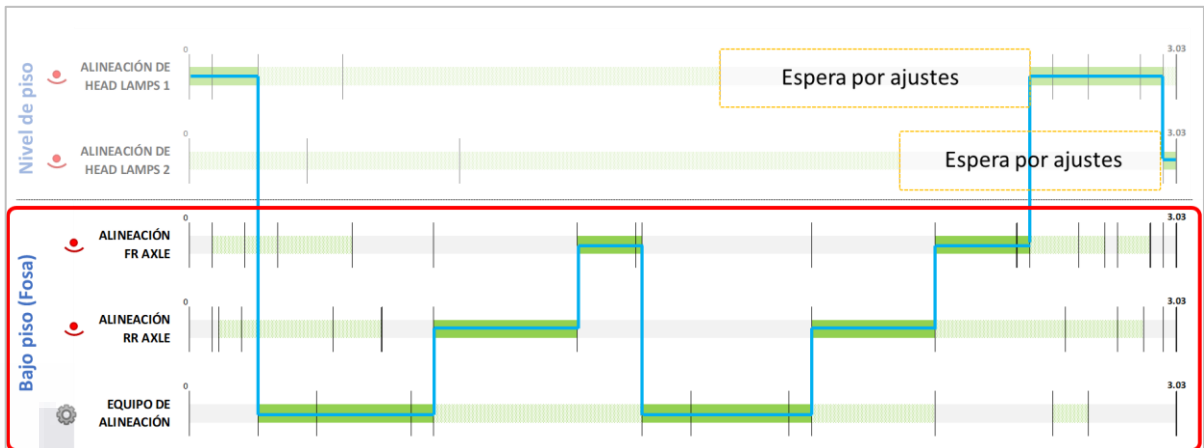


Figura 4.14: Alcance de propuestas de mejoras.  
Fuente: Elaboración propia con base en la investigación (2022).

Se identifica que el tiempo ciclo de los operadores que trabajan a nivel de piso depende del tiempo de los ajustes en la suspensión, por lo que las esperas existentes disminuirán al mejorar los tiempos de operación en la fosa. Por este motivo, las propuestas de mejora se centrarán en las operaciones bajo piso de la estación.

Adicionalmente, cabe mencionar que se trabaja simultáneamente en otras actividades para contribuir a la mejora de la situación actual, destacando la reingeniería realizada en las mesas de subensamble de la suspensión trasera, mediante la cual, se pretende garantizar la posición y torque de dos de las cuatro *nuts* que están sujetas a las mediciones y ajustes en la estación de trabajo referida en este caso.

#### 4.2 PROPUESTAS DE MEJORA

Teniendo en cuenta la problemática descrita en el capítulo anterior y con la información derivada de la investigación, el equipo de trabajo ha propuesto tres posibles alternativas de solución:

1. Balancear la carga de trabajo de los operadores bajo piso
2. Eliminar la segunda confirmación del equipo de alineación
3. Mejorar las herramientas de trabajo bajo piso

Para implementar alguna de las alternativas anteriores, se pretende hacer uso de las herramientas de mejora propias de la Manufactura Esbelta con la finalidad de identificar oportunidades de mejora en la condición actual y encaminar las propuestas a un análisis robusto que permita una evaluación objetiva de las mismas y poder dar sustento a la toma de decisión de la mejor alternativa, que incluso pudiera ser una combinación de varias de ellas, ya que se trata de alternativas no excluyentes.

#### 4.2.1 Balanceo de cargas de trabajo

El concepto de esta propuesta tiene como principal objetivo encontrar una mejor secuencia de operación buscando reducir la cantidad de personal requerido; se pretende incrementar la ocupación del personal y alcanzar un equilibrio en las cargas de trabajo de los operadores, reduciendo el tiempo de ocio e incrementando a su vez, la capacidad real del proceso para alcanzar la satisfacción a la demanda de producción.

En el análisis de la condición del capítulo anterior, los análisis de tiempos expuestos hacen referencia al análisis de la estación de alineación visto como una sola línea; sin embargo, como se menciona en el apartado 1.6.2 Infraestructura y equipo, toda la línea de pruebas vehiculares se subdivide en dos líneas idénticas; es decir, que en realidad existen dos estaciones de alineación que realizan la misma actividad, en las cuales, las estaciones bajo piso se encuentran a su vez, interconectadas mediante un pasillo que da acceso a la segunda fosa, puesto que cuando se realizaron las modificaciones para la segunda línea, por seguridad se decidió dejar un solo acceso restringido a las fosas.

De esta manera, la infraestructura permitiría que el balanceo de cargas de trabajo pueda suceder con los operadores de ambas fosas en conjunto, no por separado para cada estación.

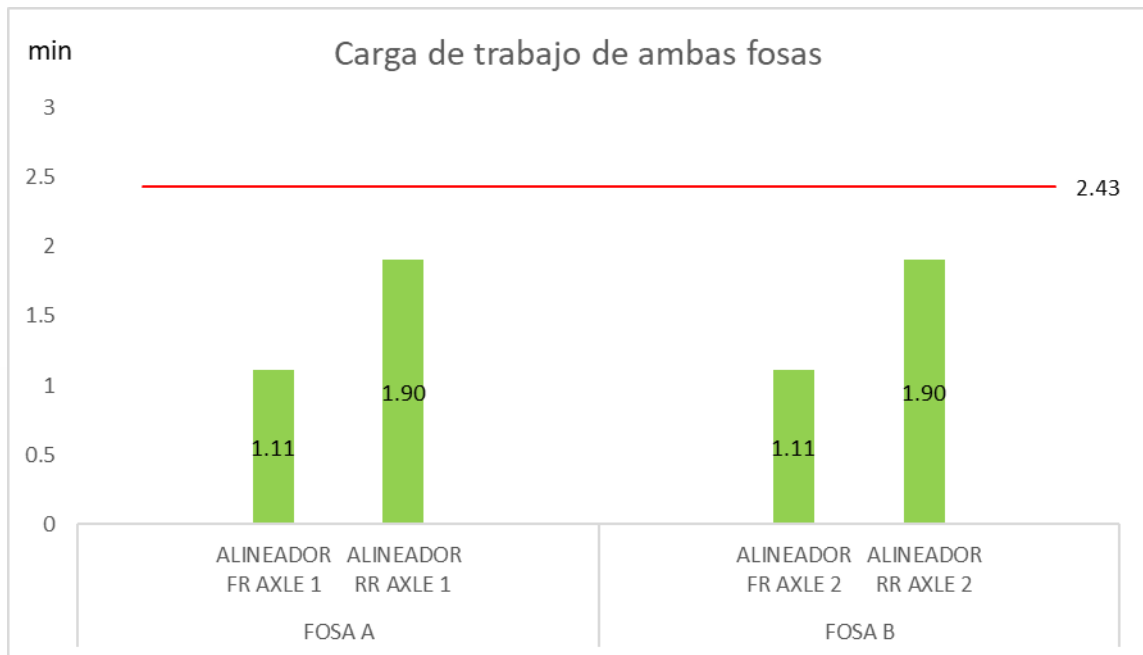


Figura 4.15: *Carga de trabajo de ambas fosas.*  
Fuente: Elaboración propia con base en la investigación (2022).

Tomando como base únicamente la carga de trabajo de los alineadores bajo piso, se genera el siguiente gráfico y sin considerar las posibles variaciones en los tiempos por el nivel de entrenamiento y habilidad de los diferentes operadores que laboran en la estación, en la Figura 4.15, se observa como el trabajo que se realiza en ambas fosas debería ser idéntico, puesto que se procesa el mismo producto, bajo los mismos requerimientos; por ende, la ocupación del personal es la misma en ambos casos.

Así mismo, como suele realizarse en los proyectos de balanceo de cargas, principalmente para las líneas de producción, al sumar las cargas de trabajo de una estación o una línea, se obtiene un tiempo de carga completa para el procesamiento de una unidad, con lo que es posible determinar la cantidad de personal requerida para realizar el trabajo; puesto que, el tiempo tacto determinaría el tiempo de carga máximo disponible para asignar a cada operador.

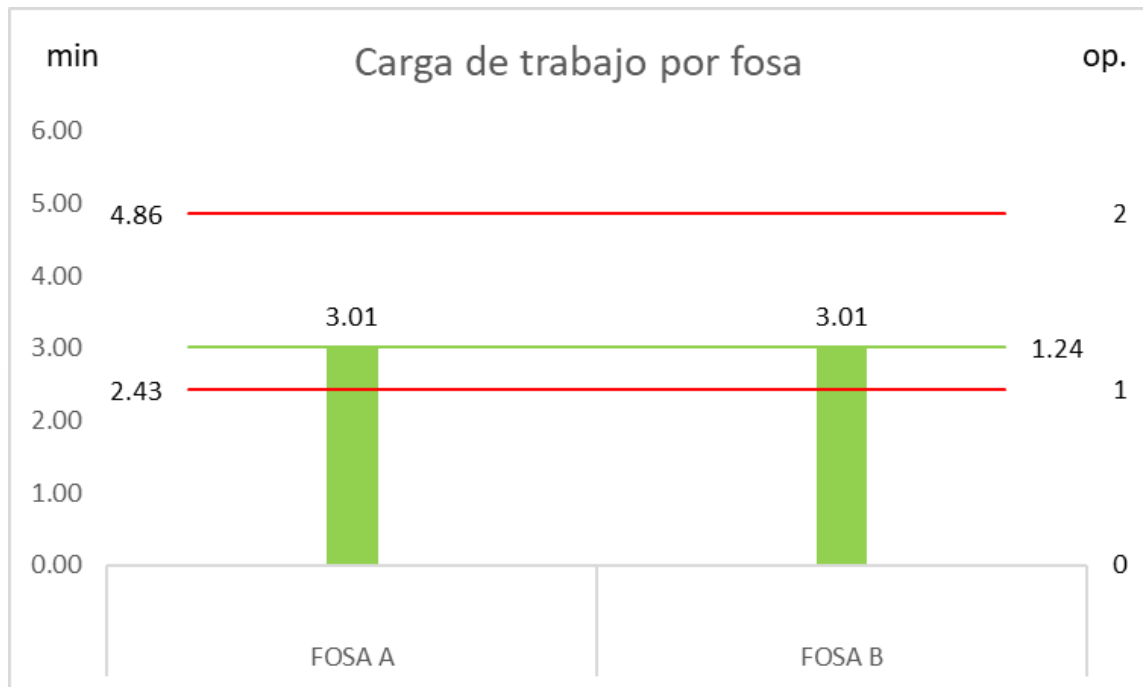


Figura 4.16: Sumatoria de cargas de trabajo por fosa.  
Fuente: Elaboración propia con base en la investigación (2022).

Como puede verse en la Figura 4.16, en la escala del lado derecho se mide la cantidad de operadores de acuerdo al tiempo máximo de posible asignación de carga de trabajo, que es igual al tiempo tacto; se podría decir entonces que el tiempo tacto es el valor en tiempo de cada operador en una línea o estación de trabajo y la carga total determina el número de operadores requeridos. En este caso, de acuerdo a la carga de trabajo por fosa en relación al tiempo tacto, se indica que es requerido un total de 1.24 operadores por fosa para completar el trabajo requerido, razón por la cual operan dos personas en cada fosa.

Bajo este entendido, al conocer la infraestructura existente bajo piso, es posible integrar todas las cargas de trabajo en una sola para determinar la cantidad de personal para ambas líneas en conjunto, como se muestra a continuación:

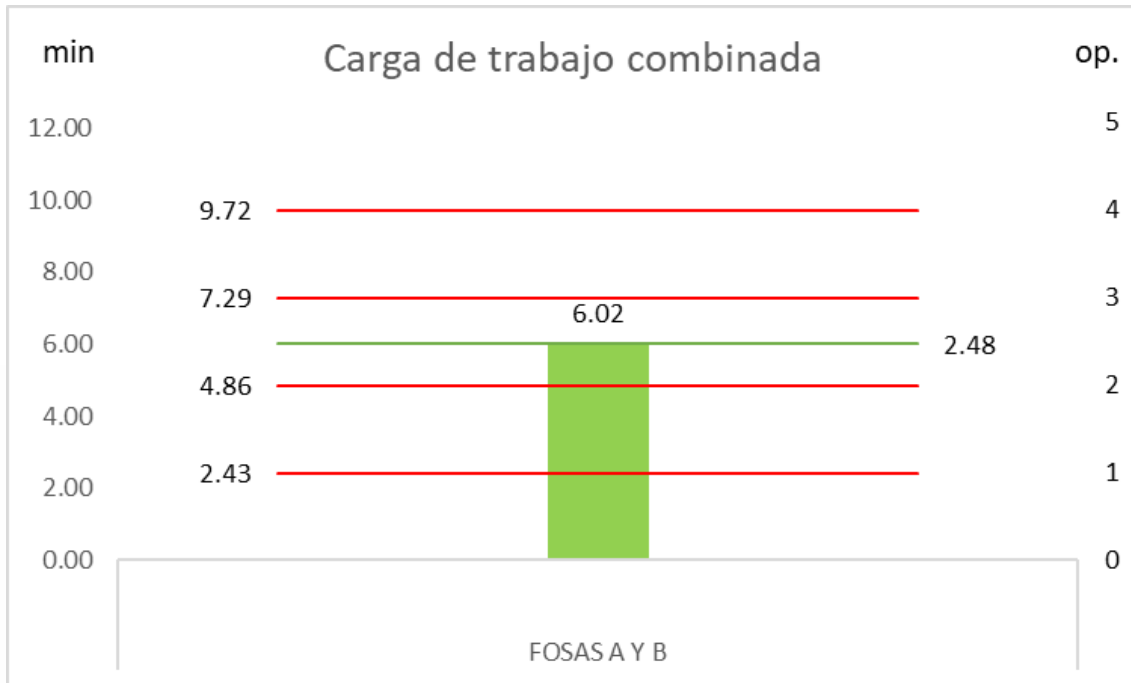


Figura 4.17: *Carga de trabajo combinada.*  
 Fuente: Elaboración propia con base en la investigación (2022).

La figura 4.17 muestra la combinación de la carga de trabajo de las dos líneas y se observa un escenario donde la operación de todo el trabajo bajo piso sería posible realizarla con 2.48 personas; por esta razón, se pretende que el trabajo de ambas líneas ahora se realice con tres operadores, como se observa en la Figura 4.18.

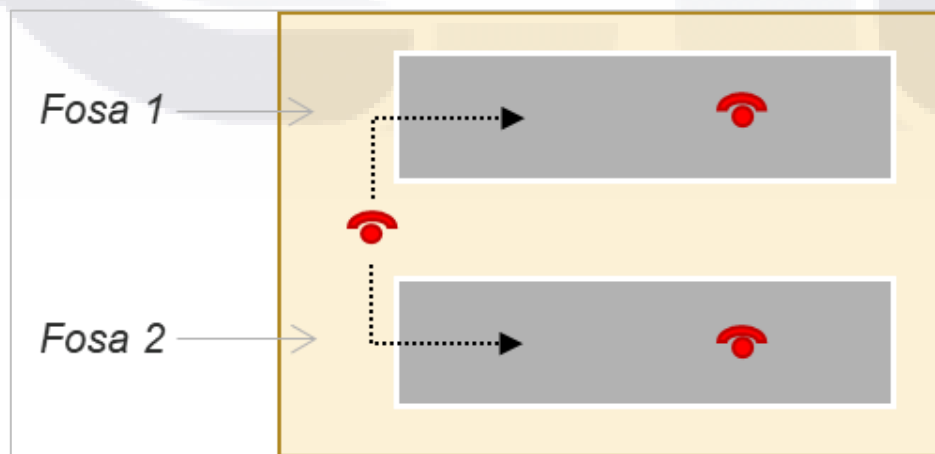


Figura 4.18: *Esquema de operación propuesto con balanceo de cargas de trabajo.*  
 Fuente: Elaboración propia con base en la investigación (2022).

La operación ahora se realizaría con un operador fijo en cada fosa para la operación frontal y un operador trabajando el ajuste trasero intercalándose entre cada fosa para completar la operación al tiempo que se aprovechan las esperas que genera el equipo en cada ciclo.

Con este esquema de trabajo, se lograría la reducción de un operador en la plantilla, aunque el operador que trabaja intermitente en ambas fosas, tendría que desplazarse entre cada fosa, incrementando el caminado en la operación; así mismo, se incrementaría la cantidad de ingresos a las plataformas elevadas, generando posibles riesgos de seguridad.

Sin embargo, aunque aparenta ser una solución sencilla, existen consideraciones de mucha importancia a tener en cuenta, puesto que se trata de un proceso de ajuste y puesta a punto del vehículo, las condiciones y tiempos de ajustes pueden tener variaciones derivadas del nivel de calidad con el que los vehículos salgan de la línea de ensambles. Así mismo, la naturaleza del proceso implica una dependencia directa de un equipo de medición para validar los ajustes realizados y confirmar que ha quedado bajo especificación, por lo que esta interacción entre mano de obra y maquinaria hace que un balance de cargas de trabajo se vuelva mucho más complejo de realizar que como generalmente sucedería si se tratase de una línea de ensamble o de procesos con mayor dependencia de la mano de obra. Por este motivo, los gráficos mostrados anteriormente han sido utilizados sólo como referencia y no son una representación fiable de la realidad, por lo que es necesario que, bajo esta propuesta, se estudie con mayor detalle la interacción de todos los elementos que comprenden este proceso.

Para ello, se requiere trabajar en la búsqueda de una secuencia de operación que sea posible sincronizar entre los tres operadores en conjunto con los equipos de medición y los operadores a nivel de piso de ambas líneas. Así mismo, habría de entender las modificaciones en los desplazamientos que habrían de realizarse al cambiar la secuencia de operación.

Tras analizar las operaciones, se ha logrado establecer una secuencia de trabajo en la cual es posible el trabajo de un operador en las dos líneas, que se denominará como “Alineador RR Pivote”, manteniendo a los operadores de alineación frontal fijos en cada línea, realizando parte de la carga de trabajo que anteriormente realizaba el otro operador, incluso una parte del ajuste trasero (dos de cuatro *nuts*), dejando exclusivamente el ajuste trasero al ahora operador pivote, utilizando los tiempos de espera por el equipo para desplazarse entre las fosas, como se ve en el siguiente diagrama:



**DIAGRAMA HOMBRE-MÁQUINA**  
**PROPUESTA DE SECUENCIA DE OPERACIÓN CON BALANCEO**

*Elaboró: Hernández, I.*

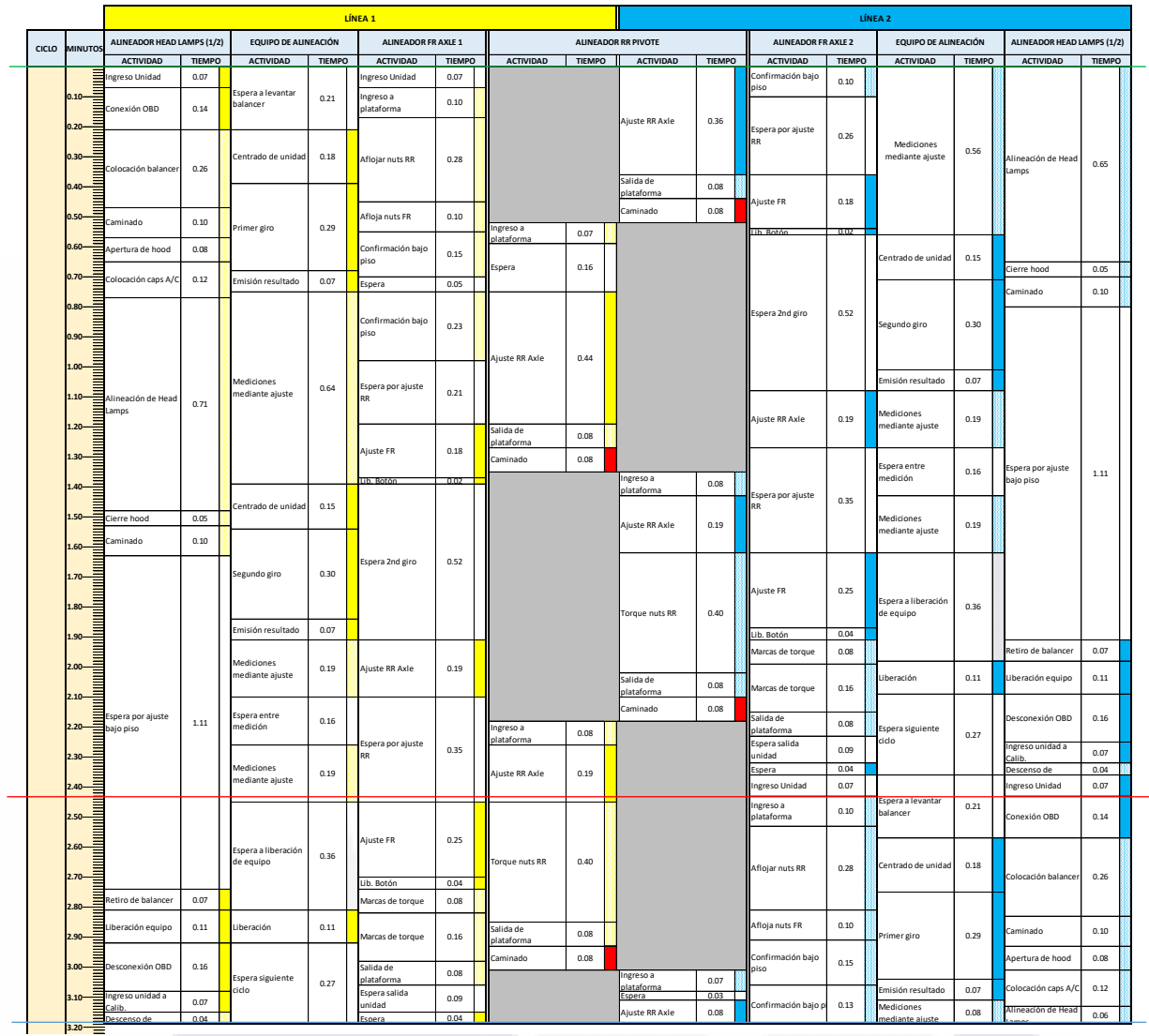


Figura 4.19: Diagrama Hombre-Máquina propuesto por balanceo.  
 Fuente: Elaboración propia con base en la investigación (2022).

