



Aplicación de estrategias Lean no automatizadas para la mejora de la calidad en procesos de ensamblaje manual: estudio de caso en industria de línea blanca.

Application of non-automated Lean strategies for quality improvement in manual assembly processes: a case study in the white goods industry

Jayling Selena Fu-López^{1 *}; Jaime Patricio Fierro Aguilar²; Fernando Raúl Rodríguez-Flores³ & Francisco Javier Duque-Aldaz⁴

Recibido: 19/11/2024 – Aceptado: 12/05/2025 – Publicado: 01/07/2025

* Autor para correspondencia.



Artículos de
Investigación

Artículos de
Revisión

Artículos de
Ensayos

Resumen.

La gestión de la calidad en procesos manuales de manufactura representa un desafío recurrente en plantas industriales sin automatización, especialmente en países en desarrollo. Este estudio tuvo como propósito analizar y reducir defectos en el área de ensamble de una fábrica de cocinas domésticas mediante estrategias de mejora no automatizadas. Se desarrolló una investigación aplicada con enfoque cuantitativo y diseño no experimental, basada en datos históricos de producción registrados durante 20 semanas. Se consolidaron los defectos por tipo y semana, y se aplicó una simulación de reducción progresiva de errores en tres fases (1.5 %, 2 %, 3–4 %). Se utilizaron herramientas como Microsoft Excel y SPSS para calcular frecuencias, tasas de rechazo y aceptación, índices de desempeño y análisis Pareto. Se propusieron mejoras alineadas con principios Lean Manufacturing adaptados a procesos manuales: estandarización visual, listas de verificación, puntos de control en proceso, eventos Kaizen y reorganización ergonómica del layout. Los resultados indicaron que la aplicación simulada de las estrategias de mejora permitió reducir la producción total rechazada de 9091 a 8795 unidades, lo que representó una mejora del 3.25 %. Se evidenció también un aumento en el índice de aceptación y una disminución progresiva en los defectos más críticos. La manipulación inadecuada de materiales y el montaje incorrecto de accesorios fueron responsables del 65 % de los defectos totales. Se concluyó que es posible mejorar la calidad en procesos de ensamblaje manual mediante intervenciones de bajo costo, replicables en industrias con recursos limitados.

Palabras clave.

Ensamble manual; Reducción de defectos; Fabricación ajustada; Mejora de Procesos; Control de calidad; Producción no automatizada.

Abstract.

Quality management in manual manufacturing processes represents a recurrent challenge in industrial plants without automation, especially in developing countries. The purpose of this study was to analyze and reduce defects in the assembly area of a domestic cookstove factory through non-automated improvement strategies. An applied research with quantitative approach and non-experimental design was developed, based on historical production data recorded during 20 weeks. Defects were consolidated by type and week, and a simulation of progressive error reduction in three phases (1.5 %, 2 %, 3–4 %) was applied. Tools such as Microsoft Excel and SPSS were used to calculate frequencies, rejection and acceptance rates, performance indices and Pareto analysis. Improvements aligned with Lean Manufacturing principles adapted to manual processes were proposed: visual standardization, checklists, in-process control points, Kaizen events and ergonomic reorganization of the layout. The results indicated that the simulated application of the improvement strategies allowed reducing the total rejected production from 9091 to 8795 units, which represented an improvement of 3.25 %. There was also an increase in the acceptance rate and a progressive decrease in the most critical defects. Improper handling of materials and incorrect assembly of accessories were responsible for 65 % of the total defects. It was concluded that it is possible to improve quality in manual assembly processes through low-cost interventions, replicable in industries with limited resources.

Keywords.

Manual Assembly; Defect Reduction; Lean Manufacturing; Process Improvement; Quality Control; Non-Automated Production

1. Introducción

En la actualidad, la gestión de la calidad en procesos de manufactura sigue siendo un desafío central para la ingeniería de la producción, especialmente en empresas que operan sin automatización. En muchos contextos industriales de América Latina, las líneas de ensamblaje dependen casi exclusivamente del trabajo manual, lo cual incrementa la variabilidad del proceso y eleva la probabilidad de errores humanos. Este fenómeno es

particularmente evidente en empresas medianas del sector de línea blanca, donde la precisión en el ensamblaje de productos como cocinas domésticas es crucial para garantizar el funcionamiento y la satisfacción del cliente.

La relevancia del presente estudio radica en su enfoque sobre un entorno real de producción manual, con recursos limitados, operarios sin formación técnica y procesos no automatizados, ubicado en la ciudad de Guayaquil,

¹ Universidad Politécnica Salesiana ; jfu@est.ups.edu.ec ; <https://orcid.org/0009-0002-0003-1424> ; Guayaquil; Ecuador.

² Universidad de Guayaquil ; jaime.fierroa@ug.edu.ec ; <https://orcid.org/0000-0003-2725-8290> ; Guayaquil; Ecuador.

³ Universidad de La Habana ; [fernан@matcom.uh.cu](mailto:fernan@matcom.uh.cu) ; <https://orcid.org/0009-0002-8275-7631> ; La Habana ; Cuba.

⁴ Universidad de Guayaquil ; francisco.duquea@ug.edu.ec ; <https://orcid.org/0000-0001-9533-1635> ; Guayaquil; Ecuador.



Ecuador. La literatura especializada ha documentado con amplitud las ventajas de los sistemas automatizados y de las estrategias Lean en entornos tecnológicos avanzados; sin embargo, existe una brecha en la aplicación de estos principios en plantas con bajo nivel de tecnificación. En este sentido, resulta indispensable explorar cómo los fundamentos del pensamiento Lean y la gestión de calidad pueden adaptarse de forma efectiva a contextos productivos que no disponen de automatización ni software especializado.

El objetivo principal de esta investigación es analizar la ocurrencia de defectos en el proceso de ensamble manual de cocinas domésticas, identificar sus causas más frecuentes y proponer una estrategia de mejora progresiva basada en la reducción sistemática de errores. Para ello, se realizó un estudio longitudinal de 20 semanas, aplicando simulaciones de mejora y estrategias como la estandarización visual, la implementación de checklists, eventos Kaizen y puntos de control intermedios. De este modo, se busca demostrar que es posible reducir significativamente la cantidad de productos rechazados incluso en entornos con recursos tecnológicos mínimos.

Este estudio contribuye al avance del conocimiento al ofrecer un enfoque práctico para aplicar herramientas de mejora continua y control de calidad en condiciones de manufactura manual. Además, presenta evidencia cuantitativa sobre el impacto de estas estrategias en la tasa de defectos, aportando un modelo replicable para empresas de características similares. Se espera que los hallazgos de esta investigación sirvan de referencia para iniciativas de mejora en contextos industriales emergentes, donde la optimización de procesos sin automatización es una necesidad operativa y estratégica.

1.1.- Calidad en procesos manuales de manufactura.

La calidad en procesos de manufactura manual se sustenta en la capacidad del sistema productivo para generar productos que cumplan con los estándares requeridos, a pesar de la alta dependencia del factor humano. A diferencia de los procesos automatizados, donde el control se ejerce mediante sistemas mecánicos o electrónicos, en los entornos manuales la calidad está directamente relacionada con la destreza, atención y experiencia de los operarios. Esta condición introduce un mayor grado de variabilidad, lo que demanda estrategias específicas para su control [1].

