



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

Estudio, clasificación y evaluación de tiempos operacionales de no valor agregado (NVA) y no valor agregado necesario (NNVA) para la mejora de eficiencia en la línea 1 de ensamble en AKT Motos: Diagnóstico estadístico de tiempos en puestos de trabajo y optimización de operaciones con enfoque Lean-Manufacturing.

Michael Steven Portuguese Valdes

Trabajo de grado presentado para optar al título de Ingeniero Mecánico

Semestre de Industria

Asesor Interno

Carlos Alberto Mejía Castaño, Magíster (MSc) en Ingeniería Mecánica

Asesor Externo

Juan Pablo Maya Valdes, Especialista (Esp) en Ingeniería Producción

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Mecánica

Medellín, Antioquia, Colombia

2026



Referencia

Estilo IEEE (2020)

- [1] M. Portuguez Valdes, “Estudio, clasificación y evaluación de tiempos operacionales de no valor agregado (NVA) y no valor agregado necesario (NNVA) para la mejora de eficiencia en la lineal de ensamble en AKT Motos: Diagnóstico estadístico de tiempos en puestos de trabajo y optimización de operaciones con enfoque Lean-Manufacturing.”, Trabajo de grado profesional, Ingeniería Mecánica, Universidad de Antioquia, Medellín, Antioquia, Colombia, 2026.



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatoria

A mi madre Margoth Valdes, en integridad de este trabajo, ofrezco dejarla inmortalizada en este escrito hecho con sudor, lágrimas y mucho amor.

A mi hermana Maria Portuguez, quien me recordó que las cosas no son fáciles, pero siempre sé que estarás ahí para darme el empujón.

A mi tía adoptiva Daris Arenas, quien me acompañó en este viaje académico, me vio crecer como profesional y me recordó que se puede creer.

En memoria de mi padre Mauricio Portuguez. Quiero que sientas desde el más allá de que,

HEMOS CULMINADO NUESTRO PROYECTO.

Será un logro más de muchos. Atentamente: Científico.

Agradecimientos

Agradecimientos especial a mi asesor externo Juan Pablo Maya, su orientación no solo en producción sino en lo personal, han sido aportes valiosos. Al equipo producción AKT Motos de reír, discutir el proceso y la paciencia de enseñarme el mundo laboral. Al grupo de monitores dibujo de Ing. Mecánica, cada uno de ustedes son ese rincón de apoyo, risas, compañerismo, amistad y conocimiento. Al profe Carlos Mejía por guiarme en el escrito y aconsejarme cuando requería. Agradezco a mis amigos Felipe Gallo y Adrián Cogollo, son un modelo para seguir para mejorar cada día y su apoyo en cada desvelada realizando trabajos, muchas gracias por tenerme paciencia. A mi amigo Juan Pablo Gil y Santiago Zapata, pensar que nos conocimos en ese edificio y ahora estamos en los grados, señores los mejores éxitos. Finalmente, a todas aquellas personas, amigos, familiares, conocidos y profesores su tiempo converge en la finalización de esta etapa.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	11
ABSTRACT	12
I. INTRODUCCIÓN	13
II. OBJETIVO	15
III. MARCO TEÓRICO	16
A. Sistemas de ensamble en la industria de motocicletas (CBU, SKD y CKD).....	16
B. Metodología Lean Manufacturing.....	16
C. Estudio de tiempos y movimientos.	21
D. Balanceo y estandarización	23
E. Estadística de tiempos	24
IV. METODOLOGÍA	28
1. Diagnóstico y Formación.	28
2. Muestreo de datos.....	31
3. Creación de base de datos de muestreo.....	35
4. Evaluación estadística y diagnóstico operativo.....	36
1. Carga de datos y filtros globales.	37
2. Gráfico Yamazumi.	38
1. Diagnóstico operativo de los tiempos ciclos.	40
2. Análisis operativo por ciclo.....	40
3. Estadística descriptiva y análisis de cumplimiento	42
5. Pareto.....	44
6. Control Estadístico de Procesos (SPC) mediante cartas I-MR	45
7. Índices de capacidad del proceso C_{py} C_{pk}	47
F. Lógica de selección para la evaluación de los puestos.....	48

V. ANÁLISIS DE RESULTADOS	50
A. Caracterización general del muestreo.	50
B. Cadena de valor general de la base de datos.	55
C. Gráfico Yamazumi y enganches.	57
D. Análisis estadístico de puestos alarma.	59
E. Revisión de detalle de puesto preseleccionado.	62
F. Control estadístico.....	66
G. Pilotos de mejora.....	68
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	76
A. Conclusiones	76
B. Recomendaciones.....	78
REFERENCIAS	80

LISTA DE TABLAS

TABLA I.	21
TABLA II.	30
TABLA III.....	32
TABLA IV.	41
TABLA V.....	47
TABLA VI.	54
TABLA VII.	55
TABLA VIII.....	57
TABLA IX.	59
TABLA X.....	60
TABLA XI.	61
TABLA XII.	61
TABLA XIII.....	64
TABLA XIV.	65
TABLA XV.....	71

LISTA DE FIGURAS

Fig 1. Adaptación actualizada de la Casa Toyota	18
Fig 2. Componentes de un gráfico Yamazumi	20
Fig 3. Diagrama de flujo para establecer valor de operación.	29
Fig 4. Interfaz de DashBoard de Analisis de tiempos Operativos.	37
Fig 5. Carga de datos y resumen inicial.	37
Fig 6. Filtros de datos para evaluación de puesto de trabajo.....	38
Fig 7. Ejemplo de resultado de grafico Yamazumi.	39
Fig 8. Ejemplo de grafico de barras apilado por proceso.....	40
Fig 9. Ejemplo de revisión de secuencia detallada.....	41
Fig 10. Ejemplo de grafico de densidad de datos registrados.	42
Fig 11. Ejemplo de cálculo de Buffer con Dashboard.	43
Fig 12. Ejemplo de grafico de cajas y Bigotes según Tipo.	43
Fig 13. Ejemplo de intervalo de confianza para la muestra de puesto.	44
Fig 14. Ejemplo de pareto para puesto analizado.....	44
Fig 15. Ejemplo de grafico I en Dashboard.	46
Fig 16. Ejemplo de grafico MR en Dashboard.....	46
Fig 17. Ejemplo de visualización de Cp y Cpk en Dashboard.....	48
Fig 18. Diagrama de flujo para la selección de puesto para analizar.	49
Fig 19. Formato de muestreo de tiempos y movimientos	50
Fig 20. Configuración de muestreo por hojas.	50
Fig 21. Interfaz cronometro para medición de operaciones	51
Fig 22. Parámetros constantes del proceso que involucran cambio manual.	52
Fig 23. Conversión de archivos exportados de muestra en Power Query	52
Fig 24. TreeView del cronometro operativo para la adquisición de información.....	53
Fig 25. Interfaz de analizador de video operaciones.	53
Fig 26. Grafica de la distribución del tipo de valor del grupo de operaciones.....	55
Fig 27. Distribución de las operaciones de la muestra.....	56
Fig 28. Yamazumi modelo TTR 200 ABS en Dashboard.....	57
Fig 29. Yamazumi modelo CR4 125 en Dashboard.....	58
Fig 30. Comparativa de ciclos para el puesto PRE0 en TTR 200 ABS.	62

Fig 31. Gráfico de densidad para el puesto PRE0 en TTR 200 ABS.....	63
Fig 32. Box Plot por Tipo para PRE0 en TTR ABS.	63
Fig 33. Pareto para operaciones NVA de puesto PRE0.	65
Fig 34. Diagrama de Espagueti actual PRE0 TTR 200 ABS	66
Fig 35. Grafica de control estadístico I.	67
Fig 36. Revisión de secuencia por ciclo 1 en PRE0 TTR 200 ABS en Dashboard.	67
Fig 37. Revisión de secuencia por ciclo 6 en PRE0 TTR 200 ABS en Dashboard.	67
Fig 38. Propuesta de flujo y zona en puesto PRE0.	69
Fig 39. Cálculo de Buffer en términos de motos con Dashboard estadístico.....	70
Fig 40. Box Plot comparativo por persona de TOBS en TTR 200 ABS - PRE 22.1	72
Fig 41. Interfaz de formulario de mejora para el control de ausentismo en Excel.....	72
Fig 42. Interfaz de diligenciamiento para el control de ausentismo en Excel.....	73
Fig 43. Dashboard de control de ausentismo operaciones en Power BI.	73
Fig 44. Esquema jerárquico para el control de ausentismo en Power BI.....	74

SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

CKD	Completely Knocked Down
CL	Center Line (Línea Central)
Cp	Índice de capacidad potencial del proceso
Cpk	Índice de capacidad real del proceso
CV	Coefficiente de Variación
IC	Intervalo de Confianza
I-MR	Individuals and Moving Range (Individuos y Rango Móvil)
IQR	Interquartile Range (Rango Intercuartílico)
LCL	Lower Control Limit (Límite Inferior de Control)
LSL	Lower Specification Limit (Límite Inferior de Especificación)
NVA	No Valor Agregado
NNVA	No Valor Agregado Necesario
OPR	Orden de Producción
PRE	Puestos de preensamble (denominación interna).
IZQ/DER	Puesto de ensamble en línea de ensamble (denominación interna).
R&R	Repeatability and Reproducibility (Repetibilidad y Reproducibilidad)
S	Segundos
SPC	Statistical Process Control (Control Estadístico de Procesos)
UCL	Upper Control Limit (Límite Superior de Control)
USL	Upper Specification Limit (Límite Superior de Especificación)
VA	Valor Agregado
WIP	Work In Process (Trabajo en Proceso)

RESUMEN

La variabilidad operativa y la presencia de actividades que no agregan valor constituyen factores críticos en el desempeño de las líneas de ensamble con alta diversidad de modelos, como las operadas bajo el esquema CKD. En este contexto, el presente trabajo tiene como objetivo analizar, clasificar y evaluar los tiempos de Valor Agregado (VA), No Valor Agregado (NVA) y No Valor Agregado Necesario (NVAN) en la Línea 1 de ensamble de AKT Motos, con el fin de identificar puestos críticos, reducir la variabilidad del tiempo de ciclo y apoyar la estabilización del proceso productivo.

La metodología empleada se fundamenta en un enfoque cuantitativo y analítico, que integra la captura digital estructurada de tiempos, el muestreo por estación y modelo, y la construcción de una base de datos trazable. El análisis se desarrolla mediante herramientas estadísticas descriptivas, intervalos de confianza, coeficiente de variación, gráficos Yamazumi, análisis de Pareto, control estadístico de Procesos y validación de capacidad. Adicionalmente, se implementa un dashboard estadístico interactivo para la visualización del desempeño operativo y se despliegan pilotos de mejora continua orientados a la gestión de buffers, estandarización operativa y control de ausentismo.

Los resultados evidencian una alta proporción de tiempos NVA, así como una variabilidad significativa entre estaciones, asociada a la ausencia de estandarización y trazabilidad histórica. En conclusión, el estudio demuestra que la integración de muestreo estructurado, análisis estadístico y herramientas Lean convierte la medición operativa en información confiable para la toma de decisiones, estableciendo una base sólida para la mejora continua y la estabilidad del proceso.

Palabras clave — Estudio de tiempos y movimientos, Lean Manufacturing, NVA, estadística descriptiva, control de procesos, Yamazumi, Mejora continua, línea de ensamble, CKD.

ABSTRACT

Operational variability and the presence of non-value-added activities constitute critical factors affecting the performance of assembly lines with high model diversity, such as those operating under the CKD scheme. In this context, the present work aims to analyze, classify, and evaluate Value-Added (VA), Non-Value-Added (NVA), and Necessary Non-Value-Added (NNVA) times in Assembly Line 1 of AKT Motos, in order to identify critical workstations, reduce cycle time variability, and support the stabilization of the production process.

The methodology is based on a quantitative and analytical approach, integrating structured digital time capture, sampling by workstation and model, and the construction of a traceable database. The analysis is carried out using descriptive statistical tools, confidence intervals, coefficient of variation, Yamazumi charts, Pareto analysis, Statistical Process Control (SPC), and process capability validation. Additionally, an interactive statistical dashboard is implemented to visualize operational performance, and continuous improvement pilot projects are deployed focusing on buffer management, work standardization, and absenteeism control.

The results reveal a high proportion of NVA time, as well as significant variability among workstations, mainly associated with the lack of standardization and historical traceability. In conclusion, the study demonstrates that the integration of structured sampling, statistical analysis, and Lean tools transforms operational measurement into reliable information for decision-making, establishing a solid foundation for continuous improvement and process stability.

Keywords — Time and motion study, Lean Manufacturing, Non-value-added time, Descriptive statistics, Process control, Yamazumi, Continuous improvement, Assembly line, CKD.

I. INTRODUCCIÓN

En el contexto industrial actual, las líneas de ensamble de motocicletas bajo el esquema CKD (Completely Knocked Down) operan en entornos caracterizados por una alta variedad de referencias, ritmos de producción exigentes y una presión constante por mantener la estabilidad del flujo productivo. En este tipo de sistemas, la variabilidad operativa impacta de manera directa la productividad, la calidad del producto y las condiciones de trabajo del operario, convirtiéndose en un factor crítico para el desempeño global del proceso. En este escenario, la medición tradicional enfocada únicamente en la operación principal resulta insuficiente para comprender el comportamiento real del proceso. La captura del ciclo completo de trabajo, junto con la clasificación de las actividades en Valor Agregado (VA), No Valor Agregado (NVA) y No Valor Agregado Necesario (NVAN), permite identificar desperdicios, balancear cargas entre estaciones y sustentar decisiones orientadas al cumplimiento del Takt Time. No obstante, este nivel de análisis suele verse limitado por la ausencia de trabajo estándar, la falta de trazabilidad de los tiempos y la dificultad para gestionar el alto volumen de datos que exige una medición detallada.

En el caso del área de producción de AKT Motos, se evidencia la inexistencia de una clasificación formal y trazable de las actividades VA, NVA y NVAN por estación y modelo, así como la carencia de tiempos de referencia que representen el ciclo total de trabajo. Esta situación restringe la capacidad de identificar con precisión las fuentes de variabilidad, priorizar puestos críticos y ejecutar acciones de mejora sustentadas en datos. Adicionalmente, la información disponible no se encuentra estructurada ni visualizada de forma que facilite su análisis por parte del personal operativo y de ingeniería.

Ante esta problemática, el presente trabajo se desarrolla en la Línea 1 de ensamble de AKT Motos, con el propósito de analizar y clasificar los tiempos operativos desde un enfoque Lean Manufacturing, integrando herramientas de estudio de tiempos, análisis estadístico y mejora continua. El proyecto se orienta a cuantificar los tiempos VA, NVA y NVAN, evaluar su impacto sobre el tiempo de ciclo y establecer una base objetiva para la estabilización del proceso y la reducción de cargas innecesarias sobre el operario.

Para ello, se implementa una metodología basada en la captura digital estructurada de los tiempos, la construcción de una base de datos de muestreo trazable y el desarrollo de un dashboard estadístico interactivo, que permite visualizar de manera ágil el comportamiento del proceso. El análisis se fundamenta con herramientas como el gráfico de Yamazumi para el balanceo de cargas,

el análisis de Pareto para la priorización de operaciones, el Control Estadístico de Procesos (SPC) para la validación de estabilidad y los índices de capacidad del proceso (C_p y C_{pk}) para evaluar el cumplimiento del Takt Time. Asimismo, se desarrollan pilotos de mejora continua orientados al control del ausentismo y a la estandarización operativa en puestos evaluados, como evidencia de la aplicabilidad de la metodología propuesta.

En este contexto, el objetivo general del trabajo consiste en analizar y clasificar los tiempos VA, NVA y NVAN en la Línea 1 de ensamble de AKT Motos, utilizando herramientas Lean y análisis estadístico, con el fin de identificar puestos críticos y oportunidades de mejora orientadas a la reducción de la variabilidad y al cumplimiento del Takt Time. Como preguntas de investigación se plantean: ¿qué estaciones concentran la mayor carga y variabilidad del proceso?, ¿qué proporción del tiempo corresponde a actividades que no agregan valor?, y ¿cómo puede una metodología basada en muestreo estructurado y visualización estadística apoyar la selección objetiva del puesto de mejora o la mejora en la línea?

De esta manera, el trabajo busca cerrar la brecha entre la medición operativa y el análisis analítico, proporcionando una metodología reproducible y soportada en datos, que permita transformar la información de campo en conocimiento útil para la mejora continua del proceso productivo

II. OBJETIVO

A. Objetivo general

Cuantificar y reducir los tiempos de no valor agregado (NVA) y no valor agregado Necesario (NVAN) en la Línea 1 de ensamble de AKT Motos mediante el muestreo y clasificación de operaciones, análisis estadístico y despliegue de mejoras Lean para elevar el cumplimiento del tiempo de ciclo y estabilizar procesos.

B. Objetivos específicos

- Establecer una línea base de tiempos VA/NVAN/NVA por estación y por modelo mediante cronometraje asistido software de estudio de muestreo por video de 90% de alcance de modelos.
- Verificar formal del tiempo ciclo por estación–modelo, registrando enganche de puesto y eficiencias relativa (Holgura).
- Construir gráfico Yamazumi y diagramas de balanceo identificando cuellos de botella con cuantificación de su impacto.
- Desplegar un tablero de seguimiento que integre tiempos y porcentaje de NVA/NVAN, cumplimiento de Takt y seguimiento de gráficos de procesos SPC para el control operativo.
- Implementar y analizar control estadístico de procesos de capacidad (C_p y C_{pk}), en cinco estaciones críticas antes y después.
- Validar confiabilidad de la muestra con intervalo de confianza y repetibles con coeficiente de variabilidad, dejando documentado el plan de medición, observaciones detectadas y su incertidumbre.
- Diseñar, ejecutar y evaluar tres pilotos mejora continua focalizados (estandarización de trabajo, diseños mecánicos, ergonomía y automatización).
- Capacitar personal de grado supervisor y coordinadores con las herramientas propuestas, junto a las metodologías necesarias para la replicación de seguimientos en el tiempo.

III. MARCO TEÓRICO

A. Sistemas de ensamble en la industria de motocicletas (CBU, SKD y CKD)

En la industria de motocicletas, los sistemas de ensamble determinan el nivel de transformación local del producto, la complejidad operativa de la planta y la estructura de la línea de producción. Los esquemas más utilizados son Completely Built-Up (CBU), Semi Knocked Down (SKD) y Completely Knocked Down (CKD), cada uno con implicaciones directas sobre la logística, el diseño del proceso y la gestión del tiempo de ciclo. El sistema CBU corresponde a la importación del vehículo completamente ensamblado, donde las actividades locales se limitan a inspección, alistamiento en bodega y distribución. Este esquema presenta baja complejidad operativa, pero no genera aprendizaje productivo ni valor agregado local ni una transformación del producto. En contraste, el sistema SKD implica el ensamble final de subconjuntos previamente armados, lo que introduce operaciones de montaje más de validaciones funcionales. El sistema CKD, objeto de estudio de este proyecto, se caracteriza por la importación de componentes completamente desensamblados, requiriendo procesos locales de logística interna, abastecimiento, montaje, calidad y construcción del proceso operativo completo [1]. Este esquema incrementa significativamente la cantidad de operaciones y la variabilidad del ciclo, especialmente en líneas de alto mix de modelos, como ocurre en la Línea 1 de ensamble de AKT Motos. En el entorno empresarial al Bill of Material (BOM) internacional es conocido como CKD haciendo énfasis al sistema de ensamblaje y al referido de origen nacional llamado como integración.

B. Metodología Lean Manufacturing

Lean Manufacturing es una filosofía de gestión enfocada en la creación de valor para el cliente mediante la eliminación sistemática de desperdicios a lo largo de la cadena de valor. Este enfoque se estructura a partir de cinco principios fundamentales, definir valor desde la perspectiva del cliente, identificar la cadena de valor, crear flujo continuo, establecer sistemas de suministros y perseguir la perfección mediante la mejora continua (Kaizen). [2] La aplicación de Lean permite evaluar el ciclo completo de trabajo, identificando no solo cuánto tiempo se invierte, sino en qué tipo de actividades se invierte. El enfoque Lean es particularmente relevante en entornos de alta diversidad de referencias y exigencias de cumplimiento por lo que el Lean no implica un proceso de realización puntual sino de la participación continua con el uso herramientas para su implementación.

La metodología nace en el Sistema de Producción Toyota (TPS) desarrollada en la industria automotriz japonesa fundamentado en dos pilares Just in Time (JIT) y Jidoka, donde el primero se orienta a producir únicamente lo necesario, en la cantidad requerida y en el momento adecuado, mientras que el segundo introduce el principio de automatización con control humano, permitiendo detener el proceso ante la detección de anomalías para evitar la propagación de defectos, donde estos principios dieron paso a un sistema productivo enfocado en la reducción de desperdicios, la busca de la estabilidad y la implementación de herramientas de mejora continua, desplazando el concepto maximización y aumento de producción a optimización de la producción y el proceso, comúnmente conocido como “Manufactura esbelta”. [2] Por lo que la transición del TPS al Lean al unificar el inventario, la búsqueda de la compactación del espacio, menos defectos y menos tiempos en comparación a la producción en masa convirtiendo cada uno de los procesos operaciones fundamentales, unitarias, visibles y controlables haciendo finalmente una filosofía que integra unifica otros métodos, herramientas con base en información enfocada en darle valor a cada operación.

El Lean aparte de caracterizar su objetivo con sus propias herramientas, como se comenta antes se estructura en una serie de dimensiones enfocadas en la eliminación, por lo que no existe un único camino o pilares fijos en el que se establezca la implementación de Lean, por lo que esto va a constituir lo que se necesite realizar y el contexto operacional de la compañía, pero todos con el enfoque de mejora continua. Se pueden establecer algunos de ellos como se especifica [2, p. 17]. En el actual contexto de la compañía AKT Motos, se enfoca principalmente controlar, calidad, productividad, logística y despachos, teniendo la analogía de una línea de ensamblaje, se conectan intrínsecamente todos los campos. A continuación, se presenta la más comúnmente denominada casa Toyota, siendo una adaptación para traducir el seguimiento de las metas del lean.

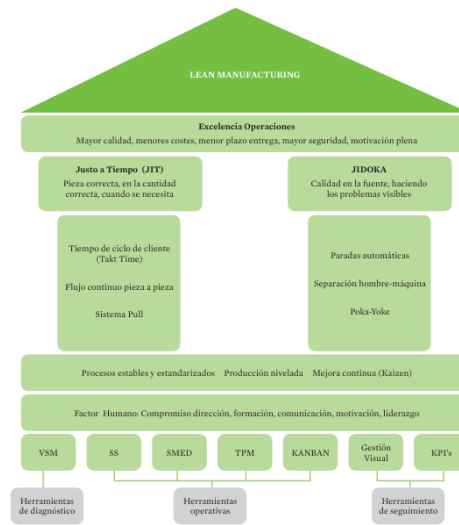


Fig 1. Adaptación actualizada de la Casa Toyota

Nota. Fuente Hernandez-Matias, Juan & Vizán, A. (2013). Lean Manufacturing: Conceptos, técnicas e implantación.

Para la implementación de un Lean de Fig 1 se basa principalmente en un conjunto de principios denominados como una guía de análisis, con base a esos principios y la necesidad se implementan las herramientas, técnicas o metodologías. [2] Por lo que se lista los principios normalmente consensuados en el argot de la ingeniería de la mejora continua.