En la Figura 4.19, se muestra el diagrama Hombre-Máquina con el ciclo de ambas líneas, diferenciándose por color amarillo para la línea 1 y azul para la línea 2; así mismo, se representa al centro la secuencia de operación del alineador pivote, donde puede verse como se alternaría el trabajo para las 2 fosas. Se destaca como el tiempo ocioso en la mano de obra (espacios blancos) se ha reducido en la operación bajo piso, sin embargo, aparecen otros conceptos a considerar en

la operación como el tiempo de caminado por desplazamiento entre las fosas, que se muestra en color rojo y aparece cuatro veces por cada ciclo.

De igual manera, como puede verse en el diagrama, toda la carga de trabajo ha sido posible asignarla entre los tres operadores, es decir, sometiendo la unidad a exactamente el mismo trabajo que la condición inicial, a pesar de utilizar un operador menos como recurso. Sin embargo, como también puede verse, bajo estas condiciones de operación, debido a la interacción de las operaciones en toda la estación, se estima un tiempo de proceso en la estación de 3.19 minutos, incrementando la diferencia contra el requerimiento en tiempo de 2.43 minutos, marcado con línea roja (tiempo tacto).

Además, un factor importante en el cambio de esta operación es el impacto por los desplazamientos que ahora realizarían los operadores de alineación frontal y en mayor medida el operador pivote de alineación trasera. La distancia entre el punto medio de salida de la plataforma elevada en una fosa es de aproximadamente 6 metros con respecto al mismo punto en la otra fosa y prácticamente representa el tiempo adicional en el tiempo ciclo del operador pivote. Los tiempos de recorrido dentro de la plataforma están incluidos en las propias actividades.

Como parte del análisis, se utiliza un formato de medición del patrón de caminado de ambas operaciones acuerdo a sus desplazamientos, donde se simula la operación para contar los pasos del recorrido del ciclo y se suma la cantidad de pasos para obtener distancias de recorrido.

Debido a su relevancia, se realiza el análisis del patrón de caminado de las operaciones bajo piso, evidenciando los cambios e impactos en los desplazamientos contra la condición actual y los resultados se muestran a continuación:

**ANÁLISIS DE PATRÓN DE CAMINADO**  
**ALINEACIÓN FR AXLE**

*Elaboró; Hernández, I.*

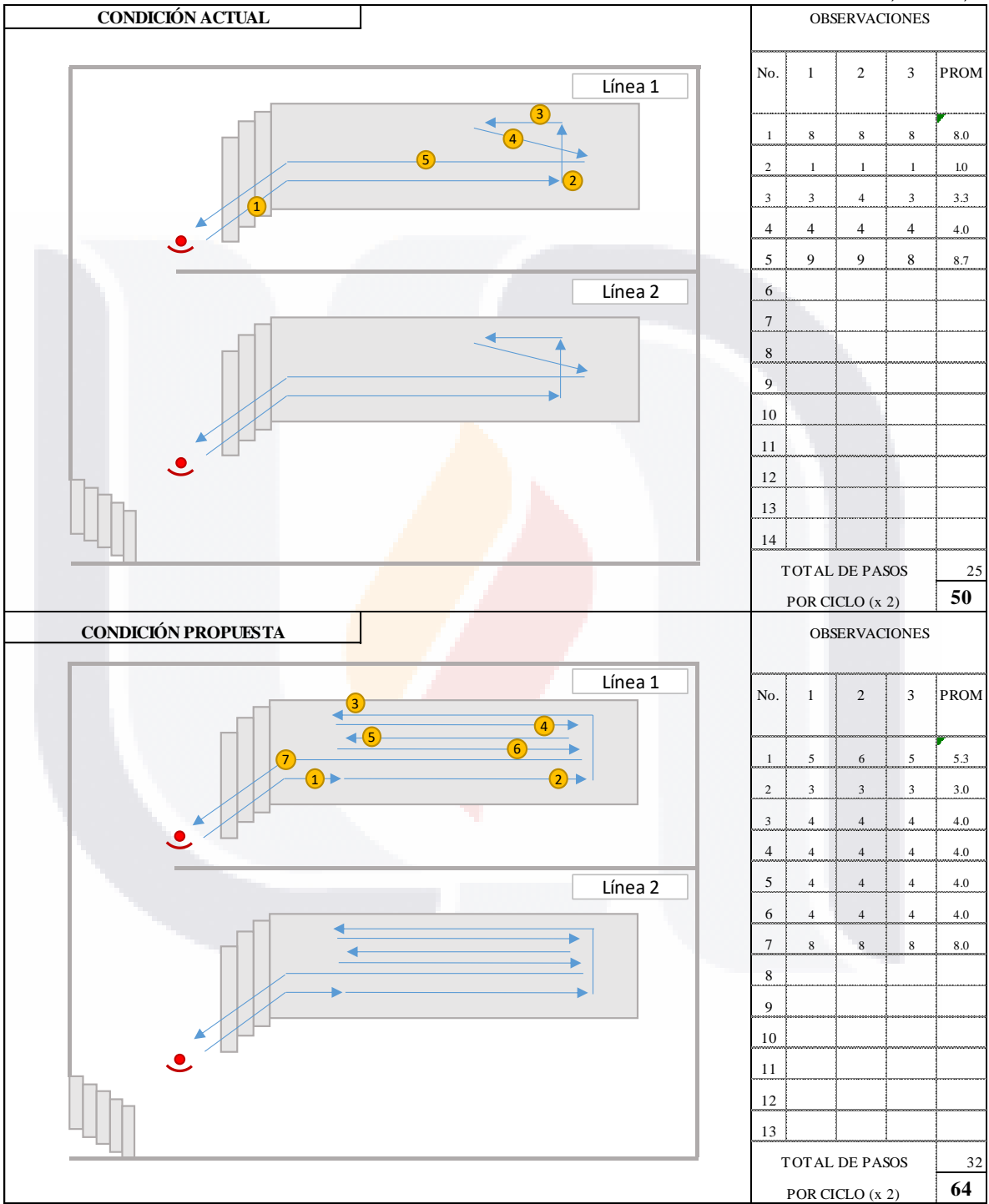


Figura 4.20: Análisis de desplazamientos Front Axle.  
 Fuente: Elaboración propia con base en la investigación (2022).

Como puede observarse en la Figura 4.20, los cambios en el desplazamiento del alineador *Front Axle* están relacionados a la zona de trabajo de acuerdo a la secuencia propuesta, primeramente, existe un incremento en la cantidad de trayectos, puesto que ahora iniciaría ingresando a la plataforma a trabajar en la parte trasera del vehículo, y tendría desplazamientos constantes entre la parte trasera y frontal hasta descender de la plataforma. Con ello se tiene un desplazamiento en la condición actual de 25 pasos por ciclo y con la secuencia propuesta incrementaría a 32 pasos en cada línea. Aunque la diferencia es sólo de un incremento de 7 pasos por ciclo, al multiplicarlos por el volumen requerido por día, se obtiene la siguiente cantidad de pasos:

- Volumen requerido diario: 859 unidades
- Acumulado de pasos por ciclo al día (Condición actual):  $25 \times 859 = 21,475$  pasos
- Acumulado de pasos por ciclo al día (Condición propuesta):  $32 \times 859 = 27,488$  pasos

Es decir, con esta propuesta, el caminado total para la alineación *Front Axle* se incrementaría en 6,013 pasos diarios; para contextualizar la distancia de recorrido, utilizando una distancia promedio de recorrido por paso de 0.75 metros, se puede entender como un incremento de 4.5 kilómetros adicionales de recorrido a lo largo del día.

En el caso del alineador de *Rear Axle*, el impacto en el recorrido total se vuelve más evidente que el anterior por el constante traslado entre fosas, quedando como lo muestra la Figura 4.21.

**ANÁLISIS DE PATRÓN DE CAMINADO**  
**ALINEACIÓN RR AXLE**

*Elaboró; Hernández, I.*

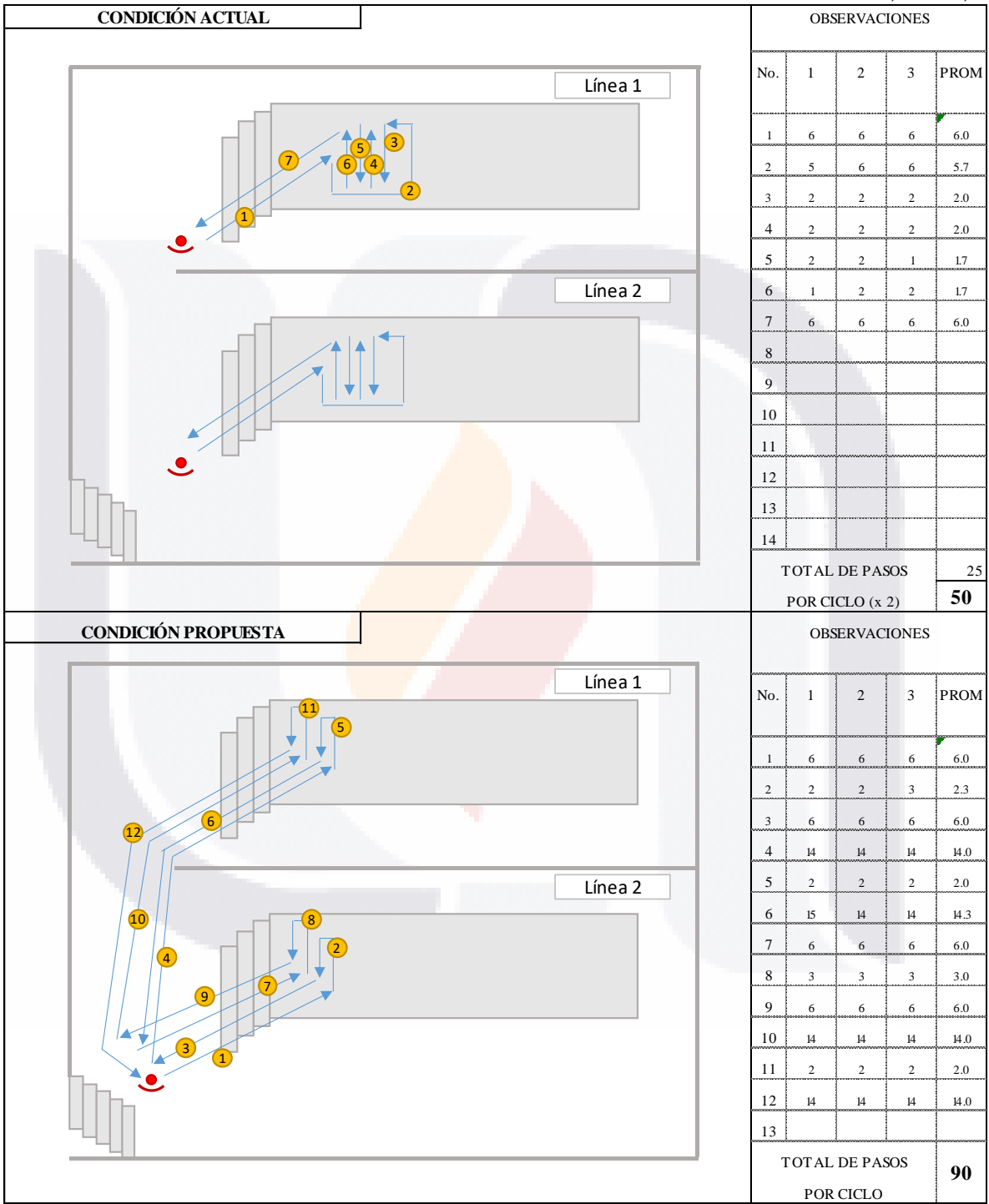


Figura 4.21: Análisis de desplazamientos Rear Axle.  
 Fuente: Elaboración propia con base en la investigación (2022).

En este caso, derivado de la reducción de personal, los trayectos para realizar los ajustes traseros del vehículo tienen un cambio más drástico; como es evidente, también existe un incremento en la cantidad de trayectos, ya que como se observa, ahora debe realizar los ajustes en ambas fosas. Con esta condición, se tiene un desplazamiento actual de 25 pasos por ciclo (1 unidad) y con la secuencia propuesta se incrementaría a 90 pasos para el procesamiento de dos unidades; es decir, se requiere un caminado de 45 pasos por línea, en el que el incremento es de 20 pasos por unidad; al multiplicarlos por el volumen requerido por día, se obtiene la siguiente cantidad de pasos:

- Volumen requerido diario: 859 unidades
- Acumulado de pasos por ciclo al día (Condición actual):  $25 \times 859 = 21,475$  pasos
- Acumulado de pasos por ciclo al día (Condición propuesta):  $45 \times 859 = 38,655$  pasos

Es decir, con esta propuesta, el caminado total para la alineación *Rear Axle* se incrementaría en 17,180 pasos diarios; de igual manera, para contextualizar la distancia de recorrido, utilizando la misma distancia promedio de recorrido por paso (0.75 m), se hablaría de un incremento de 12.9 kilómetros adicionales de recorrido a lo largo del día.

Aunado a esto, debido al constante ascenso y descenso de la plataforma elevada, se incrementa el riesgo de un eventual incidente de seguridad por la frecuencia de utilización de los escalones durante la jornada.

Es importante mencionar que además es necesario asegurarse de que el abasto de unidades a las estaciones de alineación se realice prácticamente en perfecta sincronización de acuerdo como se muestra en la secuencia de operaciones propuesta, por lo que cualquier variación en el abasto o cualquier eventualidad que suceda en la línea de ensambles podría provocar demoras en el flujo de la operación y descompensaría la carga de trabajo del operador pivote en ambas líneas, impidiendo el flujo continuo de vehículos por la línea de pruebas y agravando la situación del problema de cuello de botella existente.

4.2.2 Eliminación de mediciones de equipo

Para esta propuesta, se requiere realizar un cambio en la programación de los equipos, con el objetivo que las mediciones se realicen sólo una vez por unidad (un giro de llantas); esta condición se utilizaba con el modelo anterior, sin embargo, por cuestiones de diseño, se comenzó a realizar una segunda medición en las llantas del vehículo desde un año previo al fin de producción del modelo anterior, por lo que se adoptó sin problema ya que el producto no requería ajuste en la suspensión trasera y aunque se incrementaron los tiempos de procesamiento, no se tenía problema para mantener el flujo de la producción.

Bajo las condiciones operativas del modelo actual, con la eliminación del segundo giro de llantas se lograría reducir directamente el tiempo de proceso en la estación, ya que algunas de las esperas generadas por la operación del equipo dejarían de ocurrir.

De esta manera, se realiza una proyección de los tiempos de operación bajo el supuesto de la eliminación de una segunda medición por parte del equipo, que se explica en los siguientes gráficos:

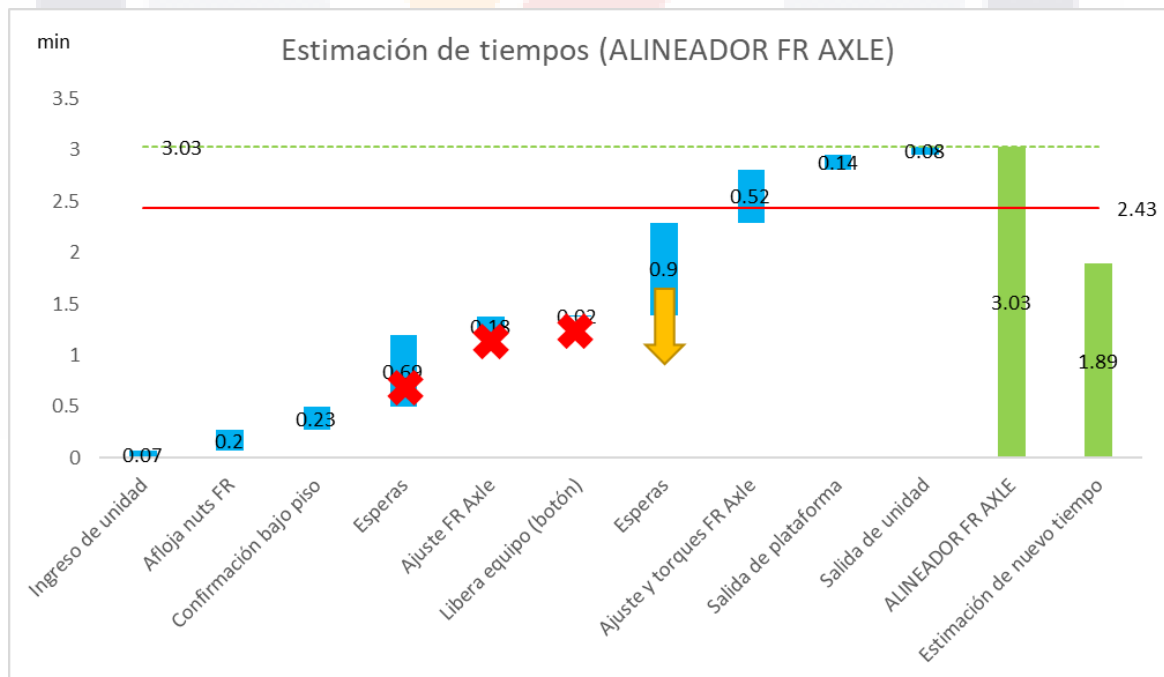


Figura 4.22: Estimación de tiempos – Alineador Front Axle.  
Fuente: Elaboración propia con base en la investigación (2022).

La figura 4.22 muestra la estimación de tiempos del Alineador *Front Axle*, donde prácticamente se elimina el tiempo relacionado al segundo giro de confirmación y existe una reducción en el tiempo total de esperas, quedando la proyección de tiempo en 1.89 minutos, obteniendo un beneficio de reducción del 38% contra el tiempo actual.

En el caso del Alineador *Rear Axle*, se elimina el tiempo del primer ajuste, así como de la espera por el segundo giro del equipo, resultando en un tiempo estimado de 1.87 minutos, como lo explica la Figura 4.23.

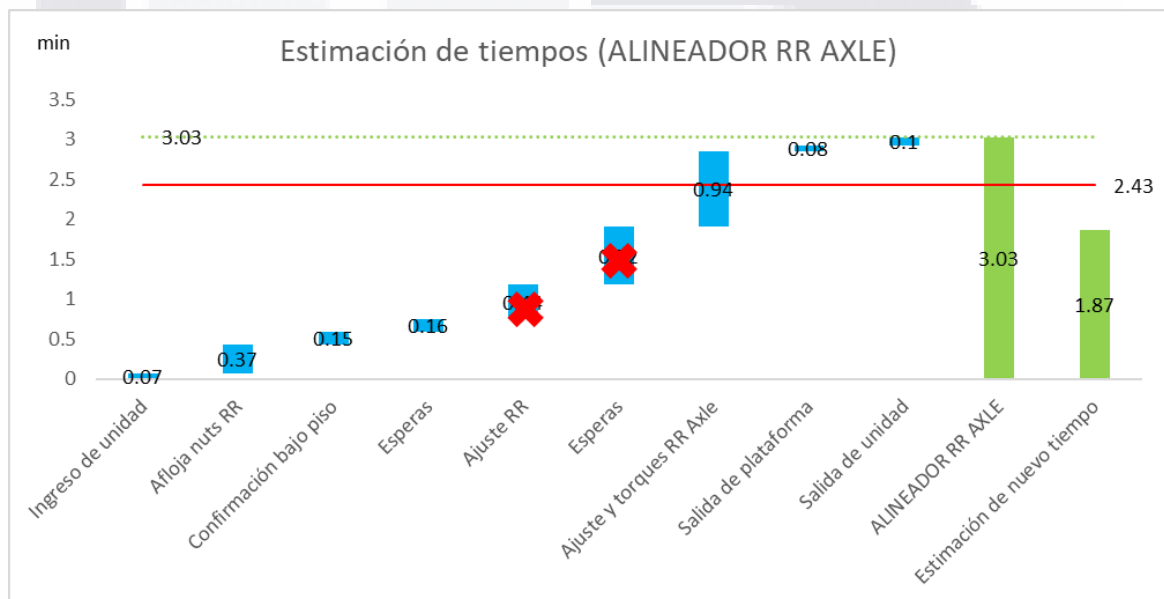


Figura 4.23: Estimación de tiempos – Alineador Rear Axle.  
Fuente: Elaboración propia con base en la investigación (2022).

Así mismo, se proyecta el tiempo del equipo de alineación, que pasaría directamente de la etapa de mediciones a la espera para liberación, reduciendo su tiempo de operación en 0.90 minutos.

Como puede verse en la Figura 4.24, el equipo de alineación tiene un tiempo estimado de 2.13 minutos, mismo que lo convertiría en el proceso más lento de la estación, quedando incluso 0.30 minutos por debajo del tiempo tacto, garantizando el flujo de la producción.