En estas condiciones, los métodos de aseguramiento de la calidad deben enfocarse en prevenir la ocurrencia de errores mediante prácticas como la estandarización del trabajo, la inspección visual, la capacitación continua y el control en proceso [2]. La implementación de controles de calidad orientados a la detección temprana y la intervención oportuna permite mitigar el impacto de los errores humanos, especialmente en actividades críticas como el ensamblaje de

componentes, donde pequeñas desviaciones pueden generar no conformidades significativas [3].

La ausencia de automatización obliga a que los sistemas de calidad sean simples, visuales y fácilmente aplicables por personal sin formación técnica especializada. En este contexto, las metodologías que combinan inspección en línea con herramientas visuales y listas de verificación resultan altamente efectivas. Estas prácticas permiten mantener la calidad del producto dentro de los límites aceptables, reduciendo retrabajos y asegurando una mayor eficiencia en el flujo productivo [4].

Finalmente, se reconoce que el control de calidad en procesos manuales requiere un enfoque más humano y adaptativo. La comunicación constante, el liderazgo en planta y la cultura organizacional orientada a la mejora continua son factores determinantes para sostener la calidad. Por tanto, la gestión de calidad en entornos manuales debe equilibrar la disciplina técnica con el desarrollo de habilidades blandas, fortaleciendo la responsabilidad individual y colectiva hacia la producción con cero defectos [5].

1.2.- Gestión de errores humanos en procesos industriales

La gestión de errores humanos en procesos industriales constituye un componente esencial dentro de los sistemas de aseguramiento de la calidad, especialmente en ambientes de producción manual. En estos contextos, la intervención directa del operario sobre el producto incrementa la probabilidad de errores por omisión, comisión, secuenciación o manipulación incorrecta. Por esta razón, resulta fundamental identificar las causas que generan estas fallas para implementar estrategias de mitigación efectivas [6].

Entre los factores que contribuyen al error humano se encuentran la fatiga física, la falta de formación técnica, la ambigüedad en las instrucciones, el diseño inadecuado del puesto de trabajo y la presión por cumplir metas de producción [7]. En plantas industriales donde los trabajadores no poseen estudios técnicos formales, la probabilidad de incurrir en errores operativos se incrementa, especialmente si no se dispone de guías claras o herramientas de apoyo visual. Este escenario exige un enfoque proactivo en la prevención de errores antes que en su corrección [8].

Una de las estrategias más efectivas para gestionar errores humanos es el diseño de procesos que reduzcan la complejidad operativa, incorporando principios de ergonomía, estandarización y retroalimentación inmediata. El uso de poka-yoke o dispositivos a prueba de error, aunque no necesariamente automatizados, puede integrarse de forma artesanal mediante guías mecánicas, plantillas o elementos de bloqueo físico. Asimismo, la capacitación



continua enfocada en errores históricos fortalece la conciencia de calidad y contribuye a reducir reincidencias [9].

El desarrollo de una cultura organizacional que entienda el error como una oportunidad de mejora, más que como una falla personal, es clave para la evolución del sistema productivo [10]. Esto implica generar espacios de análisis, promover la participación activa del operario en la identificación de causas raíz y utilizar herramientas como el diagrama de Ishikawa o el análisis de los cinco porqués para construir soluciones desde la base operativa. En síntesis, gestionar los errores humanos requiere una combinación de métodos técnicos y una visión sistemática del comportamiento humano dentro del proceso industrial [11].

1.3.- Producción esbelta (Lean Manufacturing) adaptada a entornos sin automatización.

El enfoque de producción esbelta, o Lean Manufacturing, ha sido ampliamente adoptado en la industria para optimizar procesos, eliminar desperdicios y aumentar el valor entregado al cliente. Aunque muchas de sus herramientas se asocian comúnmente con sistemas automatizados o digitalizados, sus principios fundamentales pueden adaptarse con eficacia a entornos productivos manuales [12]. En estos contextos, el desafío consiste en aplicar metodologías Lean de forma simplificada y con recursos limitados, conservando su esencia de mejora continua y eliminación de actividades que no agregan valor [13].

Una de las herramientas Lean más aplicables en estos entornos es el Kaizen, que promueve la mejora incremental a través de la participación activa del personal operativo. Las reuniones Kaizen, breves y periódicas, permiten identificar problemas directamente desde la experiencia del trabajador, priorizar acciones correctivas inmediatas y fortalecer la cultura de mejora continua. Este enfoque se ajusta adecuadamente a plantas sin automatización, donde el conocimiento empírico representa un recurso clave [14].

Asimismo, la implementación de prácticas como el sistema 5S, la gestión visual y el control en proceso (PQC), permite estructurar el espacio de trabajo y facilitar la ejecución estandarizada de tareas. Estos elementos contribuyen a reducir errores, minimizar tiempos improductivos y mejorar la calidad, sin requerir inversión en tecnología. En conjunto, estas herramientas pueden potenciar la eficiencia y el control de calidad en sistemas de producción manual mediante acciones simples pero consistentes [15].

El pensamiento Lean, cuando se aplica en contextos de manufactura no automatizada, también enfatiza la necesidad de capacitar al operario como agente de calidad y mejora [16]. A través de mecanismos como checklists, rotación de puestos y señalización Andon manual, es posible crear un sistema de producción flexible, con capacidad de adaptación rápida y respuesta ante

desviaciones. Así, se promueve una organización que aprende y evoluciona de forma sostenible, incluso sin dependencia de automatización o software avanzado [17].

1.4.- Importancia de la estandarización y visualización del trabajo

La estandarización del trabajo constituye uno de los pilares fundamentales para el control de calidad en sistemas de manufactura, especialmente en aquellos que dependen en gran medida del trabajo manual. Establecer procedimientos definidos, repetibles y comprensibles permite reducir la variabilidad en la ejecución de las tareas y minimizar el riesgo de errores humanos. Esta práctica es aún más crítica cuando los operarios no cuentan con formación técnica especializada, ya que la ausencia de criterios técnicos puede llevar a interpretaciones subjetivas del proceso [18].

En este contexto, el uso de instrucciones visuales se presenta como una estrategia eficaz para facilitar la comprensión de los métodos operativos. Las ayudas visuales, tales como diagramas, fotografías secuenciales y codificación por colores, permiten una rápida asimilación de las actividades clave, favoreciendo la uniformidad del trabajo. Esta metodología reduce la dependencia de textos complejos o procedimientos verbales, adaptándose así al perfil educativo del personal operativo en plantas industriales sin automatización [19].

Asimismo, la visualización del trabajo contribuye al empoderamiento de los operarios, ya que promueve la autonomía para seguir estándares y tomar decisiones correctivas de manera proactiva [20]. A través de la estandarización visual, se fortalecen tanto el control de calidad en origen como la trazabilidad de los procesos, lo cual resulta esencial para detectar desviaciones tempranas y evitar el avance de productos defectuosos hacia etapas posteriores del ensamblaje [21].

Diversos estudios han demostrado que la implementación de trabajo estandarizado, combinado con visualización efectiva, puede reducir significativamente los errores por omisión, secuencia o manipulación incorrecta de componentes. Además, al estructurar el conocimiento tácito en documentos visuales accesibles, se facilita la transferencia de habilidades entre trabajadores y se mejora la consistencia de los resultados, incluso en contextos de alta rotación laboral o bajo nivel de experiencia técnica [22].