1. Definición de valor: Entendido como toda actividad que transforma el producto de manera que el cliente esté dispuesto a pagar por dicha transformación. Esta definición implica que el valor no se determina desde la perspectiva interna de la organización, sino desde la percepción del cliente final o en su defecto lo que el cliente pagaría por el producto. Cuando no se tiene claro desde la perspectiva se tiene la convención de Muda (7 Principales Desperdicios).
2. Identificación del flujo de valor: Análisis de las actividades u operaciones del proceso productivo, desde la entrada del material hasta la finalización del producto o proceso. Permitiendo establecer las operaciones de las que agregan valor a las que no lo hacen para establecer finalmente tiempos operacionales, por lo que la principal fuente de apoyo para la ejecución del principio es el estudio de métodos de tiempos y movimientos.
3. Generación de flujo continuo: Minimizar las interrupciones, esperar y acumulaciones del proceso, estableciendo un flujo continuo estable y perdurable que permita controlar, identificar y reducir tiempos ciclos, mejorar sincronización entre áreas y principalmente

disminuir variabilidad y ruido del proceso, canalizado con el balanceo y nivelación de proceso.

4. Planificación de Sistema Pull: Enfocada a área de producción, se ajusta a la demanda real del cliente evitando sobreproducción, exceso de inventario y saturación en planta, caso contrario al Push y su operación por medio del Batch (Lotes). El principio se encuentra vinculando a los conceptos de la demanda de producción y más principalmente en el contexto de AKT Motos, al ser una ensambladora en la que la línea de ensamble “Jala” pedidos de producción (OPR), por lo que establecer una adecuada demanda implica tener un ritmo temporal en la que todo el proceso que implica el producto sea obedecido es conocido como Takt Time.
5. Búsqueda de perfección: Se materializa a través de la mejora continua (Kaizen) que este involucra otras metodologías y herramientas reciprocas como intrínsecas en el lean. Por lo que este principio es el culmen del análisis de los anteriores principios y la liquidez del diseño del diagnóstico, pero principalmente la eliminación de desperdicios es una actividad permanente, establecida como cultura organizacional.

Con la claridad de los antes mencionados principios, no solo debe quedar expresado desde la parte cualitativa sino desde lo cuantitativo para diagnosticar el impacto, necesidad y claridad de lo que se busca atacar, por lo que relacionar los desperdicios con su fuente cuantificable, por lo que permite estructurar el análisis del tiempo ciclo en relación objetiva y repetible de la clasificación según como agregue valor [2], clasificadas como antes se mencionó. Actividades de Valor Agregado (VA) como aquellas que transforman el producto en forma, función o característica con un requerimiento del cliente o que este es consciente de lo que espera del producto, es lo visible. Actividades de No Valor Agregado Necesario (NNVA), a las actividades que no agregan valor directamente pero que en el proceso actual son condiciones actuales del proceso o en su defecto son necesarias para que una actividad de VA ocurra. Actividades de No Valor Agregado (NVA) con operaciones que pueden ser eliminar, no afectan la funcionalidad del producto o pueden ser disminuidas hasta el punto en que no tengan un peso considerable en la cadena.

Por lo que clasificarlas permite identificar y rastrear el compromiso de las operaciones como composición del peso de la operación como porcentajes mostrados en las ecuaciones.

$$\%VA = \frac{\sum T_{VA}}{T_{Ciclo}} \quad (1)$$

$$\%NNVA = \frac{\sum T_{NNVA}}{T_{Ciclo}} \quad (2)$$

$$\%NVA = \frac{\sum T_{NVA}}{T_{Ciclo}} \quad (3)$$

Estas expresiones constituyen un soporte teórico fundamental para la construcción de bases de datos de tiempos operacionales orientadas al análisis Lean, ya que permiten evaluar el desempeño del proceso más allá del tiempo total, considerando su calidad desde la perspectiva del valor. Por tanto, el tiempo ciclo queda en evidencia que se refiere a la suma de los tres tiempos.

$$T_{ciclo} = T_{VA} + T_{NVA} + T_{NNVA} \quad (4)$$

Como se expresó en los principios, la importancia de establecer el Takt Time a la que producción debe estar sincronizado es la principal métrica para establecer el nivel de producción, requerimientos y calidad deseada, por lo que relaciona por un lado la demanda (pedido) y el tiempo disponible de producción teórico, por lo que matemáticamente se expresa en la siguiente ecuación como se ha planteado en Kaizen Institute [3].

$$T_{takt} = \frac{T_{disponible}}{D_{demanda}} \quad (5)$$

El valor de Takt Time implica que cada uno del proceso debe ser realizado por debajo o igual a este tiempo, por lo que gráficamente es posible observarlo con un gráfico Yamazumi que a su vez enlaza la clasificación de lo que según agregue valor, donde se pueden evidenciar los procesos respecto al Takt Time y en cómo se distribuye el tiempo, por lo que cada vez el lean se va construyendo con un grupo componentes, como se presenta en la Fig 2.

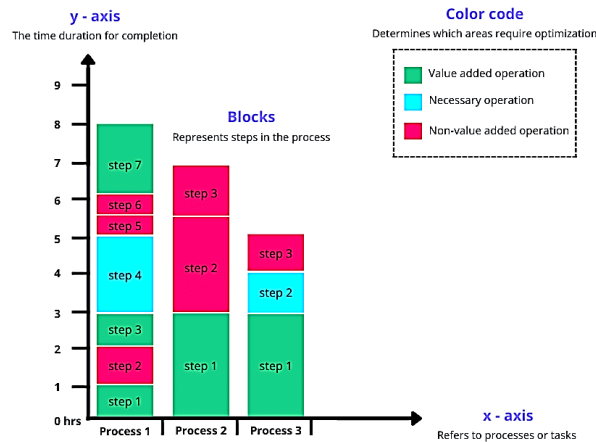


Fig 2. Componentes de un gráfico Yamazumi

Nota. Fuente <https://safetyculture.com/topics/yamazumi>

C. Estudio de tiempos y movimientos.

El estudio de tiempos y movimientos tiene como objetivo analizar sistemáticamente la forma en que se realiza el trabajo y el tiempo requerido para ejecutarlo, con el fin de establecer métodos más eficientes, reducir desperdicios y mejorar el desempeño global del sistema productivo. El estudio se centra en el análisis detallado de los movimientos corporales realizados por el operario durante la ejecución de una tarea con el objetivo principal es eliminar movimientos innecesarios, simplificar los necesarios y mejorar la secuencia de trabajo, contribuyendo a la reducción del esfuerzo físico y del tiempo total del ciclo por lo que permite obtener el tiempo observado (T_O), el cual puede ser ajustado mediante factores de desempeño y suplementos para determinar el tiempo normal (T_N) y el tiempo estándar (T_E). Este proceso garantiza que los tiempos obtenidos representen condiciones reales de operación y puedan ser utilizados para análisis posteriores, como balanceo de línea, cálculo de capacidad y evaluación de eficiencia. [4]

Antes de iniciar con un estudio de tiempo es necesario realizar el tamaño de la muestra para garantizar la confiabilidad estadística, por lo que existen varios métodos para la obtención, una de las más aceptadas es de forma estadística siempre y cuando se tenga mediciones exploratorias para obtener desviación estándar y promedio en la siguiente formula. [4]

$$n = \left(\frac{K\sigma}{e\bar{X}} \right)^2 + 1 \quad (6)$$

En la que K se refiere al coeficiente de riesgo, e es el error estadístico normalmente usado del 95%, σ referido a la desviación estándar y $\bar{X}$ al promedio de los tiempos de esa cantidad de datos exploratorios.

Otra forma aceptada en el estudio de tiempos es el usado por el Criterio de la General Electric Company, precursores del gráfico de control y coeficientes de capacidad, relacionado con el estudio de tiempos y movimientos sin tener una base de tiempos obtenidos sino con saber el Takt Time. En la TABLA I se muestra las muestras sugeridas. [4]

TABLA I.
 RANGO DE TIEMPOS CICLOS PARA EL NUMERO DE OBSERVACIONES DE MUESTRA.

Tiempo de Ciclo [Minutos]	Número de Observaciones Muestra (n)
0.10	200
0.25	100
0.50	60

0.75	40
1	30
2-5	15
5 - 10	10
10 - 20	5

Definido el tamaño de muestra, se presentan ecuaciones de los tiempos que se hacen uso en el estudio de tiempos y movimientos como en el proceso de estandarización.

Tiempo Observado (T_o) como el promedio de los tiempos observados de una muestra.

$$T_o = \frac{\sum t_i}{n} \quad (7)$$

Tiempo Normal (T_N) es el tiempo observado ajustado por el desempeño del trabajador, en la que existen varias calificaciones de actuación que dependen de factores como habilidad, esfuerzo, consistencia y condiciones, comúnmente se le conoce como ritmo.

$$T_N = T_o \times \text{Factor de Calificación} = T_o (1 \pm \% \text{Valoración}) \quad (8)$$

Tiempo Estándar (T_E) es el tiempo requerido para que un operario totalmente calificado y capacitado, trabajando a un paso estándar y realizando un esfuerzo promedio para realizar la operación, esto implica que cualquier operario cumpliendo esas condiciones podrá hacerlo dentro de este tiempo, por lo que se agregan suplementos que implican absorber descanso, demoras inevitables y fatiga.

$$T_E = T_N (1 + \% \text{Suplementos}) \quad (9)$$

Para ejecutar el estudio de tiempos se implementa herramientas que no constituyen métodos por sí mismas, sino medios que garantizan la precisión, confiabilidad y repetibilidad de la información obtenida, aspectos fundamentales para sustentar decisiones de mejora en sistemas de manufactura [4]. La observación directa representa la herramienta básica del estudio del trabajo, ya que permite analizar el proceso en condiciones reales de operación. A través de la observación, el analista identifica la secuencia de actividades, la interacción del operario con el producto, el uso de herramientas y la ocurrencia de interrupciones o variaciones en el método de trabajo. Desde el punto de vista teórico, la observación directa es indispensable para comprender el contexto operativo del proceso y evitar interpretaciones aisladas de los datos de tiempo. El cronometraje constituye la herramienta tradicional para la medición del tiempo de ejecución de los elementos del trabajo. Se puede hacer por medio de El cronometraje continuo es uno de los métodos más utilizados en estudios de tiempos. En este tipo de cronometraje, el cronómetro se inicia al comienzo

del ciclo de trabajo y no se detiene hasta el final de este, registrándose lecturas acumuladas al término de cada elemento. El cronometraje con retorno a cero consiste en reiniciar el cronómetro al inicio de cada elemento del trabajo, registrando directamente el tiempo individual de cada uno. Finalmente, el cronometraje con video se ha consolidado como una herramienta de alto valor en el estudio moderno de tiempos y movimientos. Su uso permite capturar el proceso productivo de manera detallada y reproducible, facilitando la revisión posterior del método de trabajo y la descomposición de las operaciones en elementos precisos. Desde una perspectiva teórica, el análisis por video reduce el sesgo del observador, mejora la exactitud del estudio de movimientos y permite identificar desperdicios asociados a movimientos innecesarios, esperas y desbalances operativos.

Las bases de datos de tiempos se utilizan para almacenar, organizar y analizar la información obtenida durante el estudio del trabajo. Desde el punto de vista teórico, estas bases de datos permiten consolidar múltiples observaciones, evaluar la variabilidad del proceso y realizar análisis comparativos entre estaciones, modelos o periodos de tiempo. La estructuración de la información en bases de datos facilita la trazabilidad del estudio y constituye el soporte para análisis posteriores relacionados con balanceo de línea, eficiencia y mejora continua.

D. Balanceo y estandarización

La estandarización del trabajo es una práctica que busca definir, documentar y asegurar la repetición consistente de los mejores métodos de trabajo conocidos para una tarea específica. Este concepto implica que cada operación se realiza de acuerdo con una secuencia establecida, un tiempo asignado y una forma clara de ejecutar las actividades, con el objetivo de garantizar la consistencia, eficiencia y eficacia de los procesos productivos. La estandarización es también un mecanismo de control del desperdicio, en tanto elimina variaciones innecesarias en la ejecución de tareas y reduce la probabilidad de errores, movimientos inefficientes o retrasos imprevistos. Cuando las actividades están claramente estandarizadas, los operarios tienen una guía explícita sobre cómo ejecutar su trabajo y en qué tiempo, lo que facilita no solo la formación de nuevos trabajadores sino también la detección de desviaciones respecto al método deseado. Por lo que en cada proceso se tienen hojas de estándares de operaciones. [5]

Por otro lado, el balanceo de cargas se fundamenta directamente en la estandarización del trabajo y en la medición del tiempo de las operaciones. Esta técnica busca distribuir equitativamente la carga de trabajo entre las estaciones de la línea de producción, de forma que

todas operen a un ritmo uniforme y cumplan con el Takt Time requerido para satisfacer la demanda del cliente sin generar cuellos de botella o tiempos muertos entre estaciones [6]. El balanceo se fundamenta teóricamente en la idea de que la productividad de una línea depende del nodo más lento, por lo que, si un puesto de trabajo tarda más que los demás en completar su parte del ciclo, este se convierte en un limitante que reduce la eficiencia global del sistema productivo.

E. Estadística de tiempos

La estadística descriptiva constituye la primera etapa del análisis de datos y comprende el conjunto de técnicas utilizadas para resumir, organizar y presentar información de manera comprensible, sin realizar inferencias sobre una población mayor. Su objetivo principal es describir las características fundamentales de un conjunto de datos observados, permitiendo una comprensión inicial del comportamiento del proceso bajo estudio.

Dentro de las medidas de tendencia central, la media aritmética representa el valor promedio de los tiempos observados y se define como (10). [7]

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (10)$$

Donde x_i corresponde al tiempo registrado en la observación i y n al número total de observaciones.

Como medida de dispersión, la desviación estándar muestral cuantifica el grado de variabilidad de los datos respecto a la media y se expresa como (11). [7]

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (11)$$

Adicionalmente, el coeficiente de variación (CV) permite evaluar la dispersión relativa de los datos en función de su magnitud promedio, facilitando la comparación entre procesos o estaciones con diferentes escalas de tiempo como (12). [7]

$$CV = \frac{s}{\bar{x}} \quad (12)$$

El uso conjunto de estas medidas permite identificar si los tiempos observados presentan estabilidad relativa o una alta variabilidad, condición clave para la toma de decisiones posteriores. La estadística descriptiva se complementa con representaciones gráficas como histogramas y diagramas de caja y bigotes, los cuales permiten visualizar la forma de la distribución, detectar

asimetrías e identificar valores atípicos que puedan influir de manera significativa en la variabilidad del proceso. Estos elementos constituyen la base para análisis estadísticos más avanzados y para la aplicación de herramientas de mejora continua. El análisis de Pareto es una herramienta estadística orientada a la priorización de causas o factores que contribuyen en mayor proporción a un efecto determinado, basándose en el principio empírico de que un número reducido de causas explica la mayor parte de los resultados observados. En el contexto del estudio de tiempos y del enfoque Lean Manufacturing, esta herramienta se emplea para identificar actividades, operaciones o estaciones que concentran la mayor proporción del tiempo total, particularmente de tiempo no valor agregado. Metodológicamente, el análisis de Pareto se construye a partir del tiempo acumulado por causa, definido como (13).[7]

$$T_i = \sum_{j=1}^m t_{ij} \quad (13)$$

Donde T_i es el tiempo total asociado a la causa u operación i , y t_{ij} corresponde a cada registro individual de dicha causa. El porcentaje de contribución de cada causa se calcula como (14). [7]

$$P_i = \frac{T_i}{\sum_{i=1}^k T_i} \times 100 \quad (14)$$

El porcentaje acumulado se obtiene ordenando las causas de forma descendente según T_i . Esta representación permite focalizar los esfuerzos de análisis y mejora en aquellas pocas causas que generan el mayor impacto sobre el desempeño del proceso, en concordancia con la filosofía Lean de atacar primero los desperdicios de mayor relevancia.

El diagrama de caja y bigotes es una representación gráfica utilizada para visualizar la dispersión, tendencia central y presencia de valores atípicos en un conjunto de datos, sin asumir una forma específica de la distribución. Este gráfico resulta especialmente útil en el análisis de tiempos, ya que permite comparar el comportamiento de distintas estaciones, personas o periodos de medición de manera simultánea. El diagrama se construye a partir de los cuartiles de la distribución:

- Primer cuartil Q_1 : percentil 25
- Mediana Q_2 : percentil 50
- Tercer cuartil Q_3 : percentil 75

El rango intercuartílico (IQR) se define como (15) [7].

$$IQR = Q_3 - Q_1 \quad (15)$$

Los valores que se encuentran fuera de estos límites se consideran atípicos, y su identificación permite analizar eventos no recurrentes, interrupciones o causas especiales que influyen en la variabilidad del proceso.

El gráfico de densidad es una representación continua de la distribución de los datos, que permite analizar la forma, simetría, dispersión y concentración de los tiempos observados. A diferencia del histograma, el gráfico de densidad ofrece una visualización suavizada de la distribución, facilitando la identificación de patrones como asimetrías, multimodalidad o colas pronunciadas. Desde el punto de vista estadístico, la densidad de probabilidad $f(x)$ cumple la condición como (16). [7]

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx = 1 \quad (16)$$

El Control Estadístico de Procesos (SPC) extiende la estadística descriptiva hacia el análisis del comportamiento del proceso a lo largo del tiempo, incorporando el concepto de estabilidad estadística. A diferencia de enfoques reactivos, el SPC permite distinguir entre variación natural o por causas comunes y variación por causas especiales o asignables, mediante el uso de gráficas de control. En procesos donde las observaciones se registran de manera individual, se emplean comúnmente las gráficas de Individuos y Rango Móvil (I-MR). Para la gráfica de individuos, la línea central corresponde a la media de los datos como (17) [8] y los límites de control se definen como (18).

$$CL = \bar{x} \quad (17)$$

$$UCL = \bar{x} + 3\sigma \quad (18)$$

$$LCL = \bar{x} - 3\sigma$$

Donde σ se estima a partir del rango móvil promedio. Estas gráficas permiten identificar comportamientos no aleatorios, tendencias o puntos fuera de control que requieren análisis e intervención, eliminando el sesgo de la opinión mediante reglas estadísticas objetivas.

El índice de capacidad potencial del proceso C_p (19) evalúa la relación entre la dispersión natural del proceso y el ancho de los límites de especificación, asumiendo que la media del proceso se encuentra centrada.

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \quad (19)$$

Donde USL y LSL representan los límites superior e inferior de especificación, respectivamente. Un valor de $C_p > 1$ indica que la variabilidad del proceso es menor que el rango permitido por las especificaciones. No obstante, este índice no considera el centrado del proceso. Para incorporar esta información se utiliza el índice de capacidad real C_{pk} , definido como (20). [8]

$$C_{pk} = \min \left(\frac{USL - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - LSL}{3\sigma} \right) \quad (20)$$

Donde μ es la media del proceso. Un valor de $C_{pk} > 1$ indica que el proceso no solo presenta una variabilidad adecuada, sino que además se encuentra correctamente posicionado dentro de los límites de especificación. La interpretación conjunta de C_p y C_{pk} permite diferenciar problemas asociados a alta variabilidad de aquellos relacionados con desalineamiento del proceso, proporcionando una base cuantitativa para priorizar acciones de mejora, estandarización o eliminación de desperdicios.

El intervalo de confianza es una herramienta de la estadística inferencial que permite estimar el rango dentro del cual se espera que se encuentre un parámetro poblacional, a partir de una muestra, con un determinado nivel de confianza. En el análisis de tiempos, los intervalos de confianza se utilizan para cuantificar la incertidumbre asociada a la estimación del tiempo promedio, proporcionando un marco objetivo para evaluar la estabilidad y confiabilidad de los valores observados.

Para el caso del intervalo de confianza de la media poblacional, cuando la desviación estándar poblacional es desconocida y el tamaño de muestra es finito, el intervalo se expresa como (21).

$$IC_\mu = \bar{x} \pm t_{\alpha/2, n-1} \cdot \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (21)$$

donde:

- $\bar{x}$ es la media muestral,
- s es la desviación estándar muestral,
- n es el tamaño de la muestra,
- $t_{\alpha/2, n-1}$ es el valor crítico de la distribución t de Student para un nivel de confianza $1 - \alpha$.

El intervalo de confianza permite evaluar si el tiempo promedio se mantiene dentro de rangos aceptables y sirve como soporte para la toma de decisiones relacionadas con la estabilidad del proceso y de la misma medición.

IV. METODOLOGÍA

El flujo del proceso es hecho como se mostró en el marco teórico para iniciar con la metodología de lean, se realiza la aplicación de los principios, siendo así el establecimiento del flujo de información, necesidades intermedias reconocidas con el cumplimiento de los objetivos, por tanto es necesario establecer la necesidad intrínseca que conlleve cada principio en el apoyo de otras herramientas tanto tecnológicas como las de técnicas y metodologías necesarias para iniciar el Lean expuesto en la Fig 1 entre herramientas de diagnóstico, seguimiento y operativas, por lo para realizar un flujo de trabajo adecuado y relacionado a la metodología como implantación inicial en la compañía AKT Motos implicando el enfoque cuantitativo desde el diagnóstico de la muestra hasta cualitativo con la capacitación de los implicados como generado observaciones del proceso, se basa en la propuesta metodológica de Hernandez e Idope [2, Fig. 12] y principalmente alineados a los objetivos propuestos.

1. Diagnóstico y Formación.

Basado en los principios del Lean es necesario establecer la definición del valor, ya que es necesario establecer dentro del proceso con los lineamientos organizativos el cliente que no estaría dispuesto para pagar. Preliminarmente se establecen los principales desperdicios (Mudas) [9] que desde Lean Manufacturing establecen los principales siete desperdicios como inventario, esperas, defectos, sobre producción, desplazamiento, transporte y sobre procesamiento, por tanto, cada uno de los desperdicios se refiere a un grupo de operaciones que impliquen un desperdicio. Actualmente la compañía dentro de su proceso productivo no posee mapeado, estandarizado ni diagnosticado que tipo de operaciones entran en cada una de las categorías. Por lo que para definir se realiza observación inicial del proceso en puesto de ensamble y preensamble para generar un esquema de operaciones, exponiéndolas el verbo en infinitivo con la facilidad de agrupar esta clase de operación y darle trazabilidad en su disminución.