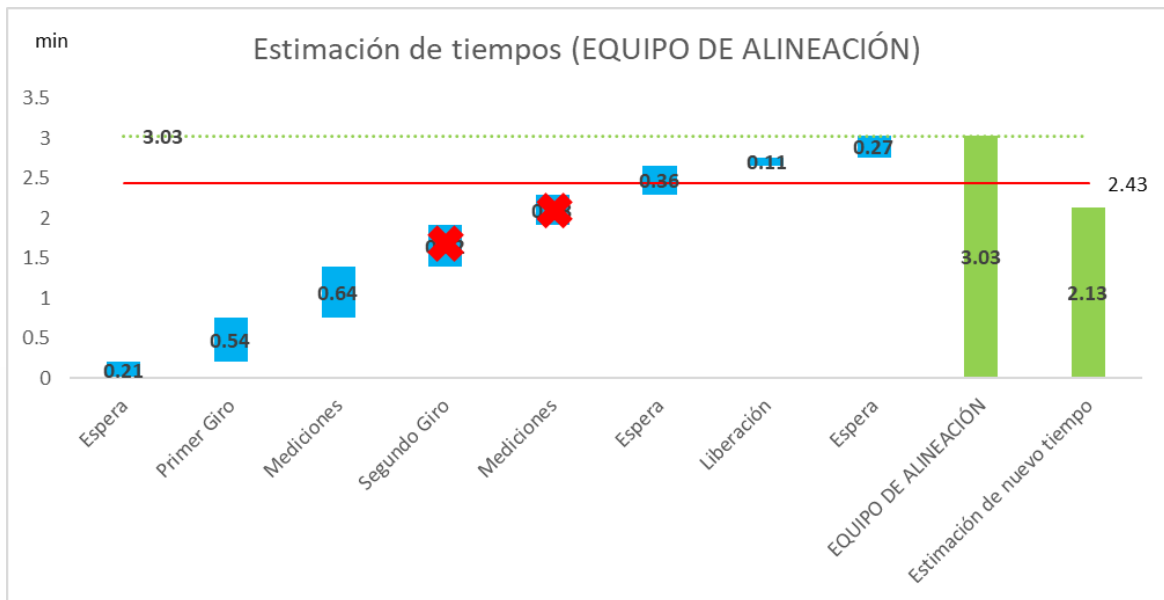


Figura 4.24: Estimación de tiempos – Equipo de alineación.  
Fuente: Elaboración propia con base en la investigación (2022).

Sin embargo, aunque con estas condiciones se lograría cumplir con la producción requerida, sigue existiendo un problema de ociosidad del personal, que ahora resultaría más evidente, puesto que completarían el ciclo mucho antes del tiempo en el que recibirían la siguiente unidad a procesar, dando pie a una mayor facilidad de distracción entre ciclos, que pudiera generar desatención y/o atrasos en el flujo de la línea. Adicionalmente, debido a la necesidad de reducción de costos y con el antecedente de los requerimientos de plantilla bajo las condiciones operativas con un giro de confirmación durante el modelo anterior, se decide complementar la propuesta, buscando eliminar las esperas que seguirían existiendo por la secuencia de los ajustes al trabajar con dos operadores por fosa y la interacción con el equipo.

Por tal motivo, con el soporte de los especialistas de Calidad Vehicular, se realizan distintos análisis y simulaciones para reestructurar la carga de trabajo y determinar la mejor secuencia de operación con la que podría operar un solo operador en cada fosa. De esta manera, se logra visualizar la interacción de los elementos de la estación bajo la nueva secuencia, como se puede observar en el siguiente diagrama de Hombre-Maquina:

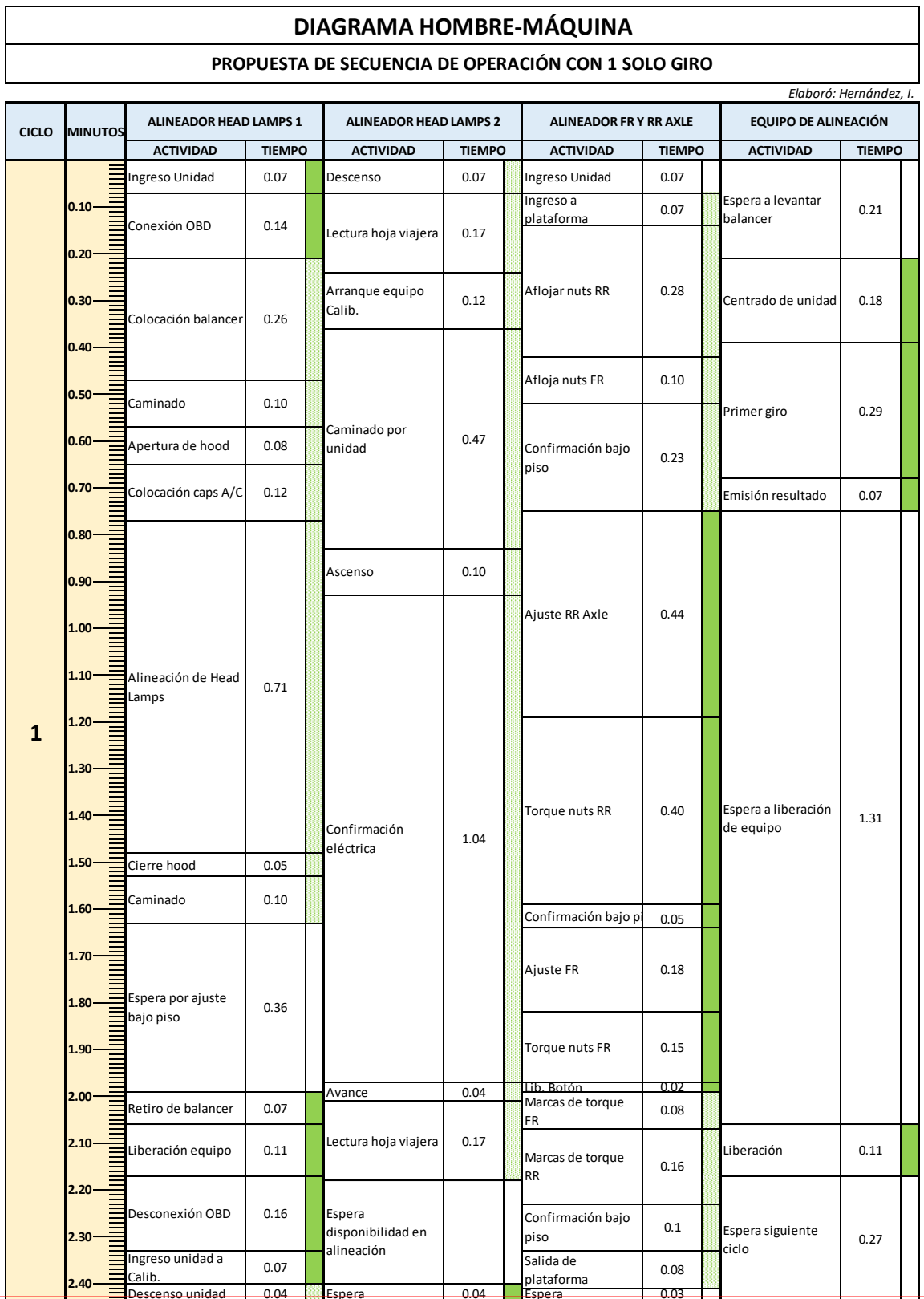


Figura 4.25: Diagrama Hombre-Máquina propuesto para 1 giro.  
Fuente: Elaboración propia con base en la investigación (2022).

Como se muestra en la Figura 4.25, se ha logrado establecer una secuencia de operación donde puede operarse con un solo operador en la fosa de ajuste y puede verse la interacción con los operadores que trabajan a nivel de piso y con el equipo de alineación; sin embargo, al realizar la proyección de tiempos, aunque se logra una reducción contra el tiempo actual con un tiempo de proceso en la estación de 2.44 minutos, este tiempo excede el tiempo tacto por una centésima de minuto, que aunque podría parecer ser insignificante, bajo las condiciones operativas descritas con anterioridad, esto supondría un incumplimiento de aproximadamente cuatro vehículos en la producción diaria, de tal forma que para lograr que la producción cumpla con los programas, se tendría que correr los riesgos de forzar el proceso a alcanzar un porcentaje ligeramente mayor de eficiencia, es decir, que logre un mayor nivel de aprovechamiento del tiempo productivo programado para mitigar el efecto de sobrecarga en la operación. Teniendo como prioridad la reducción de costos, este escenario de operación podría ser factible, sin embargo, no sería recomendable sin el compromiso de implementar más actividades de mejora y reducción de tiempos en el corto plazo, por ejemplo, la reingeniería en la mesa de subensambles, que reduciría el tiempo de ajuste y torque a la mitad al garantizar la posición y apriete de dos de las cuatro *nuts*. Adicionalmente, esta propuesta requiere la validación de áreas externas a la manufactura, ya que deben revisarse y confirmarse la condición del segundo giro de acuerdo a las normas y estándares de calidad establecidos, puesto que por ningún motivo debe verse comprometida la calidad del producto en el mercado.

#### 4.2.3 Instalación de asistentes y herramientas automáticas

Esta propuesta nace en gran medida gracias a la experiencia del equipo de ingeniería de procesos, como una mejora significativa de las herramientas de trabajo para la alineación de *Rear Axle*, ya que actualmente, se utilizan herramientas manuales como llaves españolas para los ajustes; así como torquímetros para la garantía de apriete de los *bolts*. De igual forma, los operadores manipulan constantemente estas herramientas y las llevan a una posición de trabajo por encima de los hombros, cargando completamente con el peso de las herramientas durante la operación y realizando el alto esfuerzo de los torques manuales.

Para mejorar estas condiciones, se analiza la viabilidad de instalar herramientas automáticas de torque controlado, que garanticen el apriete de los *bolts* y faciliten la operación, ya que el operador para aflojar o dar torque, solo tendría que apretar un botón en la nueva herramienta, reduciendo significativamente la fatiga por esfuerzo durante la jornada.

Así mismo, estas nuevas herramientas tienen un mayor peso que las actuales, por lo que requieren soportes especiales tanto para cargarlas, como para absorber el impacto de la fuerza de torque de la propia herramienta, de tal manera que se complementan un brazo de reacción, que además, mejora bastante la postura del operador, ya que mediante la manipulación de este soporte, mantiene sus brazos por debajo de los hombros y solo debe posicionar el cabezal de la herramienta en cada *bolt*, reduciendo los esfuerzos de carga de herramienta y de aplicación de torque.

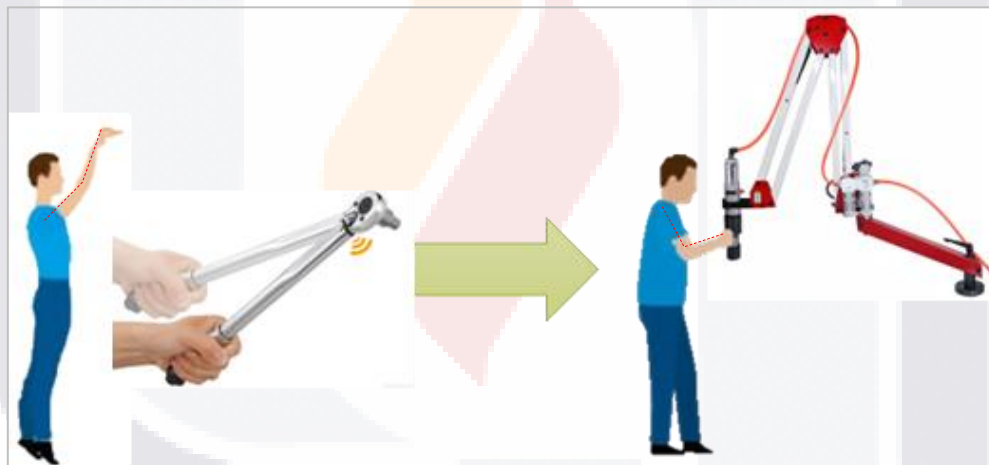


Figura 4.26: *Concepto de mejora de postura por brazo de reacción.*  
Fuente: Elaboración propia con base en la investigación (2022).

La figura 4.26 muestra el concepto de esta propuesta; sin embargo, para su desarrollo, el equipo de ingeniería debe revisar correctamente las especificaciones de todos los componentes del herramental, para garantizar que las dimensiones, requerimientos de soporte, fuerza de torque, etc. se adapten a las necesidades que requiere la estación de trabajo. Por este motivo, se analizan las condiciones tanto operativas, como de infraestructura, para determinar la factibilidad de la instalación. Algunas de las especificaciones revisadas se muestran a continuación:



Figura 4.27: *Revisión de especificaciones de herramientas.*  
Fuente: Elaboración propia con base en la investigación (2022).

La figura 4.27 es una muestra de algunas de las especificaciones revisadas, cabe mencionar que para el análisis se consultaron diferentes proveedores y diferentes modelos de herramienta de sus catálogos, mediante los cuales, el equipo de ingeniería habrá de evaluar y definir la mejor opción de acuerdo a diversas variables como funcionamiento, durabilidad, costo, mantenimiento requerido, soporte de proveedor, entre otras. Además, mediante esta evaluación, se debe garantizar que las especificaciones de las herramientas cubran con los requerimientos de la operación; por ejemplo, para el brazo de reacción, se validan condiciones de alcance vertical y horizontal, valores máximos de soporte de peso y torque; para la herramienta de torque se evalúa el tipo de herramienta, modelo, ángulo, rango máximo de torque, etc. y para el cabezal, se revisa el diseño, material, dimensiones, rango de torque, etc.

De acuerdo con la evaluación de ingeniería, se confirma la viabilidad de esta propuesta, ya que tanto el brazo de reacción, como la herramienta neumática definida cumplen los requerimientos de la operación y se encuentran disponibles a través de los catálogos de línea de los proveedores, sin embargo, el cabezal de torque deberá ser de fabricación especial y será maquinado con un proveedor externo bajo especificación y diseño de los ingenieros de planta.

Adicionalmente, se estima que además de los evidentes beneficios ergonómicos, el uso de estas herramientas puede reducir considerablemente el tiempo de la operación actual, debido a la menor cantidad de movimientos y esfuerzo que realizaría el operador, ya que bastaría con posicionar el cabezal y presionar un botón para aflojar o apretar los *bolts* requeridos.

Para tener una estimación de los tiempos de operación, se observan herramientas similares ya existentes en algunos procesos de la línea de ensambles, buscando obtener una referencia que permita realizar las proyecciones de los tiempos; así mismo, servirá para conocer el mecanismo y entender el funcionamiento de las mismas.

Aunque se trata de valores estimados, las reducciones de tiempo se atribuirían a una menor manipulación de herramientas, así como una mayor facilidad de ajuste y principalmente de los torques requeridos.

Para proyectar la condición de tiempo de esta propuesta, se realiza un diagrama hombre-máquina, donde se propone la combinación de las cargas de trabajo de alineación bajo piso, para lograr el objetivo de reducción de un operador por fosa; sin embargo, esta propuesta habrá de complementarse con la reingeniería que se realiza en el proceso de subensamble, potencialmente reduciendo los tiempos de ajuste y torque trasero (*Rear Axle*), de no concretarse esta última actividad, el tiempo de proceso estimado en la estación excede el tiempo tacto por 0.41 minutos.

DIAGRAMA HOMBRE-MÁQUINA											
PROPUESTA DE SECUENCIA DE OPERACIÓN CON BRAZO DE REACCIÓN											
<i>Elaboró: Hernández, I.</i>											
CICLO	MINUTOS	ALINEADOR HEAD LAMPS 1		ALINEADOR HEAD LAMPS 2		ALINEADOR FR Y RR AXLE		EQUIPO DE ALINEACIÓN			
		ACTIVIDAD	TIEMPO	ACTIVIDAD	TIEMPO	ACTIVIDAD	TIEMPO	ACTIVIDAD	TIEMPO		
1	0.10	Ingreso Unidad	0.07	Descenso	0.07	Ingreso Unidad	0.07	Espera a levantar balancer	0.21		
	0.20	Conexión OBD	0.14	Lectura hoja viajera	0.17	Aflojar nuts RR	0.16	Centrado de unidad	0.18		
	0.30	Colocación balancer	0.26	Arranque equipo Calib.	0.12	Afloja nuts FR	0.10	Primer giro	0.29		
	0.40	Caminado	0.10	Caminado por unidad	0.47	Confirmación bajo piso	0.23	Emisión resultado	0.07		
	0.50	Apertura de hood	0.08			Espera	0.12				
	0.60	Colocación caps A/C	0.12			Ascenso	0.10	Ajuste RR Axle	0.32	Espera a liberación de equipo	0.52
	0.70	Alineación de Head Lamps	0.71	Confirmación eléctrica	1.04	Ajuste FR	0.18	Centrado de unidad	0.15		
	0.80					Uth. Botón	0.02				
	0.90					Cierre hood	0.05	Confirmación bajo piso	0.15	Segundo giro	0.30
	1.00					Caminado	0.10	Espera	0.37	Emisión resultado	0.07
	1.10	Espera por ajuste bajo piso	0.76	Avance	0.04	Ajuste RR Axle	0.24	Espera liberación de equipo	0.67		
	1.20					Lectura hoja viajera	0.17			Torque nuts RR	0.16
	1.30					Uth. Botón	0.02	Ajuste FR	0.18		
	1.40	Retiro de balancer	0.07	Espera disponibilidad en alineación	0.62	Torque nuts FR	0.15	Liberación	0.11		
	1.50	Liberación equipo	0.11	Espera	0.04	Marcas de torque FR	0.08	Espera siguiente ciclo	0.27		
	1.60	Desconexión OBD	0.16			Marcas de torque RR	0.16				
	1.70	Ingreso unidad a Calib.	0.07			Salida de plataforma	0.06				
	1.80	Descenso unidad	0.04								

Figura 4.28: Diagrama Hombre-Máquina propuesto con brazo de reacción.  
Fuente: Elaboración propia con base en la investigación (2022).

Como muestra la Figura 4.28, la estimación de tiempos con la instalación de las nuevas herramientas no es suficiente para realizar el trabajo con un solo operador por fosa, por lo que la reingeniería en el subensamble de la suspensión trasera cobra bastante relevancia para complementar esta propuesta y lograr que el tiempo de la operación se reduzca, quedando debajo del tiempo tacto establecido. Como se ha mencionado anteriormente, una vez concluida la reingeniería de las mesas de subensamble de la suspensión trasera, sólo sería necesario realizar el ajuste y torque de las dos *nuts* faltantes en la estación de alineación, reduciendo prácticamente por mitad los tiempos donde intervienen los ajustes y torques traseros.

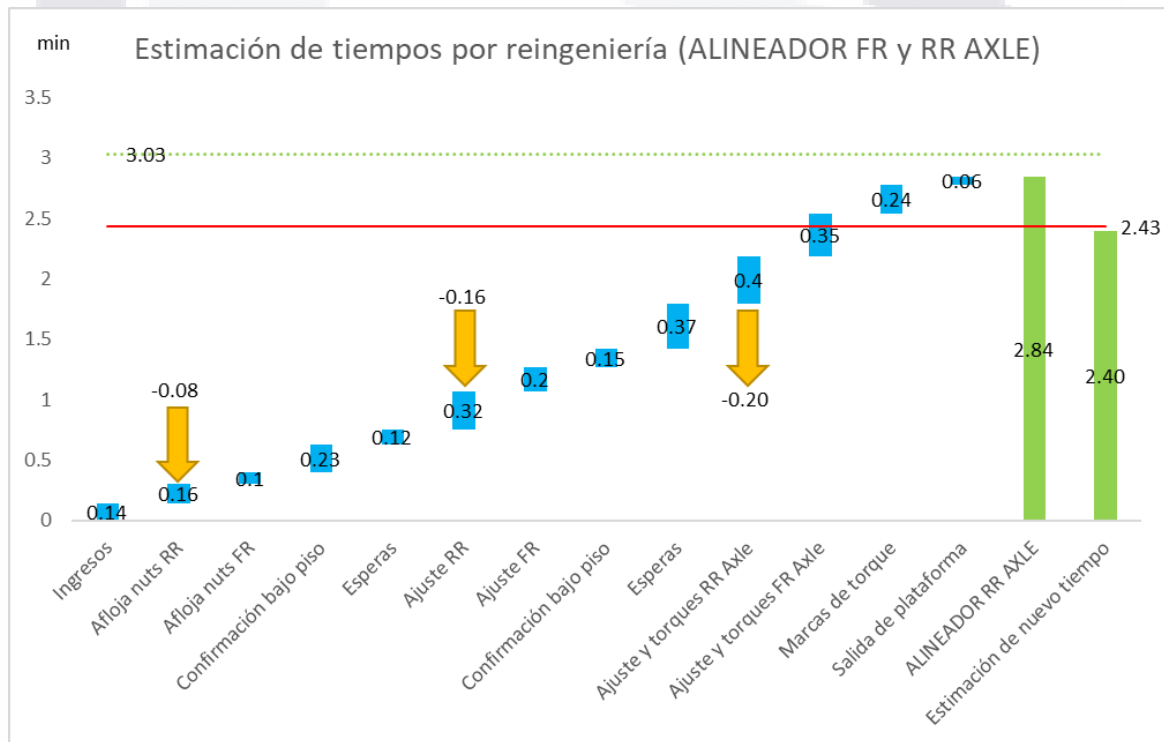


Figura 4.29: Estimación de tiempos – Reingeniería de subensamble.  
Fuente: Elaboración propia con base en la investigación (2022).