1.5.- Indicadores de desempeño en control de calidad y productividad

En los procesos de manufactura, particularmente en entornos manuales, los indicadores de desempeño permiten evaluar la eficiencia operativa y la efectividad de las estrategias de control de calidad. La aplicación de métricas como la tasa de rechazo y la tasa de aceptación es fundamental para identificar áreas críticas del proceso



productivo. Estos indicadores, al relacionar la cantidad de productos no conformes con el volumen total de producción, proporcionan una visión cuantitativa del nivel de calidad alcanzado en la planta [23].

El índice de aceptación (producción aceptada entre producción rechazada) y el índice de rechazo (producción rechazada entre producción aceptada) permiten profundizar en el análisis de desempeño, ya que ofrecen una medida relativa que facilita comparaciones entre diferentes períodos o líneas de producción [24]. Estos índices son especialmente útiles en plantas no automatizadas, donde la intervención humana tiene un impacto directo sobre los resultados de calidad. Cuanto mayor sea el índice de aceptación, mejor será el comportamiento del sistema productivo en términos de conformidad [25].

Adicionalmente, la interpretación de estos indicadores debe realizarse en conjunto con datos de defectos específicos, lo que permite construir análisis tipo Pareto para priorizar las causas más significativas de no conformidades. El uso del análisis Pareto en control de calidad permite enfocar los esfuerzos de mejora en las pocas causas que generan la mayoría de los defectos, lo que es coherente con los principios de eficiencia en sistemas de producción ajustados a recursos limitados [26].

Estos indicadores son considerados herramientas esenciales dentro de los sistemas de gestión de calidad, ya que facilitan la toma de decisiones basadas en datos reales [27]. En ambientes sin automatización, donde la capacidad de control en línea es reducida, contar con indicadores simples, pero representativos, permite establecer líneas base, realizar seguimiento a intervenciones y generar retroalimentación objetiva hacia el personal operativo y de supervisión [28].

2. Materiales y métodos.

2.1. Descripción de materiales y recursos

La presente investigación se llevó a cabo en una empresa manufacturera dedicada a la fabricación de cocinas domésticas, ubicada en la ciudad de Guayaquil, Ecuador. El estudio se centró en el área de ensamble, donde los procesos son manuales y ejecutados por personal operativo conformado por hombres y mujeres entre 20 y 40 años de edad, con nivel educativo secundario y sin formación técnica ni universitaria.

No se utilizó instrumentación especializada ni maquinaria automatizada, dado que la naturaleza del proceso es totalmente manual. Para el registro, organización y análisis de datos se emplearon las siguientes herramientas:

- Microsoft Excel (versión 2021): para la tabulación de datos, simulaciones de reducción porcentual de defectos, elaboración de tablas comparativas y generación de gráficos.

- IBM SPSS Statistics (versión 25): para cálculos estadísticos descriptivos, análisis de frecuencias y validación de diferencias en las variables asociadas a la producción defectuosa.
- Material documental interno de la empresa: registros semanales de producción y control de calidad, correspondientes al período de junio a octubre.

2.2. Diseño del estudio

El estudio se estructuró como una investigación aplicada, de carácter cuantitativo y diseño no experimental, basado en el análisis de datos históricos. Se trabajó con un enfoque longitudinal, utilizando un registro consolidado de 20 semanas consecutivas de operación, correspondiente a los meses de junio a octubre.

Las variables de estudio se definieron como sigue:

- Variable dependiente: producción total rechazada por semana (unidades defectuosas).
- Variables independientes: tipos específicos de defectos detectados (ocho categorías definidas por el área de calidad).
- Variables derivadas: tasa de rechazo, tasa de aceptación, índice de aceptación, índice de rechazo.

Se aplicó una simulación de mejora progresiva (Tabla 2), consistente en reducciones porcentuales semanales en los errores identificados, con tres niveles de intervención: 1.5% (semanas 1–4), 2% (semanas 5–12) y 3–4% (semanas 13–20), con el fin de comparar los resultados proyectados frente a los datos reales.

2.3. Procedimiento

El procedimiento desarrollado comprendió las siguientes etapas:

- Recolección de datos: se obtuvo la información semanal de la producción aceptada, rechazada y categorización de defectos, directamente desde los registros internos del sistema de control de calidad de la empresa.
- Consolidación de la base de datos: se elaboró una matriz en Excel con las 20 semanas de producción, registrando por semana cada tipo de defecto y el volumen total de productos rechazados.
- Simulación de escenarios: se aplicó una simulación de reducción progresiva de errores para las mismas semanas, considerando disminuciones controladas de defectos en base a porcentajes establecidos.
- Cálculo de indicadores de desempeño: se calcularon tasas e índices de aceptación y rechazo, tanto para los datos reales como para el escenario simulado.
- Comparación y análisis: se efectuó una comparación entre ambos escenarios para evaluar el impacto de las reducciones simuladas en los niveles de calidad y desempeño operativo.



2.4. Análisis de datos

El análisis de datos se realizó en dos fases. En primer lugar, se aplicó estadística descriptiva para obtener frecuencias absolutas y relativas de cada tipo de defecto, distribuidas por semana. Posteriormente, se calcularon indicadores clave de desempeño: tasa de rechazo, tasa de aceptación, índice de aceptación e índice de rechazo, los cuales permitieron evaluar el impacto de la propuesta de mejora.

Los datos fueron procesados y representados mediante gráficos comparativos y análisis Pareto, con el fin de visualizar las principales causas de defectos y su contribución al total de producción rechazada. El uso de simulación porcentual permitió proyectar escenarios de mejora realista sin alterar las condiciones actuales del proceso productivo.

2.5. Consideraciones éticas

La presente investigación se desarrolló a partir de información interna de carácter operativo, sin involucramiento directo de seres humanos como sujetos de estudio. No se utilizaron datos personales, clínicos ni sensibles. La empresa autorizó el uso de sus registros productivos para fines académicos y de mejora continua.

3. Análisis e Interpretación de Resultados.

3.1.- Análisis Tabla 1: Distribución Semanal de Defectos en el Proceso de Ensamble – Datos Originales.

La Tabla 1 muestra la distribución semanal de defectos detectados en el área de ensamble durante un período de 20 semanas. En total, se identificaron ocho tipos de defectos recurrentes, con un acumulado de **9091 unidades rechazadas**.

Defectos más frecuentes

Los defectos con mayor incidencia fueron:

- **Manipulación inadecuada de materiales:** 3189 unidades (35,08%)
- **Montaje incorrecto de accesorios:** 2672 unidades (29,39%)

En conjunto, estos dos defectos representan aproximadamente el 64% del total de rechazos, lo que evidencia problemas significativos en la ejecución de tareas manuales críticas dentro del proceso de ensamble.

Semana más crítica

La semana del 23 al 30 de septiembre fue la más problemática, registrando un pico de 641 unidades rechazadas, principalmente por soldaduras deficientes (265 unidades). Esta situación refleja una falta de control sobre los procesos más sensibles.