En un evento de análisis con el coordinador de producción se establecen un abanico de operaciones donde dentro de producción el cliente no es consciente de la operación implicando que el cliente no está pagando por ello y son acciones que pueden eliminarse sin inversión como NVA, para la NNVA el criterio establecido es relacionado a pérdidas relacionadas para que un proceso

ocurra cumpliendo los criterios de seguridad, calidad, trazabilidad y limitación técnica del proceso y VA como cualquier operación que cambia, transforma o modifica el producto. En el siguiente diagrama de flujo de la Fig 3 se puede distinguir con precisión como clasificarlas. [9]

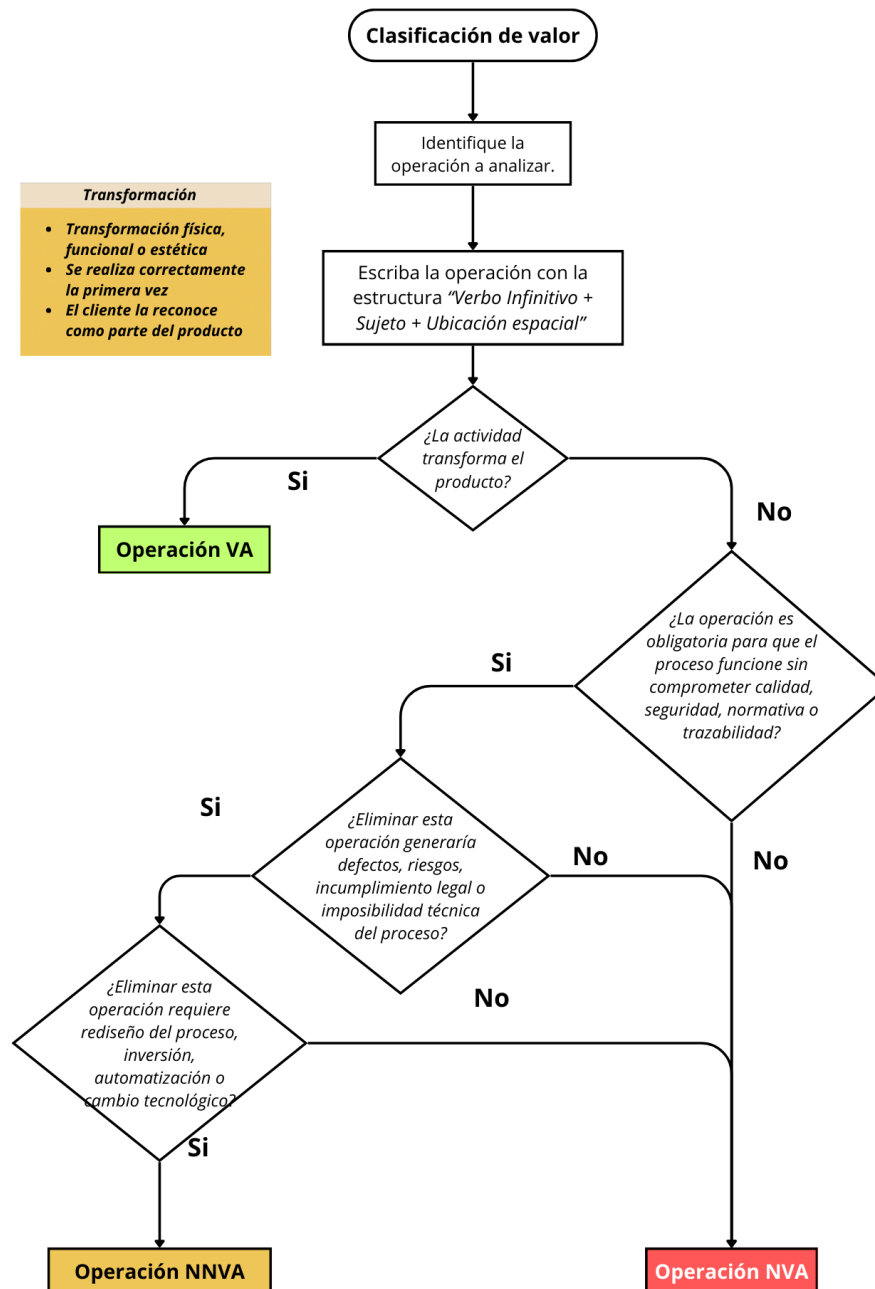


Fig 3. Diagrama de flujo para establecer valor de operación.

Nota: Elaboración propia.

Inicialmente se genera un listado de observaciones observadas promoviendo un abanico de verbos y categorizándolos para esclarecer entre supervisores, capacitación y nuevos involucrados se puedan guiar determinando el contexto más el diagrama de flujo para determinar el contexto y categorizarlo. En la tabla se presenta el abanico de verbos relacionados con ello en la TABLA II.

TABLA II.

CLASIFICACIÓN DE VERBOS CONSOLIDADOS PARA LA DEFINICIÓN DE VALOR EN PRODUCCIÓN.

Tipo de actividad	Definición en contexto operativo	Verbos asociados
Valor Agregado (VA)	Operaciones relacionadas al ensamblaje para unir dos componentes de la motocicleta que no impliquen volver a ejecutar la misma operación.	Fabricar, ensamblar, montar, construir, transformar, convertir, procesar, instalar, cortar, maquinar, soldar, unir, integrar, ajustar, calibrar, guiar.
No Valor agregado necesario (NNVA)	Operaciones relacionadas con la necesidad intrínseca del proceso donde son posibles de disminuir o eliminar siempre y cuando se deba realizar una actualización tecnológica de herramientas y equipos o en su defecto se requieran para ejecutar una operación de valor agregado.	Inspeccionar, verificar, revisar, medir, controlar, validar, aprobar, registrar, documentar, reportar, etiquetar, identificar, codificar, preparar, limpiar, alinear, proteger, embalar, desembalar, autorizar, confirmar, respaldar, sincronizar
No Valor Agregado (NVA)	Operaciones relacionadas con que si se eliminan no afecta el proceso y son posibles de reducir por medio de método, distribución y hasta aquellas operaciones que no sean establecidas en el estándar de operaciones.	Buscar, esperar, caminar, desplazar, mover, transportar, alcanzar, girar, agachar, reacomodar, ordenar, repetir, corregir, retrabajar, reajustar, contar, preguntar, interrumpir, cambiar, reiniciar, detener, transferir

Posteriormente, se realiza la selección de la línea de ensamble dentro de la programación objeto de estudio, considerando principalmente la representatividad de la línea dentro del sistema productivo de la planta y la similitud de entre modelos para no obtener una alta variabilidad por lo que permita ser replicado. La selección de una línea específica y modelos permite focalizar el análisis, asegurar profundidad en la medición y facilitar la comparación entre estaciones y operaciones, evitando la dispersión de esfuerzos metodológicos, por lo que dentro de la macro de programación se decide iniciar con modelos TTR 200 y CR4 125, esto con el fin de replicarse a TT DS+ 200, CR4 125, CR4 200, CR4 250 y TTR 125. Aunque en la actualidad cada modelo tenga cambio de cilindraje el proceso desde el área de capacitación quien realiza los estándares realiza

grandes cambios entre puestos de trabajo por lo que el cambio de referencia lo hace un mundo distinto.

De manera complementaria, se desarrolló un proceso de formación y sensibilización con los operarios de la línea seleccionada, orientado a generar conciencia sobre el concepto de valor y su relación directa con las actividades realizadas en el puesto de trabajo. Durante esta etapa se explicó el propósito del estudio, la diferencia entre actividades que agregan valor y aquellas que representan desperdicio, así como la importancia de la medición del tiempo como herramienta para la mejora del proceso y no como un mecanismo de control del desempeño individual. Esta actividad permite crear un entorno de colaboración, reducir la resistencia al cambio y favorecer condiciones de observación más naturales durante la toma de tiempos.

2. Muestreo de datos.

La metodología de muestreo y medición de tiempos fue diseñada considerando la naturaleza manual, repetitiva y variable del proceso de ensamble, así como la necesidad de garantizar trazabilidad, confiabilidad estadística y alineación con el enfoque Lean Manufacturing. Dado que el proyecto no se limita a una medición puntual de tiempos, sino que busca clasificar actividades según su contribución al valor y analizar la variabilidad del proceso, se desarrolló una estrategia metodológica apoyada en herramientas digitales, manuales, criterios estadísticos y observación directa del trabajo.

Como parte fundamental de la metodología de medición, se implementa un sistema de creación de variables que permita establecer información de la captura de tiempos, concebido no únicamente como un mecanismo de medición, sino como una fuentes clara y estructurada para la recolección de datos operativos, orientada al análisis estadístico. En el contexto del proceso analizado, no se dispone de registros históricos con la trazabilidad requerida ni de instrumentos que permitan una captura ágil y estructurada de los tiempos, lo cual dificulta el análisis cuando se presentan cambios frecuentes de modelo y alta velocidad operativa. El sistema de captura debe permitir el registro directo y secuencial de los tiempos por operación, asociando cada medición con información contextual relevante, como el puesto de trabajo, la persona, la fecha y la operación ejecutada. De esta manera, el muestreo obtenido no se limita a valores aislados, sino que constituye una base de datos organizada que refleja el comportamiento real del proceso bajo condiciones normales de operación.

Asimismo, la digitalización del registro permite automatizar el almacenamiento de la información en formatos estructurados, reduciendo errores de transcripción y eliminando demoras asociadas a la migración manual de datos hacia herramientas de análisis. Este enfoque resulta especialmente relevante en un entorno con alta variabilidad de modelos, donde la rapidez en la captura y consolidación de los datos es un factor crítico para la confiabilidad del estudio.

Dentro del diseño del dataset se define explícitamente variables cualitativas y cuantitativas, con el fin de estructurar cada observación como una unidad de análisis con la definición las variables categóricas, donde se establecen las variables que permiten contextualizar el muestro y realizar una correcta trazabilidad, en la TABLA III se presenta.

TABLA III.
DESCRIPCIÓN DEL CONJUNTO DE DATOS

Variable	Unidad de medida	Descripción	Tipo de Variables
Fecha	dd/mm/aa	Indica la fecha de la medición.	Cualitativa
Cont Op	-	Identificador de la cantidad de operaciones en la muestra.	Cuantitativa
Línea	-	Línea de ensamble de la medición.	Cualitativa
Zona	-	Referido a subgrupo de la línea perteneciente.	Cualitativa
Puesto	-	El puesto de trabajo en la medición.	Cualitativa
Modelo	-	El actual modelo con referencia de la medición.	Cualitativa
Etapas Principales	-	Resumen del grupo de operaciones que reúne varias operaciones.	Cualitativa
Ciclo	-	Referido del número o cantidad de veces que se completa la operación de inicio a fin.	Cualitativa
Secuencia	-	Subgrupo del ciclo que indica el orden de ejecución de las operaciones.	Cualitativa
Operación	-	Acción unitaria que se busca evaluar la cantidad de tiempo en ejecución.	Cualitativa
Key Op	-	Referido a la operación, pero indicando el verbo principal en infinitivo.	Cualitativa
Frecuencia	Ejecuciones/Ciclos	Cantidad de veces que se ejecuta una operación en varios ciclos. Ej 1/20 o 1/1.	Cuantitativa
Observación	-	Campo para añadir observaciones referentes al flujo del Proceso o novedad relacionado.	Cualitativa

Intervalo	Segundos	Tiempo consumido para realizar una operación unitaria.	Cuantitativa
Tipo	-	El valor que agrega operación.	Cualitativa
Hora Inicio Operación	hh:mn:ss	Hora de inicio de operación automáticamente al ejecutar el muestreo.	Cuantitativa
Hora Fin Operación	hh:mn:ss	Hora de fin de operación automáticamente al iniciar una nueva operación del muestreo.	Cuantitativa
Takt Time	Segundos	Tiempo en el que una motocicleta es finalizada en la línea de ensamble.	Cualitativa
Tiempo Estándar	Segundos	Tiempo estimado para el trabajo del puesto de trabajo dado por área de capacitación.	Cualitativa

Esta definición actúa como facilitador metodológico, ya que permite capturar datos en tiempo real, mantener uniformidad en la nomenclatura y servir como puente directo entre la medición en planta y el análisis estadístico posterior. El uso de la metodología y usando el mecanismo de muestreo con un procedimiento estandarizado, permite minimizar errores sistemáticos y aleatorios durante la toma de datos. En primer lugar, el observador sincroniza el inicio del cronometraje con el comienzo del ciclo de trabajo, definido previamente a partir de un evento físico claramente identificable, como el inicio de una operación manual, el accionamiento de una herramienta o el desplazamiento inicial del operario. Este criterio garantiza uniformidad en el punto de partida de todas las mediciones.

Durante la observación, el muestreo se opera bajo la modalidad de cronometraje continuo. En este método, el cronómetro permanece en funcionamiento durante todo el ciclo productivo, registrándose lecturas acumuladas en el momento exacto en que finaliza cada elemento del trabajo. Esta forma de uso permite reducir interrupciones en la medición, evitar errores asociados al reinicio frecuente del instrumento y facilitar la detección de tiempos improductivos o eventos no planeados que puedan ocurrir durante el ciclo. Cada lectura de manera inmediata en el formato de toma de tiempos previamente diseñado, asegurando que no exista desfase entre la finalización real del elemento y el registro del tiempo. Para obtener el tiempo individual de cada elemento, se calcula la diferencia entre lecturas consecutivas del cronómetro, garantizando así que los tiempos parciales correspondieran únicamente a la actividad observada al momento de iniciar una nueva operación.

Con el propósito de evitar la influencia del observador sobre el desempeño del operario, el muestreo es concebido desde una posición que no interfiriera con la operación normal del puesto

de trabajo. Además, se procura que el observador mantenga una distancia adecuada y una actitud pasiva, reduciendo el efecto de modificación del ritmo de trabajo conocido como efecto Hawthorne. [10] Las mediciones obtenidas mediante el uso del cronómetro se repiten durante varios ciclos consecutivos con el fin de capturar la variabilidad inherente al proceso.

La determinación del tamaño de muestra no se realizó de manera arbitraria, sino que se apoyó en criterios estadísticos y productivos. En primer lugar, se utilizó como referencia la tabla de tamaño de muestra de General Electric (TABLA I), dentro de operaciones de 2 a 5 minutos (120 segundos a 300 segundos) se propone una medición de 10 a 15, ampliamente empleada en estudios de tiempos, la cual relaciona la variabilidad observada del proceso con el número mínimo de observaciones requeridas para obtener estimaciones confiables del tiempo promedio como también el tamaño de muestra por medio del cálculo estadístico usando nivel de confianza del 95% y margen de error del 10% que dependerá de una muestra inicial y su variabilidad, por lo que se estableció como criterio metodológico un mínimo de 5 mediciones por ciclo, incluso en aquellos casos donde la tabla indicaba un tamaño mayor. Este criterio respondió a la necesidad de capturar con mayor rapidez dentro del ensamble y a las que posean mayor variabilidad se establece un registro mayor de medición para aumentar el registro de datos.

Definido la muestra se realiza un puesto de observación de trabajo (OPT), entendido como el punto desde el cual se analiza el estado actual del trabajo y el contexto actual. La ejecución de la OPT se realizó mediante la diferenciación explícita de las operaciones, considerando que no todas las actividades tienen la misma frecuencia ni el mismo impacto sobre el tiempo de ciclo. Para ello, se realizaron entrevistas operativas con los trabajadores, preguntando de manera estructurada:

- ¿En qué secuencia ejecutan las operaciones?
- ¿Cuáles operaciones se realizan de forma constante?
- ¿Cuáles corresponden a actividades ocasionales?
- ¿Cuáles actividades son externas al ciclo principal, pero influyen en el desempeño?

Esta información permite clasificar las operaciones según su frecuencia y establecer claramente qué actividades debían ser medidas en cada ciclo, evitando omisiones o dobles conteos, con colaboración de supervisor de producción de cada zona se establecen el contexto, por lo que se enfoca principalmente en los puestos con mayores desplazamientos, tomar y dejar de la zona para realizar el diagnóstico estadístico, esto se hace principalmente con las muestras ya obtenidas como de manera preliminar.

En aquellos puestos donde se evidenció una alta presencia de desplazamientos, búsquedas o recorridos innecesarios, se aplicaron diagramas de spaghetti como herramienta complementaria de análisis cualitativo. Estos diagramas permiten visualizar gráficamente los movimientos del operario dentro del puesto de trabajo, identificando patrones de desplazamiento, cruces innecesarios y recorridos repetitivos. Aunque el diagrama de spaghetti no genera datos cuantitativos directos, su uso permite sustentar la identificación de actividades clasificadas como NVA, especialmente aquellas asociadas a transporte, búsqueda y desplazamientos, para la interpretación de la mejora en los pilotos.

Cada operación medida se evalúa en función de su contribución al valor, considerando el contexto real del proceso productivo. La clasificación en valor agregado, no valor agregado necesario y no valor agregado se realiza teniendo en cuenta tanto la naturaleza de la actividad como las restricciones técnicas, normativas y operativas del proceso, por lo que con apoyo de la TABLA 3 y el diagrama de flujo de decisión se establece el valor que las operaciones tienen con las operaciones obtenidas en la OPT.

Una vez obtenida la muestra de tiempos mediante el cronómetro en Python, los datos se exportados a hojas de cálculo en Excel, donde se realiza un proceso de depuración y normalización incluyendo la eliminación de inconsistencias y la unificación de la nomenclatura utilizada en variables como operaciones, puestos y modelos. La depuración permite asegurar que los datos utilizados en el análisis estadístico posterior cumplan con criterios de calidad, coherencia y trazabilidad. Asimismo, la normalización de la nomenclatura es fundamental para evitar errores en la agrupación de datos y para garantizar la correcta aplicación de herramientas estadísticas.

3. Creación de base de datos de muestreo.

Una vez realizada la toma de datos en campo mediante cronometraje directo, se procede a la consolidación, almacenamiento y estructuración de la información recolectada, con el fin de garantizar su trazabilidad, disponibilidad y posterior análisis estadístico. Dado que el volumen de datos generados durante el estudio de tiempos es elevado y se obtiene en diferentes jornadas de medición, resulta necesario implementar un mecanismo estandarizado para la construcción de la base de datos de muestreo.

Inicialmente, los tiempos registrados durante la observación directa se transfieren desde los a un archivo estructurado en Microsoft Excel exportado desde el cronómetro, el cual se encuentra alojado en un servidor corporativo de la empresa. Esta ubicación centralizada permite asegurar la

integridad de la información, el control de versiones y el acceso restringido de los supervisores, coordinadores y practicantes, evitando pérdidas de datos o modificaciones no autorizadas. Esta estandarización es fundamental para permitir la integración posterior de los datos y asegurar la consistencia del análisis.

Posteriormente, los archivos individuales de Excel generados en cada sesión de medición se almacenan en una carpeta específica del servidor, destinada exclusivamente al estudio de tiempos. Sobre esta carpeta se configura un proceso de extracción y transformación de datos mediante Power Query, herramienta que permite apilar automáticamente la información contenida en múltiples archivos, consolidándola en una única base de datos de muestreo.

El uso de Power Query de Microsoft garantiza que cada nuevo archivo incorporado a la carpeta sea integrado de forma automática a la base de datos, sin necesidad de intervención manual adicional. Este enfoque reduce el riesgo de errores de transcripción, asegura la reproducibilidad del proceso y facilita la actualización continua de la información a lo largo del desarrollo del estudio. Finalmente, la base de datos consolidada constituye el insumo principal para el análisis estadístico posterior.

4. Evaluación estadística y diagnóstico operativo.

Con el fin de analizar de manera sistemática los datos obtenidos durante el estudio de tiempos, se desarrolla en Python una aplicación computacional basada en ***Streamlit***, la cual permite realizar el procesamiento, visualización y análisis estadístico de la información consolidada en la base de datos de muestreo. Esta herramienta se diseña para facilitar la exploración de grandes volúmenes de datos y garantizar la consistencia del análisis bajo diferentes criterios operativos, se puede apreciar la pantalla inicial en Fig 4.

El análisis estadístico se estructura en módulos funcionales, los cuales permiten evaluar el comportamiento de los tiempos desde una perspectiva descriptiva, comparativa y probabilística.

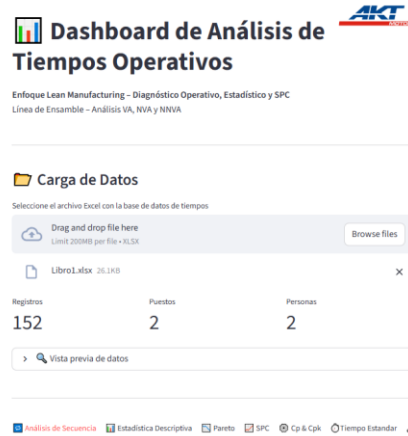


Fig 4. Interfaz de DashBoard de Analisis de tiempos Operativos.

Nota. Fuente Elaboración propia.

1. Carga de datos y filtros globales.

En una primera etapa, la aplicación permite la carga directa de la base de datos consolidada, previamente estructurada mediante Power Query. Una vez cargada la información, se habilitan filtros globales que permiten segmentar los datos según variables cualitativas como línea, zona, puesto, modelo y persona, donde en modelo y persona permite la múltiple selección en Fig 5.

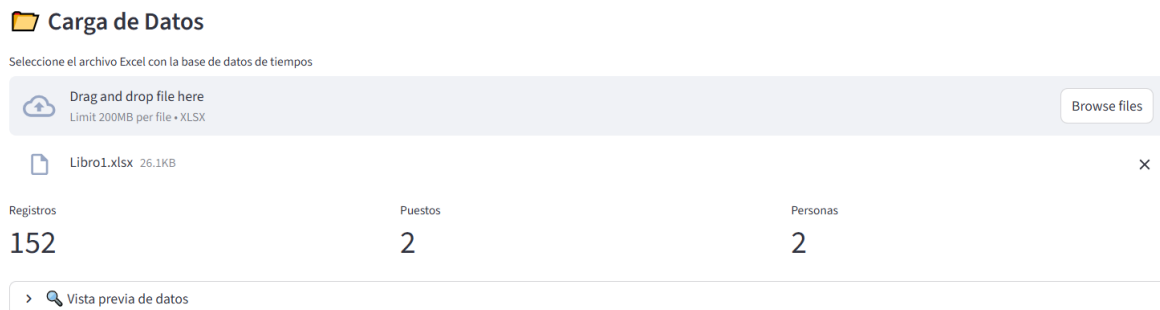


Fig 5. Carga de datos y resumen inicial.

Nota. Fuente Elaboración propia.

Estos filtros garantizan que el análisis se realice sobre subconjuntos de datos homogéneos, evitando sesgos derivados de la mezcla de condiciones operativas distintas y permitiendo comparaciones consistentes entre operarios, estaciones de trabajo o periodos de tiempo como se visualiza en Fig 6.



Filtros Globales

Línea
LINEA1

Zona
ZONA2

Puesto
PRE9

Modelo
TTR200_ABS

Persona
KEVIN RAMOS

Registros activos: 91

Fig 6. Filtros de datos para evaluación de puesto de trabajo.

Nota. Fuente Elaboración propia.

2. Gráfico Yamazumi.

Con el propósito de evaluar la distribución de los tiempos de trabajo por estación y su alineación con el Takt Time, se utiliza el gráfico de Yamazumi como herramienta visual de análisis dentro de la metodología del estudio. El gráfico se construye a partir de los tiempos promedio obtenidos en el análisis estadístico, clasificados según su naturaleza como Valor Agregado (VA), No Valor Agregado (NVA) y No Valor Agregado Necesario (NNVA), en este caso debido a que se está usando la totalidad de datos entre operarios y teniendo en cuenta toda la variabilidad del proceso se recurre al uso de la mediana para tener la medida central a pesar de la variabilidad y colas que presenten los datos.

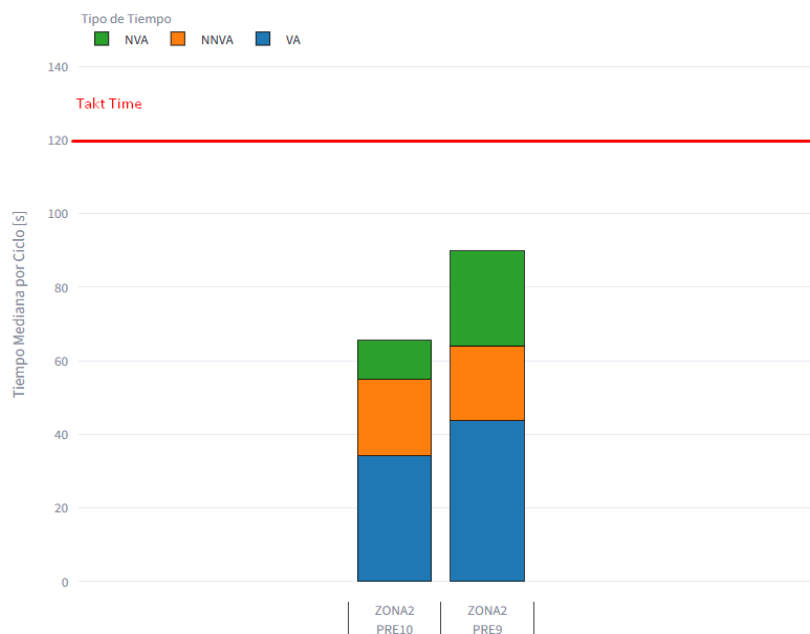


Fig 7. Ejemplo de resultado de grafico Yamazumi.