De esta manera, como se aprecia en la Figura 4.29, gracias a la reingeniería del proceso de subensamble, el tiempo estimado es de 2.40 minutos, quedando por debajo del tiempo tacto y logrando que cada ciclo sea realizado con un solo operador por fosa, obteniendo además un beneficio en tema de costos por la disminución en el requerimiento de mano de obra de dos operadores en la línea de pruebas.



4.3 EVALUACIÓN DE PROPUESTAS Y DECISIÓN DE MEJOR ALTERNATIVA

Una vez definidas las tres propuestas de mejora de la condición actual, es necesario realizar una evaluación para facilitar la toma de decisiones.

4.3.1 Análisis basado en 4M

Con la participación de los especialistas de las áreas, se analizan las propuestas para conocer el impacto y beneficios respecto a las 4M (Maquinaria, Método, Mano de obra y Material), cuyo resultado se resume en una tabla para su explicación a nivel gerencial.

**Tabla 4.5**

*Tabla resumen de propuestas de solución.*

ITEM	PROPUESTA	MAQUINARIA	MÉTODO	MANO OBRA	MATERIAL	COMENTARIO
1	Balaceo de cargas de trabajo entre fosas	N/A	Encontrar mejor secuencia de operación y obtención de habilidad	Reducción esperada de 1 Inspector, dejando 1 fijo por fosa y 1 alternando como soporte entre ambas	Nuts preajustadas desde subensamble OK	Aunque se observa un beneficio como mano de obra, se requiere un nivel de exactitud muy alto para sincronizar el soporte entre las 2 fosas, con un alto riesgo de incumplimiento
2	Eliminación de mediciones de equipo	Eliminar doble giro de confirmación de parámetros (evaluar Normas de Calidad)	Eliminar doble ajuste de suspensión.	Reducción esperada de 2 inspectores (1 por fosa)	Nuts preajustadas desde subensamble OK	Por el tipo de producto, se requiere revisar las Normas de Calidad; así mismo, deberá validarse con las áreas de diseño y aseguramiento de calidad.
3	Instalación de Brazos de Reacción (Automatización)	Cambio de herramientas manual por asistentes semiautomáticos de torque	Reducción de tiempo ciclo y esfuerzo para ajustar suspensión	Reducción esperada de 2 inspectores (1 por fosa)	Nuts preajustadas desde subensamble OK	De antemano se considera la mejor propuesta, además de obtener beneficio como mano de obra, esta nueva herramienta facilita la operación y se prevé una reducción significativa en el esfuerzo. Es posible validar operatividad mediante Benchmark en otras armadoras.

Nota: Elaboración propia con base en la investigación (2022).

Como puede verse en la Tabla 4.5, se puntualizan las implicaciones y cambios de cada una de las propuestas con respecto a las condiciones de maquinaria y equipo, métodos, mano de obra y materiales, donde en este último rubro, se entiende como material la condición de las unidades a procesar en la estación, destacando que ya se han realizado las mejoras en el proceso de subensamble de la suspensión trasera y esto ocasiona que dos de las cuatro *nuts* lleguen preajustadas al herramientas de alineación. Así mismo, se incluyen comentarios que sintetizan los beneficios y requerimientos explicados con anterioridad.

#### 4.3.2 Dificultad de implementación

Como parte de los análisis realizados, se requiere evaluar que factibilidad de cada propuesta, comenzando por el nivel de dificultad en la implementación, mediante el cual es posible determinar la complejidad de los requerimientos.

En el caso de la primer y segunda propuesta, se considera una dificultad de implementación baja, debido a que resulta bastante sencillo el trabajo requerido para su aplicación; en el caso del rebalanceo de cargas de trabajo, prácticamente depende de la capacitación y generación de habilidad a los operadores bajo la nueva secuencia establecida, de tal forma que sería necesario realizar y ejecutar los planes de capacitación y desarrollo para cubrir al personal de los 3 grupos de trabajo. Para la segunda propuesta, de acuerdo con el departamento de Calidad Vehicular de planta, el requerimiento es bastante sencillo, ya que solo basta con realizar una modificación en los parámetros del *software* del equipo y que los propios ingenieros del área pueden realizar, aunque se recomienda realizar esta tarea en conjunto con el proveedor del equipo, para generar respaldos de los escenarios de operación actual y que los comandos modificados en la programación garanticen el funcionamiento del equipo.

En el caso de la tercera propuesta, se considera de dificultad media, ya que se interviene físicamente la infraestructura de la estación, si bien no se modifica, es necesario determinar correctamente la ubicación del asistente para que la herramienta tenga el alcance a los puntos de acción y no tenga obstrucciones con sus propios componentes como cables, soportes, etc.; así mismo, como se he mencionado anteriormente, adicional a todo el proceso de compra, es necesaria la fabricación de cabezales especiales que deberán ser adaptados a las herramientas de línea de los proveedores y deberá de tener un proceso de pruebas y liberaciones de ingeniería antes de su adopción como nuevo estándar de operación. Además, la disponibilidad de las estaciones de trabajo está bastante limitada, por lo que se requiere una alta precisión en la planeación y ejecución de las actividades para que la intervención no entorpezca la operación normal del proceso.

Adicionalmente, para cualquiera de los tres casos que se defina, será necesaria la actualización de las Hojas de Operación Estándar y de toda la documentación de control de cambios en el proceso; así como refrendos de capacitación de los operadores.

#### 4.3.3 Plazo de ejecución

Debido a la naturaleza del problema, es necesario evaluar los tiempos de ejecución de las propuestas, tomando en cuenta los procesos y actividades requeridas para su implementación, así como las limitantes y recursos disponibles para realizarlas. Para ello, se estiman los tiempos basados en los estándares de control de cambios de procesos, así mismo, la experiencia del equipo de trabajo es fundamental para obtener mayor nivel de certeza en la evaluación.

Para la primera propuesta, se requiere el tiempo de capacitación del personal en los tres grupos, más un tiempo adicional para que el personal eleve su nivel de habilidad mediante la cantidad de repeticiones de la operación. Debido a que sólo cambia la secuencia de actividades, este proceso se estima en un tiempo no mayor a tres meses, determinando su implementación a corto plazo.

De acuerdo con los especialistas, para llevar a cabo la propuesta 2, la modificación de los parámetros puede realizarse en coordinación con el proveedor del equipo durante algún día no productivo, quedando aplicados los cambios para el siguiente turno laboral y monitoreando las condiciones de funcionamiento del equipo durante las siguientes semanas; así mismo, los cambios en la operación sólo se tratan de hacer omisión de pasos existentes y pasar directamente del primer ajuste a los torques para completar el proceso, por lo que el entrenamiento del personal bastaría con una breve reafirmación contra la hoja de operación estándar, estimando un plazo no mayor a un mes, de manera que también es posible implementarla en el corto plazo, toda vez que se obtengan las validaciones correspondientes de las áreas de diseño y aseguramiento de calidad (externas a la división de manufactura).

En el caso de la propuesta 3, los tiempos de ejecución se vuelven más complejos, puesto que primeramente se deben involucrar otras áreas de la compañía para validar los presupuestos y efectuar los procesos de compra de las herramientas y maquinado de cabezales; además, debido a que la planta sigue operando con normalidad, las estaciones de trabajo tienen una disponibilidad muy limitada para realizar maniobras de instalación, por lo que las actividades deben planearse con antelación de acuerdo a los programas maestros de producción, dando prioridad al aprovechamiento de los días de paro programados. De igual manera, los componentes y herramientas requeridos están sujetos a los inventarios y tiempos de entrega de los proveedores, por lo que debe considerarse algún tiempo adicional para cubrir alguna eventualidad.

Adicionalmente, durante la instalación se considera un periodo de pruebas de las herramientas

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

para corroborar su correcto funcionamiento y operatividad. Una vez que las herramientas sean liberadas por el usuario, será requerido completar la capacitación del personal, ya que, en este caso, al tratarse de herramientas completamente nuevas y diferentes a las actuales, se deberá prestar mayor atención a la utilización y funcionamiento de las mismas, así como un mayor número de repeticiones para alcanzar los niveles de habilidad, que se traduce en mayor tiempo de entrenamiento. Se determina entonces, que esta propuesta será posible de ejecutar en el mediano plazo, dado que el tiempo de implementación aproximado es entre seis y nueve meses.

#### 4.3.4 Nivel de inversión

Una parte importante de la evaluación de las propuestas es el requerimiento de inversión, ya que esto da pie a la negociación y aprobación de presupuestos, tomando en cuenta los beneficios de ahorro esperados y los plazos en que comienzan a tener efecto desde el momento en que se ejercen. Generalmente, las áreas correspondientes dan prioridad a los proyectos cuyo monto de inversión es cubierto y se generan ahorros en un periodo máximo de dieciocho meses. En este caso, como ya se ha explicado con anterioridad, los ahorros se originan de la reducción de costos de operación por concepto de la mano de obra.

Para las propuestas 1 y 2, prácticamente la inversión es nula o muy baja, debido a que dependen prácticamente de actividades que pueden ser ejecutadas por el mismo personal de la planta, como ingenieros, supervisores, técnicos y operadores, posiblemente con requerimiento de tiempo extra y algún nivel de soporte externo en el caso de la propuesta 2, aunque más que inversión, pudieran ser clasificados como gastos. De esta manera, en el tema de ahorro, cualquiera de estas dos propuestas lo comienza a generar antes de los tres meses posterior a su conclusión, puesto que el personal que abandona la operación, se mantendría por algunas semanas para solventar cualquier eventualidad mientras se estabiliza la nueva condición de operación; de tal manera, que con estas propuestas se logra una reducción del 25% y 50% respectivamente del costo de mano de obra en la operación de fosas bajo piso de la estación de alineación.

En el caso de la propuesta 3, se clasifica con un nivel de inversión medio, ya que la planta no cuenta con los recursos suficientes para el proyecto y es requerida la solicitud y aprobación de presupuesto a nivel regional de la compañía para realizar la compra de los brazos de reacción y las herramientas, así como la fabricación de los cabezales, incluyendo su instalación y puesta a punto

para ambas líneas de pruebas; de igual manera, la reducción esperada de mano de obra se capitalizaría una vez que se establezca la condición después de liberadas las herramientas por los departamentos correspondientes, de manera que la duración de las etapas previas del proyecto como cotizaciones, compra, instalación, pruebas, etc., serán clave para definir el periodo en el que se comiencen a generar los ahorros esperados. De acuerdo con la información proporcionada por ingeniería de planta, con la estimación de los montos requeridos de inversión y los tiempos de ejecución de esta propuesta, así como la capitalización de reducción del 50% del personal en las fosas bajo piso, el ahorro esperado se proyecta que se vea reflejado a partir del mes dieciséis después de ejercido el presupuesto; es decir, bajo estas condiciones, el monto inicial de inversión es cubierto en quince meses. Adicionalmente, si se logra reducir o acelerar algunas de las etapas de ejecución del proyecto, los ahorros podrían verse reflejados con algunos meses de anticipación.

#### 4.3.5 Matriz de decisión

De acuerdo con la investigación y análisis realizados todas las propuestas cumplen con los lineamientos financieros de reportar ahorros antes de los dieciocho meses; así mismo, las tres propuestas se han considerado como factibles de ejecutar.

**Tabla 4.6**

*Tabla resumen de implementación.*

ITEM	PROPUESTA	DIFICULTAD DE IMPLEMENTACIÓN	PLAZO DE EJECUCIÓN	NIVEL DE INVERSIÓN
1	Balanceo de cargas de trabajo	Baja	Corto	Nulo / bajo (gasto)
2	Eliminación de mediciones de equipo	Baja	Corto	Nulo / bajo (gasto)
3	Instalación de Brazos de Reacción (Automatización)	Media	Mediano	Mediano

Nota: Elaboración propia con base en la investigación (2022).

Como lo muestra la Tabla 4.6, aunque las propuestas tengan condiciones diferentes de implementación, en todos los casos es posible gestionar los recursos para llevarlas a cabo; sin embargo, para facilitar la toma de decisiones a la Alta Gerencia de la planta, es necesario realizar

una evaluación mediante una matriz, donde sea posible establecer parámetros para cuantificar y medir el impacto que tiene cada una de las propuestas en los principales rubros de gestión.

Se ha decidido por parte del equipo de trabajo que la evaluación se realice utilizando tres diferentes valores (0, 1 y 3) que puedan reflejar el impacto de la propuesta contra la condición actual de la estación de trabajo y que los parámetros sean asignados y validados bajo el criterio de los especialistas de las áreas que controlan cada rubro (Calidad, Costo, Tiempo, Seguridad).

Para la evaluación de Calidad se determina la evaluación en relación al efecto de la actividad en la precisión del ajuste final, considerando los siguientes valores:

- 0 = Empeora condición de ajuste
- 1= Sin cambio
- 3 = Mejora condición de ajuste

Dentro de la evaluación de Costos, los valores se asignan en función de la cantidad de personal que es posible reducir en la estación de trabajo, quedando de la siguiente manera:

- 0 = Sin reducción de personal
- 1= Reducción total de un operador
- 3 = Reducción total de dos operadores

Para la evaluación de tiempo, se evalúa la diferencia entre el tiempo de proceso proyectado contra el tiempo tacto establecido y se asignan los valores como se muestra a continuación:

- 0 = Tiempo excede más de 3% al tiempo tacto (sobrecarga > 3%)
- 1= Tiempo excede máximo 3% al tiempo tacto (0 a 3% de sobrecarga)
- 3 = Tiempo menor al tiempo tacto

Finalmente, la evaluación de Seguridad se realiza basada en el impacto al grado ergonómico (*rank*) de la estación de trabajo, que califica entre otras cosas, la postura, esfuerzo y caminados del operador a lo largo de la jornada de trabajo, considerando los siguientes valores:

- 0 = Evaluación de *rank* empeora (mayor esfuerzo, mayor caminado, peor postura)
- 1= Evaluación de *rank* se mantiene (posible reducción de esfuerzo, caminado, postura)
- 3 = Evaluación de *rank* mejora (menor esfuerzo, menor caminado, mejor postura)

Una vez teniendo la valoración de parte de las áreas y con la claridad de las actividades a realizar, así como su impacto en los principales rubros de gestión, se realiza una matriz que muestra los resultados de la evaluación de las propuestas, tomando como base toda la información generada de los análisis de cada propuesta y que resume el trabajo realizado para facilitar la toma de decisión, no sin antes, haber explicado con antelación a la alta gerencia de planta los aspectos más relevantes de cada una de las propuestas en los diversos foros en los que ha sido solicitado. Igualmente, durante esta evaluación, se confirma por parte de las áreas de Diseño y Calidad que la medición del segundo giro de llantas es obligatoria de acuerdo a las Normas y Estándares de Calidad del producto, por lo que debe realizarse para no comprometer la precisión del ajuste final del vehículo; por este motivo, la propuesta 2 ha quedado prácticamente descartada, sin importar su puntuación final, aunque se continúa su evaluación en los demás rubros para completar la matriz expuesta a la alta gerencia que se muestra a continuación:

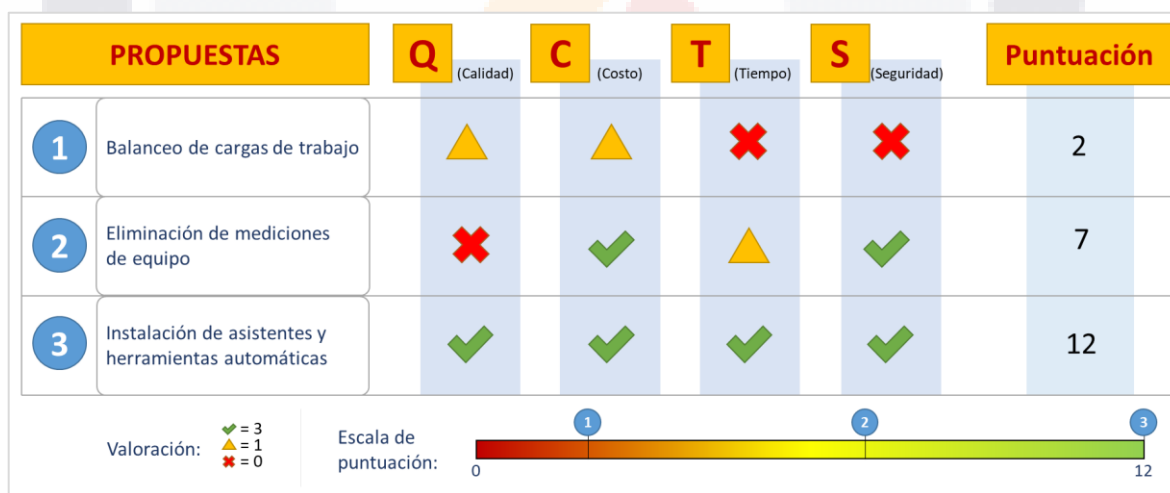


Figura 4.30: Matriz de decisión. Fuente: Elaboración propia con base en la investigación (2022).

Como puede verse en la Figura 4.30, las tres propuestas son evaluadas y asignadas con una puntuación de acuerdo a los parámetros establecidos en cada rubro. Se utilizan figuras que simbolizan la valoración asignada para facilitar la visualización; así como la incorporación de una escala de puntuación como comparativo de la evaluación.

Con esta información, la dirección de planta en conjunto con las gerencias departamentales, han decidido realizar la instalación de asistentes y herramientas automáticas en las fosas de la estación de alineación, debido a que es la propuesta que presenta mayores beneficios a la estación de trabajo; en cuanto a la calidad, se proyecta una mejora en la condición de ajuste por las herramientas de torque controlado y la garantía de posición de las dos *nuts* gracias también a las actividades realizadas en los procesos de subensambles de la suspensión trasera; en el tema de costos, se presupuesta el mayor ahorro posible derivado de la mano de obra, debido a que los tiempos de operación permiten que el trabajo se realice por un sólo operador en cada fosa. Por otra parte, en esta propuesta se destaca la importancia que tiene en la reducción de fatiga del operador durante su jornada, minimizando así los riesgos de lesiones en el personal a largo plazo. Esta decisión se muestra en la Figura 4.31.

PROPUESTAS		Q (Calidad)	C (Costo)	T (Tiempo)	S (Seguridad)	Puntuación
1	Balaceo de cargas de trabajo	▲	▲	✖	✖	2
2	Eliminación de mediciones de equipo	✖	▲	▲	▲	7
3	<b>Instalación de asistentes y herramientas automáticas</b>	▲	▲	▲	▲	<b>12</b>

Valoración:   
 ▲ = 3   
 ▲ = 1   
 ✖ = 0

Escala de puntuación:   
 0 — 1 — 2 — 3   
 12

Figura 4.31: Selección de mejor alternativa.  
 Fuente: Elaboración propia con base en la investigación (2022).

Bajo este entendimiento, se encaminan los esfuerzos del equipo de trabajo a la realización de las actividades para completar este proyecto, en el cual, recae la mayor responsabilidad para el área de ingeniería de planta, con el soporte de todas las demás áreas. Así mismo, se ha solicitado que el área de ingeniería industrial se encargue de gestionar la planeación y el seguimiento oportuno a la ejecución de las etapas del proyecto hasta su conclusión.



#### 4.4 IMPLEMENTACIÓN Y ESTRATEGIAS DE SEGUIMIENTO

Una vez definida la mejor alternativa, es necesario plasmar en un programa todas las actividades a realizar con la finalidad de entender la secuencia de ejecución, anticiparse a los posibles bloques que no permitan continuar alguna actividad y requieran subir el nivel de decisiones a los directivos; así como conocer los tiempos definidos y las personas responsables de su ejecución.

Por este motivo, se ha establecido un plan de trabajo general del proyecto, que comprende la planeación de diecinueve actividades y se muestra en dos partes para mejorar visualización mediante las Figuras 4.32 y 4.33.

ITEM	DESCRIPCIÓN	MAYO					JUNIO				JULIO				AGOSTO				
		SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4	SEMANA 5	SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4	SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4	SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4	SEMANA 5
PROCESO DE COMPRA	1 ELABORACIÓN DE ESPEC	PLAN																	
		REAL																	
	2 CARGA DE PRS	PLAN																	
		REAL																	
	3 APROBACIÓN DE PRS	PLAN																	
		REAL																	
	4 CARGA DE PRQ	PLAN																	
	REAL																		
5 APROBACIÓN DE PRQ	PLAN																		
	REAL																		
6 ASIGNACIÓN DE COMPRADOR	PLAN																		
	REAL																		
7 EMISIÓN DE P.O.	PLAN																		
	REAL																		
INSTALACIÓN	8 LLEGADA DE MATERIAL A PLANTA	PLAN																	
		REAL																	
	9 INSTALACIÓN	PLAN																	
		REAL																	
	10 PROGRAMACIÓN	PLAN																	
	REAL																		
11 EMISIÓN DE 4M'S DE PRUEBA	PLAN																		
	REAL																		
PRUEBAS Y LIBERACIÓN	12 PRUEBA GRUPO A	PLAN																	
		REAL																	
	13 PRUEBA GRUPO B	PLAN																	
		REAL																	
	14 PRUEBA GRUPO C	PLAN																	
	REAL																		
15 EMISIÓN DE 4M'S DE LIBERACIÓN	PLAN																		
	REAL																		
16 CAMBIO DE DOCUMENTOS OFICIALES	PLAN																		
	REAL																		
ENTRENAMIENTO Y CAPITALIZACIÓN	17 CAPACITACIÓN Y ENTRENAMIENTO	PLAN																	
		REAL																	
	18 DESARROLLO DE HABILIDAD	PLAN																	
	REAL																		
19 REDUCCIÓN DE PERSONAL	PLAN																		
	REAL																		

Figura 4.32: Plan general de trabajo – parte 1.  
Fuente: Elaboración propia con base en la investigación (2022).