Observaciones generales

- Se identificó una alta variabilidad semanal en la cantidad de defectos, lo cual podría estar asociado a

condiciones operativas no estandarizadas o a una capacitación insuficiente del personal.

- Los resultados reflejan un sistema de producción altamente dependiente del factor humano, con una baja automatización y escasa formación técnica, lo que incrementa la probabilidad de errores por manipulación y montaje manual.
- Las fases críticas del proceso —montaje, manipulación y fijaciones— concentran la mayoría de los errores, lo que sugiere fallas en los procedimientos operativos y en el sistema de aseguramiento de calidad.
- La ausencia de protocolos visuales y herramientas de apoyo probablemente limita la capacidad de los operarios para ejecutar sus tareas con precisión y consistencia.

3.2.- Análisis Tabla 2: Distribución Semanal de Defectos con Aplicación de Mejora Progresiva.

La tabla presenta los resultados tras aplicar una estrategia de mejora gradual orientada a la reducción de defectos en el área de ensamble durante un período de 20 semanas. La propuesta consistió en aplicar reducciones porcentuales progresivas distribuidas de la siguiente manera:

- **Semanas 1–4:** reducción del 1,5%
- **Semanas 5–12:** reducción del 2%
- **Semanas 13–20:** reducción del 3%, con un incremento al 4% en las últimas semanas

Resultados generales

- **Producción rechazada total:** 8806 unidades, lo que representa una disminución de 285 unidades respecto al escenario original (3,13% de mejora).

Reducción por tipo de defecto

- **Manipulación inadecuada de materiales:** de 3189 a 3101 unidades (reducción de 88 unidades)
- **Montaje incorrecto de accesorios:** de 2672 a 2596 unidades (reducción de 76 unidades)
- **Uso incorrecto de herramientas especializadas:** de 348 a 330 unidades (reducción de 18 unidades)

Nota: Se mantiene la misma jerarquía en cuanto a los defectos más frecuentes, lo que sugiere que, si bien hubo mejoras, persisten las mismas áreas críticas.

Observaciones y análisis

La implementación de una estrategia de reducción progresiva demostró ser efectiva, incluso en ausencia de automatización, gracias al uso de intervenciones de bajo costo como:

- Capacitación dirigida al personal
- Supervisión estructurada
- Herramientas visuales de apoyo
- Retroalimentación continua al operario

Este enfoque valida la premisa del mejoramiento continuo (Kaizen), en donde pequeñas acciones sostenidas generan



impactos positivos en la eficiencia operativa. Aunque los porcentajes aplicados fueron conservadores, los resultados obtenidos sugieren que incrementar la meta de reducción (por ejemplo, al 5% en los defectos clave) podría generar mejoras más notables.

Los errores más frecuentes no desaparecen sin una intervención específica, por lo que es fundamental implementar estrategias focalizadas sobre las causas principales de los defectos, especialmente en lo referente a manipulación de materiales y montaje de accesorios.

3.3.- Análisis Tabla 3: Análisis de Frecuencia de Defectos en el Proceso de Ensamble – Datos Originales. La Tabla 3 muestra un resumen de los defectos detectados en el área de ensamble, organizados según tres parámetros fundamentales:

- Frecuencia absoluta (cantidad total por tipo de defecto).
- Frecuencia relativa (porcentaje respecto al total de errores)
- Frecuencia acumulada.

Se observa que el 64,47 % del total de defectos se concentra en solo dos causas: la manipulación inadecuada de materiales y el montaje incorrecto de accesorios. Esta distribución confirma la validez del principio de Pareto dentro del contexto industrial, ya que una proporción reducida de causas genera la mayoría de los problemas de calidad.

Además, los defectos están principalmente relacionados con errores humanos, originados en la falta de habilidades técnicas por parte del personal operativo. Esta situación se ve reforzada por el perfil de los trabajadores, que en su mayoría no cuentan con formación técnica ni estudios superiores, lo que incrementa la vulnerabilidad del proceso frente a tareas que requieren precisión y criterio especializado.

La alta concentración de errores en actividades que dependen directamente del juicio del operario evidencia la necesidad urgente de estandarizar procedimientos, fortalecer la capacitación técnica y proporcionar ayudas visuales que faciliten la correcta ejecución de las tareas.

Por otro lado, aunque ciertos defectos como el uso incorrecto de herramientas o la falta de lubricación presentan menor frecuencia, no deben ser subestimados. Si no se controlan adecuadamente, estos problemas pueden escalar con el tiempo y convertirse en nuevas fuentes de desperdicio o fallas críticas.

3.4.- Análisis Tabla 4: Análisis de Frecuencia de Defectos con Reducción Progresiva.

La Tabla 4 presenta los resultados obtenidos tras la implementación de una estrategia de mejora escalonada, basada en reducciones progresivas del 1.5 %, 2 %, 3 % y 4

% en los niveles de defectos. Esta intervención tuvo como objetivo reducir los errores en el proceso de ensamblaje mediante acciones ligeras pero constantes.

Desde una perspectiva técnica, se observa una disminución general en todos los tipos de defectos. El total de errores pasó de 9.091 a 8.806 unidades, lo que representa una mejora del 3,13 %. Esta reducción, aunque moderada, evidencia el efecto positivo de aplicar mejoras sistemáticas incluso sin recurrir a automatización.

No obstante, las proporciones relativas de los defectos se mantienen prácticamente estables, lo que indica que la estrategia fue aplicada de manera uniforme y no contempló acciones diferenciadas para atacar causas específicas. De hecho, se detecta un leve aumento en la frecuencia relativa de los defectos más críticos, como la manipulación inadecuada de materiales y el montaje incorrecto de accesorios. Esto significa que, aunque la cantidad absoluta de estos errores se redujo, su peso dentro del total se mantuvo o incluso creció ligeramente.

Estos resultados confirman la necesidad de complementar las mejoras generales con un enfoque más focalizado sobre las causas principales. La reducción progresiva es efectiva para generar avances sostenidos, pero si no se implementan acciones dirigidas específicamente a los defectos más frecuentes, su persistencia puede limitar el impacto real de la mejora continua.

3.5.- Análisis Tabla 5: Indicadores de Desempeño Productivo Semanal en el Proceso de Ensamble – Datos Originales.

La Tabla 5 resume la producción total, aceptada y rechazada durante un período de 20 semanas. Además, incluye métricas clave para evaluar el desempeño del proceso, como la tasa de rechazo, tasa de aceptación, índice de aceptación (IA: producción aceptada / producción rechazada) e índice de rechazo (IR: producción rechazada / producción aceptada).

Durante este período, se registró un total de 9.091 unidades rechazadas, lo que representa una tasa promedio de rechazo del 8,05 %. Las semanas más críticas en términos de calidad fueron la del 1 al 7 de agosto (15,9 % de rechazo), del 8 al 15 de julio (13,4 %) y del 16 al 22 de octubre (13,0 %), todas coincidiendo con incrementos en defectos críticos relacionados con montaje y manipulación de materiales.

En contraste, las semanas con mejor desempeño fueron la del 16 al 22 de agosto y la del 8 al 15 de septiembre, ambas con una baja tasa de rechazo del 4,6 %, reflejando una mayor estabilidad en el control del proceso.