Nota. Fuente Elaboración propia.

La aplicación del Yamazumi permite identificar de manera gráfica los desbalances de carga, las fuentes de desperdicio y las oportunidades de redistribución de actividades entre estaciones de trabajo como se presenta Fig 7. Para cada estación de trabajo, se agrupan las operaciones que conforman su ciclo operativo y se representan mediante barras apiladas, donde cada segmento corresponde a una categoría de tiempo (VA, NVA o NNVA). Sobre el gráfico se incorpora el Takt Time como línea de referencia, permitiendo evaluar visualmente el grado de cumplimiento de cada estación respecto al ritmo requerido por la demanda. Esta estructuración facilita la comparación directa entre estaciones y permite identificar aquellas que exceden el Takt Time o presentan una alta proporción de tiempos no agregadores de valor. Por lo que se utiliza metodológicamente para identificar estaciones sobrecargadas o subutilizadas, visualizar la contribución relativa de VA, NVA y NNVA en cada estación, detectar oportunidades de redistribución de tareas entre estaciones y evaluar el impacto potencial de eliminar o reducir tiempos NVA y NNVA.

Se utiliza como la primera instancia de revisión para la toma de decisiones relacionadas con el balanceo de la línea y la priorización de acciones de análisis y mejora. Su función principal es proporcionar una visión integral e inmediata de la distribución de los tiempos de trabajo, permitiendo identificar desbalances evidentes antes de profundizar en análisis estadísticos más detallados.

1. Diagnostico operativo de los tiempos ciclos.

Como parte del diagnóstico inicial, la aplicación presenta un análisis del tiempo por ciclo, en el cual se visualizan los registros individuales separados según su clasificación como Valor Agregado (VA), No Valor Agregado (NVA) y No Valor Agregado Necesario (NNVA). Para cada ciclo medido, se identifica la operación específica que consume el tiempo correspondiente, permitiendo reconocer de forma directa las actividades que mayor impacto tienen sobre el tiempo total del ciclo.

Adicionalmente, se construye una tabla de tiempos promedio con el porcentaje consumido por tipo de operación, en la cual los datos se agrupan por combinaciones de clave fecha, persona y puesto, facilitando la identificación de diferencias de desempeño entre operarios y variaciones temporales en un mismo puesto de trabajo. De manera complementaria, se presenta un consolidado global de tiempos promedio por persona, el cual resume el comportamiento general de cada operario a lo largo del periodo analizado, constituyéndose en un insumo clave para la evaluación de la estabilidad del proceso y la identificación de fuentes de variabilidad ejemplificado en Fig 8.

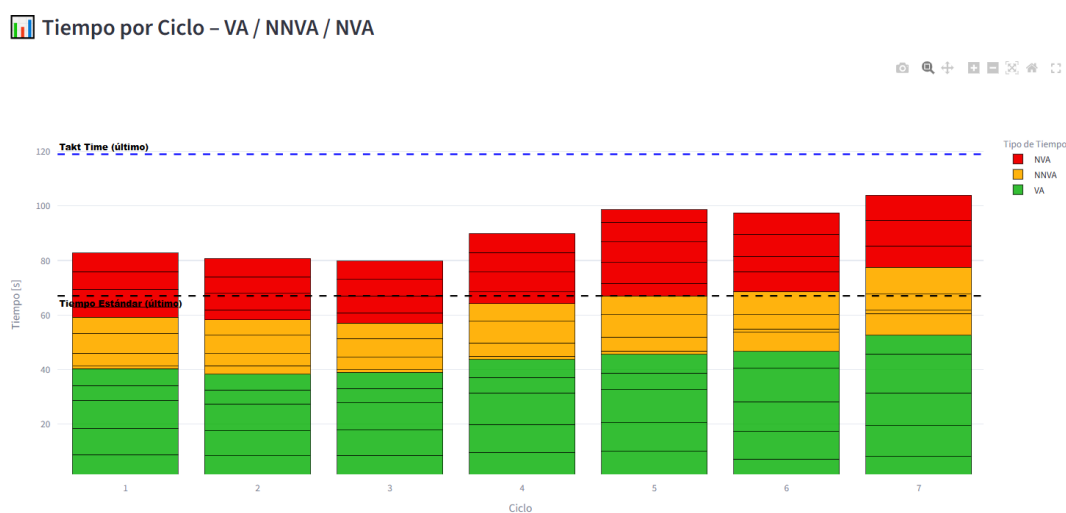


Fig 8. Ejemplo de grafico de barras apilado por proceso.

Nota. Fuente Elaboración propia.

2. Análisis operativo por ciclo

En una etapa más detallada, el análisis operativo permite visualizar cada ciclo de trabajo con su secuencia de operaciones, mostrando el orden de ejecución y los tiempos asociados a cada actividad. Este enfoque secuencial facilita la identificación de interrupciones, repeticiones o desbalances dentro del ciclo.

Detalle de Secuencia por Ciclo

Secuencia	Operación	Key_Op	Tipo	Intervalo (s)	Observaciones
61	1.14 Desplazar_Manubrio	Desplazar	NVA	3.833	Proceso_Flow
62	1.15 Posicionar_Manubrio	Posicionar	NNVA	1.033	Proceso_Flow
63	1.16 Buscar_MordazaFreno_Del	Buscar	NVA	6.409	Proceso_Flow
64	1.17 Instalar_Bomba_FrenoDel	Instalar	VA	8.732	Proceso_Flow
65	1.18 Buscar_Comando_Der	Buscar	NVA	6.432	Proceso_Flow
66	1.19 Posicionar_Comando_Der	Posicionar	NNVA	4.666	Proceso_Flow
67	1.2 Instalar_Comando	Instalar	VA	9.631	Proceso_Flow
68	1.21 Ajustar_Tiempo	Ajustar	VA	10.332	Proceso_Flow
69	1.22 Desacoplar_PedalIQ Desplazar	Desacoplar	NNVA	7.24	Proceso_Flow
70	1.23 Instalar_PedalIQ	Instalar	VA	5.399	Proceso_Flow

Tiempo del ciclo: 82.73 s

> 05/01/2026 | KEVIN RAMOS | PRE9 | Ciclo 2

> 05/01/2026 | KEVIN RAMOS | PRE9 | Ciclo 3

Fig 9. Ejemplo de revisión de secuencia detallada.

Nota. Fuente Elaboración propia.

Para cada operación individual se calcula y presenta un conjunto de estadísticos descriptivos básicos, que incluyen, tamaño de muestra realizada, media aritmética, mediana, desviación estándar, coeficiente de variación (CV) ejemplificada en Fig 9. El coeficiente de variación se emplea como indicador de estabilidad relativa, permitiendo comparar la dispersión de los tiempos entre operaciones con diferentes magnitudes promedio, como actualmente la compañía no presenta ni posee un índice de la variabilidad del dato por operaciones, se pretende hacer uso del diagnóstico preliminar como tabla global y sumado al hecho de que cada compañía presenta un contexto operacional que debe ser considerado para establecer indicador objetivo. A continuación, se presenta tabla de referencia de coeficiente de variación para operaciones manuales, aunque no se tenga la tabla estandarizada, se parte de valores obtenidos en la literatura como referencia [4]. Con la TABLA IV es posible diagnosticar operaciones con alta variabilidad y decidir el enfoque de las mejoras.

TABLA IV.
CLASIFICACIÓN DE LA VARIABILIDAD EN OPERACIONES MANUALES SEGÚN EL COEFICIENTE DE VARIACIÓN (CV)

Rango de CV	Nivel de variabilidad	Interpretación operativa	Condición típica del proceso
$CV \leq 5 \%$	Muy baja	Proceso altamente estable	Operación estandarizada, método fijo, baja intervención humana, alto accionamiento de maquinaria.
$5 \% < CV \leq 10 \%$	Baja	Variabilidad aceptable	Operación manual repetitiva con entrenamiento adecuado y masterizado.

$10 \% < CV \leq 20$ %	Moderada	Variabilidad común	Operación manual con influencia humana normal.
$20 \% < CV \leq 30$ %	Alta	Variabilidad significativa	Falta de estandarización, alto contenido de NVA no detectados y operaciones externas relacionadas con reprocesos.
$CV > 30 \%$	Muy alta	Proceso inestable	Ausentismo, cambios frecuentes, método no definido o modificaciones constantes y elevada presencia de novedades en el puesto.

3. Estadística descriptiva y análisis de cumplimiento

La aplicación incorpora un módulo de estadística descriptiva, en el cual se analiza la forma de la distribución de los datos mediante gráficos de densidad, permitiendo evaluar la simetría, dispersión y concentración de los tiempos registrados. Este análisis resulta fundamental para comprender el comportamiento estadístico de los tiempos y su adecuación a supuestos probabilísticos. Asimismo, se construye un resumen estadístico por tipo de tiempo (VA, NVA y NNVA), lo que permite cuantificar la proporción y variabilidad asociada a cada categoría, reforzando el análisis desde la perspectiva Lean Manufacturing.

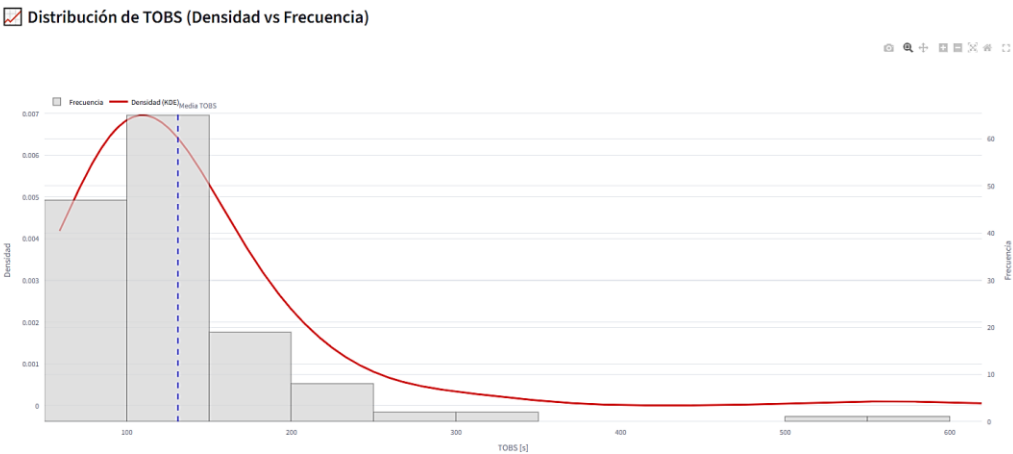


Fig 10. Ejemplo de grafico de densidad de datos registrados.

Nota. Fuente Elaboración propia.

Por lo que se realiza el diagnóstico inicial con esta información para el puesto de trabajo que permite observar la tendencia de los datos, como por ejemplo binomiales, normales o la dispersión de los datos ejemplificado en Fig 10. Para el caso específico de los procesos de preensamble, se realiza un análisis adicional basado en percentiles, debido a que estas operaciones tienen la capacidad de adelantar trabajo y suministrar componentes con anticipación a la línea principal teniéndolo presente como buffer estratégico para no desbordar los puestos en exceso de

material realizado o en algunos otros amortiguar el proceso. A partir de la distribución de tiempos, se calculan percentiles representativos que permiten estimar un buffer operativo equivalente en motocicletas como diferencia entre percentiles multiplicando por el enganche del puesto respecto a Takt Time e ingresando el número de motos comúnmente realizadas en el lote, por lo que se sincroniza con la programación de producción, como se ejemplifica en Fig 11.

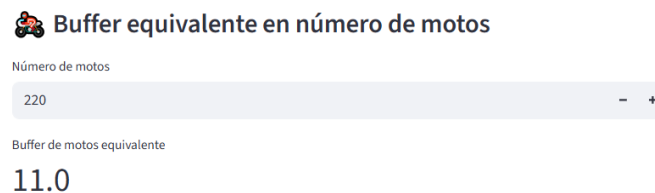


Fig 11. Ejemplo de cálculo de Buffer con Dashboard.

Nota. Fuente Elaboración propia.

Este análisis no se aplica a las operaciones de ensamble, dado que estas se encuentran directamente acopladas al ritmo de la línea y no cuentan con holgura operativa por lo que siempre están realizando el trabajo en inmediaciones como la línea de ensamble tenga la velocidad.

Con el fin de evaluar la dispersión, presencia de valores atípicos y diferencias entre grupos, se utilizan diagramas de caja y bigotes, segmentados por tipo de tiempo, persona y fecha. Estas representaciones gráficas permiten identificar de forma visual la variabilidad intrínseca del proceso y comparar el comportamiento de los tiempos bajo diferentes condiciones operativas, de manera visual buscan los valores atípicos y tomar decisión para el diagnóstico del puesto, se visualiza en Fig 12.

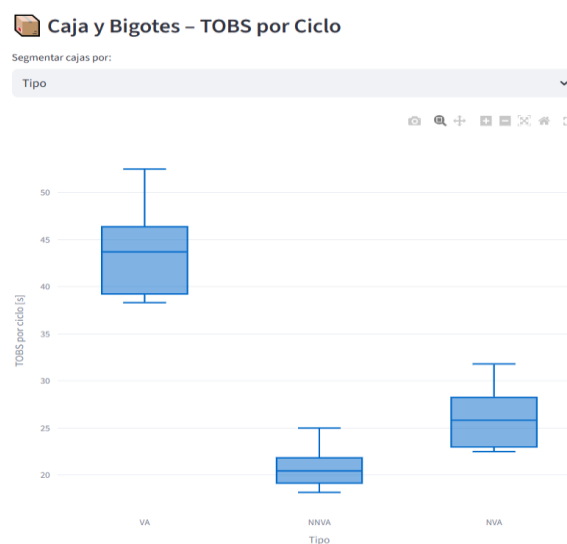


Fig 12. Ejemplo de grafico de cajas y Bigotes según Tipo.

Nota. Fuente Elaboración propia.

Finalmente se calculan intervalos de confianza para los tiempos promedio, permitiendo establecer el rango dentro del cual se espera que se encuentre el valor real del tiempo con un determinado nivel de confianza normalmente fijado en el 95%. Este análisis aporta una base cuantitativa para la toma de decisiones y proporcionando al área de capacitación decisión de donde establecer el tiempo estándar, en la Fig 13 como se presenta en el dashboard.



Fig 13. Ejemplo de intervalo de confianza para la muestra de puesto.

Nota. Fuente Elaboración propia.

5. Pareto

Con el propósito de definir de manera objetiva las operaciones sobre las cuales se deben concentrar los esfuerzos de análisis y mejora, se emplea el análisis de Pareto como herramienta de priorización dentro del estudio de tiempos. Esta metodología permite enfocar los recursos en aquellas operaciones que generan el mayor impacto sobre el tiempo total del proceso y la variabilidad operativa.

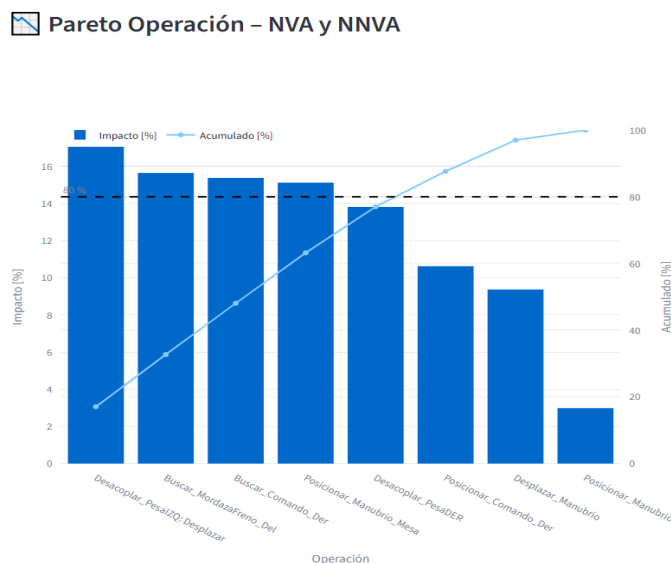


Fig 14. Ejemplo de pareto para puesto analizado.

Nota. Fuente Elaboración propia.

El análisis se construye a partir de la base de datos de muestreo consolidada, utilizando los tiempos clasificados como VA, NVA y NNVA. Para cada operación registrada, se calcula el tiempo acumulado total, sumando los tiempos individuales observados a lo largo del periodo de medición. Con el fin de alinear el análisis con el enfoque Lean Manufacturing, el Pareto se construye de forma segmentada para los tiempos VA, NVA y NNVA. Esta segmentación permite diferenciar.

- Operaciones críticas por alto consumo de tiempo VA, relevantes para optimización del método.
- Operaciones críticas por alto consumo de tiempo NVA, candidatas directas a eliminación o rediseño.
- Operaciones críticas por tiempo NNVA, susceptibles de reducción o simplificación.

El análisis de Pareto ejemplificado Fig 14 se emplea exclusivamente como herramienta de priorización, y no como mecanismo de validación de mejoras. Su función es establecer de manera objetiva dónde enfocar el análisis profundo y las acciones de mejora posteriores, asegurando coherencia entre el diagnóstico del proceso y las decisiones metodológicas adoptadas.

6. Control Estadístico de Procesos (SPC) mediante cartas I-MR

Con el fin de evaluar la estabilidad estadística de los tiempos operativos y diferenciar variabilidad común de variabilidad especial, se aplica la metodología de Control Estadístico de Procesos (SPC) mediante cartas de Individuos y Rango Móvil (I-MR). Esta herramienta se utiliza como complemento del análisis estadístico descriptivo, permitiendo validar si los tiempos observados se encuentran bajo control estadístico antes de realizar inferencias, comparaciones o propuestas de mejora. La aplicación de SPC se realiza sobre los tiempos individuales registrados durante el estudio de tiempos, dado que el proceso no permite la formación de subgrupos racionales y cada observación corresponde a una medición secuencial independiente presentado en la Fig 15. La carta de Individuos (I) se emplea para analizar la evolución secuencial de los tiempos de ciclo u operación, permitiendo identificar, cambios bruscos en el nivel del proceso, tendencias o patrones no aleatorios y observaciones fuera de los límites de control.

Carta I – TOBS por Ciclo

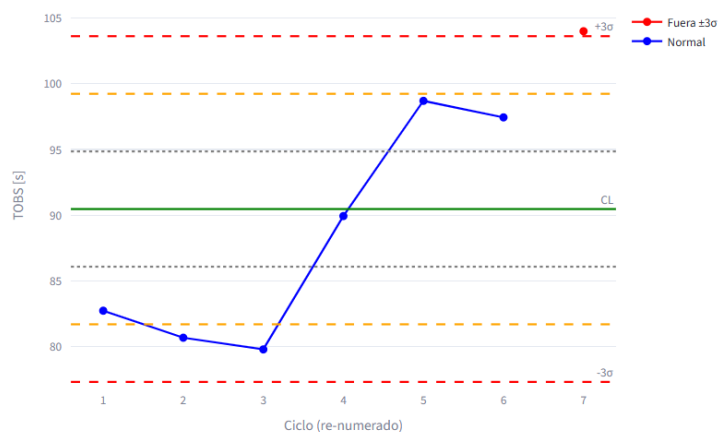


Fig 15. Ejemplo de grafico I en Dashboard.

Nota. Fuente Elaboración propia.

De manera complementaria, la carta de Rango Móvil (MR) se emplea para evaluar la variabilidad entre observaciones consecutivas, proporcionando información sobre la consistencia del proceso a corto plazo, como se visualiza en Fig 16.

- Detectar incrementos súbitos en la variabilidad entre ciclos consecutivos.
- Identificar inestabilidad operativa asociada a cambios de operario o secuencia.
- Evaluar si la dispersión de los tiempos es constante a lo largo del periodo analizado.

La interpretación conjunta de las cartas I y MR permite confirmar si un proceso aparentemente estable en promedio presenta, no obstante, variaciones excesivas entre ciclos consecutivos.

Carta MR – Rango Móvil



Fig 16. Ejemplo de grafico MR en Dashboard.

Nota. Fuente Elaboración propia.

El SPC no se emplea como herramienta de control en tiempo real, sino como instrumento de diagnóstico y validación analítica perdurable en el tiempo por lo que cuando se aplique este análisis es necesario realizar un seguimiento con muchos más datos para ir verificando como el proceso se comporta y asociar las reglas expuestas en el control estadístico del marco teórico.

7. Índices de capacidad del proceso C_p y C_{pk}

Con el propósito de evaluar la capacidad de los procesos operativos frente al Takt Time y tiempo estándar definido, se aplican los índices de capacidad del proceso C_p y C_{pk} como herramientas cuantitativas de soporte al análisis estadístico y a la toma de decisiones. Estos indicadores permiten determinar si la variabilidad observada en los tiempos es compatible con los límites operativos establecidos por la demanda del sistema productivo, es decir si los límites de asignación superior e inferior permiten definir si el proceso es capaz de cumplir dichos límites.

La aplicación de C_p y C_{pk} se realiza únicamente sobre datos previamente validados como estadísticamente estables, conforme a los resultados obtenidos mediante el Control Estadístico de Procesos (SPC) con cartas I-MR ya que estos índices asumen la estabilidad en el proceso para que no se distorsione la lectura debido a la variabilidad por causa especial. El índice C_p se utiliza para evaluar la capacidad potencial del proceso, considerando únicamente la dispersión de los tiempos, mientras que el índice C_{pk} se emplea para evaluar la capacidad real, incorporando la posición del promedio respecto al límite superior de especificación, como se especifica en el marco teórico, se hace referencia a 1 y otros valores, secuenciales, pero en la necesidad del estudio se implica solo con analizar respecto al valor 1, se establece la TABLA V como metodología de interpretación.

TABLA V.
 INTERPRETACIÓN Y VALORES COMUNES DE C_p Y C_{pk}

Condición observada	Interpretación del proceso	Diagnóstico operativo	Decisión metodológica
$C_p < 1$ y $C_{pk} < 1$	Proceso no capaz	La variabilidad del tiempo es mayor que el rango permitido por el Takt Time y el promedio se encuentra cercano o por encima del límite superior	Priorizar reducción de variabilidad. No aplicar mejoras de método sin estabilizar el proceso
$C_p = 1$ y $C_{pk} < 1$	Proceso potencialmente	La dispersión es aceptable, pero el promedio del tiempo se encuentra desplazado hacia el Takt Time	Ajustar método, secuencia o carga de trabajo para recentrar el proceso

	capaz pero descentrado		
$C_p \approx C_{pk} < 1$	Proceso no capaz con variabilidad dominante	El problema principal es la dispersión, no el centrado	Enfocar acciones en reducción de variabilidad (estandarización, entrenamiento, control de causas especiales)
$C_p \approx C_{pk}$ y $C_p \geq 1$	Proceso capaz y centrado	La variabilidad es controlada y el promedio del tiempo se encuentra lejos del Takt Time	Mantener condiciones actuales y monitorear con SPC
$C_p \geq 1$ y $C_{pk} < 1$	Proceso estable pero mal centrado	Existe capacidad potencial desaprovechada	Re balancear tareas o rediseñar método

Los valores obtenidos se calculan de forma automatizada dentro de la aplicación de análisis estadístico desarrollada, garantizando consistencia en los resultados y trazabilidad del procedimiento, en la Fig 17 es como se visualiza en el dashboard.



Fig 17. Ejemplo de visualización de Cp y Cpk en Dashboard

Nota. Fuente Elaboración propia.