ITEM	DESCRIPCIÓN	SEPTIEMBRE				OCTUBRE				NOVIEMBRE				DICIEMBRE			
		SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4	SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4	SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4	SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4
PROCESO DE COMPRA	1 ELABORACIÓN DE ESPEC	PLAN															
		REAL															
	2 CARGA DE PRS	PLAN															
		REAL															
	3 APROBACIÓN DE PRS	PLAN															
		REAL															
	4 CARGA DE PRQ	PLAN															
REAL																	
5 APROBACIÓN DE PRQ	PLAN																
	REAL																
6 ASIGNACIÓN DE COMPRADOR	PLAN																
	REAL																
7 EMISIÓN DE P.O.	PLAN																
	REAL																
8 LLEGADA DE MATERIAL A PLANTA	PLAN																
	REAL																
9 INSTALACIÓN	PLAN																
	REAL																
10 PROGRAMACIÓN	PLAN																
	REAL																
11 EMISIÓN DE 4M'S DE PRUEBA	PLAN																
	REAL																
12 PRUEBA GRUPO A	PLAN																
	REAL																
13 PRUEBA GRUPO B	PLAN																
	REAL																
14 PRUEBA GRUPO C	PLAN																
	REAL																
15 EMISIÓN DE 4M'S DE LIBERACIÓN	PLAN																
	REAL																
16 CAMBIO DE DOCUMENTOS OFICIALES	PLAN																
	REAL																
17 CAPACITACIÓN Y ENTRENAMIENTO	PLAN																
	REAL																
18 DESARROLLO DE HABILIDAD	PLAN																
	REAL																
19 REDUCCIÓN DE PERSONAL	PLAN																
	REAL																

Figura 4.33: Plan general de trabajo – parte 2.  
Fuente: Elaboración propia con base en la investigación (2022).

Así mismo, todas las actividades del proyecto se han agrupado en cuatro fases principales que se describen a continuación:

1. Proceso de compra: en esta etapa se lleva a cabo la gestión del presupuesto y todos los trámites administrativos con las diferentes áreas de la compañía, así mismo, de acuerdo con los requerimientos técnicos, se realizan formalmente las cotizaciones con los proveedores, los cuales además pasan por un proceso de selección de parte del área correspondiente encargada emitir las órdenes de compra.
2. Instalación: una vez efectuado el proceso de compra, esta etapa comienza con la recepción en planta de los productos, piezas y materiales solicitados. De igual manera, se realizan las adecuaciones físicas en el área de trabajo, y se deja listo para comenzar sus pruebas de operación.
3. Pruebas y liberación: se realizan pruebas de funcionamiento y operatividad con todos los grupos de trabajo, con la finalidad de corregir las anomalías que pudieran presentarse tras la instalación de las nuevas herramientas, se verifica el funcionamiento, la interacción con los equipos e infraestructura; así como con los usuarios, quienes son parte fundamental para dar a conocer los problemas que habrán de corregirse. Una vez que se verifican las

condiciones y el área usuaria está de acuerdo, se emite la liberación del nuevo equipo y se realiza la actualización a los documentos oficiales del proceso.

- Entrenamiento y capitalización: bajo la documentación actualizada, se refrenda la capacitación al personal y se destina un periodo de entrenamiento para incrementar el nivel de habilidad conforme se incrementa la cantidad de repeticiones de la operación, de igual forma, se monitorea constantemente la funcionalidad de las herramientas, así como los tiempos del proceso y esta etapa concluye cuando ya es posible retirar al personal de manera definitiva de la operación.

Con la planeación establecida, es posible monitorear el cumplimiento en tiempo de las actividades enlistadas, además, se ha propuesto la implementación de un esquema de seguimiento mediante diferentes sesiones periódicas interdepartamentales para llevar el detalle del progreso del plan de trabajo, así como para informar a las gerencias de manera oportuna algún posible riesgo en el incumplimiento de algún punto o cuando deba gestionarse algún soporte con otras áreas.

PARTICIPANTES	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
		Especialistas de todos los departamentos	Especialistas de todos los departamentos Jefes de Departamento y Gerentes involucrados	Especialistas de todos los departamentos
Tipo de Sesión	Sesión de trabajo y revisión de actividades	Sesión informativa	Sesión de trabajo y revisión de actividades	Sesión de gestión y seguimiento
Tiempo Máximo	60 min.	45 min.	60 min.	30 min.

Figura 4.34: Esquema propuesto de seguimiento.  
Fuente: Elaboración propia con base en la investigación (2022).

De esta manera, como se muestra en la Figura 4.34, es posible establecer un día y un horario fijo de manera semanal con la participación de los especialistas, incorporando a los jefes de departamento y gerentes de manera quincenal y solicitando a la Dirección de Planta su

participación en al menos una sesión por mes. Sin embargo, tomando como base la propuesta anterior, la dirección de planta ha decidido participar en todas las sesiones, por lo que ahora se agendan reuniones a nivel dirección de manera semanal, como se observa en la Figura 4.35.

Tipo de Sesión / Tiempo máximo	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
Sesión de trabajo y revisión de actividades / 60 min.	Especialistas de todos los departamentos	Especialistas de todos los departamentos	Especialistas de todos los departamentos	Especialistas de todos los departamentos
Sesión de gestión y seguimiento / 45 min.	Especialistas de todos los departamentos Jefes de Departamento y Gerentes involucrados Dirección de Planta	Especialistas de todos los departamentos Jefes de Departamento y Gerentes involucrados Dirección de Planta	Especialistas de todos los departamentos Jefes de Departamento y Gerentes involucrados Dirección de Planta	Especialistas de todos los departamentos Jefes de Departamento y Gerentes involucrados Dirección de Planta

Figura 4.35: Esquema de sesiones semanales.  
 Fuente: Elaboración propia con base en la investigación (2022).

Bajo este nuevo esquema, es posible mantener el seguimiento a las actividades de manera constante, especialmente para procesos que requieren gestión con otros departamentos ajenos al equipo de trabajo; esto hace posible que algunos procesos se logren acelerar como el caso del proceso de compra, que está sujeto a los tiempos en que se realizan los trámites administrativos y las autorizaciones a diferentes niveles de la organización; así mismo, las sesiones constantes permiten que se puedan ir tomando decisiones concretas y se pueda ir ajustando el plan conforme avanzan las actividades, generando y evaluando alternativas en el corto plazo, buscando no retrasar o incluso acelerar el tiempo de ejecución del proyecto.

Los tiempos de ejecución del proyecto están sujetos a cambios y variaciones que dependen de factores que muchas veces no es posible controlar, por lo que están sujetos a sufrir modificaciones o replanteamientos sobre la marcha en caso de ser necesario. Así mismo, algunas actividades pueden realizarse a la par de otras o incluso adelantarse a la ejecución; por esta razón es importante llevar un seguimiento de los tiempos reales conforme se vayan ejecutando contra el plan inicial hasta su conclusión y es recomendable que sea actualizado y expuesto de manera constante o en su defecto, estar siempre a la vista de todas las áreas involucradas en el proyecto.

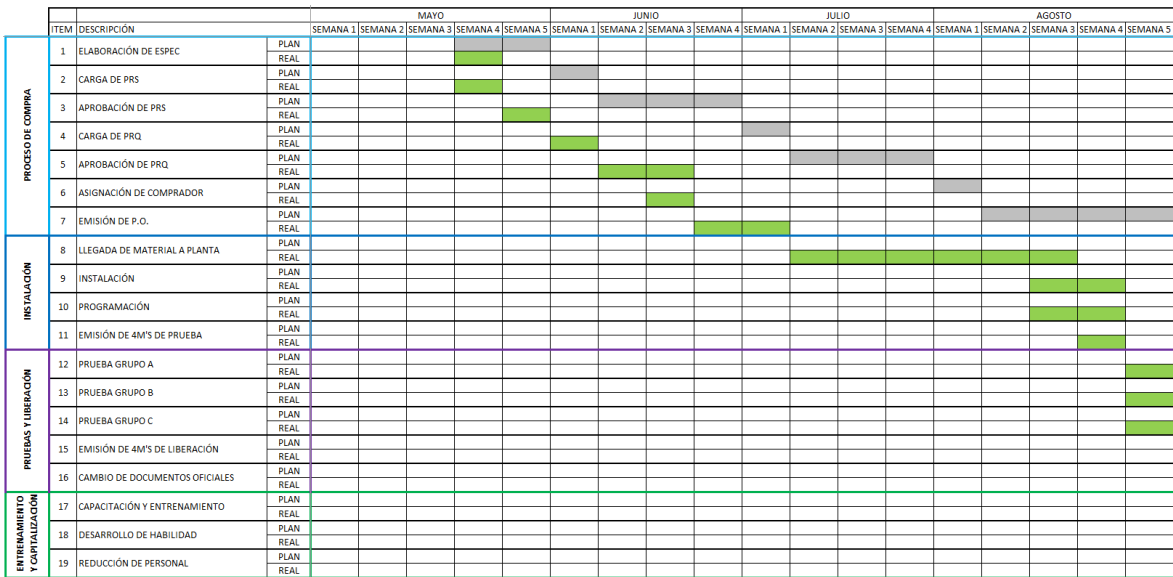


Figura 4.36: Ejecución del plan de trabajo – parte 1.  
Fuente: Elaboración propia con base en la investigación (2022).

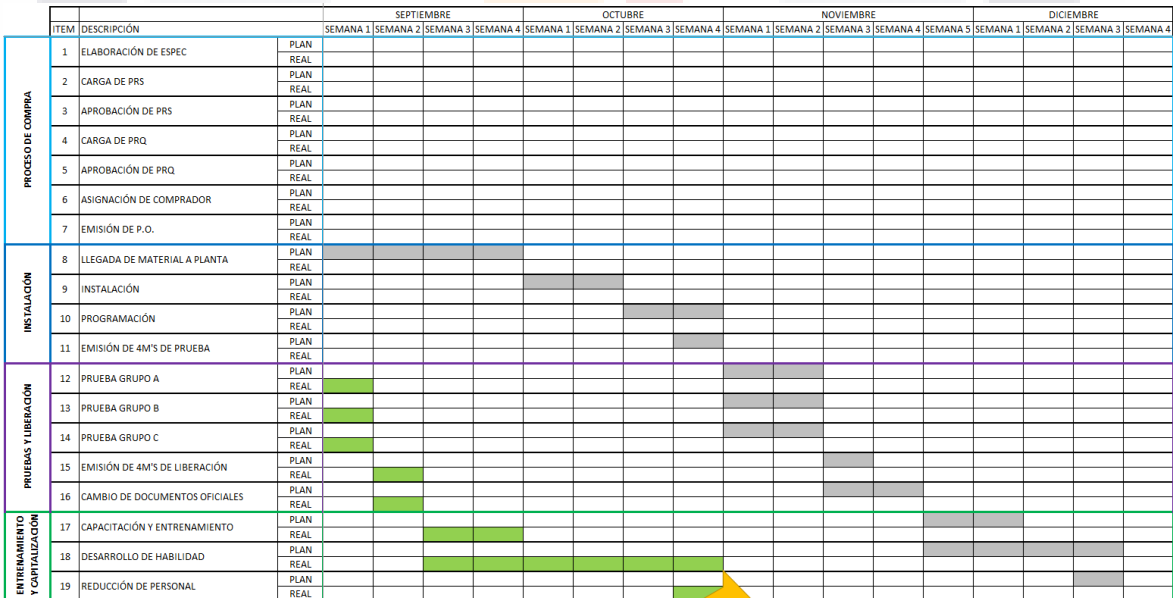


Figura 4.37: Ejecución del plan de trabajo – parte 2.  
Fuente: Elaboración propia con base en la investigación (2022).

Como puede verse en las Figura 4.36 y 4.37, gracias al esquema de seguimiento implementado, el proyecto se logró concretar antes de lo planeado; principalmente, el tiempo del proceso de compra pudo ser reducido por la gestión de la dirección de manufactura con sus contrapartes de otras áreas de la compañía, acelerando los trámite y logrando reducir el tiempo regular de este

proceso; sin embargo, durante la etapa de instalación, la llegada de todos materiales a planta se demoró más de lo previsto, aunque una vez disponibles, se logró trabajar la instalación con la programación prácticamente de manera simultánea, cabe mencionar que algunos trabajos de instalación pudieron ser adelantados conforme llegaban las partes a la planta.

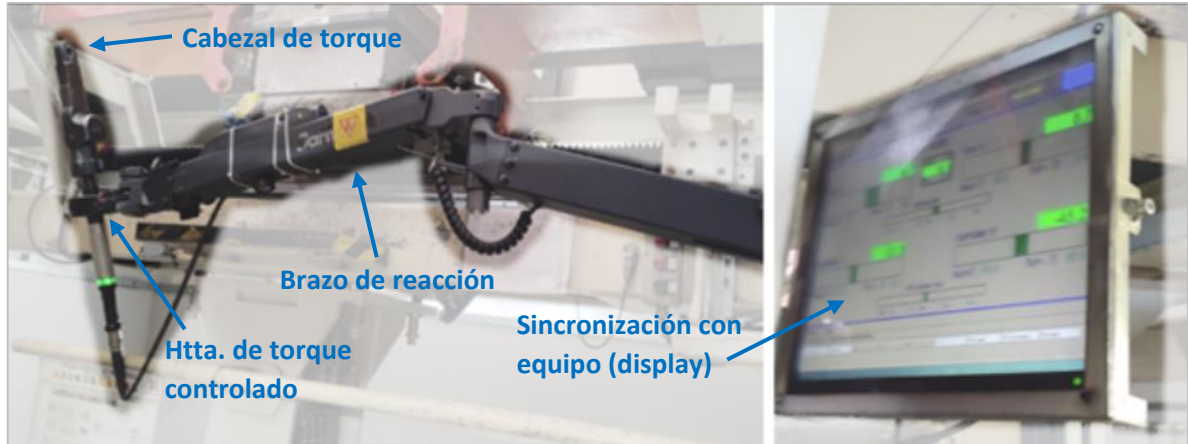


Figura 4.38: *Instalación completa de la herramienta.*  
Fuente: Elaboración propia con base en la investigación (2022).

La Figura 4.38 muestra la herramienta y sus componentes ya instalados en una de las líneas de pruebas, donde puede verse como el brazo de reacción soporta completamente el peso de la nueva herramienta, eliminando esa carga de peso para el operador, también se muestra el cabezal especial que fue fabricado para adaptarse a los requerimientos del proceso. De igual forma, se observa la sincronización de la herramienta con el equipo en las pantallas disponibles en la estación, que resultan ser la interfaz de comunicación con los operadores durante la operación. Esta instalación es idéntica para la otra línea.

Durante la etapa de pruebas y liberación, se logró realizar pruebas con los tres grupos de trabajo y de manera un tanto rudimentaria, se colocaron rotafolios directamente en las fosas de las líneas de pruebas como se observa en la Figura 4.39, donde principalmente los operadores y supervisores pudieron redactar al momento, sus comentarios con las anomalías y fallas que observaron durante las pruebas a lo largo de las jornadas de trabajo, con la finalidad de obtener la retroalimentación directa desde el usuario, misma que fue requerida como explicación en campo de los operadores al equipo de trabajo en la revisión de los rotafolios, para posteriormente

plasmar las actividades correctivas en un plan de trabajo con el cual se formalizó el compromiso de las áreas de corregir las fallas y mejorar la condición en el corto plazo.

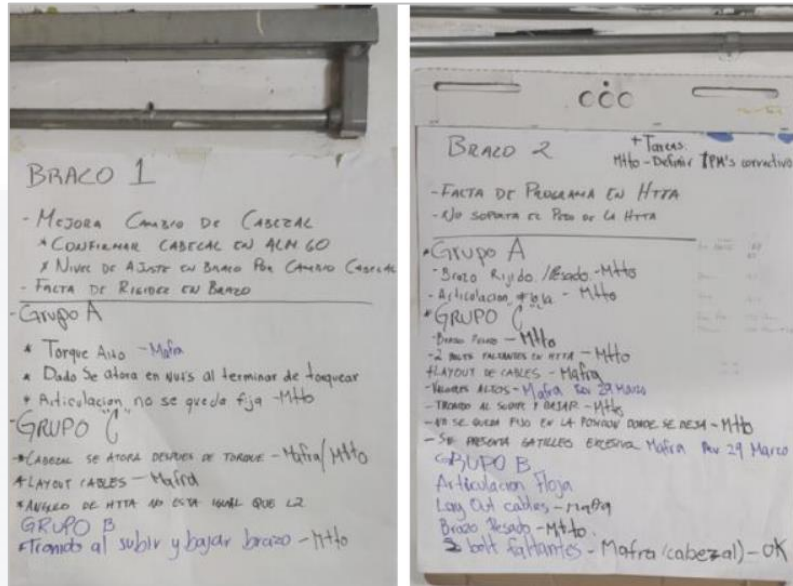


Figura 4.39: Retroalimentación directa en el proceso.  
Fuente: Elaboración propia con base en la investigación (2022).

Gracias a este sistema de retroalimentación y el compromiso generado a nivel dirección, aunque las actividades de corrección no estaban completas al 100%, fue posible liberar las herramientas por el usuario y dar paso a la última etapa del proyecto, en la cual, se actualizaron los documentos oficiales como las hojas de control, hojas de operación estándar, etc. y se refrendó la capacitación a los operadores de todos los grupos, principalmente en la nueva secuencia de operación establecida y en el uso de la nueva herramienta; al mismo tiempo que se comienza a monitorear la operatividad del proceso en condiciones normales de producción, realizando observaciones directas al proceso durante el periodo de tiempo en el que el personal logre alcanzar el nivel de habilidad requerido para capitalizar el retiro del personal prescindible.

En este caso, se decidió extender el periodo de incremento de habilidad para reforzar la estrategia de entrenamiento del área, con la cual se eleva el nivel de todos los operadores de la línea en esta operación a través del sistema de rotación de operaciones, en el que el operador 1 inicia el turno en la fosa de alineación, mientras todos los demás operadores trabajan en las demás estaciones

de la línea; después de cada tiempo de paro programado, un operador diferente toma el lugar en la fosa y el operador 1 sale a otra estación de la línea y así sucesivamente a lo largo de todo el turno. Esta práctica es muy común a lo largo de las líneas de toda la planta, principalmente en operaciones calificadas con menor *rank* ergonómico para moderar la fatiga del personal a lo largo de la jornada; así como para reducir el efecto de ceguera de taller al permanecer haciendo el mismo trabajo durante periodos prolongados de tiempo. En este caso, se utiliza además con la finalidad de equilibrar la cantidad de repeticiones en todos los operadores, es decir, para elevar simultáneamente su nivel de habilidad y de esta manera mitigar alguna eventualidad que pudiera surgir al respecto, ya que todos los operadores de la línea tienen la capacitación y habilidad para cubrir todas las estaciones de la línea, en lugar de tener un sólo operador con una habilidad mayor que concentre todas las repeticiones de la operación en la fosa.

Durante este periodo, el personal a prescindir se encuentra todavía laborando en la estación de trabajo con el objetivo de cubrir y dar soporte en la operación cuando sea necesario para no interrumpir el flujo de la producción; así mismo, se monitorean constantemente los tiempos de proceso de la estación hasta que se observe una consistencia en los registros de tiempos y sea posible efectuar el retiro del personal de apoyo. Gracias a todo el trabajo previamente descrito, esta capitalización fue efectuada con dos meses de antelación contra la planeación inicial.



## CAPÍTULO 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Tras completar la implementación de las nuevas herramientas en las fosas de alineación, es necesario estudiar los tiempos de operación en la línea de pruebas bajo las nuevas condiciones, para evaluar si se ha logrado cumplir el objetivo principal de eliminar el cuello de botella existente en la estación o se requiere realizar actividades complementarias para lograrlo.

Para ello, durante las pruebas de instalación, se han monitoreado los tiempos de operación de la estación de trabajo, aunque no han servido más que como una simple referencia de tiempos durante el periodo de prueba. Sin embargo, es hasta la fase de entrenamiento, en la etapa de desarrollo de habilidad del personal, en la que fue posible medir tiempos más acorde a la realidad, ya que se comienza a normalizar la condición de operación y se reducen las interrupciones tanto de los operadores, como de supervisores e ingenieros, propias de las primeras observaciones del funcionamiento de las herramientas; de manera que hasta esta etapa se logran ciclos continuos por los operadores.

Así mismo, como es de esperarse cuando se realiza un cambio tan drástico en un proceso, como ha sido en este caso, los primeros ciclos registran tiempos de operación bastante altos, que no deben tomarse como evidencia final para evaluar el proyecto, ya que demeritarían todo el trabajo realizado anteriormente, por lo que deben considerarse meramente como una referencia inicial; de tal forma que con el paso del tiempo y el incremento en la cantidad de repeticiones, los tiempos de operación tienden a reducirse de manera natural conforme aumenta el nivel de habilidad de los operadores, hasta que se logra una estabilización y se obtienen muestras de tiempo más consistentes durante diferentes jornadas de trabajo. La siguiente gráfica ejemplifica este fenómeno a lo largo del tiempo, donde se considera el tiempo tacto actual como el 100% del tiempo para realizar la operación.