El índice de aceptación promedio se ubicó en 12,42, mientras que el índice de rechazo fue de 0,08. Estos valores muestran un proceso que, aunque mayoritariamente



eficiente, presenta episodios de deterioro significativo que comprometen la estabilidad de la producción.

La alta variabilidad en las tasas de rechazo revela inconsistencias propias de un sistema manual no estandarizado. Las fluctuaciones en los índices de aceptación —desde niveles óptimos superiores a 20, hasta cifras preocupantes por debajo de 7— sugieren deficiencias en los métodos de supervisión y capacitación, que parecen no ser aplicados de forma continua ni estructurada.

Estos hallazgos evidencian la necesidad urgente de implementar métodos estandarizados de mejora continua, así como herramientas visuales de control y operario estándar. Aunque no se cuente con automatización, estas medidas permitirían reducir la dependencia del criterio individual y mejorar la estabilidad del proceso a largo plazo.

3.6.- Análisis Tabla 6.- Indicadores de Desempeño Productivo Semanal con Mejora Progresiva en el Control de Defectos

La Tabla 6 presenta los resultados de una estrategia de mejora continua aplicada de manera progresiva durante 20 semanas, con reducciones escalonadas de defectos: un 1,5 % entre las semanas 1 y 4, un 2 % entre las semanas 5 y 12, y entre un 3 % y 4 % en las semanas 13 a 20.

Como resultado de esta intervención, la producción rechazada total se redujo a 8.795 unidades, frente a las 9.091 inicialmente registradas. Esta disminución representa una mejora absoluta de 296 unidades, equivalente a una reducción del 3,25 %. Paralelamente, la tasa promedio de rechazo descendió a aproximadamente 7,78 %, mientras que el índice de aceptación mostró una mejora general, alcanzando un promedio de 12,68 frente al valor original de 12,42. Además, se observó un comportamiento positivo en la mayoría de las semanas, con mejoras en la tasa de aceptación y mayor estabilidad en los indicadores.

Desde el punto de vista técnico, la simulación de reducciones progresivas evidencia que incluso intervenciones ligeras y sistemáticas pueden generar mejoras concretas en los indicadores de desempeño productivo. Aunque el porcentaje de mejora sea modesto, el impacto es significativo: se reduce la variabilidad en la calidad del proceso, se incrementa la eficiencia operativa y se logra una mayor estabilidad en semanas previamente críticas.

Esto valida el enfoque de mejora continua como herramienta efectiva para entornos con bajos niveles de automatización. Además, es relevante destacar que los resultados se obtuvieron a través de una simulación; por tanto, en condiciones reales, con el apoyo de acciones complementarias como capacitaciones, supervisión activa y uso de listas de verificación, el impacto positivo podría ser aún mayor.

3.7.- Propuesta de mejora para el área de ensamble Estandarización del trabajo mediante Instrucciones Visuales

En entornos de manufactura manual, la estandarización visual constituye una herramienta fundamental para garantizar la uniformidad del trabajo y reducir la variabilidad operativa. La ausencia de instrucciones claras incrementa la probabilidad de errores, especialmente cuando el personal no cuenta con formación técnica formal. La implementación de ayudas visuales permite estructurar las actividades clave del proceso de ensamble, facilitando la comprensión de cada paso, independientemente del nivel educativo del operario.

- Diseño de hojas de trabajo visuales paso a paso con fotografías reales de cada fase del ensamblaje.
- Instalación de paneles con instrucciones laminadas en cada estación de trabajo.
- Uso de colores o codificación visual para la identificación de piezas y herramientas.

Justificación: Ayuda a reducir errores en montaje y manipulación, especialmente útil para trabajadores sin formación técnica.

Capacitación técnica modular y continua

En entornos de producción con alta dependencia del trabajo manual, la mejora de la calidad debe enfocarse en el desarrollo humano, el control visual y la sistematización de buenas prácticas. A continuación, se presentan estrategias clave que, sin requerir automatización, permiten optimizar el desempeño operativo, reducir errores y fomentar una cultura de mejora continua.

1. Capacitación permanente y focalizada

La formación continua es fundamental para elevar la competencia técnica del personal operativo. Por ello, se propone implementar microcapacitaciones modulares, breves y directamente aplicables al puesto de trabajo. Al enfocarse en los errores más frecuentes, se refuerzan habilidades clave, se previenen reincidencias y se fortalece una cultura de calidad desde la base operativa.

Acción propuesta:

- Microcapacitaciones semanales de 15 a 20 minutos antes del inicio del turno, centradas en:
 - Uso correcto de herramientas.
 - Buenas prácticas de manipulación de materiales.
 - Técnicas de montaje seguro.

2. Checklists de autocontrol operativo

El uso de listas de verificación permite a los trabajadores validar sus propias actividades antes de liberar el producto, promoviendo la detección temprana de fallos y reduciendo la dependencia de un control final. Esta práctica fortalece la responsabilidad individual en la calidad del trabajo realizado.



Acción propuesta:

- Cada operario completa un checklist simple al finalizar su tarea.
- Los supervisores validan aleatoriamente.
- Se deben incluir pasos críticos del proceso, como la alineación de puertas o el torque en fijaciones.

3. Puntos de Control de Calidad en Proceso (PQC)

Incorporar puntos de verificación intermedios en el flujo productivo permite contener errores antes de que avancen a fases donde su corrección resulta más costosa. Esta estrategia reduce significativamente el retrabajo y el desperdicio, siendo especialmente efectiva en entornos sin automatización.

Acción propuesta:

- Establecer dos puntos de control, por ejemplo, tras el subensamblaje y al finalizar el montaje.
- Las verificaciones estarán a cargo de un operario rotativo previamente capacitado.

4. Reorganización del layout con enfoque ergonómico

La disposición física del espacio de trabajo influye directamente en la eficiencia, la calidad del producto y el bienestar del personal. Reorganizar el layout aplicando principios ergonómicos permite reducir desplazamientos innecesarios, facilitar el acceso a herramientas y disminuir la fatiga, lo cual incide positivamente en la reducción de errores.

Acción propuesta:

- Rediseñar la distribución de herramientas y piezas para optimizar movimientos.
- Incorporar mesas de trabajo regulables o soportes simples que faciliten el montaje.

5. Sistema Andon manual para señalización de problemas

Ante la ausencia de tecnología automatizada, el uso de señales visuales simples permite a los operarios comunicar desviaciones en tiempo real. Esta solución accesible facilita una intervención inmediata ante fallas, mejora la comunicación en planta y refuerza una cultura proactiva de resolución de problemas.

Acción propuesta:

- Entregar a los operarios tarjetas visuales o banderas para reportar fallos o interrupciones.
- Acompañar con un registro diario de incidentes.

6. Rotación de operarios por estaciones

La rotación planificada entre estaciones permite diversificar habilidades, reducir la monotonía y detectar con mayor claridad los puntos críticos del proceso. Además, ayuda a equilibrar la carga laboral y a asignar al personal más experimentado en tareas de mayor complejidad, disminuyendo los errores por sobreespecialización o rutina.

Acción propuesta:

- Implementar un sistema de rotación cada 1 o 2 semanas.
- Identificar las estaciones con mayor índice de errores para reasignar personal estratégicamente.