No se van a tener como criterios contractuales o de aceptación final del proceso ya que su función dentro del análisis es establecer una base cuantitativa para justificar la necesidad de acciones de mejora orientadas a la reducción de la variabilidad y al alineamiento del proceso con el Takt Time y tiempo estándar sumando al hecho de que se debe coger con pinzas debido a que debe obedecer a distribuciones específicas como la normal para confiar con mayor precisión la lectura, por lo que en el entorno empresarial surge como la necesidad de prototipo de diagnosticar que tan bien se está adaptando el sistema.

F. Lógica de selección para la evaluación de los puestos.

Finalmente, La metodología definida para la selección del puesto de mejora se estructura con el propósito de garantizar que las decisiones de enfoque se fundamenten en evidencia objetiva, evitando intervenciones basadas en percepciones aisladas o análisis parciales del proceso. Dado

en la Fig 18.

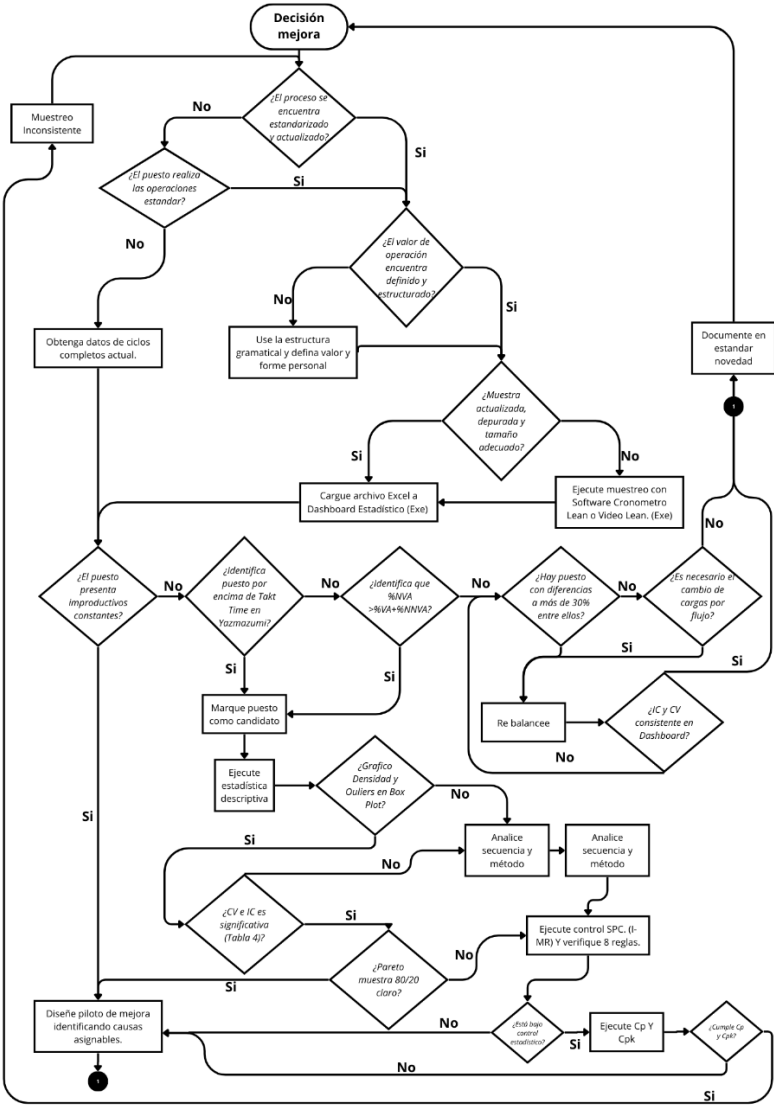


Fig 18. Diagrama de flujo para la selección de puesto para analizar

Nota. Fuente Elaboración propia.

V. ANÁLISIS DE RESULTADOS

A. Caracterización general del muestreo.

Inicialmente la puesta en marcha del muestreo se ejecutó con cronómetro físico en mano referencia MAX MG 502 [11] y ya que no se tenía una metodología para el muestreo de los datos, preliminarmente la obtención de los datos resulta mucho más compleja de almacenar la información al querer rastrear micro operaciones de mínimo 15 a 20 operaciones por ciclo, por lo que al realizar el muestreo inicial se realiza con tabla de Excel separando los tiempos en columnas y guardando manualmente la información, por lo que el formato inicial implicaban limitaciones relacionadas con la capacidad del cronometro de almacenar hasta 10 registros sin distinguir a que operación se hace referencia y el procesamiento para el posterior análisis, por lo que este tipo de formato funciona perfectamente para ciclos de operaciones únicos o conocido como macro operaciones.

AKT										ZONA	T. PUESTO	OPERARIO	PUESTO	MODEL O	T. TAKT [S]	TE [S]	TOB. P [S]	ESTUDIO DE TIEMPOS Y MOVIMIENTOS PARA ESTANDARIZACIÓN EN PRODUCCIÓN													
PROCESO										ZONA1	PRE		MARK CHAS	CH4 125	90	80	No encontrado														
MODEL	ZONA	TIPO PUES	TIPO	PUESTO	OPERARI	Nº	OPERACIÓN GENE	TIPO	CANT O	ACCIONES PASO PA	SO	KEY VERI	MANO	T1	T2	T3	T4	T5	Promed	Median	Desvrt E	OBSERVACIÓN									
CH4 125	ZONA1	PRE	MARK CHAS			1	REALIZAR IMPRESIÓN DE STICKER	NVA	1.1	Desplazar el puesto de lector			Desplazar	2.19	2.19	2.19	2.19	2.19	2.19	2.19	0.00										
CH4 125	ZONA1	PRE	MARK CHAS			1	REALIZAR IMPRESIÓN DE STICKER	VA	1.2	Registrar código de barras para procesar CHASIS			Registrar	2.92	2.92	2.92	2.92	2.92	2.92	2.92	0.00										

Fig 19. Formato de muestreo de tiempos y movimientos

Nota. Fuente Elaboración propia.

Con este formato de la Fig 19 se atacó para un el modelo CR4 125 la cantidad de 5 puestos en el mes de agosto 2025, junto las circunstancias de la variedad en el cambio de modelos por orden de producción entre 90 a 240 motos por lote, resultó ser un reto seguir con la medición por este método. Al guardarse la información por medio de hojas de Excel Fig 20, luego apilar la densidad de los registros implicaba un desafío, al resumir la información sobre el mismo archivo y procesarla se debía hacerlo hoja por hoja por lo que por parte del procesamiento de los datos resultó ser un método complejo y perdiendo globalidad en la información.

ZONA1	ID	BD	MARK	PRE1	PRE2	PRE3	PRE4S
-------	----	----	------	------	------	------	-------

Fig 20. Configuración de muestreo por hojas.

Nota. Fuente Elaboración propia.

Los registros obtenidos mediante cronometraje sirven como base empírica para el análisis estadístico posterior, incluyendo la evaluación de dispersión, la identificación de operaciones críticas y la validación de estabilidad del proceso. En este sentido, el cronometraje se consolida como el elemento que transforma la observación del trabajo en datos medibles, comparables y

analizables. Debido a este resultado referente al método del muestreo, se realizó el diseño y ejecución de la aplicación del cronometro con Python, que al momento de ser ejecutado en el computador, permitía encontrar los intervalos entre mediciones y garantizar fijar las operaciones en el muestreo de tiempo de forma continua, permitiendo almacenar la cantidad de datos sin limitantes y enfocar la dinámica de los registros como base de datos y el uso de tablas para el filtrado de la información, así que la dinámica de exportar el archivo Excel, visto en Fig 21.

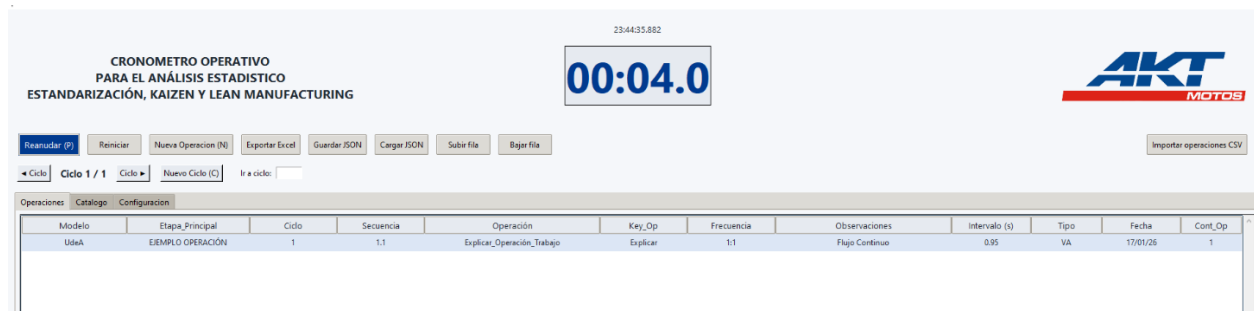


Fig 21. Interfaz cronometro para medición de operaciones

Nota. Fuente Elaboración propia.

Como se puede observar, las funciones del cronometro permiten reanudar tiempo de cronometraje o pausar (P), reiniciar todo el ciclo del cronometraje, iniciar nueva operación (N) haciendo cambiar el intervalo y generando nuevo intervalo, exportar Excel y JSON para procesar datos, cargar JSON cuando se necesite reanudar medición, subir y bajar fila para cambiar orden de las medición por si existe alguna equivocación, nuevo ciclo (C), importar operaciones CSV permitiendo introducir operaciones del estándar de la compañía y verificar con el estándar en tiempo real. También se encuentra las otras pestañas que permiten ingresar operaciones (Punto clave) y etapa principal sin tener que estar digitando en tiempo real cada operación hasta importarlas e ingresarlas por decisión propia, seleccionando la operación y oprimiendo la tecla suprimir (Supr) se eliminan operaciones y con las teclas numéricas 1,2,3, se establece el tipo de valor de la operación, dejando marcado en el TreeView como rojo NVA, gris NNVA y blanco VA.

Se ingresa los parámetros constantes del muestreo de los ciclos que se están realizando por lo que aquí se pueden ingresar los parámetros cualitativos y cuantitativo que caracterizan el proceso como Takt Time y tiempo estándar, en la interfaz en la Fig 22.

23:56:45.502

CRONOMETRO OPERATIVO
PARA EL ANÁLISIS ESTADISTICO
ESTANDARIZACIÓN, KAIZEN Y LEAN MANUFACTURING

00:04.0

Reanudar (P)

Reiniciar

Nueva Operacion (N)

Exportar Excel

Guardar JSON

Cargar JSON

Subir fila

Bajar fila

◀ Ciclo

Ciclo 1 / 1

▶ Ciclo ▶

Nuevo Ciclo (G)

Ir a ciclo:

Operaciones

Catalogo

Configuracion

Valores por defecto para nuevas operaciones

Modelo:

Linea:

Zona:

Puesto:

Persona:

Observaciones por defecto:

Takt_Time:

Tiempo_Estandar:

☒ Aplicar defaults automaticamente

Guardar Defaults

Reset Defaults

Aplicar a filas seleccionadas

Fig 22. Parámetros constantes del proceso que involucran cambio manual.

Nota. Fuente Elaboración propia.

Por lo que el almacenarlo en una carpeta correspondiente y con la herramienta de Power Query se apilan todos los registros exportados, con solo guardar el documento exportado en la carpeta, garantizando homogeneidad y hasta importando las mismas operaciones de los estándares de la compañía, por lo que se evita tener que reprocesar la obtención de la información, el resultado de apilar queda en la Fig 23.

✕

✓

fx

= Table.Combine(Table.SelectRows(Table.ExpandTableColumn(Table.AddColumn(Folder.Files("C:\Users\nicha\Desktop\Bases de Datos Tiempos y Movimientos"),"ExcelData",
each Excel.Workbook([Content], true)),"ExcelData",{ "Name", "Kind", "Data"}),{"TableIName", "Kind", "Data"}),each [Kind] = "Table"))[Data])

	Modelo	Etapa_Principal	L2_Ciclo	Secuencia	Operación	Key_Op	Frecuencia	Observaciones
1	CR4125			1.1.1	Desplazar al puesto de lector	Desplazar		null Proceso_Flow
2	CR4125			1.1.2	Registrar codigo de Barras para procesar CHASIS	Registrar		null Proceso_Flow
3	CR4125			1.1.3	Imprimir Stickers (2 Sticker por Chasis)	Imprimir		null Proceso_Flow
4	CR4125			1.1.4	Cortar/Doblar Stickers para hoja de calidad en cuadro	Cortar/Doblar		null Proceso_Flow
5	CR4125			1.1.5	Segregar Stickers para Hoja Calidad y Chasis	Segregar		null Proceso_Flow
6	CR4125			1.1.6	Verificar integridad Chasis	Verificar		null Proceso_Flow
7	CR4125			1.1.7	Desplazar a marcadora	Desplazar		null Proceso_Flow
8	CR4125			1.1.8	Posicionar canuto de chasis en la maquina marcadora	Posicionar		null Proceso_Flow
9	CR4125			1.1.9	Accionar pedal neumatico para ajustar Canuto	Accionar		null Proceso_Flow

Fig 23. Conversión de archivos exportados de muestra en Power Query

Nota. Fuente Elaboración propia.

De esta manera se puede estandarizar el muestreo de los datos, la agilidad para recopilarlos y garantizar el nombramiento de las operaciones siguiendo una nomenclatura, como se puede apreciar en la figura. Por lo que el resultado de la aplicación de cronometro tuvo un mayor impacto al momento de recopilar muestreos promedio de 5 a 7 ciclos por puesto preliminarmente dependiendo del puesto, en la Fig 24 se presenta el TreeView en funcionamiento.

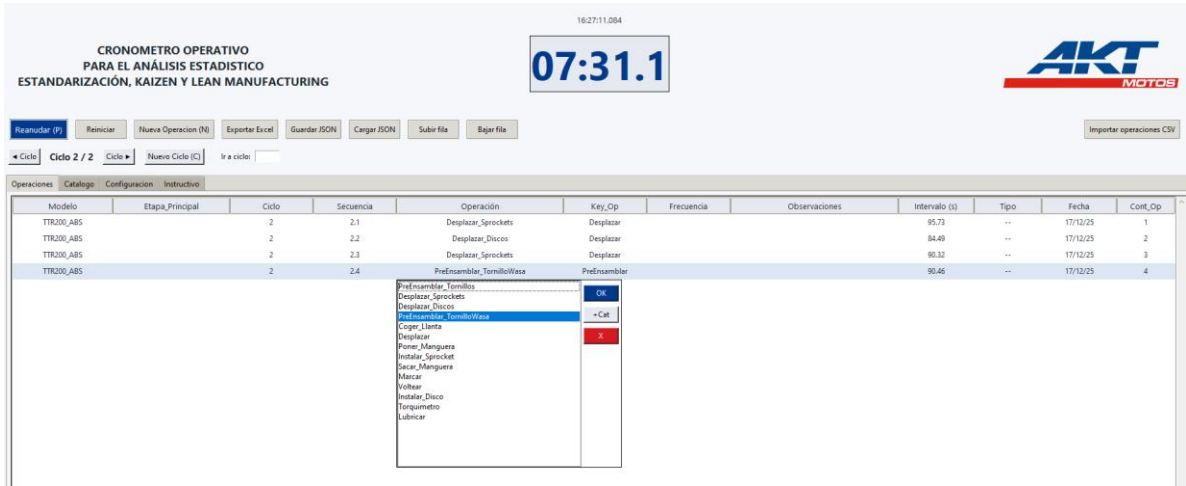


Fig 24. TreeView del cronometro operativo para la adquisición de información.

Nota. Fuente Elaboración propia.

Por otro lado, como resultado de la implementación del software de análisis de video desarrollado de igual manera en Python como el cronometro usando librería CV2 para cargar video, se obtiene un registro detallado, repetible y trazable de los tiempos operativos asociados a cada estación y operación analizada, como se muestra en la Fig 25. El uso de esta herramienta permite descomponer el ciclo de trabajo en actividades elementales, registrando con precisión los instantes de inicio y fin de cada operación e incluso en procesos con alta velocidad de ejecución en razón a los frames que permita filmar la cámara, normalmente cada frame equivalente a 0.033 segundos. En la interfaz se establece lo mismas opciones de funcionalidad con la del cronometro, con la diferencia que se establecen puntos de inicio y final de los frames para el cálculo del intervalo.

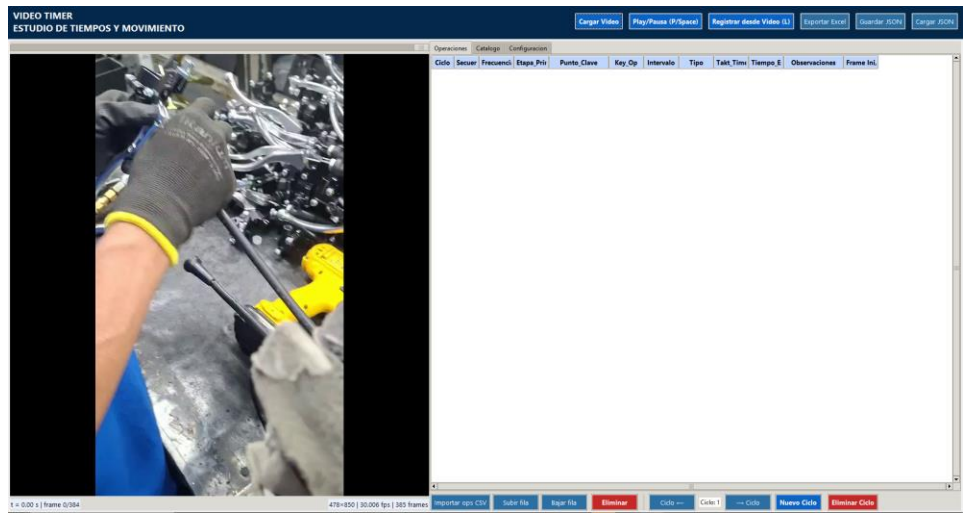


Fig 25. Interfaz de analizador de video operaciones.

Nota. Fuente Elaboración propia.

La toma de datos mediante video evidencia una mayor consistencia en la captura de los tiempos, al permitir la revisión posterior de las secuencias operativas y la validación de las mediciones frente a eventos no perceptibles en tiempo real. Este resultado es especialmente relevante en operaciones con múltiples micro movimientos, donde la medición directa presenta limitaciones para capturar variaciones cortas pero significativas. La información obtenida mediante el software se integra de forma directa a la base de datos de muestreo, reduciendo errores de transcripción y permitiendo su uso inmediato en el análisis estadístico posterior, con la única limitante de que implica hacer una revisión extensiva y personal de cada video aparte de grabarlo.

Con este *modus operandi* se realizó la medición y muestreo tanto de tiempos y movimientos, teniendo en cuenta como lo permitiera la orden de programación, en este caso al iniciar cambios de las referencias relacionadas al sistema ABS y CBS. Se generó una espera en el muestreo para no obtener información sujeta a cambios en operaciones entre puestos por las tecnologías donde el área de capacitación realiza balanceo en su totalidad los puestos. Por lo que finalmente el muestreo se realizó en el plazo de desde octubre del 2025 a enero 2026. Resumido, en la siguiente TABLA VI la información.

TABLA VI.
 ALCANCE DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y MUESTREO.

Modelo	Cantidad de puesto [-]	Alcance muestreo [%]	Tiempo total de muestra [s]
TTR 200 ABS	34	57	159951.48
CR4 125	12	20	4847.67

Como se puede apreciar el tiempo para el modelo CR4 125 una menor cantidad de puestos obtenidos, al momento de la actualización tecnológica del freno CBS, se detuvo la medición. Quedando el modelo actual como TTR 200 ABS, cada uno con actualización del cambio ABS respectivamente, junto al hecho del uso del método manual respecto al método por software tras la actualización de modelos. Por tanto, con el método de recolección de micro operaciones se presentó visible mejora en el cambio entre métodos en la TABLA VII.

TABLA VII.
 COMPARACIÓN DE MÉTODO DE MUESTREO EN PLANTA.

Método	Cantidad de puesto [-]	Cantidad mes ocupado [-]	Tasa de muestreo $\left[\frac{\text{Puesto}}{\text{Mes}}\right]$	Proyección anual de muestreo en puesto [-]
Cronometro Manual	5	1	5	60
Cronometro Python	42	4	11	132
Cronometro Video	4	1	4	44

Con esta información, se garantiza la obtención de datos de manera optimizada al nivel de micro operaciones en menor tiempo de tiempo ocupado, agilizando el proceso sujeto al análisis por lo que permitiendo seguir con la metodología se proyecta en un año medir aproximadamente 2 modelos en la totalidad de puestos y mejorar la trazabilidad de los datos al dejar la variabilidad en la nomenclatura de los datos, conservando fecha, hora, persona y finalmente comparar métodos y tiempos. La observación con video es mucho más lenta, pero implica que se pueden establecer con mayor precisión las operaciones y dejar información del proceso como evidencia.

B. Cadena de valor general de la base de datos.

Con la recopilación de la base de datos de la muestra obtenida y conservando la estructura gramatical presentada en la metodología, en la que se realiza el seguimiento del tipo de valor de la operación agrupando las operaciones por su tipo de valor agregado.

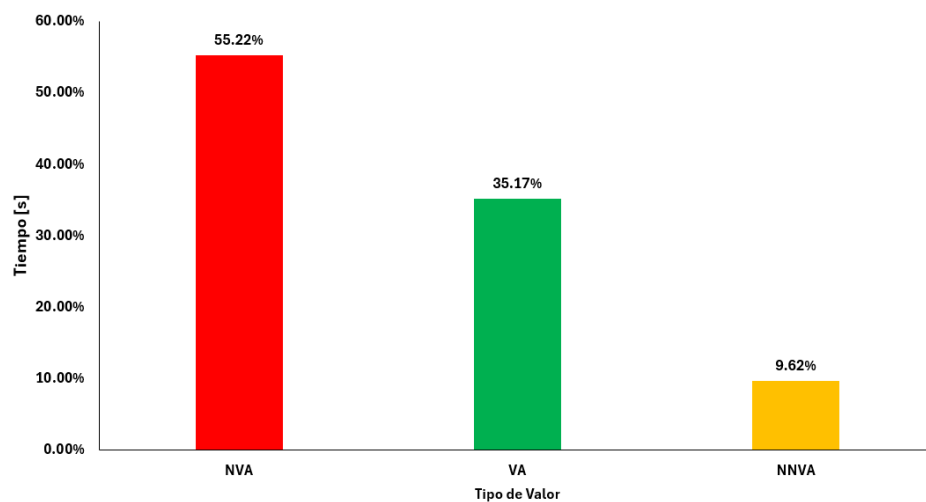


Fig 26. Grafica de la distribución del tipo de valor del grupo de operaciones.

Nota. Fuente Elaboración propia.

Como se puede observar en la Fig 26 la concentración de operaciones de no valor agregado alcanza las mediciones del 55.22%, es decir, más de la mitad del muestreo en términos de tiempo representan operaciones del tipo desperdicio relacionadas a las 7 mudas, que son posibles de disminuir en cuestión de duración, ser eliminadas o convertirlas en la categoría de operaciones que no agreguen valor necesarias. Ahora para ver a detalle la clase de operaciones relacionadas en cada tipo, con la ayuda de la trazabilidad generada en el cronometro, se extrae la variable Key Op, como se establece esta variable en el diagrama de la Fig 3. Diagrama de flujo para establecer valor de operación. hace referencia a extraer el verbo en infinitivo de las operaciones, resultando en la agrupación por su verbo.