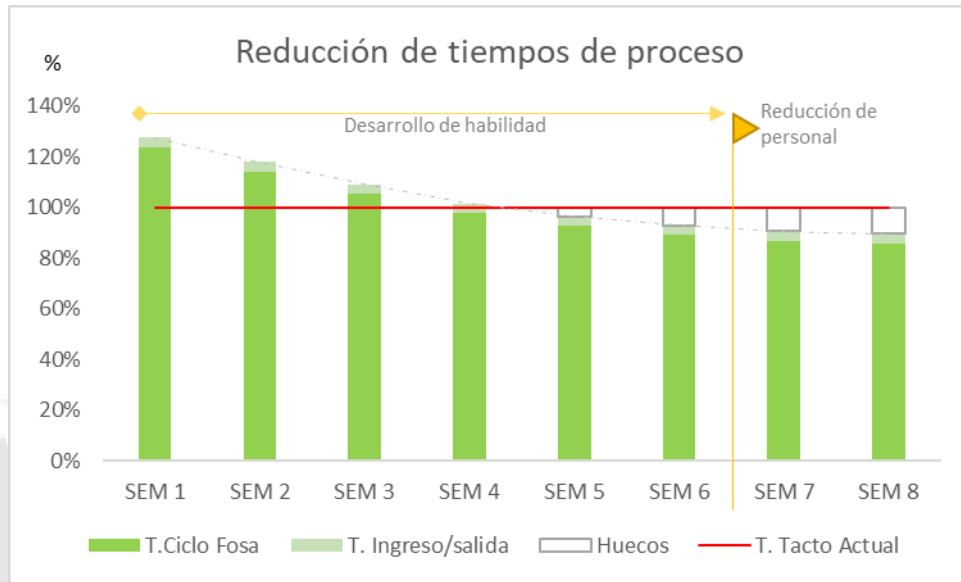


Figura 5.1: Reducción de tiempos de proceso.  
Fuente: Elaboración propia con base en la investigación (2022).

Como puede verse en la Figura 5.1, se realizaron monitoreos de tiempos durante diferentes jornadas a lo largo de las semanas, bajo condiciones de producción normal de la planta, pero con un solo operador realizando la operación; cabe mencionar que el monitoreo se centró en registrar únicamente el tiempo ciclo del operador de la fosa (T. Ciclo Fosa) y se añadió el tiempo de referencia de las esperas por el movimiento de unidades en la estación (T. Ingreso/salida).

Así mismo, durante el periodo de desarrollo de habilidad, el segundo operador trabaja de manera normal todo el tiempo realizando actividades de apoyo, con la finalidad de no entorpecer el flujo de la producción y sólo se retira del proceso al momento de realizar los estudios de tiempos. Este es el principal motivo para mantener al personal al menos durante el periodo en el que se logre desarrollar la habilidad suficiente para operar bajo las condiciones de cambio en los procesos. De igual manera, como se observa durante las primeras cuatro semanas de trabajo ya con la nueva herramienta, los tiempos son bastante altos en proporción al tiempo tacto al que opera la línea actualmente; esto significaría una peor condición del problema inicial, es decir, lejos de reducir los tiempos y eliminar el cuello de botella, dando la impresión de que la situación se complica agravando el problema. Es por ello que lo más recomendable es esperar a que los tiempos de operación se establezcan para evaluar los resultados con mayor veracidad. En este caso, se puede ver que a partir de la semana cinco, el tiempo de proceso con un operador ya queda dentro del

tiempo tacto actual y aunque sigue con una tendencia a la baja, las reducciones de tiempo ya no son tan drásticas como en las primeras semanas, de tal forma que se empiezan a notar tiempos más consistentes entre jornadas y esto permite capitalizar la reducción del personal en la estación de trabajo al finalizar la semana seis. Cabe mencionar que, como una estrategia de manejo del recurso humano, derivado de las condiciones de rotación y déficit de personal en la planta, el personal que ha sido retirado de esta estación pudo ser retenido en la compañía, reubicándolo a los otros procesos que padecían de faltante de personal, evitando la desvinculación laboral y la contratación innecesaria para cubrir el presupuesto en las otras áreas.

Así mismo, durante este monitoreo se observa un fenómeno en el que empiezan a aparecer espacios de tiempo denominados “huecos” en los que la estación de trabajo se queda sin procesar unidades y que se van incrementando conforme los tiempos de proceso se reducen, generando tiempos de ocio durante cada ciclo. Este suceso ocurre debido a las condiciones de producción reales de la línea, ya que ahora la estación procesa los vehículos con mayor rapidez a la que son abastecidos del proceso anterior.

Sin embargo, aunque hasta este punto ha desaparecido el cuello de botella, la condición operativa debe garantizar que cumple el requerimiento a máxima capacidad de producción, lo que significa que el tiempo de proceso en la estación debe ser menor al tiempo tacto establecido de 2.43 minutos, por lo que, de acuerdo a los estudios, sigue existiendo un problema que debe ser atendido.

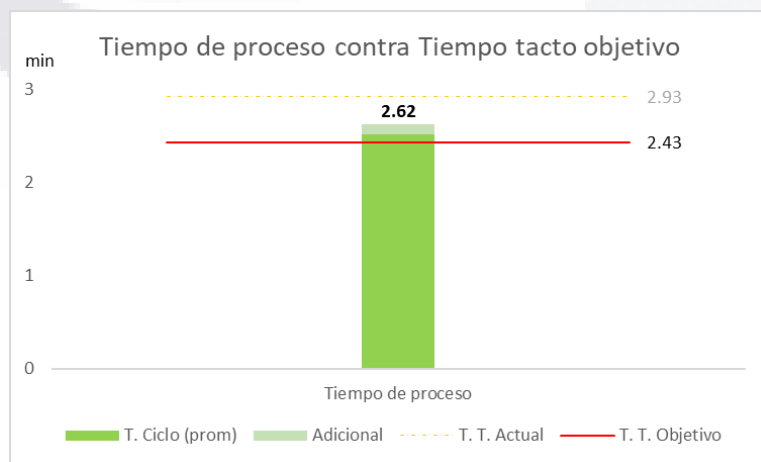


Figura 5.2: *Tiempos de proceso contra tiempo tacto objetivo.*  
 Fuente: Elaboración propia con base en la investigación (2022).

Como se aprecia en la Figura 5.2, el tiempo de proceso en la estación de 2.62 minutos ya no representa un cuello de botella para las condiciones actuales de la planta, sin embargo, excede por 0.19 minutos el tiempo tacto objetivo para cumplir la premisa establecida por la dirección de planta de operar a máxima capacidad y consecuentemente, continuar con los trabajos de análisis para generar actividades de mejoras.

Por esta razón, en las semanas siguientes a la reducción de personal, se han autorizado al equipo de trabajo la realización de una serie de pruebas controladas durante algunos lapsos de tiempo en las jornadas de producción normal.

Como resultado de las primeras pruebas realizadas, tras analizar el detalle de los movimientos de los operadores, se logró observar que, las condiciones de producción actual de la planta, permiten que la operación pueda realizarse sin una demanda constante en lo que refiere al ritmo de trabajo, de cierta forma que el operador puede ralentizar sin problemas algunas actividades e incluso hacer pequeñas pausas entre ellas y aun así logra completar el ciclo sin afectar el flujo de la producción, sabiendo además, que existe ese tiempo de espera (hueco) hasta que se presente la siguiente unidad. Por esta razón se ha determinado y autorizado la realización de una prueba más, pero esta vez, simulando físicamente las condiciones de operación a máxima capacidad.

Para simular las condiciones de procesamiento de unidades a máxima capacidad, fue necesario coordinar distintas sesiones de trabajo, principalmente con los departamentos de producción y aseguramiento de calidad, para explicar y acordar el objetivo, requerimientos y por menores logísticos para realizar la prueba; así como determinar las condiciones de operación durante la misma. De la misma forma, se estableció un plan de acción y recuperación, en caso de que la prueba no funcione como se espera y entorpezca la producción comprometida del turno. Así mismo, para obstruir lo menos posible el flujo y la operación de la planta, se decidió realizar la simulación únicamente en una de las líneas de pruebas, manteniendo la otra en operación normal; considerando que debido a que las condiciones operativas de ambas estaciones son prácticamente idénticas, el resultado de una prueba realizada en cualquiera de ellas, supondría ser igual o bastante similar para la otra.

Uno de los requerimientos principales para efectuar la prueba fue la disponibilidad de vehículos para abastecer la línea al momento de la simulación, para ello se generó un pequeño almacén de veinte unidades, rompiendo el flujo justo después de la línea de ensambles, con la identificación

correspondiente de ser unidades sin procesar en la línea de pruebas y segregadas en un espacio previamente definido, desde donde abastecieron al momento de la prueba, simulando ser unidades recién salidas de línea principal de ensamble como si se tratara del flujo normal de la producción. De igual manera, se estableció la restricción total de unidades de *recheck* en la línea, para hacer posible la obtención de los tiempos puramente de operación; de la misma forma, fue necesario la intervención de personal adicional para el acercamiento de los vehículos identificados para la prueba, que debían estar listos para ingresar a la línea en cuanto existiera el espacio, ya que se buscaba que la estación de ajuste estuviera en utilización el mayor tiempo posible, es decir, el concepto de huecos no debería presentarse durante la simulación (con excepción del hueco de seguridad para evitar colisiones). La prueba fue diseñada bajo estas condiciones con el objetivo de forzar al proceso de alineación a trabajar bajo una demanda constante y obtener los tiempos de operación completamente limpios, es decir, sin el ruido que generarían las unidades *recheck*, los huecos y las fallas de equipo, ya que como se ha explicado anteriormente, al final de cuentas estas tres variables se determinan como una pérdida de eficiencia operativa y en esta ocasión se requiere probar si el tiempo de operación a un ritmo de trabajo constante y sostenible cumple con el requerimiento de tiempo tacto establecido, en cuyo cálculo ya influye el factor de eficiencia programada. Explicado de manera más sencilla, bajo las condiciones de un escenario de producción a máxima capacidad, se pretende determinar si con las nuevas herramientas instaladas, el tiempo de proceso en la estación se convierte o no en un factor de incumplimiento al volumen máximo de producción.

Además, para la coordinación y recolección de datos e información durante la prueba, fue requerido el apoyo de otros ingenieros analistas, que se encargaron de cronometrar y registrar los tiempos en las diferentes estaciones de trabajo a lo largo de la toda la línea de pruebas vehiculares, aunque el principal alcance se centró en la estación de alineación, tanto en la actividad dentro de la fosa como a nivel de piso. A continuación, en la Figura 5.3, se muestra un esquema donde puede observarse la ubicación en la línea del personal analista durante el lapso de la prueba.

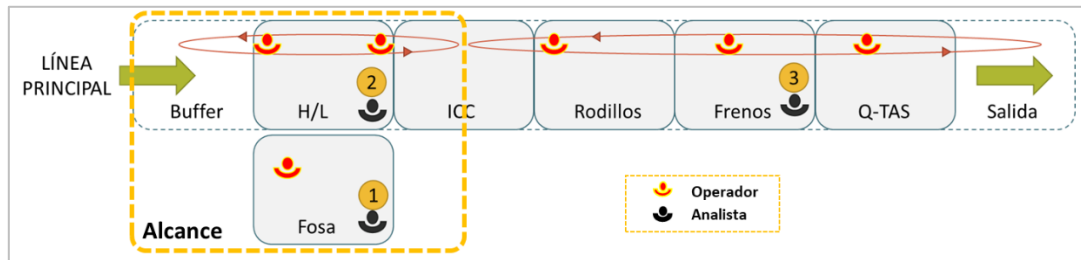


Figura 5.3: Esquema de ubicación de analistas.  
Fuente: Elaboración propia con base en la investigación (2022).

Inicialmente, se calculó la segregación de vehículos suficientes para realizar un aproximado de 2 a 3 horas de prueba, sin embargo, al restringir el ingreso de vehículos de *recheck* y al tener personal de apoyo para ingresar unidades de manera continua a la estación, el tiempo de monitoreo en la prueba se redujo considerablemente; además, no fue posible comenzar el registro desde el inicio de la prueba, debido a las actividades de coordinación de la misma y las constantes indicaciones que se debieron realizar sobre la marcha al momento de intervenir físicamente en el proceso; ya que a pesar de tener previamente estudiada la prueba, es hasta el momento de la realización cuando pueden surgir dudas y detalles que no pueden ser visualizados con anticipación y que deben irse resolviendo para que se logre la ejecución de la simulación en campo.

En gran medida, el inicio de la simulación permitió que se fueran afinando con mayor precisión los momentos en que las diferentes actividades debían ser realizadas, principalmente por el personal de apoyo; de igual manera, se logró que el personal operativo de la línea se fuera adaptando a un ritmo de trabajo más constante, que se reflejaría en los ciclos que se lograron registrar.

Después de procesar y analizar los datos generados de la prueba de máxima capacidad, se obtuvieron los siguientes resultados:

Primeramente, se mide el tiempo completo de proceso de la estación de alineación, es decir el tiempo total empleado en procesarse cada unidad.

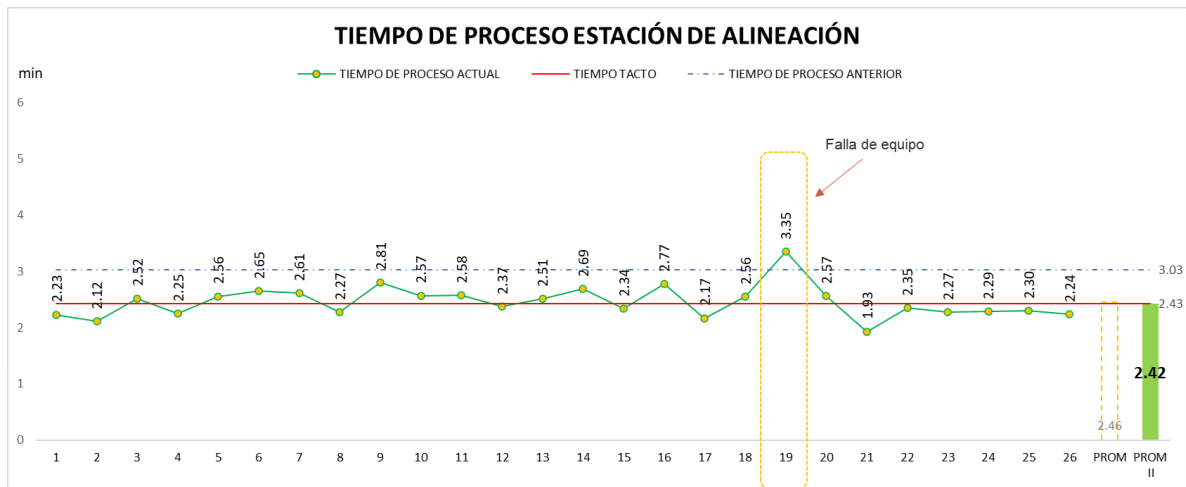


Figura 5.4: Tiempo de proceso Prueba Máxima Capacidad.  
Fuente: Elaboración propia con base en la investigación (2022).

La Figura 5.4 muestra los tiempos de proceso en la estación de alineación registrados durante la prueba de máxima capacidad. La línea verde representa el tiempo de procesamiento de cada unidad y se hace una comparación contra el tiempo de proceso anterior (línea punteada azul) y el tiempo tacto establecido (línea roja). Como puede verse, se evalúan los datos de 26 unidades procesadas en la estación a lo largo de un lapso de poco más de 60 minutos de observación continua durante la prueba realizada. Mediante este gráfico, se pueden observar las muestras individuales de tiempo de procesamiento, promediando 2.46 minutos (PROM), con lo que puede comprobarse que existe una mejora considerable contra la condición de tiempo anterior, ya que prácticamente todos los ciclos se encuentran por debajo de 3.03 minutos, con excepción de la unidad 19, donde se presentó una eventualidad de falla de equipo, puntualmente durante el primer ajuste, que elevó el tiempo hasta 3.35 minutos; sin embargo, al tratarse de una variable que se contabiliza como ineficiencia, este dato será excluido para el resto del análisis de tiempos, por lo que el tiempo promedio de proceso a considerar será de 2.42 minutos (PROM II), prácticamente logrando el objetivo de tiempo tacto establecido bajo las condiciones de operación a máxima capacidad.

Uno de los principales enfoques de la prueba fue la operación bajo piso, que ahora la realiza un solo operador, por lo que es importante entender la relación que existe entre el tiempo ciclo del operador en la fosa y el tiempo total de proceso en la estación.

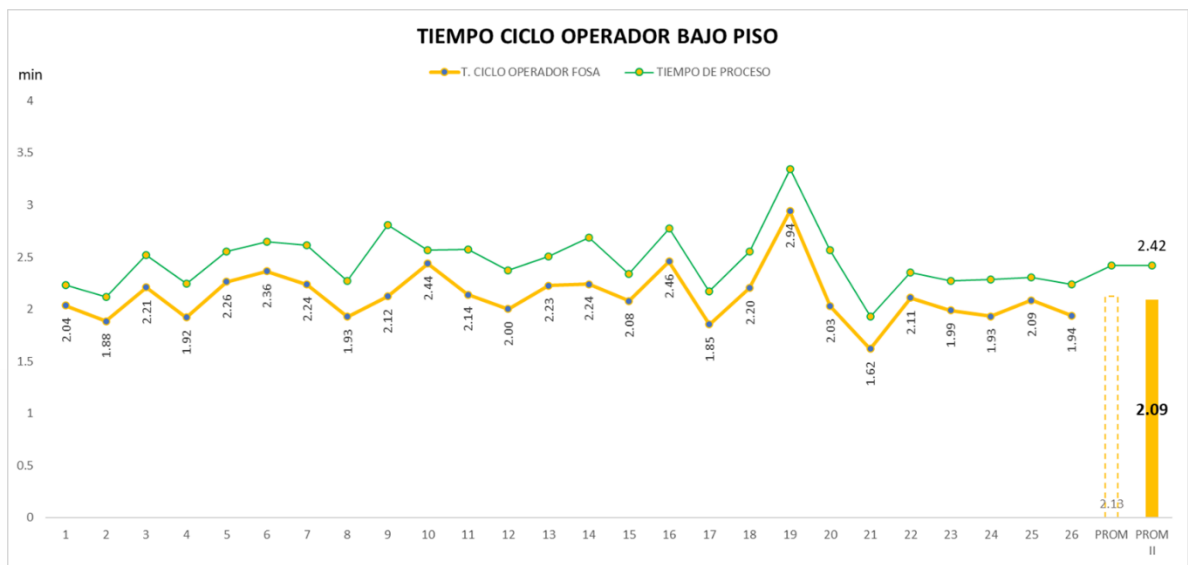


Figura 5.5: *Tiempo ciclo del operador bajo piso.*  
 Fuente: Elaboración propia con base en la investigación (2022).

En la Figura 5.5, se aprecia claramente como el tiempo de proceso al que está sometida la unidad en esta estación depende directamente del tiempo de los ajustes bajo piso; con excepción del registro de la unidad número 9, puede verse como la línea graficada en color verde (tiempo de proceso) se comporta casi idéntica a la línea de tiempo ciclo del operador, donde la diferencia que existe entre ambas líneas graficadas radica en el tiempo que los operadores a nivel de piso completan el proceso en la estación una vez liberado el ajuste bajo piso; es decir, el tiempo en el que realizan el movimiento de unidades, así como la conexión y desconexión de cables a los equipos de medición al inicio y final del ciclo, promediando un tiempo de 0.33 minutos en completar estas actividades. En el caso del ciclo 9, se marca una mayor diferencia entre ambas líneas, generada por una desatención del operador encargado de ingresar las unidades a la estación, generando un hueco en la estación, de igual manera, la unidad 20 registró otro hueco en la estación, esta vez por las indicaciones que estaba recibiendo el operador después del ciclo con fallas en el equipo; en ambos casos, estos tiempos considerados como huecos serán considerados en la ineficiencia registrada durante la prueba. Así mismo, con base en esta información, se determina el tiempo promedio del operador bajo piso en 2.09 minutos.

De la misma forma, con la información obtenida, aunque no con gran detalle, fue posible seccionar el tiempo ciclo del operador para analizar los tiempos de los elementos más importantes por separado, como el caso de los ajustes.



TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

Para el análisis de esta información, es importante mencionar que los registros corresponden a los tiempos de ajuste de toda la unidad, considerando que ahora sólo labora un operador en fosa, estos tiempos incluyen el ajuste tanto en la suspensión trasera, como la frontal; así mismo, para el caso de la suspensión trasera, se ve reflejado el efecto de la reingeniería en las mesas de subensamble, ya que la condición de ajuste requerido en esta estación, que originalmente dependía de cuatro *nuts*, ahora sólo depende de dos de ellas.

De esta manera, en el tiempo ciclo del primer ajuste, se consideran a las actividades que realiza el operador desde que termina el primer giro de llantas del vehículo (confirmación inicial de posición) hasta que inicia el segundo giro de confirmación. Durante este lapso de tiempo, el operador ajusta las *nuts* de la suspensión trasera, al tiempo que las pantallas del equipo van mostrando el posicionamiento de los ángulos de ajuste contra los límites establecidos en los parámetros hasta mantenerse dentro de la especificación, posteriormente, realiza el mismo proceso en la suspensión frontal y se libera el primer ajuste para dar inicio al segundo giro de confirmación. En el caso del tiempo del segundo ajuste, los tiempos corresponden a la culminación del tiempo ciclo del operador, es decir, desde que termina el segundo giro de confirmación, hasta que el operador abandona la plataforma para esperar la siguiente unidad. Una vez terminado el segundo giro, las pantallas muestran la lectura de la posición de ajuste y sólo en caso de ser requerido, se realiza un ajuste final en la suspensión trasera, de no ser así, directamente se aplica el torque con la nueva herramienta y se colocan las marcas de garantía; después se repite este proceso en la suspensión frontal, con la única diferencia que, por la naturaleza de los componentes del vehículo, los torques se siguen realizando con herramienta manual. Una vez que el operador coloca las marcas de garantía frontales, libera el ajuste final y sale de la plataforma, concluyendo su tiempo ciclo y manteniéndose en espera de la siguiente unidad.