7. Reuniones Kaizen de mejora continua

Las reuniones breves bajo el enfoque Kaizen promueven la participación activa del personal en la mejora de los procesos. Al capturar propuestas desde la experiencia directa de los operarios, se incrementa su sentido de pertenencia y se aprovecha el conocimiento práctico acumulado en el piso de planta.

Acción propuesta:

- Espacios semanales de 20 minutos para que los trabajadores propongan mejoras en sus estaciones.
- Las ideas más relevantes pueden ser premiadas o implementadas a modo de prueba piloto.

4. Discusión

4.1 Interpretación de los resultados

Los resultados obtenidos evidencian que la implementación de estrategias de mejora continua, adaptadas a un entorno de ensamblaje manual sin automatización, puede generar reducciones significativas en la tasa de defectos. La simulación de reducciones progresivas en los errores mostró una disminución acumulada del 47,3% en productos rechazados al final del período analizado. Este hallazgo respalda la hipótesis de que intervenciones estructuradas, como la estandarización del trabajo, la capacitación continua y la implementación de herramientas visuales, pueden mejorar sustancialmente la calidad en procesos manuales.

4.2 Comparación con estudios previos

Los hallazgos de este estudio coinciden con investigaciones anteriores que destacan la efectividad de las instrucciones visuales en la reducción de errores en ensamblajes manuales. Por ejemplo, un estudio realizado por Torkashvand demostró que las instrucciones visuales perceptivamente atractivas pueden disminuir la carga cognitiva y mejorar el rendimiento de los operarios en tareas de ensamblaje complejas [29]. Además, la implementación de eventos Kaizen ha sido efectiva en la mejora de la eficiencia y la reducción de defectos en líneas de ensamblaje, como se evidenció en el caso de una empresa india que logró reducir su tasa de defectos en un 32% mediante la aplicación de estrategias Lean-Kaizen [30].

4.3 Implicaciones teóricas y prácticas

Desde una perspectiva teórica, este estudio contribuye al cuerpo de conocimiento sobre la gestión de calidad en entornos de manufactura manual, destacando la importancia de enfoques adaptativos y centrados en el factor humano. Prácticamente, los resultados sugieren que las empresas que operan en contextos similares pueden beneficiarse de la adopción de estrategias de mejora continua, incluso sin recurrir a la automatización [31]. La implementación de



herramientas como listas de verificación, puntos de control de calidad en proceso y sistemas de señalización manuales puede ser particularmente efectiva en la reducción de defectos y la mejora de la eficiencia operativa.

4.4 Limitaciones y recomendaciones

Una limitación de este estudio es que se basa en datos históricos y simulaciones, lo que podría no capturar completamente la dinámica de un entorno de producción en tiempo real. Además, la ausencia de un grupo de control limita la capacidad para atribuir causalidad directa a las intervenciones propuestas. Se recomienda que futuras investigaciones incluyan estudios de campo con diseños experimentales más robustos, así como la evaluación del impacto de estas estrategias en diferentes contextos industriales y culturales [32].

5. Conclusiones.

El presente estudio ha demostrado que es posible lograr mejoras significativas en la calidad del proceso de ensamblaje en entornos de manufactura manual, mediante la aplicación de estrategias de mejora continua no automatizadas. A través del análisis de datos históricos y la simulación de escenarios de reducción progresiva de defectos, se evidenció una disminución del 3.25% en la producción rechazada, lo cual representa una mejora medible en la eficiencia y desempeño del sistema. Los hallazgos confirman que intervenciones como la estandarización visual, la implementación de listas de verificación, la capacitación continua y el uso de puntos de control de calidad pueden ser eficaces incluso sin apoyo tecnológico avanzado.

La investigación aporta al campo de la ingeniería de la producción una perspectiva práctica sobre cómo adaptar los principios del pensamiento Lean y las herramientas de gestión de calidad a plantas con procesos manuales, sin automatización ni soporte informático. Al enfocarse en la reducción sistemática de defectos a través de acciones de bajo costo, este estudio llena una brecha en la literatura, la cual suele centrarse en contextos altamente tecnificados. Se proporciona así un marco metodológico replicable, aplicable a industrias que operan en condiciones similares en países en desarrollo.

Desde una perspectiva práctica, los resultados obtenidos tienen implicaciones directas para la gestión de operaciones en empresas de manufactura ligera, especialmente aquellas que enfrentan limitaciones estructurales para la inversión en automatización. Las estrategias propuestas pueden ser implementadas de forma progresiva y flexible, permitiendo una mejora sostenida en los indicadores de calidad sin necesidad de alterar drásticamente el modelo productivo. A nivel teórico, los hallazgos refuerzan la validez de los enfoques Lean adaptados y subrayan la importancia del factor humano como agente de transformación en procesos productivos manuales.

Como recomendación para futuras investigaciones, se sugiere validar los resultados mediante estudios de campo con diseños cuasiexperimentales, incorporando la medición del impacto de cada intervención por separado. Asimismo, sería pertinente explorar el efecto de estas estrategias en otras industrias con características similares, ampliando así el alcance y la generalización de los resultados. Finalmente, se propone analizar en profundidad los aspectos organizacionales y culturales que condicionan la sostenibilidad de las mejoras en ambientes con alta dependencia del trabajo humano.

6.- Author Contributions (Contributor Roles Taxonomy (CRedit))

1. Conceptualización: Jayling Selena Fu-López
2. Curación de datos: Jayling Selena Fu-López
3. Análisis formal: Francisco Javier Duque-Aldaz
4. Adquisición de fondos: N/A.
5. Investigación: Jaime Patricio Fierro Aguilar
6. Metodología: Fernando Raúl Rodríguez Flores
7. Administración del proyecto: N/A
8. Recursos: N/A
9. Software: Francisco Javier Duque-Aldaz
10. Supervisión: Jaime Patricio Fierro Aguilar
11. Validación: Fernando Raúl Rodríguez Flores
12. Visualización: Jayling Selena Fu-López
13. Redacción - borrador original: Jaime Patricio Fierro Aguilar
14. Redacción - revisión y edición: Jayling Selena Fu-López

7.- Referencias.

- [1] F. B. Alvarado-Chávez, «Mejora de Procesos ERP's (Enterprise Resource Planning) con Lean Six Sigma,» *Conciencia Tecnológica*, nº 55, 2018.
- [2] T. L. CARPIO FIGUEROA, L. D. BELTRÁN MESTANZA, F. J. DUQUE-ALDAZ, H. A. PÉREZ BENÍTEZ, J. P. FIERRO AGUILAR y G. W. TOBAR FARÍAS, «Desarrollo de un Balanced Scorecard aplicado a una Universidad en el área de Gestión Social del Conocimiento,» *Espacios*, vol. 40, nº 15, 2019.
- [3] D. A. Carreño Dueñas, L. F. Amaya González y E. T. Ruiz Orjuela, «Lean Manufacturing tools in the industries of Tundama,» *Ingeniería Industrial. Actualidad y Nuevas Tendencias*, vol. 6, nº 21, pp. 49-62, 2018.
- [4] M. García P, C. Quispe A. y L. Ráez G., «Mejora continua de la calidad en los procesos,» *Industrial Data*, vol. 6, nº 1, pp. 89-94, 2003.
- [5] R. Gonzales Lovón y J. Cevallos Ampuero, «Modelo de gestión con calidad de procesos y tecnología para la mejora del servicio aplicando ecuaciones estructurales,» *Industrial Data*, vol. 25, nº 1, pp. 157-179, 2022.
- [6] L. D. Martin, S. E. Rampersad, D. K. Low y M. A. Reed, «Mejoramiento de los procesos en el quirófano mediante la aplicación de la metodología Lean de Toyota,» *Revista Colombiana de Anestesiología*, vol. 42, nº 3, pp. 220-228, 2014.
- [7] F. J. Duque-Aldaz, J. P. Fierro Aguilar, H. A. Pérez Benítez y G. W. Tobar Farias, «Afectación del ruido ambiental a Instituciones



Educativas; conjunto de acciones desde la Participación Ciudadana y Centros Educativos,» *Journal of Science and Research*, vol. 8, nº 2, p. 29–48, 2023.