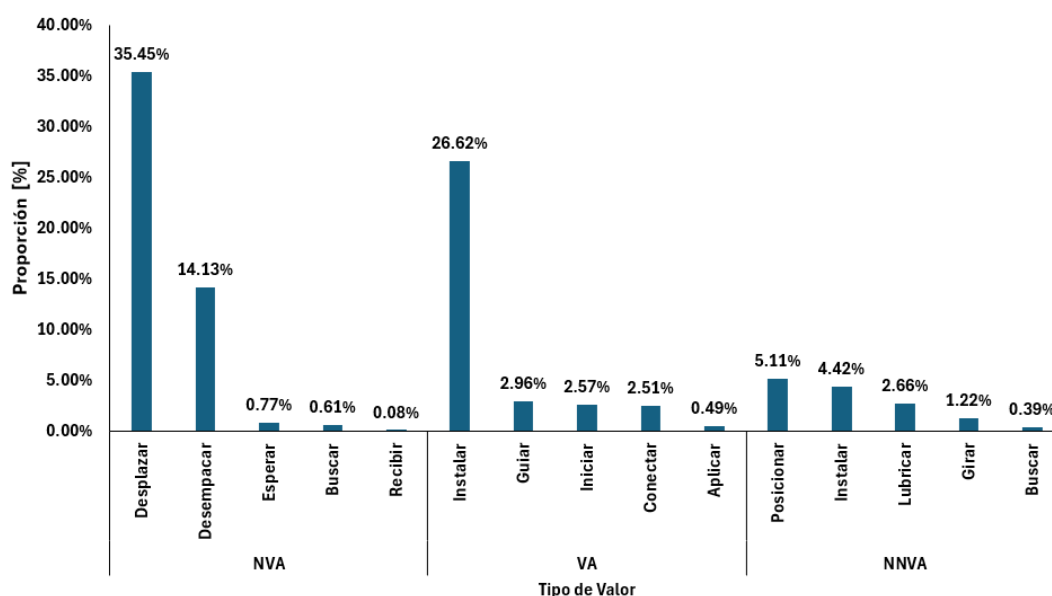


Fig 27. Distribución de las operaciones de la muestra.

Nota. Fuente Elaboración propia.

Con esta información se evidencia, en la Fig 27 el panorama preliminar y la tendencia de las principales operaciones del proceso global de ensamblaje, donde en el top 5 de operaciones NVA, con desplazar y desempacar hacer parte de aproximadamente el 97% de los desperdicios atribuyéndose por medio de la observación a la distribución del layout en puestos con alto aporte de desplazamiento, como también la operación desempacar, haciendo participe en tareas de los operarios en sacar tornillería, eje, bujes, cauchos, arandelas y entre otros elementos que el área de tornillería suministra y vienen empacados en bolsas y cajas. Es importante hacer aclaración que estas operaciones de desempacar y algunos casos de desplazar normalmente no son realizadas siempre, sino que tienen una frecuencia, pero cuando suceden ocupan un alta suma en el ciclo en

el que sucede, por lo que conviene revisar pareto y análisis de secuencia por puesto, así que esta actividad de es realizada para puestos de alto volumen de desplazamiento.

C. Gráfico Yamazumi y enganches.

Teniendo apilada la información en la base de datos se construye grafico de barras por las llaves de puesto, zona, línea y observación, como se realizan varias mediciones, el tiempo observado que representa el ciclo se realiza mediante el tiempo mediana, ya que la medición puede estar sesgada por operaciones únicas, variación entre operarios y alta variabilidad entre secuencias, por tanto, representa literalmente el valor central de los datos. Por tanto, se carga la base de datos a la aplicación estadística para procesar con facilidad la aplicación sin tener que manejar cálculos en tablas dinámicas observando por puesto las relaciones del tiempo entre el valor y el nivel de Takt time como línea base para identificar cuellos de botella.

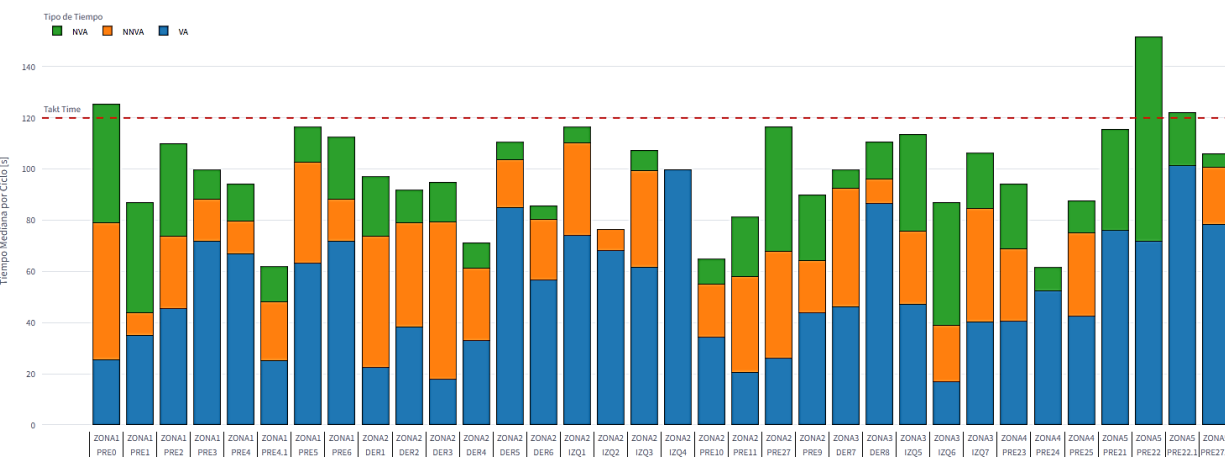


Fig 28.Yamazumi modelo TTR 200 ABS en Dashboard.

Nota. Fuente Elaboración propia.

De manera grafica en la Fig 28 se evidencia que el único puesto excediendo el Takt Time es el Pre0, en este puesto se realiza la marcación del chasis, con la novedad de que en este modelo se deben implementar considerables desplazamientos para realizar otras operaciones, los otros puestos no exceden el Takt Time, pero si se encuentran cercanos, siendo potencialmente peligrosos si existen retrasos en el suministro. Para evidenciarlo y categorizarlo numéricamente se muestra la tabla relacionada a la figura con el top 5 de enganche.

TABLA VIII.

TOP 5 PUESTOS TOBS MAYORES EN TTR 200 ABS

Puesto	VA [%]	NNVA [%]	NVA [%]	TOBS [s]	Enganche [%]	Holgura [%]
PRE0	20.36	42.73	36.91	125.47	105.44	-5.44

PRE27	22.33	35.88	41.79	116.48	97.88	2.12
IZQ1	63.61	31.1	5.29	116.43	97.84	2.16
PRE5	54.25	33.91	11.84	116.4	97.82	2.18
IZQ5	41.55	25.17	33.28	113.65	95.5	4.50

Con esta TABLA VIII se aprecia que efectivamente el Pre0, esta con holgura o eficiencia relativa negativa, por lo que el puesto se encuentra como cuello de botella en el proceso, pero también se puede evidenciar como del top 5, al menos tres puestos son preensambles y presentan una holgura por debajo del 6% y dos puestos izquierdos presentan las mismas condiciones, con la diferencia del Izq1 que presenta mayor carga relacionada a trabajo VA que NVA, por lo que implica actividades netamente importantes para el producto y que el cliente notará en la calidad de su motocicleta, normalmente los puesto Der e Izq al ser puestos de ensamble de la linea están sujetos directamente a la velocidad de esta, así que es un poco más común encontrar tiempos mucho más ajustados o en su defecto muy holgados a no saturar el puesto.

Para el modelo CR4 125, se presentan el grafico de Yamazumi para los puestos evaluados, con la aclaración que este modelo se le ha cambiado a modelo CBS, por lo al no tener una comparativa directa entre estándares resulta complejo comparar el nivel de cambio, por lo que, con el muestreo relacionando la fecha es posible más adelante en el tiempo realizar análisis detallados entre cambios de esta magnitud.



Fig 29. Yamazumi modelo CR4 125 en Dashboard.

Nota. Fuente Elaboración propia.

Con la Fig 29, es posible evidenciar cambio en los cuellos de botellas, ahora enfocados en PRE2 y PRE4.1, en este caso el tema es curioso, ya que para PRE4.1 es un puesto nuevo creado

exclusivamente para el pegado de calcas en rin de llanta, por lo que se tenía personal nuevo, sin establecer con certeza el tiempo real que debería tener y para el PRE2 sucede algo similar pero relacionado al ausentismo del personal titular, esto implica que quien realizó el puesto recién se encontraba en curva de aprendizaje, por lo que para garantizar una correcta medición es necesario realizarlo con operarios calificados en correcto ritmo, por lo que era necesario llevar una trazabilidad del personal en términos de operaciones debido al constante cambios entre puestos supliendo necesidad entre ausentismo presentado como una constante, siendo necesario incluir tanto en la trazabilidad del registro persona para comparar esta variable humana.

TABLA IX.
 TOP 5 PUESTOS TOBS MAYORES EN CR4 125

Puesto	VA [%]	NNVA [%]	NVA [%]	TOBS	Enganche [%]	Holgura [%]
PRE2	31.15	35.46	33.39	122.1	128.53	-35.29%
PRE4.1	32.92	43.38	23.71	104.87	110.39	-16.20%
PRE8	59.43	25.1	15.46	91.7	96.53	-1.61%
PRE9	22.61	38.19	39.2	89.69	94.41	0.62%
PRE10	11.22	35.22	53.56	89.1	93.79	1.27%

Un hallazgo de la TABLA IX, interesante era que en las fechas de medición de los puesto, estos 5 puestos aunque muy ajustados o sobrepasando el tiempo ciclo, no presentaban paradas de línea directas al ser pre ensambles, el área de desempaque les suministraba un alto volumen de suministro, teniendo una ventaja aproximada entre 20 a 30 componente de moto, haciendo que el WIP ocultara los cuellos de botella aunque y sin tener presente las paradas de línea donde el flujo del proceso deja de jalar pre ensambles, permitiendo estos puestos adelantar. El único caso especial es el PRE2, quien al ser una persona nueva en el puesto igual presenta un alto grado de NVA indicando signos de desperdicios relacionados por economía del movimiento o puesto con altos desplazamiento o reproceso.

D. Análisis estadístico de puestos alarma.

El análisis estadístico de los puestos preseleccionados de la Línea 1 se preseleccionan para el modelo TTR 200 ABS evidencia un comportamiento heterogéneo en términos de tendencia central, dispersión y forma de la distribución de los tiempos de ciclo. Los resultados confirman que la variabilidad no se encuentra distribuida de manera uniforme, sino que se concentra en un subconjunto de puestos específicos, previamente identificados como críticos desde la observación operativa, resumiéndolo en la siguiente tabla para los principales 10.

TABLA X.
 TOP 10 PUESTO EN TTR 200 ABS CON MAYOR TIEMPO CICLO

Puesto	Zona	Fechas con registro	Promedio [s]	Mediana [s]	Desv. Estándar [s]	CV [%]	Asimetría [-]
PRE0	ZONA1	13/11/2025	148.961	131.87	43.768	29.38	1.804
DER4	ZONA2	14/01/2026	119.006	119.77	3.672	3.09	-0.898
PRE6	ZONA1	25/11/2025	124.526	119.06	19.565	15.71	1.438
DER6	ZONA2	14/01/2026	114.906	117.93	7.448	6.48	-1.972
PRE27	ZONA2	17/12/2025	114.936	116.48	7.995	6.95	-0.48
IZQ1	ZONA2	25/11/2025	123.33	116.43	20.336	16.50	2.006
DER1	ZONA2	25/11/2025	115.689	116.42	1.62	1.40	-0.526
IZQ2	ZONA2	27/11/2025	116.394	115.63	8.604	7.39	1.679
IZQ5	ZONA3	6/01/2026	113.85	113.645	2.379	2.09	0.433
PRE5	ZONA1	19/11/2025	111.29	112.785	10.289	9.25	-1.768

En términos generales de la TABLA X, los valores promedio de tiempo oscilan entre 111,29 s y 148,96 s, mientras que las desviaciones estándar alcanzan valores de hasta 43,77 s, lo que evidencia una dispersión significativa respecto al comportamiento medio del proceso. Los resultados confirman que los primeros puestos del flujo, particularmente PRE0 y PRE6, presentan los niveles más altos de dispersión relativa del conjunto analizado. El puesto PRE0 registra un CV del 29,38 %, acompañado de una desviación estándar de 43,77 s, constituyéndose como el punto más inestable del sistema donde se marca el chasis.

En particular, los puestos con mayor CV presentan además asimetrías marcadas (positivas y negativas), lo cual sugiere la presencia de valores atípicos y eventos no recurrentes que amplían el rango de dispersión generando gráficos de densidad con colas, teniendo más cuidado en los puestos con asimetría mayores a cero, ya que las colas serán a la derecha implicando proceso externo mayores. El puesto PRE0 presenta una asimetría positiva elevada (1,804), indicando una cola prolongada hacia tiempos altos, asociada a eventos de duración anormalmente larga. De forma similar, IZQ1 muestra una asimetría positiva de 2,006, lo que confirma la recurrencia de tiempos extremos superiores al promedio. Por el contrario, puestos como DER4 (-0,898), DER6 (-1,972) y PRE5 (-1,768) presentan asimetría negativa, lo que indica concentraciones de datos hacia valores altos con caídas abruptas hacia tiempos menores, generalmente asociadas a ejecuciones rápidas no sostenibles o condiciones favorables no estandarizadas.

Este comportamiento observado en el PRE0 lo posiciona como una alerta temprana del desempeño global de la línea, dado que su variabilidad impacta directamente la sincronización de los puestos subsecuentes, esto en planta se ve directamente amortiguado por el apoyo de otro personal en el puesto encargado.

Las estaciones con mayor dispersión corresponden predominantemente a operaciones clasificadas como No Valor Agregado (NVA) y No Valor Agregado pero Necesarias (NNVA). En estos puestos se concentran actividades tales como, búsqueda y localización de componentes., ajustes manuales variables según el operario, desplazamientos inducidos por el layout del puesto y correcciones menores durante el ensamble.

TABLA XI.
 TOP 4 PUESTOS EN TTR 200 ABS MAYOR %CV Y MAYOR APORTE NVA.

Puesto	Zona	Fechas con registro	CV [%]	%NVA	Operación NVA
PRE1	ZONA1	13/11/2025	79.664	56.458	Desempacar_Tornilleria
PRE3	ZONA1	13/11/2025	43.386	25.626	Desplazar_Medio
PRE4	ZONA1	25/11/2025	42.466	38.563	Recibir_LlantasReTocadas
PRE0	ZONA1	13/11/2025	29.382	29.165	Desplazar_Chasis_PRE0

Estas operaciones de la TABLA XI presentan una alta sensibilidad a las condiciones del entorno y al método individual de trabajo, lo que explica su elevada variabilidad. Por tanto, el análisis estadístico permite realizar la disminución tanto de la variabilidad y la del tiempo ciclo realizado.

Por último, Bajo estos criterios, el puesto PRE0 se identifica como el principal candidato de mejora, dado que combina un tiempo promedio elevado con un intervalo de confianza que, aunque no es el más amplio, refleja una variabilidad significativa presentada en la TABLA XII. Este comportamiento indica que el puesto opera de manera consistente en niveles de tiempo altos, lo que impacta directamente el desempeño global del proceso.

TABLA XII.
 TOP 5 PUESTOS INTERVALO DE CONFIANZA PARA TTR 200 ABS.

Puesto	Fechas con registro	Media	IC Inferior	IC Superior	Rango
PRE1	13/11/2025	126.813	33.382	220.244	186.862
PRE4	25/11/2025	122.703	68.02	177.387	109.367
PRE0	13/11/2025	148.961	108.482	189.439	80.957
PRE3	13/11/2025	88.52	48.216	128.824	80.608
IZQ1	25/11/2025	123.33	98.08	148.58	50.5

E. Revisión de detalle de puesto preseleccionado.

Con base en los hallazgos estadísticos globales, se realizó una selección dirigida de puestos para un análisis en mayor profundidad. Esta selección se fundamentó principalmente en los valores elevados del Coeficiente de Variación (CV), la presencia de asimetrías marcadas y la identificación de tiempos ciclos con baja holgura, criterios que permiten priorizar aquellos puestos con mayor impacto potencial sobre la estabilidad del proceso y el desempeño de la línea. Por tanto, los puestos a analizar a detalle en el modelo TTR 200 ABS son los PRE0 y IZQ1.

Los puestos preseleccionados concentran una proporción significativa de la variabilidad total observada y presentan condiciones operativas donde el tiempo de ciclo es altamente sensible al método de trabajo, al entorno y al ejecutante. Por esta razón, el análisis se profundiza a nivel de operaciones elementales, con el objetivo de identificar las fuentes específicas de desperdicio, identificando causas asignables y causas aleatorias.

El puesto PRE0 fue seleccionado para un análisis detallado debido a su comportamiento estadístico inestable, previamente identificado en el análisis global como uno de los puestos con mayor dispersión relativa dentro de la línea y sobrepasar el Takt Time, en este caso haciendo una revisión entre ciclos junto al tiempo estándar generado por capacitación.

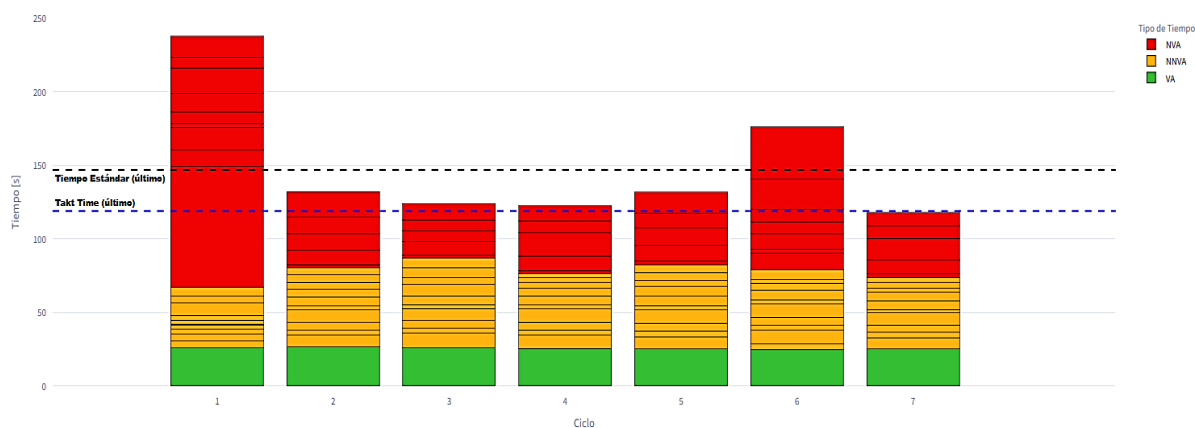


Fig 30. Comparativa de ciclos para el puesto PRE0 en TTR 200 ABS.

Nota. Fuente Elaboración propia.

Se presenta sospecha entre el tiempo estándar y el Takt Time en la Fig 30, puesto que normalmente el Takt time debe ser menor obligatoriamente al tiempo estándar, junto a picos en ciclos 1 y 6 sobrepasando el Takt Time, por lo que se presentan como causas asignables, en el

grafico de control se busca observar a mejor detalle que pasan con estos puntos si dentro de su estabilidad implica un desborde, de momento son ciclos para tener alarma de revisar que sucede.

El histograma y la curva de densidad del tiempo observado del puesto PRE0 muestran una distribución asimétrica positiva, caracterizada por una cola extendida hacia valores altos de tiempo. La media del proceso se desplaza hacia la derecha respecto a la concentración principal de datos, lo que indica la presencia de valores atípicos de alta duración, revisado en la Fig 31.

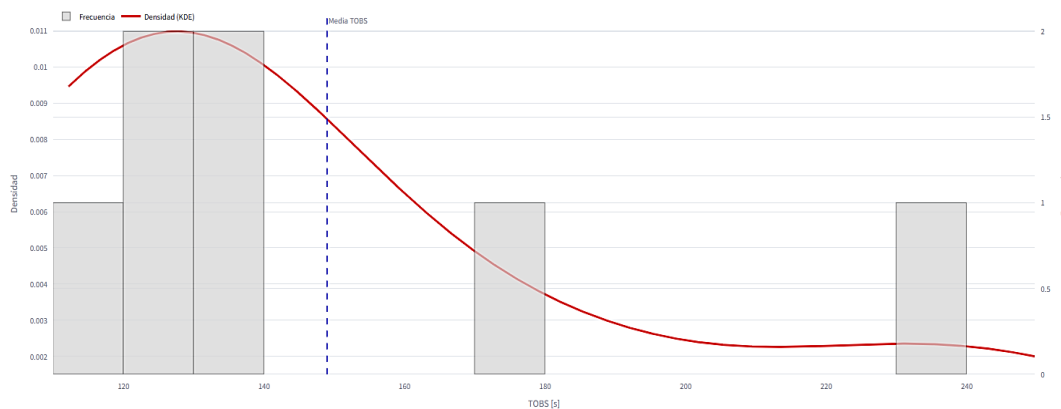


Fig 31. Gráfico de densidad para el puesto PRE0 en TTR 200 ABS

Nota. Fuente Elaboración propia.

Este comportamiento confirma que el incumplimiento del Takt Time no se debe a la transformación directa del producto, sino al incremento y variabilidad de actividades que no agregan valor, las cuales amplifican el tiempo de ciclo y afectan la estabilidad del flujo. Las gráficas de caja y bigotes permiten comparar la dispersión de los tiempos según la clasificación Lean de las operaciones. En el puesto PRE0 se observa en la Fig 32.

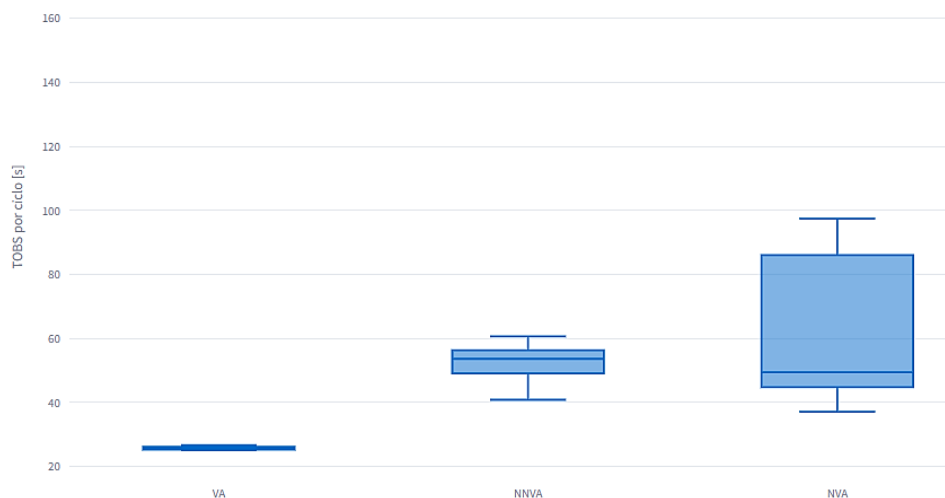


Fig 32. Box Plot por Tipo para PRE0 en TTR ABS.

Nota. Fuente Elaboración propia.

- Las operaciones VA presentan una distribución compacta, con bajo rango intercuartílico y sin valores atípicos relevantes, representado de manera correcta al tener un proceso donde se marca el chasis de la moto por características definidos por el tiempo de la maquina e impresoras
- Las operaciones NNVA muestran una dispersión moderada, con un rango intercuartílico amplio y variabilidad apreciable entre ciclos, pero asumible en la variabilidad del proceso.
- Las operaciones NVA presentan la mayor dispersión del conjunto, con rangos amplios y presencia clara de valores extremos. Este resultado confirma que la variabilidad total del puesto está dominada por las operaciones NVA, las cuales introducen inestabilidad y reducen la repetibilidad del proceso.