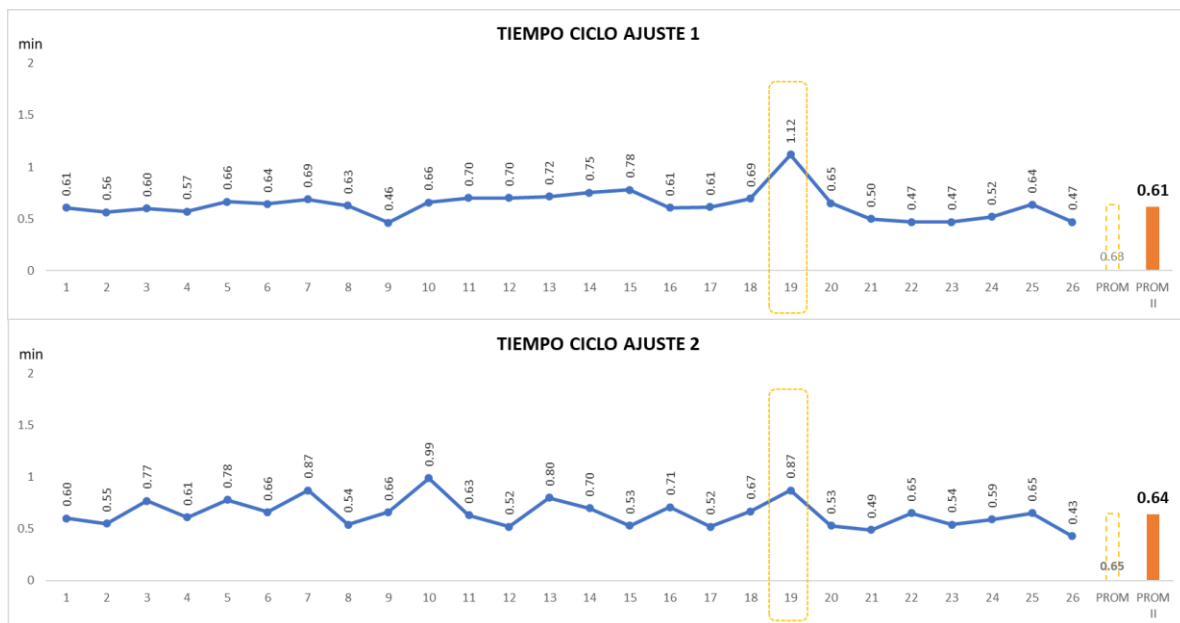


Figura 5.6: *Tiempos de ajustes 1 y 2.*  
 Fuente: Elaboración propia con base en la investigación (2022).

La Figura 5.6 muestra los gráficos de los tiempos del primer y segundo ajuste, en los que se obtienen tiempos promedio de 0.61 y 0.64 minutos respectivamente. En el caso del primer ajuste, puede verse como es muy parecido el comportamiento entre los ciclos y se resalta la falla del equipo que aconteció en el ciclo 19, donde el equipo dejó de responder correctamente a los movimientos de los ángulos de ajuste que realizaba el operador, por lo que se tuvo que reiniciar la prueba de mediciones para poder continuar con el proceso. No obstante, en el caso del tiempo del segundo ajuste, puede observarse mayor variación entre los ciclos, debido a que la consideración para este tiempo, como se explicó anteriormente, comprende un mayor número de actividades y el operador debe asegurarse que el ajuste final se mantenga dentro de especificación para poder liberar la unidad; sin embargo, gracias a las nuevas herramientas, existe una reducción de tiempo bastante significativa en cuanto a la aplicación de los torques en la suspensión trasera y como consecuencia, reduce directamente el tiempo ciclo del operador como ha visto con anterioridad, impactando de manera positiva al tiempo total de proceso en esta estación de trabajo.

De la misma forma, estas observaciones permitieron encontrar otros fenómenos bastante interesantes, como los tiempos de operación del equipo, concretamente en la duración del tiempo en el que el equipo pone en movimiento las llantas del vehículo para realizar las mediciones.

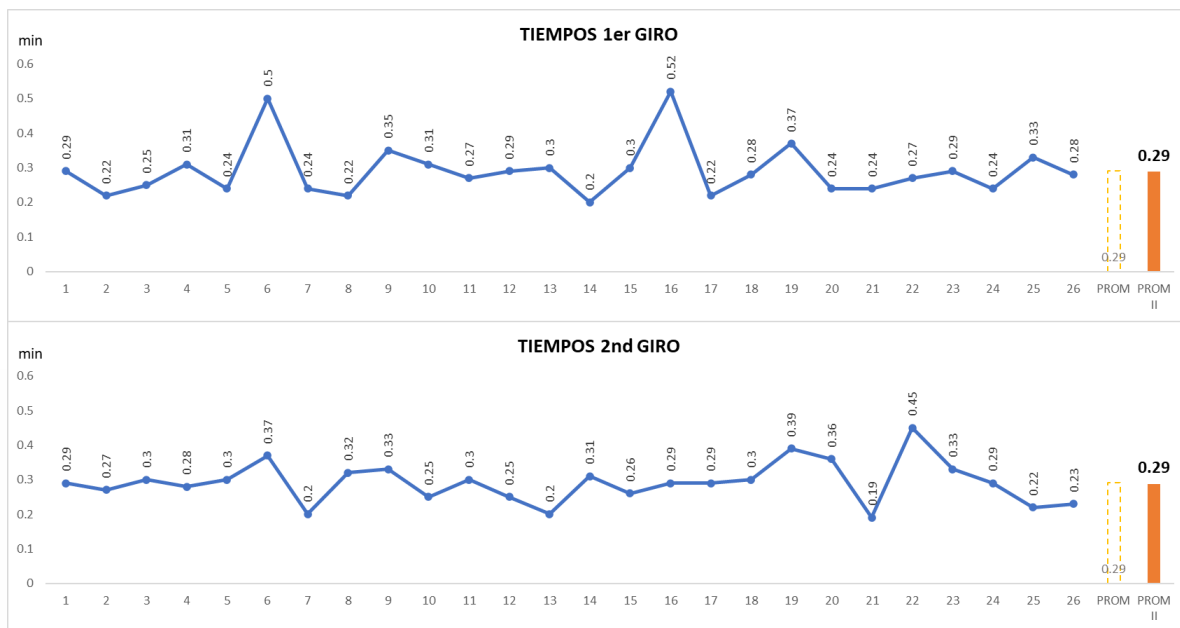


Figura 5.7: *Tiempos de operación de equipo: primer y segundo giro.*  
 Fuente: Elaboración propia con base en la investigación (2022).

La Figura 5.7 muestra los gráficos de tiempos de la duración de los giros de las llantas; aunque en ambos casos el tiempo promedio registrado es de 0.29 minutos, se puede ver con facilidad la variación existente tanto entre cada ciclo de cada giro, como entre ambos giros para una misma unidad. De acuerdo con los especialistas de ingeniería, calidad y mantenimiento, el principal factor de estas inconsistencias en los tiempos, son debido a los movimientos que pudieran presentarse al momento en que el equipo intenta de alguna manera determinar el punto central de la unidad para registrar las mediciones, ya que estos equipos trabajan con un sistema de rodillos y platos giratorios sobre los cuales reposan las cuatro llantas del vehículo y están propensos a sufrir movimientos en diferentes direcciones al momento de liberarse y hacer girar las llantas. De cualquier manera, aunque estas variaciones no tienen mayor impacto al alcance de los objetivos de este caso, valdría la pena que, en lo posterior, este fenómeno sea estudiado con mayor detalle por las áreas correspondientes, incluso con el soporte del fabricante de los equipos, para entender las causas que generan las variaciones de tiempos y buscar una mayor consistencia en la operación del equipo, consecuentemente, con la posibilidad de reducir los tiempos promedios para agilizar los procesos de la estación. Para ello podrían utilizarse otras herramientas como el Análisis de los Sistemas de Medición (MSA).

Por otro lado, para evaluar los resultados de capacidad, es muy importante tener en cuenta la eficiencia monitoreada del proceso y su contraparte; que como se ha explicado en otros apartados del trabajo, esta ineficiencia se debe al comportamiento de tres principales variables: unidades *recheck*, huecos, y fallas de equipo. En esta prueba de máxima capacidad, la finalidad era mantener la estación en funcionamiento de manera constante durante el mayor tiempo posible, por lo que las condiciones de la prueba se diseñaron para forzar al proceso a trabajar prácticamente al 100% de eficiencia, tratando de eliminar las variables que fueron posibles controlar como la limitación del acceso de unidades *recheck*, que se respetó en todo momento, así como el apoyo de personal para garantizar el ingreso de unidades a la estación, aunque se suscitaron los eventos de huecos que ya se han explicado. Por último, la única variable que no es posible controlar de ninguna manera y que en efecto sucedió durante la prueba es la falla en el equipo, cuyo evento también ha sido explicado en los párrafos anteriores.

Los resultados de eficiencia de la prueba se muestran a continuación:

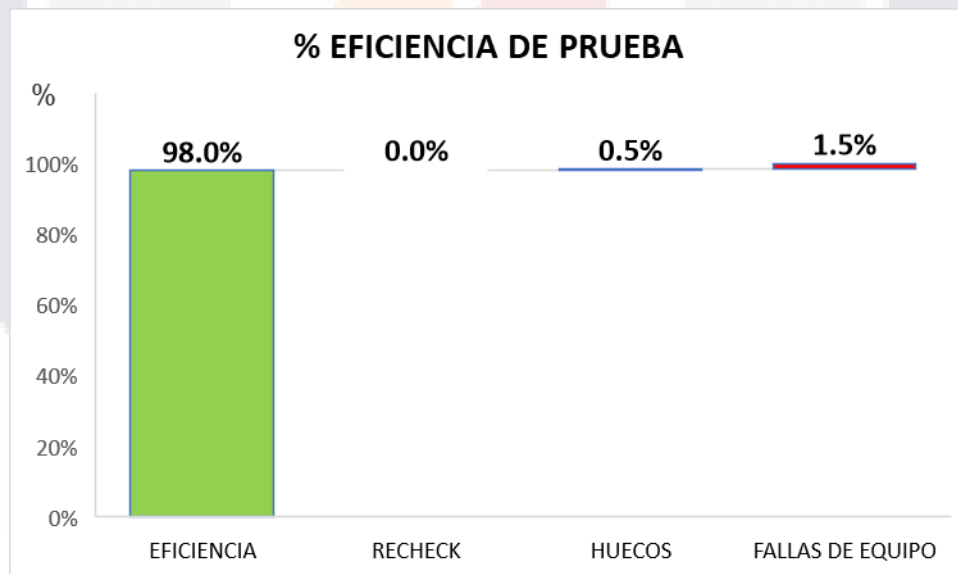


Figura 5.8: Resultados de eficiencia de la prueba.  
 Fuente: Elaboración propia con base en la investigación (2022).

La Figura 5.8 refleja el desglose de la eficiencia monitoreada, donde puede verse el porcentaje de afectación por concepto de los huecos generados en la estación, así como la falla puntual del

equipo; resultando en un 98% del tiempo de prueba utilizado efectivamente para procesar vehículos en la estación de alineación.

De igual manera, a partir de esta información, es posible medir la capacidad del proceso utilizando la siguiente fórmula:

$$CAP = ( TD * EdP ) / TCC$$

Dónde: CAP: Capacidad  
 TD: Tiempo Disponible  
 EdP: Índice de Eficiencia de Prueba  
 TCC: Tiempo Ciclo Cuello

Al sustituir los valores, se obtiene que:

$$CAP = ( 1227 \text{ min.} * 0.98 ) / 2.42 \text{ min}$$

$$CAP = 496.9 \text{ us / línea}$$

Podría decirse entonces que una línea tiene capacidad de procesar 496.9 vehículos diarios, para un total de 993.6 con ambas líneas, cumpliéndose el requerimiento de volumen establecido de 859 unidades por día.

Sin embargo, conociendo las condiciones del diseño de la prueba, fue posible corroborar solamente el tiempo de proceso de la estación, por lo que estos valores de capacidad calculados anteriormente deben ser considerados únicamente como una referencia del resultado de la prueba, ya que la eficiencia de prueba (EdP) no representa para nada la realidad de la operación del proceso bajo condiciones normales. Por este motivo, se debe realizar este mismo cálculo, pero ahora, considerando el índice de eficiencia programado (EP), explicado en el apartado 1.7.3, cuyo valor es de 85%, utilizando la siguiente fórmula:

$$CAP = ( TD * EP ) / TCC$$

Dónde: CAP: Capacidad  
 TD: Tiempo Disponible  
 EP: Índice de Eficiencia Programada  
 TCC: Tiempo Ciclo Cuello

Al sustituir los valores, se obtiene que:

$$CAP = ( 1227 \text{ min.} * 0.85 ) / 2.42 \text{ min}$$

$$CAP = 430.9 \text{ us / línea}$$

De esta manera, con estos valores previamente establecidos, se comprueba que, con los tiempos de proceso tras la implementación de las nuevas herramientas, la planta tiene la capacidad de procesar un total de 861.8 vehículos diarios, por lo que los tiempos de la estación de alineación no deberían generar problemas para cumplir con las 859 unidades diarias establecidas para un escenario de operación a máxima capacidad.

Sin embargo, para plantear un escenario realista, es necesario calcular la capacidad del proceso utilizando valores reales en las variables que demeritan la eficiencia.

**Tabla 5.1**

*Porcentaje de ineficiencia real.*

<b>Variable de ineficiencia</b>	<b>% Programado</b>	<b>% Real</b>
Falla de equipo	1.5%	1.0%
Huecos	3.5%	11.0%
Recheck	10.0%	20.0%
	15.0%	32.0%

Nota: Elaboración propia con base en la investigación (2022).

Como puede verse en la Tabla 5.1, los porcentajes de ineficiencia reales son completamente diferentes a los esperados; donde se destaca como el porcentaje de *recheck* real es el doble del esperado, cabe mencionar que en los primeros meses después del arranque del modelo, este valor rondaba el 29% y recientemente se ha logrado estabilizar el valor actual. De igual manera, aunque el porcentaje de huecos pareciera ser muy alto, el valor de esta variable se reducirá naturalmente en un escenario de producción a máxima capacidad al incrementar el abasto de unidades desde la línea principal de ensamble, por lo que para el siguiente ejercicio de cálculo de capacidad podría manejarse un valor muy cercano al objetivo, para complementar el porcentaje del 5% de paros no programados al sumarlo con las fallas de los equipos, resultando en un índice de eficiencia real de 75%, es decir, reflejar una pérdida de paros no programados del 5% más el 20% de recheck, como se muestra a continuación:

$$CAP = ( TD * ER ) / TCC$$

Dónde:

- CAP: Capacidad
- TD: Tiempo Disponible
- ER: Índice de Eficiencia Programada
- TCC: Tiempo Ciclo Cuello

Al sustituir los valores, se obtiene que:

$$CAP = ( 1227 \text{ min.} * 0.75 ) / 2.42 \text{ min}$$

$$CAP = 380.3 \text{ us / línea}$$

Con el cálculo anterior, se obtiene entonces que la capacidad real de procesamiento en la estación de alineación es de 760.6 vehículos diarios, por lo que aun cuando el cuello de botella ha sido eliminado, la investigación también ha llevado a reconocer un problema totalmente diferente al inicial, que no permitirá alcanzar las 859 unidades establecidas por día cuando este escenario sea

requerido. A pesar de que este problema siempre ha existido, resultaba muy difícil de identificar, ya que generalmente, los problemas de capacidad están asociados directamente a los cuellos de botella y una vez eliminados, la producción debe fluir sin mayor problema; no obstante, como ha sido en este caso, gracias a la eliminación del cuello de botella, se hace evidente que existen otros factores que influyen para lograr los objetivos de producción y que no necesariamente dependen de la operación o de la estación de trabajo que presenta el problema.

Durante la obtención de información, se solicitó un registro manual de unidades *recheck* directamente en la línea de pruebas, con la finalidad de contabilizar los ingresos y los motivos de ingreso a la línea, ya que sin importar en que estación en particular de la línea se requiere la reconfirmación de estos vehículos, absolutamente todos deben ingresar desde la primera estación y esperar el flujo hasta su estación de destino; de esta manera, fue posible recabar y procesar los datos que se muestran a continuación:

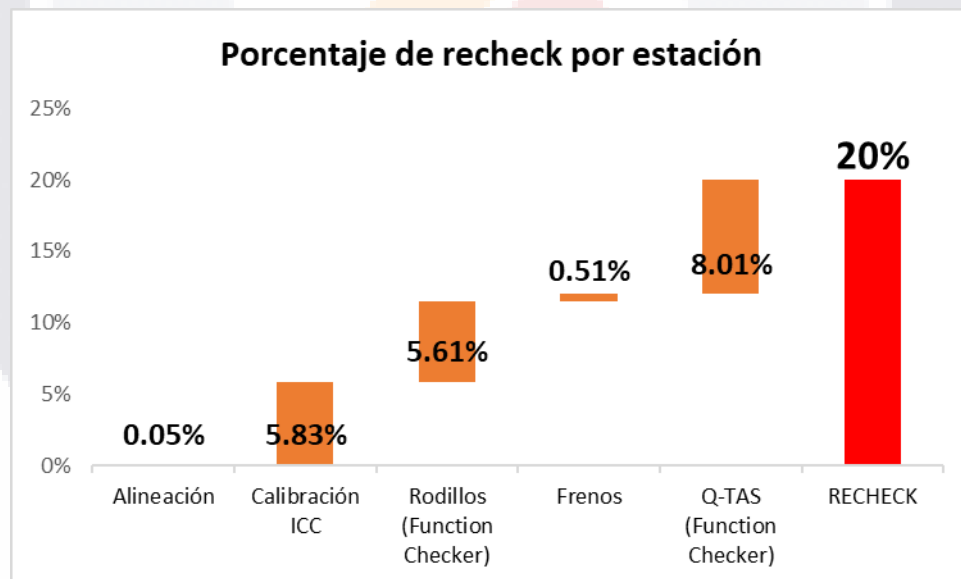


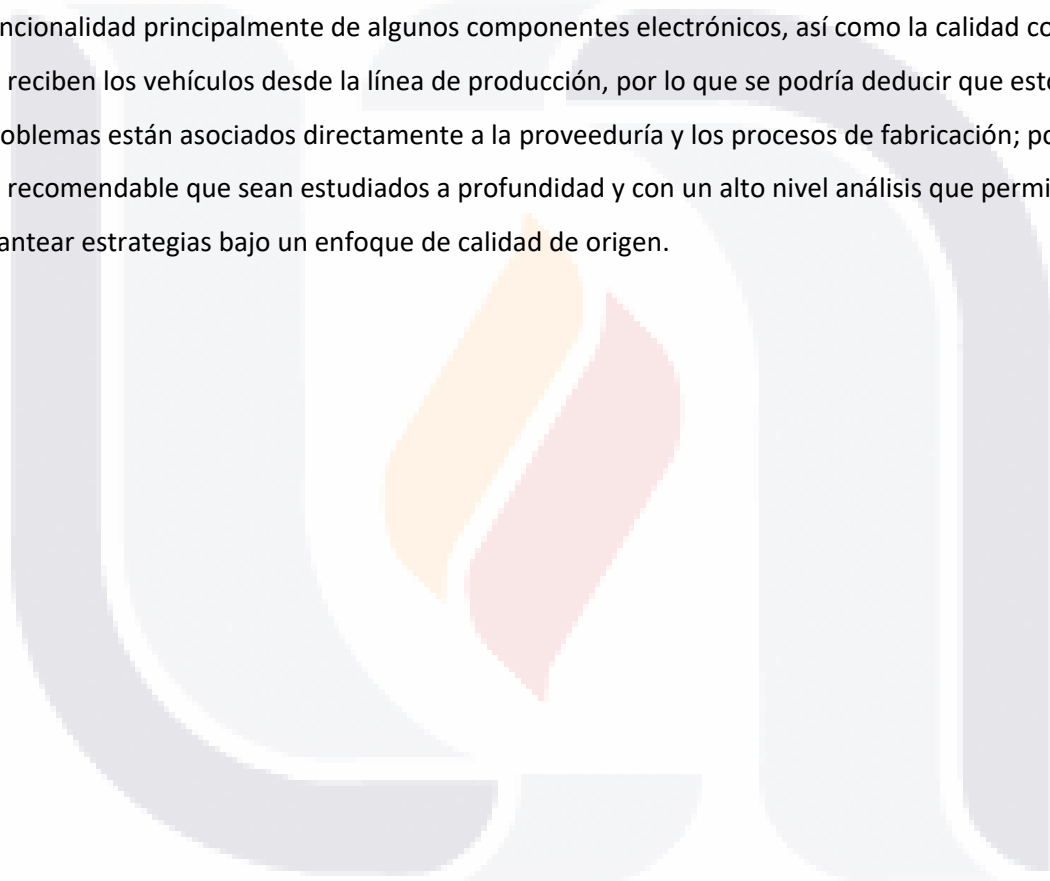
Figura 5.9: Porcentaje de recheck por estación.  
Fuente: Elaboración propia con base en la investigación (2022).