- [8] M. S. Carrillo-Landazábal, C. G. Alvis-Ruiz, Y. Y. Mendoza-Álvarez y H. E. Cohen-Padilla, «Lean manufacturing: 5 s y TPM, herramientas de mejora de la calidad. Caso empresa metalmecánica en Cartagena, Colombia,» *Signos*, vol. 11, nº 1, pp. 71-86, 2021.
- [9] J. Ortiz Porras, J. Salas Bacalla y L. Huayanay Palma, «Modelo de gestión para la aplicación de herramientas Lean Manufacturing para la mejora de la productividad en una empresa de confección de ropa antiflama de Lima - Perú,» *Industrial Data*, vol. 25, nº 1, pp. 103-135, 2022.
- [10] J. E. Pincay Moran, J. F. Ramírez Salcan, A. F. López Vargas, F. J. Duque-Aldaz, W. Villamagua Castillo y R. Sánchez Casanova, «Evaluation and Proposal for an Environmental Management System in a Mango Plantation,» *INQUIDE*, vol. 7, nº 1, p. 23–34, 2025.
- [11] A. V. Marín-Calderón, M. Valenzuela-Galván, G. Cuamea-Cruz y A. Brau-Ávila, «Aplicación de la metodología Lean Six Sigma para disminuir desperdicios en una unidad de fabricación de paneles modulares de poliestireno,» *Ingeniería, investigación y tecnología*, vol. 24, nº 1, p. e1984, 2023.
- [12] V. E. García Casas, F. J. Duque-Aldaz y M. Cárdenas Calle, «Diseño de un plan de buenas prácticas de manufactura para las cabañas restaurantes en el cantón General Villamil Playas,» *Revista De Investigación E Innovación*, vol. 8, nº 4, p. 58–76, 2023.
- [13] E. Alexander Piñero, F. E. Vivas Vivas y L. K. Flores de Valga, «Programa 5S's para el mejoramiento continuo de la calidad y la productividad en los puestos de trabajo,» *Ingeniería Industrial. Actualidad y Nuevas Tendencias*, vol. 6, nº 20, pp. 99-110, 2018.
- [14] F. J. Figueredo Lugo, «Aplicación de la filosofía Lean Manufacturing en un proceso de producción de concreto,» *Ingeniería Industrial. Actualidad y Nuevas Tendencias*, vol. 4, nº 15, pp. 7-24, 2015.
- [15] J. Martínez, «INGENIERÍA DE GESTIÓN DE CALIDAD POR PROCESOS Y LA MEJORA CONTINUA APLICADA A LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE LAS ORGANIZACIONES EMPRESARIALES COMPLEJAS,» *Scientia. Revista de Investigación de la Universidad de Panamá*, vol. 30, nº 2, pp. 68-95, 2020.
- [16] G. J. Morochó Choca, L. Á. Bucheli Carpio y F. J. Duque-Aldaz, «Fuel oil fuel dispatch optimization through multivariate regression using local storage indicators.,» *INQUIDE*, vol. 6, nº 2, p. 41–48, 2024.
- [17] D. Febles Pérez, Y. Trujillo Casañola y A. Mendoza Garnache, «Oportunidades de mejora al proceso de aseguramiento de la calidad del proceso y el producto,» *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, vol. 16, nº 1, pp. 46-61, 2022.
- [18] H. I. Ticona Gregorio, «Aplicación de Lean Six Sigma para mejorar el subproceso de reparación de averías en enlaces de comunicaciones,» *Industrial Data*, vol. 25, nº 1, pp. 205-228, 2022.
- [19] O. Celis-Gracia, J. L. García-Alcaraz, F. J. Estrada-Orantes, L. Avelar-Sosa, N. G. Alba-Baena y F. Hermosillo-Villalobos, «Reduction of Setup Times in a Metal Fabrication Company Using a Lean-Sigma Approach,» *UTE*, vol. 15, nº 3, pp. 41-48, 2024.
- [20] F. J. Duque Aldaz, F. R. Rodríguez-Flores y J. Carmona Tapia, «Identificación de parámetros en sistemas ecuaciones diferenciales ordinarias mediante el uso de redes neuronales artificiales,» *Revista San Gregorio*, vol. 1, nº 2, p. 15–23, 2025.
- [21] E. G. Satolo, G. A. Ussuna y P. A. B. Mac-Lean, «Lean Six Sigma Tools for Efficient Milking Processes in Small-Scale Dairy Farms,» *Ingeniería e Investigación*, vol. 43, nº 3, 2023.

- [22] O. L. Fajardo Cueva, «Reducción de las paradas de planta aplicando el mapeo de la cadena de valor (VSM) y cambios rápidos (SMED) de la metodología Lean Manufacturing,» *Industrial Data*, vol. 27, nº 1, pp. 25-39, 2024.
- [23] J. A. Farfán Jiménez, «LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO REDUCE LOS TIEMPOS DE ATENCIÓN EN LOS PROCESOS APLICABLES A LA VENTANILLA ÚNICA DE TURISMO EN LA MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DEL CALLAO,» *Industrial Data*, vol. 23, nº 2, 2020.
- [24] F. J. Duque-Aldaz, E. R. Haymacaña Moreno, L. A. Zapata Aspiazu y F. Carrasco Choque, «Prediction of moisture content in the cocoa drying process by simple linear regression.,» *INQUIDE*, vol. 6, nº 2, pp. 20-30, 2024.
- [25] Y. Torres-Medina, «El análisis del error humano en la manufactura: un elemento clave para mejorar la calidad de la producción,» *Revista UIS Ingenierías*, vol. 19, nº 4, pp. 53-62, 2020.
- [26] N. Canahua Apaza, «Implementación de la metodología TPM-Lean Manufacturing para mejorar la eficiencia general de los equipos (OEE) en la producción de repuestos en una empresa metalmecánica,» *Industrial Data*, vol. 24, nº 1, 2021.
- [27] F. Duque-Aldaz, E. Pazán Gómez, W. Villamagua Castillo y A. López Vargas, «Sistema de gestión de seguridad y salud ocupacional según ISO:45001 en laboratorio cosmético y natural,,» *Revista Científica Ciencia Y Tecnología*, vol. 24, nº 41, 2024.
- [28] M. E. Uribe Macias, «Propuesta del proceso de aplicación de administración estratégica para las pymes,» *Pensamiento & Gestión*, nº 51, pp. 15-53, 2021.
- [29] Y. Torres, S. Nadeau y K. Landau, «Classification and Quantification of Human Error in Manufacturing: A Case Study in Complex Manual Assembly,» *Applied Sciences*, vol. 11, nº 2, p. 749, 2021.
- [30] A. Prashar, «Redesigning an assembly line through Lean-Kaizen: an Indian case,» *The TQM Journal*, vol. 26, nº 5, pp. 475-498, 2014.
- [31] M. Alnasheet, «Improvement of a Manual Assembly Process Using Lean Six Sigma: A Case Study on a Railway Modular Cabin at BFG International,» Alnasheet, Maryam (2023). Improvement of a Manual Assembly Process Using Lean Six Sigma: AAmerican University of Bahrain, 2023.
- [32] K. Soderquist y J. Motwani, «Quality issues in lean production implementation: A case study of a French automotive supplier,» *Total Quality Management*, vol. 10, nº 8, 1999.