Por lo que para verlo específicamente estas operaciones que causan la alta dispersión son las que suceden en momentos específicos o que no son de frecuencia en cada ciclo en el apartado de secuencia específicas de la TABLA XIII, como se mencionó las operaciones con n de 1 o 2, implican que dentro de un tamaño de medición se realiza la operación, teniendo una frecuencia.

TABLA XIII.

PRINCIPALES OPERACIONES DE CONSUMO DE TIEMPO PRE0 EN TTR 200 ABS.

Operación	Tamaño muestra	Media [s]	Mediana [s]	Desviación estándar [s]	CV [%]
Desplazar_Chasis_PRE0	1	82.22	82.22	-	-
Inspeccionar_Chasis	2	28.105	28.105	11.066	39.4
Buscar_Pulidora	1	17.6	17.6	-	-
Desplazar_Canasta	1	12.21	12.21	-	-
Desplazar_Chasis_Tombola	7	12.16	11.33	2.851	23.4

Por lo que para determinar en cuales enfocar la mejora se hace uso del pareto, permitiendo discretizar las operaciones por tiempos de muestreo normalizados. Para construir de manera correcta el pareto en el dashboard, se establecen las frecuencias en la TABLA XIV.

TABLA XIV.
 FRECUENCIA DE OPERACIÓN EN OPERACIONES NVA.

Operación	Frecuencia
Desplazar_Chasis_PRE0	1/7
Inspeccionar_Chasis	2/10
Buscar_Pulidora	1/7
Desplazar_Canasta	1/30

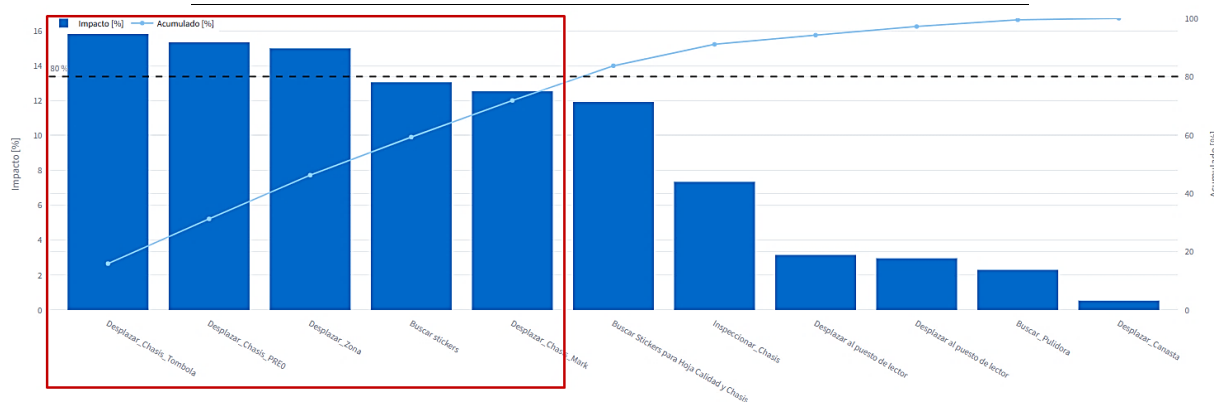


Fig 33. Pareto para operaciones NVA de puesto PRE0.

Nota. Fuente Elaboración propia.

De lo presentado de la Fig 33 dentro de estas operaciones predominan actividades relacionadas con desplazamientos y búsqueda, las cuales no transforman el producto y presentan una duración altamente variable. Este resultado permite afirmar que el desperdicio en PRE0 no está distribuido de forma uniforme, sino focalizado en operaciones específicas que condicionan el desempeño global del puesto, cumpliendo el principio de pareto 80/20 representan las encerradas, lo que será el mayor esfuerzo para realizar mejoras de puesto.

Cabe aclarar que las operaciones *desplazar_chasis_Tombola*, *Buscar_Stickers*, *desplazar_Chasis_Mark* dependen principalmente de la ubicación de la tómbola y la mesa de marcación, por tanto al tener componentes fijos, se podría reducir por medio de economía de operaciones relacionado a otros desplazamientos, que es *desplazar_Chasis_PRE0*, donde esta operación se refiere al operario mover físicamente los chasis desde la entrada del proceso a lo establecido como el puesto del PRE0. Para ejemplificar, se realizó un diagrama de movimientos también conocido como Spaguetti, en la Fig 34.

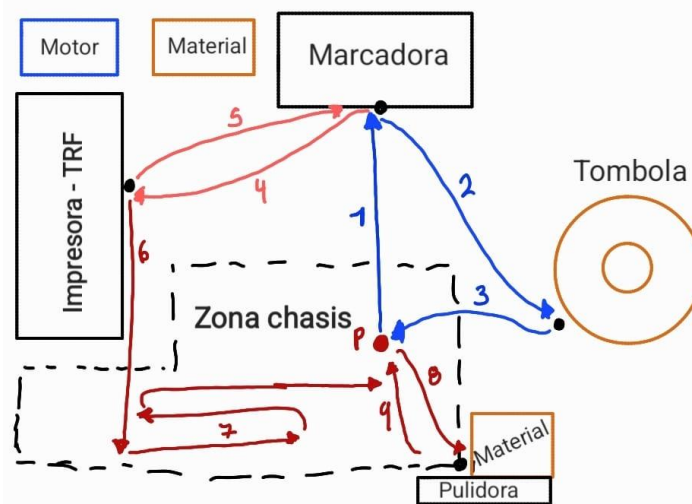


Fig 34. Diagrama de Espaguetti actual PRE0 TTR 200 ABS

Nota. Fuente Elaboración propia.

Donde las operaciones 1,2,3 son los desplazamientos relacionados a la marcación del chasis y posicionamiento en tómbola, las operaciones 4,5 son desplazamientos relacionados a la impresión y búsqueda de sticker de serial de chasis en la terminal, proceso que se hace en batches, los desplazamientos 6,7 son los relacionados a movilizar los chasis desde la entrada de desempaque hasta el lugar que comúnmente se posiciona los chasis, finalmente las operaciones 8 y 9 son las relacionadas a búsqueda de pulidora. Donde se puede evidenciar completamente el desperdicio de *desplazar_Chasis_PRE0* en las operaciones 6,7 y aumentando los tiempos de desplazamiento de 1 y 3 de *desplazar_Chasis_Mark* junto *desplazar_Zona*, al no tener una ubicación establecida y clara de la zona en la que deben estar ubicados los chasis junto a la labor no estandarizada de tener que moverlos a una ubicación.

F. Control estadístico.

En el gráfico se observa que los valores individuales de tiempo por ciclo presentan una dispersión considerable alrededor de la línea central (CL), evidenciando un proceso con baja estabilidad temporal. El primer ciclo registra un valor de TOBS cercano al límite superior de control, constituyéndose como una observación extrema respecto al resto de los ciclos analizados. Este punto representa un evento de alta duración que impacta de manera significativa la media del proceso. Posteriormente, los ciclos 2, 3, 4 y 5 muestran valores inferiores a la línea central y relativamente cercanos entre sí, lo que sugiere un comportamiento más estable cuando no se presentan eventos adicionales de tipo no rutinario presentado en la Fig 35. Sin embargo, esta

aparente estabilidad es interrumpida nuevamente en el ciclo 6, donde se registra un incremento significativo del tiempo observado, aproximándose nuevamente a los límites de advertencia del gráfico.

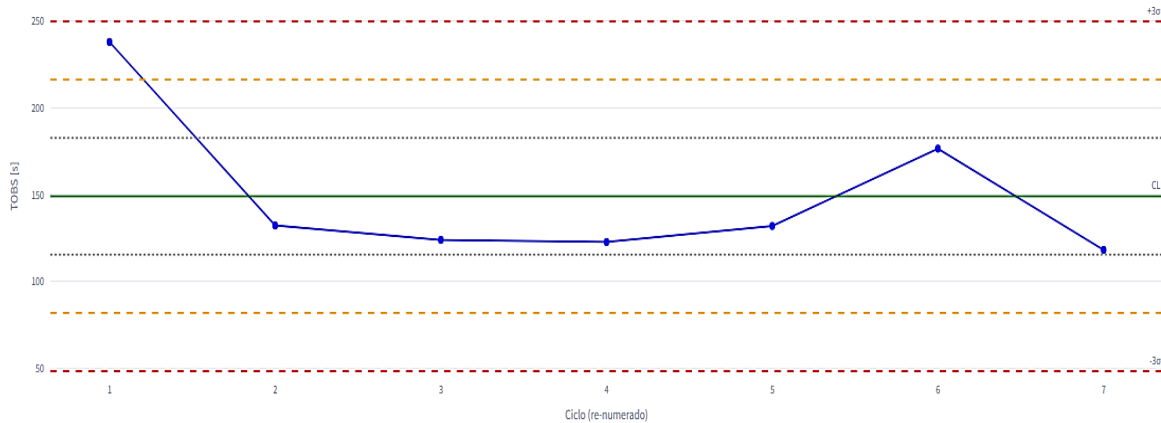


Fig 35. Grafica de control estadístico I.

Nota. Fuente Elaboración propia.

Legalmente no se están violando las 8 reglas para considerar que el proceso se encuentra por fuera de la estabilidad estadística, pero se presentan picos con casusas asignables entre los ciclos 1 y 6, por lo que cuando se hace una revisión y análisis por ciclo es apreciable en la aplicación en la Fig 36 y Fig 37.

Detalle de Secuencia por Ciclo

13/11/2025 CESAR PRE0 Ciclo 1					
	Secuencia	Operación	Key_Op	Tipo	+ Intervalo (s)
	3161	1.1 Desplazar_Chasis_PRE0	Desplazar	NVA	82.22
	3175	1.9 Marcar_Chasis	Marcar	VA	26.12
	3163	1.3 Buscar_Pulidora	Buscar	NVA	17.6
	...	...	...	...	...

Fig 36. Revisión de secuencia por ciclo 1 en PRE0 TTR 200 ABS en Dashboard.

Nota. Fuente Elaboración propia.

En el ciclo 1 se muestra que es explícitamente por el desplazamiento del chasis a la zona de PRE0, tema que ya se había observado en el diagrama de Espaguetti.

13/11/2025 CESAR PRE0 Ciclo 6					
	Secuencia	Operación	Key_Op	Tipo	+ Intervalo (s)
	3214	6.5 Inspeccionar_Chasis	Inspeccionar	NVA	35.93
	3217	6.8 Marcar_Chasis	Marcar	VA	25.12

Fig 37. Revisión de secuencia por ciclo 6 en PRE0 TTR 200 ABS en Dashboard.

Nota. Fuente Elaboración propia.

Para el caso del ciclo 6, se observa una operación extra dentro del ciclo normal establecido en el estándar, por lo que implica un agregado como una causa asignable del proceso y no una variación y común y corriente, como se sospechaba desde el CV entre 20% y 30% establecido para las colas largas vistas en el diagrama de densidad. Es también evidente que un tamaño de muestra de 7 datos no genera un panorama fuerte y grande del comportamiento del proceso en el tiempo, pero para generar una idea exploratoria es suficiente.

Finalmente, se presenta que el proceso es estable estadísticamente dentro del rango y las tendencias dada en el gráfico SPC, quedaría evaluar la capacidad donde se usan valores para los límites el Takt Time como el superior y el 85% del Takt Time como el inferior ya que aún no se tiene evaluado esta información, por lo que se usa este valor conservando así el 15% de holgura propuesto generalmente en la compañía. del proceso para el puesto PRE0, el análisis de capacidad del proceso arroja valores de $C_p = 0.52$ y $C_{pk} = 0.35$. Estos resultados evidencian que el proceso no es capaz de cumplir de manera consistente con el Takt Time establecido, incluso bajo condiciones promedio de operación.

Desde el punto de vista metodológico, el valor de $C_p = 0.52$ indica que la variabilidad del tiempo de ciclo es significativamente mayor que el rango permitido por el Takt Time. Esto implica que, aun si el proceso estuviera perfectamente centrado, la dispersión natural de los tiempos impediría cumplir de forma sostenida con el ritmo requerido. En consecuencia, la problemática principal del PRE0 no se limita a eventos aislados, sino que corresponde a una variabilidad estructural del proceso.

Por su parte, el valor de $C_{pk} = 0.35$, considerablemente menor que C_p , muestra que el promedio del proceso se encuentra desplazado hacia el límite superior de especificación, es decir, cercano o superior al Takt Time. Esta condición revela que el problema del PRE0 no solo radica en la dispersión, sino también en el centrado del proceso, combinando simultáneamente alta variabilidad y alto nivel promedio de tiempo. Estos resultados, en concordancia con la inestabilidad observada en las cartas I-MR, confirman que el puesto no es estadísticamente capaz en su estado actual, validando su priorización como foco de mejora dentro del estudio.

G. Pilotos de mejora.

Con base en los resultados del análisis estadístico del puesto PRE0, el cual evidenció alta variabilidad del tiempo de ciclo, presencia de valores atípicos, elevada participación de operaciones

NVA y una fuerte influencia de desplazamientos no estandarizados, se diseñó e implementó un piloto de mejora continua enfocado en el control espacial, del flujo y del buffer inicial del proceso. El análisis previo mostró que una porción significativa de la dispersión del tiempo observado estaba asociada a la operación *Desplazar_Chasis_PRE0*, actividad NVA que se ejecutaba de manera no sistemática debido a la dispersión física de los chasis en el área de desempaque. Esta condición generaba recorridos variables cada 7 chasis, eventos de alta duración que se reflejaban tanto en la Carta I como en la asimetría positiva de la distribución del tiempo.

Como acción piloto, se definió un área física específica y estandarizada para la ubicación de chasis previo a la marcación, delimitada visualmente en el piso mediante señalización amarilla. El área diseñada corresponde a un rectángulo de 200 cm × 150 cm, con capacidad máxima para 10 chasis, ubicados de forma ordenada y accesible para ser recogidos directamente por el polipasto y trasladados a la estación de marcación, propuesto en la Fig 38.

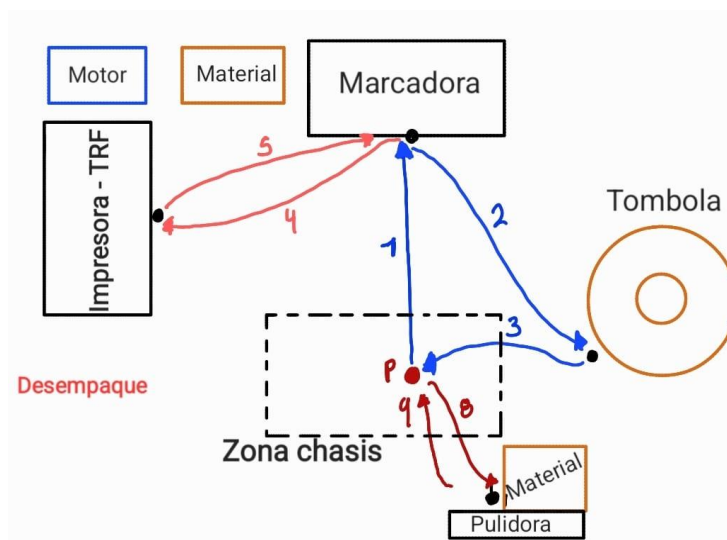


Fig 38. Propuesta de flujo y zona en puesto PRE0.

Nota. Fuente Elaboración propia.

El tamaño del buffer definido no responde a un criterio arbitrario, sino que se estableció con base en el comportamiento estadístico del tiempo de ciclo del puesto PRE0, utilizando percentiles como referencia para absorber la variabilidad natural del proceso sin inducir sobreproducción en la Fig 39. Este enfoque permite que el buffer actúe como un amortiguador controlado, capaz de absorber fluctuaciones normales del proceso sin generar acumulaciones

excesivas, esto fue incluido en la aplicación estadística, ingresando el numero común del lote el valor por moto equivalente del buffer en condiciones comunes.

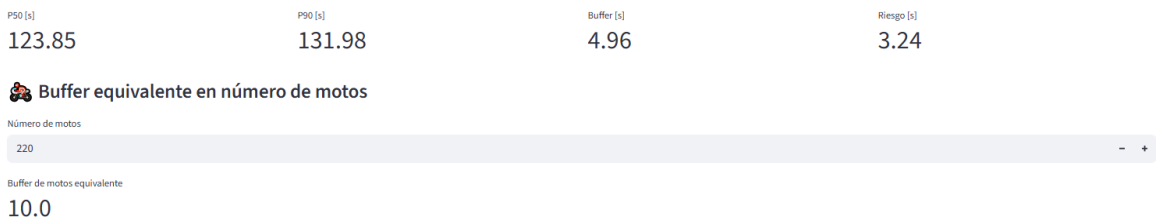


Fig 39. Cálculo de Buffer en términos de motos con Dashboard estadístico.

Nota. Fuente Elaboración propia.

Esta delimitación elimina la necesidad de desplazar chasis dentro de la zona, reduciendo recorridos innecesarios y evitando la ejecución repetitiva de la operación Desplazar_Chasis_PRE0, previamente identificada como una de las principales fuentes de desperdicio y variabilidad en el análisis Pareto del puesto. Un efecto directo del piloto es la subordinación operativa del área de desempaque al sistema Pull de la línea, ya que la delimitación física del buffer impide la acumulación de chasis más allá del límite establecido. Anteriormente, la dispersión de chasis en el área generaba una percepción errónea de avance del trabajo; sin embargo, desde el punto de vista del flujo, esta acumulación solo añadía ruido visual, ocupación innecesaria de espacio y mayor variabilidad operativa, en tener que mover si o si los chasis.

Con el nuevo esquema, el área de desempaque únicamente se activa en la medida en que el buffer delimitado lo permite, evitando la introducción de chasis al sistema sin una demanda real por parte del proceso de ensamble y que el área de calidad pueda revisar efectivamente cada chasis en busca de novedades. Este comportamiento favorece un flujo más estable y coherente con el desempeño estadístico observado del puesto PRE0.

El plan de la mejora continua establece una reducción del tiempo de desplazamientos al tener la zona de chasis de manera directa, por lo que pasar del tiempo de ciclo mediana de 125.47 segundos a 110 segundos, sin colas y operaciones adicionales, aunque se encuentra cercano al Takt Time, ya se encuentra muchísimo menor y si al proceso se tiene en cuenta la persona adicional encargada de las operaciones relacionadas con la impresiones Sticker de Serial de chasis el tiempo ciclo del PRE0 disminuye por los 75.23 segundos resumido en la TABLA XV.

TABLA XV.
 PROYECCIÓN DE TIEMPOS CON LA MEJORA PILOTO EN PRE0.

Tiempo Ciclo actual [s]	Tiempo Ciclo Piloto [s]	Tiempo Ciclo sin Impresiones y piloto [s]	Reducción piloto [%]
125.47	110	75.23	14.02

Durante la fase de muestreo y observación en piso de planta, se identificó de manera recurrente la variación en la asignación de personal debido a ausencias operativas. Esta situación generaba que diferentes operarios suplieran puestos críticos, lo cual impactaba directamente la estabilidad del proceso productivo. En varios casos, se evidenció que los operarios suplentes ejecutaban las operaciones de forma distinta, ya fuera por interpretaciones diferentes del estándar, por falta de conocimiento profundo del puesto o por aprendizaje en caliente, es decir, durante la ejecución real de la operación. Desde el enfoque Lean, estas situaciones introducen actividades NVA y NVAN adicionales, las cuales son altamente complejas de cuantificar y controlar, ya que no se encuentran explícitas en los estándares de trabajo ni en los tiempos nominales del proceso. En consecuencia, la variabilidad del desempeño operacional se incrementa, afectando la confiabilidad de los tiempos y la capacidad real de la línea.

Como evidencia de esta problemática, se realizó una comparación exploratoria del desempeño de dos operarios en una mismo puesto donde se generaba paro de línea, siendo el puesto PRE 22.1 de TTR 200 ABS, utilizando diagramas de Box Plot en la Fig 40, donde se observaron diferencias claras en la dispersión y tendencia central de los tiempos y lo importante más valores atípicos. Si bien este análisis no contó con el rigor estadístico de un ANOVA, permitió identificar de forma visual y práctica el impacto del ausentismo y la rotación de personal sobre la variabilidad del proceso y generar una alerta temprana y cuantificable para iniciar pilotos en otros puestos, por lo que en este caso ya no se habla de Mudas sino de Muras, es decir, desigualdades e inestabilidad en la estandarización debido al ausentismo.

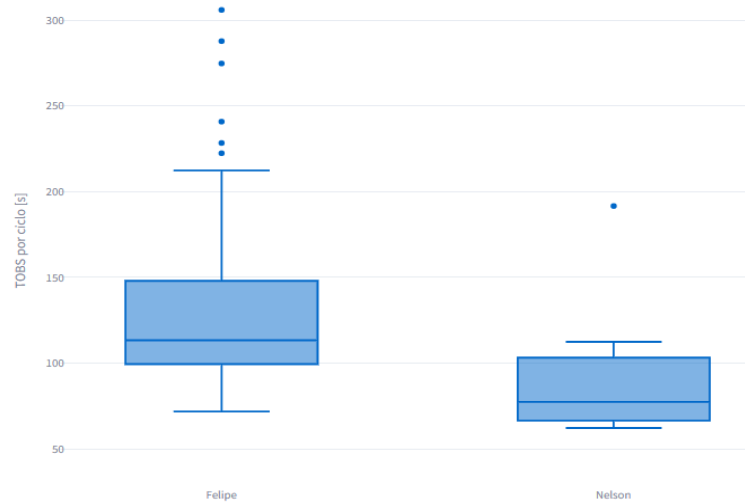


Fig 40. Box Plot comparativo por persona de TOBS en TTR 200 ABS - PRE 22.1

Nota. Fuente Elaboración propia.

A partir de estos hallazgos, se planteó como piloto de mejora continua la implementación de un sistema de control del ausentismo, orientado a brindar información oportuna y estructurada a líderes y supervisores, donde se presenta la interfaz inicial en la Fig 41. Para ello, se desarrolló un formulario de control por ausentismo utilizando Microsoft Excel con macros, una interfaz de usuario y una base de datos en Microsoft Access, lo que permitió registrar, almacenar y analizar la información de ausencias por zona, línea, supervisor y líder.

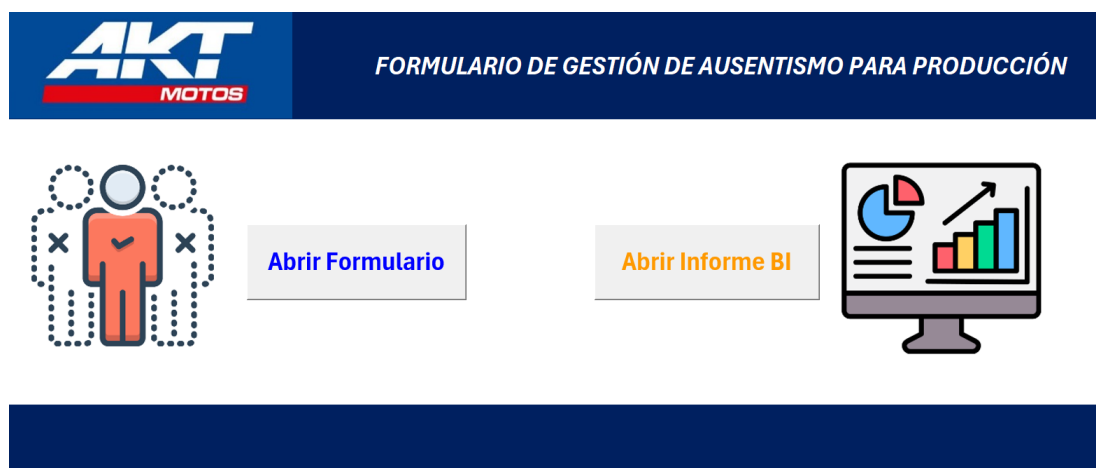


Fig 41. Interfaz de formulario de mejora para el control de ausentismo en Excel.