La Figura 5.9 muestra el desglose del porcentaje de unidades *recheck* por estación, aunque el orden de las estaciones en el gráfico se encuentra de acuerdo al flujo el proceso, de esta manera es posible segregar la afectación del 20% de pérdida de eficiencia por este concepto. Puede verse



como la estación de alineación es el menor motivo por el que las unidades reingresan a línea de pruebas, mientras que en otras estaciones como Calibración ICC, Rodillos y principalmente Q-TAS se recibe prácticamente la totalidad de vehículos en esta condición.

Aunque esta información se expresa de manera muy general, puede funcionar como un punto de partida para que los ingenieros y especialistas de las áreas correspondientes puedan investigar realmente las causas que ocasionan estos problemas, ya que casi en su totalidad dependen de factores ajenos a la línea de pruebas y están mucho más relacionados a temas de calidad y funcionalidad principalmente de algunos componentes electrónicos, así como la calidad con la que se reciben los vehículos desde la línea de producción, por lo que se podría deducir que estos problemas están asociados directamente a la proveeduría y los procesos de fabricación; por ello, es recomendable que sean estudiados a profundidad y con un alto nivel análisis que permitan plantear estrategias bajo un enfoque de calidad de origen.



## CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES

Consecuentemente al análisis de los resultados explicado en el capítulo anterior, es necesario realizar un compendio de los beneficios obtenidos tras la realización de este trabajo. Por lo tanto, tomando como base los objetivos planteados, se concluye que, a través de la implementación de las herramientas de manufactura esbelta, fue posible analizar, proponer, evaluar y poner en marcha soluciones de mejora al problema existente en la estación de trabajo donde se llevó a cabo la intervención, logrando cumplir con el objetivo principal de este trabajo de eliminar el cuello de botella en la línea de pruebas vehiculares. De igual manera, en todo momento se brindó la información oportuna y objetiva a los directivos de la planta para la toma de decisiones, con lo cual se consiguió el compromiso para ejecutar las actividades planteadas, así como acelerar algunos procesos para reducir el tiempo de ejecución del proyecto.

Como parte de los beneficios obtenidos, la alternativa de solución implementada permitió asegurar que la calidad del producto no se viera afectada y, por el contrario, con la instalación de las nuevas herramientas, la aplicación de los torques en la suspensión trasera dejó de depender totalmente del factor humano y ahora se encuentra controlada y ligada al equipo de confirmación.

Así mismo, la intervención hizo posible disminuir el tiempo de proceso en la estación de trabajo desde 3.03 hasta 2.42 minutos, registrando una reducción total de 0.61 minutos, con lo que se consiguió eliminar el cuello de botella existente, al mismo tiempo que se establecieron las condiciones para que la operación en la fosa de alineación se realice únicamente con un operador, pasando de tener una plantilla de cuatro operadores laborando bajo piso a solamente dos (uno por línea), beneficiando los costos de mano de obra tras efectuarse la reducción de dos operadores en cada grupo de trabajo, para un total de ahorro de costos operativos que corresponde a seis personas.

De igual manera, en términos de ergonomía, se ha confirmado por parte de los mismos operadores una mejor condición en la postura al momento de realizar la operación; así mismo, el brazo de reacción evita que el operador cargue el peso la herramienta y principalmente, gracias a la utilización de las nuevas herramientas, prácticamente se ha eliminado la aplicación manual de los 17.5 kg/fuerza requeridos en cada *nut* de ajuste de la suspensión trasera para la aplicación del

torque requerido, resultando en un menor esfuerzo, que a lo largo del turno reduce drásticamente la fatiga del personal, ocasionando una evidente mejora significativa en el *rank* ergonómico de esta operación en particular, aunque deberán realizarse los estudios correspondientes para que el área de Seguridad Industrial pueda certificarlo de manera oficial.

Adicionalmente, el desarrollo en particular de este trabajo permitió exponer y dar pie a otros posibles temas de investigación que no habían sido considerados o no resultaban ser evidentes en el impacto al problema original, donde a pesar de desaparecer el cuello de botella, la investigación reveló que, si bien el tiempo de proceso en la estación es un factor clave para alcanzar el volumen de producción, la capacidad real está sujeta al cumplimiento de los objetivos de eficiencia.

También es relevante mencionar que, cuando se trata de proyectos de mejora de productividad que involucran una reducción en la plantilla de trabajo, como ha sido en este caso, se debe de establecer y tener muy claras las estrategias de gestión del recurso humano, ya que se trata de un asunto sumamente delicado para la organización, tanto a nivel administrativo, como a nivel operativo y es recomendable tratarse de manera confidencial durante el desarrollo del proyecto, con la finalidad de evitar cualquier riesgo de intransigencia propia de la incertidumbre que causan los cambios en los procesos.

No menos importante, una de las principales herramientas de la manufactura esbelta son las 5's; en este caso, al tratarse de una empresa que ya cuenta con altos niveles de estandarización, existe de manera intrínseca una cultura enfocada a esta disciplina, sin embargo, aunque no se explica el detalle durante el desarrollo de este trabajo, fue necesario reforzar su aplicación para mejorar y preservar las condiciones en la estación de trabajo, mediante lo cual, se logró estandarizar y delimitar los espacios dentro de las plataformas en función de la instalación de las nuevas herramientas; así mismo, entre otras actividades, se incrementó la iluminación con la instalación de más lámparas dentro de las fosas, se colocaron señalamientos de identificación de objetos y equipo de seguridad y todo quedó plasmado en ayudas visuales con fotografías de la estación para que exista una referencia de las condiciones estándares en la estación de trabajo.

Por consecuente a las razones antes mencionadas, se concluye que, mediante el uso de herramientas de manufactura esbelta es posible analizar a detalle los procesos para facilitar la toma de decisiones y encaminar las actividades de mejora, con el objetivo primordial de reducir y de ser posible eliminar los desperdicios en los procesos. De la misma forma, se obtiene como

aprendizaje del trabajo colaborativo que, para obtener los mejores resultados en el desarrollo de un proyecto, es necesaria la participación y colaboración de todas las áreas funcionales de la empresa y debe de crearse una sinergia que permita planear, ejecutar, evaluar y rectificar las labores requeridas. Así mismo, es fundamental que las funciones gerenciales y ejecutivas de la compañía estén siempre al tanto de la problemática y el desarrollo del proyecto y, principalmente, que estén convencidos de las alternativas de solución, de manera que cuenten con información suficiente y objetivo que les permita disponer eficientemente de los recursos y gestionar procesos administrativos que puedan retrasar u obstruir los avances del proyecto; así mismo, es muy importante que puedan brindar la confianza y todo el soporte necesario al equipo de trabajo, como sucedió en este caso.

Finalmente, aunque queda claro el arraigo de la manufactura esbelta dentro de la industria automotriz, es trascendental manifestar que la mayor de las bondades que ofrecen estas herramientas, es que tienen la posibilidad de ser adaptadas y aplicables a cualquier proceso, no sólo de manufactura como en este caso, si no que pueden extenderse a cualquier proceso de producción, de servicios o de gestión en empresas de cualquier sector, de cualquier tamaño y en cualquier parte del mundo, incluso, pueden y deberían ser complementadas con un sin número de herramientas de metodologías como *Six Sigma*, *Core Tools*, *DMAIC*, entre otras, adoptando los conceptos de la mejora continua como un filosofía empresarial.

## CAPÍTULO 7. REFERENCIAS

- Arévalo Barrera, B. C., y Parreño Marcos, F. E. (2020). *Diseño e implementación de una mejora de procesos para reducir el alto nivel de desperdicios, aplicando herramientas de Lean Manufacturing en una empresa ladrillera*. [Trabajo de Suficiencia Profesional, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio Académico de la Universidad Peruana de Ciencia Aplicadas <http://hdl.handle.net/10757/653461>
- Favela-Herrera, M. K. I., Escobedo-Portillo, M. T., Romero-López, R. y Hernández-Gómez, J. A. (2019). Herramientas de manufactura esbelta que inciden en la productividad de una organización: modelo conceptual propuesto. *Revista Lasallista de Investigación*, 16(1): 115-133.
- Fontalvo Herrera, T., De La Hoz Granadillo, E., y Morelos Gómez, J. (2018). La productividad y sus factores: incidencia en el mejoramiento organizacional. *Dimensión empresarial*, 16(1): 47-60.
- García Erazo, A. C. (2020). *Propuesta de mejoramiento de la productividad en el departamento de producción de la empresa Remodularsa SA mediante la aplicación de la teoría de restricciones (TOC)* [Tesis de Maestría, Escuela Politécnica Nacional]. Repositorio Digital Institucional de la Escuela Politécnica Nacional <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20729>
- Gómez Cando, W. A. (2021). *Manufactura Esbelta para reducir los desperdicios en un taller de matricería*. [Tesis de Maestría, Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio Digital de la Universidad Técnica de Ambato <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/32162>
- Hernández Matias, J. C., y Vizán Idoipe, A. (2013). *Lean manufacturing Conceptos, técnicas e implantación*. Fundación EOI. <https://www.eoi.es/es/savia/publicaciones/78202/lean-manufacturing-concepto-tecnicas-e-implantacion>
- Ibarra-Balderas, V. M., y Ballesteros-Medina, L. L. (2017). Manufactura Esbelta. *Conciencia Tecnológica*, (53). <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94453640004>

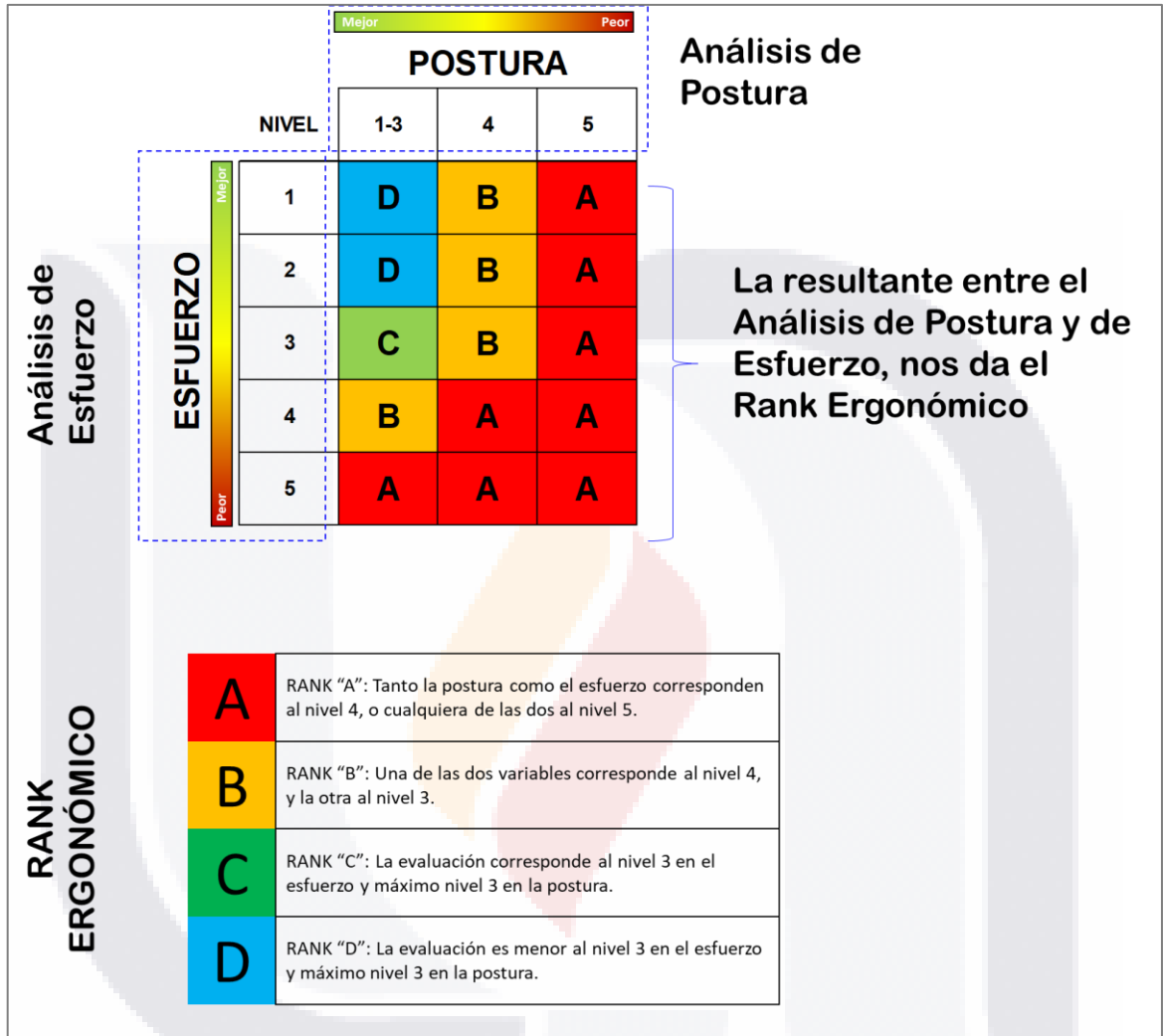
- Krajewski, L. J., Ritzman, L. P., y Malhorta, M. K. (2008). *Administración de operaciones: Procesos y cadenas de valor*. Pearson Prentice Hall.
- Liker, J. K. (2004). *The Toyota way: 14 management principles from the world's greatest manufacturer*. McGraw-Hill.
- Moreno Perea, K. G., y Reyes López, O. (2015). Mejoramiento de la productividad mediante la reducción de costos en una línea manufacturera de arneses eléctricos. *Ingenierías USBMed*, 6(1): 5–12.
- Ohno, T. (1988). *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*. Productivity, Inc. (Trabajo original publicado en 1978).
- Pérez Vergara, I. G., y Rojas López, J. A. (2019). Lean, Seis Sigma y Herramientas Cuantitativas: Una Experiencia Real en el Mejoramiento Productivo de Procesos de la Industria Gráfica en Colombia. *Revista De Métodos Cuantitativos Para La Economía Y La Empresa*, 27: 259–284. <https://www.upo.es/revistas/index.php/RevMetCuant/article/view/3218>
- Pons Achell, J. F., (2014). *Introducción a Lean Construction*. Fundación Laboral de la Construcción.
- Prokopenko, J. (1989). *La gestión de la productividad: manual práctico*. Oficina Internacional del Trabajo. (Trabajo original publicado en 1987).
- Rahman, N. A. A., Sharif, S. M. y Esa, M. M. (2013). Lean Manufacturing Case Study with Kanban System Implementation. *Procedia Economics and Finance*, 7: 174-180.
- Santoyo Ortega, J. (2008). *Diseño de un método de disminución de defectos en bajo-volumen/alta-mezcla comparando el modelo PDCA contra el modelo DMAIC a través de las metodologías Manufactura Esbelta y Seis Sigma* [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Aguascalientes]. Repositorio Bibliográfico de la Universidad Autónoma de Aguascalientes <http://hdl.handle.net/11317/733>
- Womack, J. P., Jones, D. T., y Roos D. (1990). *The machine that changed the world*. McGraw-Hill.
- Womack, J. P., & Jones, D. T., (1996). *Lean thinking: Banish waste and create wealth in your corporation*. Free Press.

**CAPÍTULO 8. ANEXOS**

ANEXO A: Listado de plantas de ensamble automotriz en operación en México

ITEM	AÑO INICIO OP.	ORIGEN	COMPAÑÍA	ESTADO	CIUDAD
1	1964	EE. UU.	Ford	Estado de México	Cuautitlán
2	1966	Japón	Nissan	Morelos	Jiutepec
3	1967	Alemania	Volkswagen	Puebla	Cuatlancingo
4	1968	EE. UU.	Stellantis (Chrysler)	Estado de México	Toluca
5	1981	EE. UU.	General Motors	Coahuila	Ramos Arizpe
6	1986	EE. UU.	Ford	Sonora	Hermosillo
7	1992	Japón	Nissan	Aguascalientes	Aguascalientes
8	1995	EE. UU.	General Motors	Guanajuato	Silao
9	1995	EE. UU.	Stellantis (Chrysler)	Coahuila	Saltillo
10	1995	Japón	Honda	Jalisco	El Salto
11	2004	Japón	Toyota	Baja California Norte	Tijuana
12	2008	EE. UU.	General Motors	San Luis Potosí	Villa de Reyes
13	2013	Japón	Nissan	Aguascalientes	Aguascalientes
14	2014	Japón	Honda	Guanajuato	Celaya
15	2014	Japón	Mazda	Guanajuato	Salamanca
16	2016	Alemania	AUDI	Puebla	San José Chiapa
17	2016	Korea del Sur	KIA	Nuevo León	Pesquería
18	2017	Japón - Alemania	Nissan - Daimler	Aguascalientes	Aguascalientes
19	2017	México - China	GML (JAC)	Hidalgo	Ciudad Sahagún
20	2017	México - China	ATM (BAIC)	Veracruz	Emiliano Zapata
21	2019	Alemania	BMW	San Luis Potosí	San Luis Potosí
22	2020	Japón	Toyota	Guanajuato	Apaseo el Grande

ANEXO B: Criterios de evaluación de Rank Ergonómico





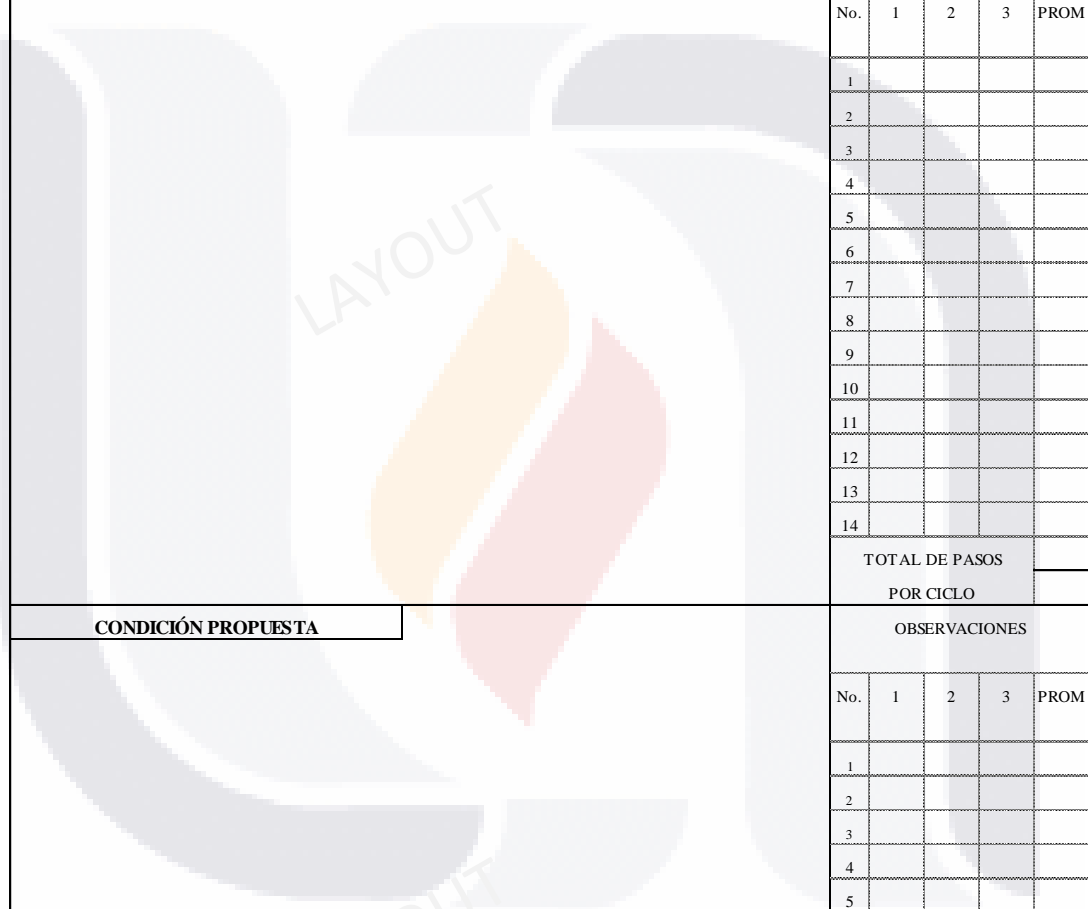
ANEXO C: Formato de Análisis de Diagrama Hombre-Máquina

<b>DIAGRAMA HOMBRE-MÁQUINA</b>	
PROCESO: _____	

Elaboró: \_\_\_\_\_

CICLO	MINUTOS	OP #1		OP #2		OP #3		OP #4		OP #5	
		ACTIVIDAD	TIEMPO	ACTIVIDAD	TIEMPO	ACTIVIDAD	TIEMPO	ACTIVIDAD	TIEMPO	ACTIVIDAD	TIEMPO
	0.10										
	0.20										
	0.30										
	0.40										
	0.50										
	0.60										
	0.70										
	0.80										
	0.90										
	1.00										
	1.10										
	1.20										
	1.30										
	1.40										
	1.50										
	1.60										
	1.70										
	1.80										
	1.90										
	2.00										
	2.10										
	2.20										
	2.30										
	2.40										
	2.50										
	2.60										
	2.70										
	2.80										

ANEXO D: Formato de Análisis de Patrón de Caminado

<b>ANÁLISIS DE PATRÓN DE CAMINADO</b>						
PROCESO: _____						
<b>CONDICIÓN ACTUAL</b>		<i>Elaboró:</i> _____				
		<b>OBSERVACIONES</b>				
		No.	1	2	3	PROM
		1				
		2				
		3				
		4				
		5				
		6				
		7				
		8				
		9				
		10				
		11				
		12				
		13				
14						
TOTAL DE PASOS POR CICLO						
<b>CONDICIÓN PROPUESTA</b>		<b>OBSERVACIONES</b>				
No.	1	2	3	PROM		
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
TOTAL DE PASOS POR CICLO						