Nota. Fuente Elaboración propia.

Este sistema permite visualizar de manera clara el nivel de ausentismo operativo, facilitando el control de la capacidad real de mano de obra y sirviendo como herramienta de apoyo para la

toma de decisiones en la asignación de personal, por lo que cada líder puede ingresar el ausentismo de manera automatizada ingresando al formulario, escogiendo el nombre del personal, los días y horas ausentes y finalmente tipo de ausentismo, generando la base de datos automáticamente la base de datos, mostrado en la Fig 42.

Fig 42. Interfaz de diligenciamiento para el control de ausentismo en Excel.

Nota. Fuente Elaboración propia.

Adicionalmente, a fin de facilitar la gestión operativa del recurso humano, se desarrolló un tablero de control en Power BI mostrado en la Fig 43, orientado al análisis del ausentismo operacional en líneas de producción. Esta herramienta permite transformar los registros de ausencias en información visual y jerarquizada, útil para líderes, supervisores y niveles tácticos de la organización. El tablero consolida información por año, mes, línea, zona, tipo de ausentismo, motivo y operario, permitiendo un análisis dinámico y filtrable según las necesidades operativas del proceso productivo.

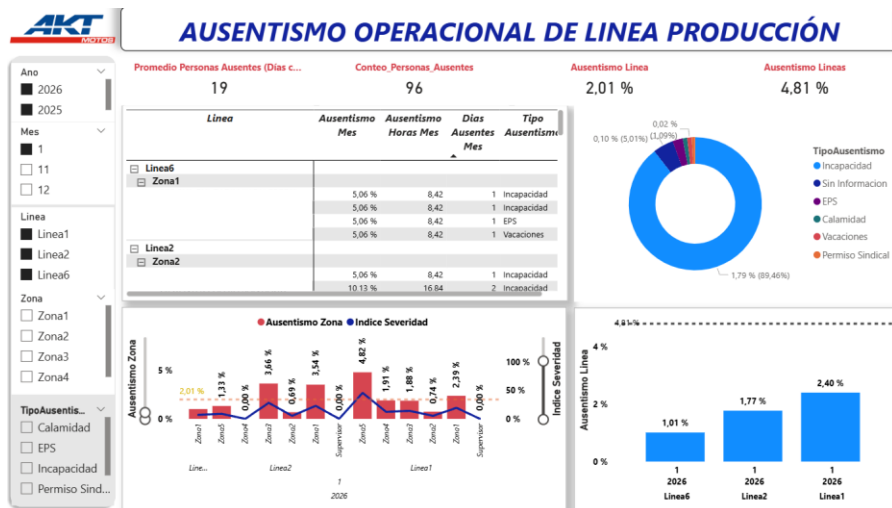


Fig 43. Dashboard de control de ausentismo operaciones en Power BI.

Nota. Fuente Elaboración propia.

En la vista general del tablero se presentan indicadores clave que permiten una lectura rápida del estado del ausentismo, con promedio de personas ausentes por día, el cual permite estimar el impacto diario del ausentismo sobre la capacidad de mano de obra, conteo total de personas ausentes, útil para identificar recurrencia y volumen de eventos de quienes son los ausentes, ausentismo de la línea y ausentismo total de líneas, expresados en porcentaje, facilitando la comparación entre periodos y áreas. Estos indicadores permiten evaluar de forma inmediata si la línea se encuentra dentro de niveles controlables o si requiere acciones correctivas en la asignación de personal. El tablero incluye una tabla jerárquica que desglosa el ausentismo desde el nivel de línea, pasando por zona, hasta llegar al operario, mostrando para cada caso.

Mediante gráficos circulares se muestra la composición del ausentismo según su tipología, evidenciando qué porcentaje corresponde a incapacidades médicas, permisos, ausencias sin información u otros motivos. El tablero incorpora un gráfico combinado donde se analiza el ausentismo por zona, acompañado de un índice de severidad, permitiendo no solo identificar dónde se presenta mayor ausentismo, sino también dónde este tiene un mayor impacto relativo sobre la operación. Este análisis facilita la priorización de acciones correctivas, especialmente en zonas donde el ausentismo supera el promedio de la línea o presenta una severidad elevada en relación con la capacidad disponible.

Finalmente, se implementó un esquema jerárquico visual, presentado en la Fig 44 que permite navegar el ausentismo desde un nivel macro hasta uno micro.



Fig 44. Esquema jerárquico para el control de ausentismo en Power BI.

Nota. Fuente Elaboración propia.

Este esquema permite a los líderes comprender cómo se distribuye el ausentismo dentro del sistema productivo y facilita la toma de decisiones rápidas ante eventos de ausencia, como reasignación de personal, ajustes de balanceo o activación de personal polivalente. De esta forma, el análisis del ausentismo se integra directamente con la gestión de tiempos, estandarización y reducción de actividades NVA y NVAN detectadas durante el estudio de tiempos y movimientos. Cuando un operario suplente ocupa un puesto para el cual no ha sido completamente entrenado o estandarizado, se introduce una fuente adicional de variación que no está asociada al método de trabajo definido, sino a la experiencia individual y curva de aprendizaje del operario. Como consecuencia, los tiempos muestreados bajo estas condiciones presentan una menor confiabilidad estadística y una mayor dispersión, afectando la validez del análisis comparativo entre operarios y la identificación precisa de oportunidades de mejora.

El formulario se convierte en un insumo para la gestión de polivalencias entre puestos, ya que permite identificar áreas críticas donde la falta de personal capacitado incrementa la variabilidad del proceso y la generación de desperdicios. En este sentido, el piloto no solo actúa como un mecanismo de control administrativo, sino como una herramienta de mejora continua, alineada con los principios de Lean Manufacturing, al contribuir a la reducción de variabilidad, estabilización del proceso y fortalecimiento de la estandarización operativa.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A. Conclusiones

El estudio del proyecto permitió identificar y cuantificar objetivamente las actividades del ciclo de trabajo, estableciendo una clasificación clara entre operaciones de valor agregado y no valor agregado usando verbo principal con una estructura gramatical asegurando la implantación del Lean Manufacturing. Este análisis evidencia que el estándar operativo existente es general y no representa completamente el ciclo real, contribuyendo a la variabilidad entre puestos y operarios. El muestreo realizado genera trazabilidad de los tiempos operativos, inexistente previamente, y constituye la base para el análisis estadístico del proceso con el uso de métodos y tiempos. A partir de esta información se identifican puestos con alta variabilidad y superando %VA en proporción a los tiempos NVA y NVAN, los cuales afectan el cumplimiento del tiempo de ciclo u operaciones a eliminar. Como resultado, se validan puestos críticos y se implementan pilotos de mejora continua orientados a la reducción de la variabilidad y a la estandarización operativa, permitiendo una estabilización inicial del proceso y confirmando la aplicabilidad de la metodología propuesta para sustentar la mejora continua.

En relación con los objetivos específicos, el objetivo de establecer una línea base de tiempos VA, NVAN y NVA por estación y por modelo se cumple mediante la implementación de un muestreo asistido por software cuyo caso fue el cronometro en Python mejorando el muestreo en un doble de recolección que con la forma manual de la compañía, que permite registrar y clasificar de forma sistemática las operaciones que conforman el ciclo de trabajo estableciendo el %NVA de la base de datos que supera el 50% de tiempo registrado y con operaciones principales de desplazar y desempacar. La metodología aplicada logra cubrir un alcance al 57% de un solo modelo, no alcanzando el 90% propuesto de los modelos.

El verificar formalmente el tiempo de ciclo por estación y modelo se cumple mediante el registro estructurado de los tiempos operativos, lo que permite identificar el enganche real del puesto dentro de la secuencia de producción donde los resultados evidencian diferencias significativas en el comportamiento del tiempo de ciclo entre estaciones y modelos, principalmente en pre ensamble, así como la presencia de holguras negativa o por debajo del 5%, que en el grafico Yamazumi pueden atribuirse a NVA para el modelo evaluado.

Como resultado, se identifican cuellos de botella operativos, evidenciados por estaciones cuya carga total excede el Takt Time para los PRE0, PRE 22 Y PRE22.1. El impacto directo de

dichas estaciones sobre el tiempo de o su priorización como focos de análisis y mejora también confirman la criticidad de estos puestos al ser elementos principales como chasis y tanque con este puesto presentando entre 20% a 50% de NVA.

Con la ejecución del Dashboard estadístico que incorpora el monitoreo continuo del desempeño de las estaciones ingresando el archivo exportable, la identificación temprana de desviaciones en el tiempo de ciclo y la visualización del comportamiento del proceso al detalle. La integración de indicadores Lean y gráficos de control estadístico aporta una base objetiva para el control operativo con gráficos SPC donde en el PRE0 analizado se observa que se presenta causas asignables por variación de operaciones fortaleciendo la toma de decisiones basada en datos. Se encontró la limitante del tamaño de la muestra, puesto que más grande las tendencias se pueda generar un historial trazable del puesto.

El objetivo de implementar y analizar el control estadístico de capacidad del proceso mediante los índices C_p y C_{pk} en cinco estaciones aplica mediante su integración en el tablero estadístico desarrollado. La herramienta permite calcular automáticamente los índices y comparar el comportamiento relativo entre estaciones. Sin embargo, los resultados obtenidos indican que los valores de C_p y C_{pk} no son aún confiables para una evaluación formal de capacidad confirmando la normalidad de los datos, debido a la ausencia de límites de especificación definidos y a la inestabilidad estadística identificada previamente en los procesos analizados donde algunos SPC no cumple estabilidad estadística. Por lo que no se pudo evaluar ni el antes ni mucho menos el después.

El validar la confiabilidad de la muestra se cumple de manera parcial, al calcular sistemáticamente ambos indicadores parámetros estadísticos IC y CV para los tiempos operativos analizados. Estos resultados permiten identificar rangos de incertidumbre y operaciones con alta variabilidad, especialmente asociadas a actividades NVA, funcionando como señales de alerta para el análisis del proceso. Sin embargo, en la instancia actual no se verifica completamente la confiabilidad del muestreo, dado que no se realiza un estudio formal de repetibilidad y reproducibilidad (R&R). En este sentido, los indicadores obtenidos se utilizan con un enfoque diagnóstico y de priorización, más que como validación metrológica. El plan de medición y las condiciones de captura de datos quedan documentados mediante el sistema digital.

En el puesto PRE0 se desarrolla un piloto orientado a la gestión del buffer, mediante la delimitación física de una zona específica para chasis, con el fin de reducir desorden, tiempos de

desplazamiento no asumido y variabilidad asociada a la operación. Este piloto permite establecer el puesto como puesto alarma, facilitando el control visual y operativo del flujo. Adicionalmente, se implementa un piloto transversal de registro y control de ausentismo, el cual aporta trazabilidad a la disponibilidad de mano de obra y mejora la interpretación de los datos recolectados. Aunque no se ejecutan otros pilotos directos sobre puestos quedan diligenciados los registros, las acciones implementadas influyen positivamente en la calidad del muestreo y el procesamiento de la información, validando la aplicabilidad de la metodología de mejora continua basada en datos.

Capacitar al personal se cumple mediante la transferencia práctica del conocimiento desarrollado durante el estudio. Como resultado, se socializan las metodologías de toma de datos y análisis, y se dejan disponibles en la compañía los ejecutables del sistema de captura de tiempos, el analizador de video y el dashboard estadístico, facilitando la replicación de los seguimientos en el tiempo. Adicionalmente, el formulario de ausentismo se implementa inicialmente como piloto durante dos meses en la Línea 1 y, posteriormente, se extiende a las 3 líneas principales a inicios de enero, evidenciando su adopción operativa. En el caso del puesto PRE0, la mejora queda diseñada y documentada, estableciéndose como siguiente paso su ejecución, con acompañamiento al nuevo practicante para asegurar la continuidad del proceso y la sostenibilidad de la metodología.

B. Recomendaciones

Con el desarrollo y resultados obtenidos de los proyectos, se identifican diversas oportunidades de mejora que pueden abordarse en trabajos futuros, con el fin de dar continuidad al análisis de tiempos, muestreo, métodos y movimientos que permita fortalecer la calidad de la información y ampliar el alcance de la metodología implementada. Estas recomendaciones se formulan en coherencia con los hallazgos del estudio y las limitaciones identificadas.

Dado que se evidencia que los estándares actuales son generales y no representan el ciclo real, se recomienda reestructurar los estándares de trabajo, incorporando una nomenclatura unificada de puestos, una secuencia clara de operaciones con la estructura gramatical y una redacción orientada al método, facilitando la clasificación VA, NVA y NVAN y la comparación entre modelos.

Considerando la ausencia de una representación integral del proceso, se recomienda desarrollar diagramas de proceso de operaciones por estación y modelo, como complemento al estudio de tiempos y movimientos, permitiendo identificar desperdicios, redundancias y oportunidades de balanceo hasta servir de soporte para otras áreas.

Antes de profundizar en el uso formal de C_p y C_{pk} , se recomienda estabilizar los procesos, reduciendo causas especiales, mejorando el orden y separando actividades productivas de logísticas, tal como se evidenció en los resultados del SPC.

Asimismo, se recomienda realizar estudios R&R, ampliar el muestreo a otras líneas y formalizar el uso del dashboard estadístico y el formulario de ausentismo, asegurando su sostenibilidad mediante capacitación continua del personal operativo y de supervisión.

Finalmente, se recomienda integrar de manera permanente el dashboard estadístico y el formulario de ausentismo al control operativo, acompañando su uso con capacitación continua, de modo que la toma de decisiones basada en datos se consolide como una práctica sostenible dentro de la organización se empodere estableciendo el sistema con datos en puntos de partida y defienda las mejoras referentes al proceso.

REFERENCIAS

- [1] E. Abate, yared Negussie, y L. Gebrehiwet, “Identifying Standard SKD/CKD and Automotive Manufacturing Development Stage in Ethiopia”, vol. 10, pp. 265–294, jun. 2023, doi: 10.5281/zenodo.8084632.
- [2] J. C. H. Matías y A. V. Idoipe, “Lean manufacturing. Concepto , técnicas e implantación”, may 2013, Consultado: el 13 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.eoi.es/es/savia/publicaciones/78202/lean-manufacturing-concepto-tecnicas-e-implantacion>
- [3] I. Costa, “Takt Time: alinear producción con demanda | Artículo KAIZEN™”. Consultado: el 14 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://kaizen.com/es/insights-es/takt-time-produccion-demanda/>
- [4] F. E. Meyers, *Motion and time study for lean manufacturing*, 3. Upper Saddle River, N.J., New Jersey: Prentice Hall, Prentice-Hall, 2002.
- [5] I. Costa, “Estandarizar para mejorar | Artículo KAIZEN™”. Consultado: el 15 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://kaizen.com/es/insights-es/estandarizar-mejorar-estandares/>
- [6] S. Vijay y M. Gomathi Prabha, “Work standardization and line balancing in a windmill gearbox manufacturing cell: A case study”, *Mater. Today Proc.*, vol. 46, pp. 9721–9729, ene. 2021, doi: 10.1016/j.matpr.2020.08.584.
- [7] D. C. Montgomery y G. C. Runger, *Applied Statistics and Probability for Engineers*. John Wiley & Sons, 2010.
- [8] D. C. Montgomery, *Statistical Quality Control, 7th Edition*. Wiley, 2012.
- [9] “Reducing non-value added (NVA) activities through lean tools for the precast industry”, *Heliyon*, vol. 10, núm. 7, p. e29148, abr. 2024, doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e29148.
- [10] “El ‘Efecto Hawthorne’ – El Movimiento de Relaciones Humanas – Biblioteca Baker | Bloomberg Center, Colecciones Históricas”. Consultado: el 17 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.library.hbs.edu/hc/hawthorne/09.html#nine>
- [11] “Cronometro Stopwatch Max Mg-502 10 Memorias Cuenta Regresiva Reloj”, VALMARA. Consultado: el 25 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://valmara.co/cronometro-stopwatch-max-mg-502-10-memorias-cuenta-regresiva-reloj.html>

ANEXOS

Anexo A. Póster Autoarchivo en Repositorio

Departamento de Ingeniería Mecánica

Estudio, clasificación y evaluación de tiempos operacionales de no valor agregado (NVA) y no valor agregado necesario (NNVA) para la mejora de eficiencia en la línea1 de ensamble en AKT Motos: Diagnóstico estadístico de tiempos en puestos de trabajo y optimización de operaciones con enfoque Lean-Manufacturing.



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

Facultad de Ingeniería

PRACTICANTE: Michael Steven Portuguez Valdes
ASESORES: Carlos Alberto Mejía Blandón (Interno)
Juan Pablo Maya Valdes (Externo)

PROGRAMA: Ingeniería Mecánica
Semestre de la práctica: 2025-2

Introducción

Las líneas de ensamble de motocicletas bajo el esquema CKD presentan alta variabilidad operativa que impacta el desempeño productivo. En la Línea 1 de AKT Motos, esta condición se ve reforzada por la ausencia de una clasificación trazable de tiempos VA, NVA y NVAN y de tiempos de referencia que representen el ciclo completo de trabajo. Ante esta situación, el presente trabajo analiza y clasifica los tiempos operativos por estación y modelo mediante herramientas Lean, muestreo estructurado, análisis estadístico y visualización de datos. El estudio permite identificar puestos críticos, evidenciar desperdicios y establecer una base objetiva para la reducción de la variabilidad y el cumplimiento del Takt Time.

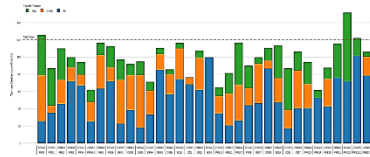
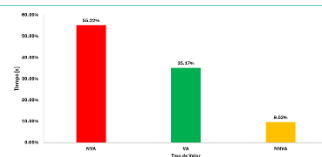


Grafico 1. Yamazumi modelo TTR 200 ABS

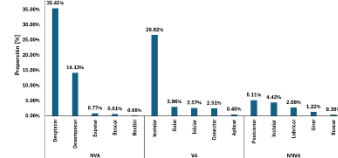


Grafica 2. Distribución de valor en operaciones TTR 200 ABS



Metodología

- Diagnóstico inicial del proceso y alineación del personal.
- Clasificación de actividades VA, NVA y NVAN
- Captura digital de tiempos y muestreo por puesto y modelo.
- Construcción y depuración de la base de datos de muestreo.
- Desarrollo e integración del dashboard estadístico.
- Diagnóstico visual y balanceo mediante gráfico Yamazumi.
- Análisis estadístico descriptivo de los tiempos.
- Priorización de operaciones y estación mediante análisis de Pareto.
- Evaluación de estabilidad mediante SPC.
- Análisis exploratorio de Cp y Cpk.
- Implementación de pilotos de mejora continua.



Grafica 3. Distribución de operaciones TTR 200 ABS

Punto	Zona	Fecha con registro	Presencia [1]	Mediana [1]	Desv. estándar [1]	CV [1]	Asimetría [1]
PRED	ZONA1	15/03/2025	148.94	131.87	47.56	29.28	1.954
PRED	ZONA1	15/03/2025	118.04	131.87	3.672	11.89	4.899
PRED	ZONA1	25/10/2025	124.52	119.36	19.565	15.71	1.438
PRED	ZONA2	14/03/2026	114.96	117.93	7.448	6.48	-0.972
PRED	ZONA2	17/12/2025	114.96	116.43	7.997	6.93	-0.48
Operativas							
		Fecha con registro	Media [1]	Mediana [1]	Desviación estándar [1]	CV [1]	
Desplazamiento_Chassis	1	81.22	81.22				
Inspeccionar_Chassis	2	38.05	28.10		11.065	39.4	
Desmontar_Polizas	1	17.6	17.6				
Desmontar_Cables	1	12.31	12.31				

Tabla 1. Revisión estadística puestos alarma y Operaciones NVA PREO



Figure 2. Dashboard para...



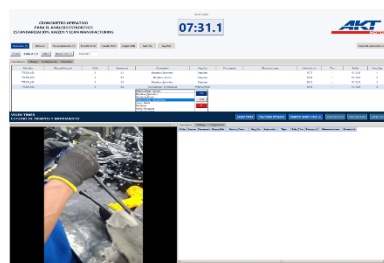
100-400-0000



Figura 3. Pilotos de mejora control ausentismo y estandarización Buffer

Resultados

Figura 1. Softwares de muestreo de tiempo video y Cronometro



Objetivos

Establecer una línea base de tiempos VA/NVA/NVA por estación y por modelo mediante cronometraje asistido software de estudio de muestreo por video de 90% de alcance de modelos.

- ✓ Verificar formal del tiempo ciclo por estación-modelo, registrando enganche de puesto y eficiencias relativa (Holgura).
- ✓ Construir gráfico Yamazumi y diagramas de balanceo identificando cuellos de botella con cuantificación de su impacto
- ✓ Desplegar un tablero de seguimiento que integre tiempos y porcentaje de NVANVAN, cumplimiento de Takt y seguimiento de gráficos de procesos SPC para el control operativo.
- ✓ Implementar y analizar control estadístico de procesos de capacidad (C_p y C_{pk}), en cinco estaciones críticas antes y después.
- ✓ Validar confiabilidad de la muestra con intervalo de confianza y repetibles con coeficiente de variabilidad, dejando documentado el plan de medición, observaciones detectadas y su incertidumbre.
- ✓ Diseñar, ejecutar y evaluar tres pilotos mejora continua focalizados (estandarización de trabajo, diseños mecánicos, ergonomía y automatización).
- ✓ Capacitar personal de grado supervisor y coordinadores con las herramientas propuestas, junto a las metodologías necesarias para la replicación de seguimientos en el tiempo.

Conclusiones

- ✓ El estudio cuantifica y clasifica VA, NVA y NVAN del ciclo real, evidenciando que el estándar operativo es general y no representativo. El muestreo digital genera trazabilidad y revela que el NVA supera el 50%, concentrado en operaciones de desplazamiento y desempaque.
- ✓ El registro estructurado del tiempo de ciclo identifica alta variabilidad en preensamble, holguras negativas y cuellos de botella en PRE0, PRE22 y PRE22.1, con 20%-50% de NVA confirmada en Yamazumi.
- ✓ El dashboard y SPC evidencian causas asignables en PRE0; sin embargo, Cp y Cpk no son confiables por inestabilidad estadística, falta de límites de especificación y tamaño de muestra insuficiente.
- ✓ Se implementan pilotos en PRE0 (buffer de chasis) y control de ausentismo, mejorando orden, trazabilidad y análisis para polivalencia de personal.

Bibliografia

- [9] E. Aste, J. Arad Negulescu, y L. Ghoreishi, "Identifying Standard SKDCKD and Automotive Manufacturing Data in Enopos", vol. 10, pp. 265-284, June 2020, doi:10.5281/zenodo.3048332.
- [10] J. C. H. Marín y P. V. López, "Lean manufacturing Concepto, técnicas e implementación", may 2015. Consultado el 13 de enero de 2028. [En línea]. Disponible en: <https://www.cesga.es/revistas/revista7832/lean-manufacturing-concepto-tecnicas-e-implementacion>
- [11] F. E. Krieger, *Motion and time study for industrial engineering*, 3 Upper Saddle River, N.J., New Jersey: Prentice Hall, Prentice-Hall, 2002.
- [12] G. D. Montgomery, y G. R. Runger, *Applied Statistics and Probability for Engineers*. John Wiley & Sons, 2010.

Anexo B. Enlace de código de programación del Cronometro desarrollado, video analizador de operaciones.

<https://github.com/mai80z/Aplicaciones-AKT.git>