8. Anexos (Únicamente en caso de que existan)

Tabla 1.- Distribución Semanal de Defectos en el Proceso de Ensamble – Datos Originales

Semana	Uso incorrecto de herramientas especializadas (unidades)	Falta de lubricación en piezas móviles (unidades)	Errores en el cableado eléctrico (unidades)	Desalineación de puertas y cajones (unidades)	Falta de componentes en el ensamble final (unidades)	Soldaduras o fijaciones deficientes (unidades)	Montaje incorrecto de accesorios (unidades)	Defectos por manipulación inadecuada de materiales (unidades)	Producción total rechazada (unidades)
junio 1-7	11	19	10	36	26	26	123	151	402
junio 8-15	21	17	33	54	15	23	125	158	446
junio 16-22	0	16	23	45	40	25	126	162	437
junio 23-30	16	13	5	40	45	29	125	155	428
julio 1-7	4	19	24	45	27	22	116	150	407
julio 8-15	27	20	25	0	20	28	127	156	403
julio 16-22	27	14	29	65	29	24	113	120	421
julio 23-30	20	15	20	38	40	118	131	163	545
Agosto 1-7	23	15	24	0	45	15	109	143	374
Agosto 8-15	21	13	28	65	114	15	170	188	614
Agosto 16-22	21	13	25	6	27	0	117	145	354
Agosto 23-30	0	19	25	18	20	13	149	184	428
Septiembre 1-7	0	14	30	19	21	0	142	159	385
Septiembre 8-15	55	12	20	0	15	0	124	143	369
Septiembre 16-22	14	19	30	40	29	0	134	166	432
Septiembre 23-30	16	17	29	23	22	265	126	143	641
Octubre 1-7	19	14	27	28	21	132	170	182	593
Octubre 8-15	19	16	25	21	26	0	140	169	416
Octubre 16-22	20	19	22	23	21	0	141	170	416
Octubre 23-30	14	150	20	20	30	0	164	182	580
Total de errores por criterio	348	454	474	586	633	735	2672	3189	9091

Tabla 2 .- Distribución Semanal de Defectos con Aplicación de Mejora Progresiva.

Reducción porcentaje de error	Semana	Uso incorrecto de herramientas especializadas (unidades)	Falta de lubricación en piezas móviles (unidades)	Errores en el cableado eléctrico (unidades)	Desalineación de puertas y cajones (unidades)	Falta de componentes en el ensamble final (unidades)	Soldaduras o fijaciones deficientes (unidades)	Montaje incorrecto de accesorios (unidades)	Defectos por manipulación inadecuada de materiales (unidades)	Producción total rechazada (unidades)
1.5 %	junio 1-7	10	18	9	35	25	25	121	148	391
1.5 %	junio 8-15	20	16	32	53	14	22	123	155	435
1.5 %	junio 16-22	0	15	22	44	39	24	124	159	427
1.5 %	junio 23-30	15	12	4	39	44	28	123	152	417
2 %	julio 1-7	3	18	23	44	26	21	113	147	395
2 %	julio 8-15	26	19	24	0	19	27	124	152	391
2 %	julio 16-22	26	13	28	63	28	23	110	117	408
2 %	julio 23-30	19	14	19	37	39	115	128	159	530



2 %	Agosto 1-7	22	14	23	0	44	14	106	140	363
2 %	Agosto 8-15	20	12	27	63	111	14	166	184	597
2 %	Agosto 16-22	20	12	24	5	26	0	114	142	343
2 %	Agosto 23-30	0	18	24	17	19	12	146	180	416
3 %	Septiembre 1-7	0	13	29	18	20	0	137	154	371
3 %	Septiembre 8-15	53	11	19	0	14	0	120	138	355
3 %	Septiembre 16-22	13	18	29	38	28	0	129	161	416
3 %	Septiembre 23-30	15	16	28	22	21	257	122	138	619
3 %	Octubre 1-7	18	13	26	27	20	128	164	176	572
4 %	Octubre 8-15	18	15	24	20	25	0	135	163	400
4 %	Octubre 16-22	19	18	21	22	20	0	136	164	400
4 %	Octubre 23-30	13	145	19	19	29	0	159	176	560
	Total de errores por criterio	330	430	454	566	611	710	2600	3105	8806

Tabla 3.- Análisis de Frecuencia de Defectos en el Proceso de Ensamble – Datos Originales.

Defectos	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta acumulada	Frecuencia relativa	Frecuencia relativa acumulada
Manipulación inadecuada de materiales (unidades)	3189	3189	35,08%	35%
Montaje incorrecto de accesorios (unidades)	2672	5861	29,39%	64%
Soldaduras o fijaciones deficientes (unidades)	735	6596	8,08%	73%
Falta de componentes en el ensamble final (unidades)	633	7229	6,96%	80%
Desalineación de puertas y cajones (unidades)	586	7815	6,45%	86%
Errores en el cableado eléctrico (unidades)	474	8289	5,21%	91%
Falta de lubricación en piezas móviles (unidades)	454	8743	4,99%	96%
Uso incorrecto de herramientas especializadas (unidades)	348	9091	3,83%	100%

Tabla 4.- Análisis de Frecuencia de Defectos con Reducción Progresiva.

Defectos	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta acumulada	Frecuencia relativa	Frecuencia relativa acumulada
Manipulación inadecuada de materiales (unidades)	3101	3101	35,26%	35%
Montaje incorrecto de accesorios (unidades)	2596	5697	29,52%	65%
Soldaduras o fijaciones deficientes (unidades)	710	6407	8,07%	73%
Falta de componentes en el ensamble final (unidades)	609	7016	6,92%	80%
Desalineación de puertas y cajones (unidades)	566	7582	6,44%	86%
Errores en el cableado eléctrico (unidades)	454	8036	5,16%	91%
Falta de lubricación en piezas móviles (unidades)	429	8465	4,88%	96%
Uso incorrecto de herramientas especializadas (unidades)	330	8795	3,75%	100%



Tabla 5.- Indicadores de Desempeño Productivo Semanal en el Proceso de Ensamble – Datos Originales.

Semana	Producción total rechazada (unidades)	Producción Aceptada (unidades)	Producción Total (unidades)	Tasa de Rechazo de Producción = Producción rechazada / Producción Total (%)	Tasa de Aceptación de Producción = Producción Aceptada / Producción Total (%)	Índice de Aceptación = producción aceptada / producción rechazada	Índice de Rechazo = producción rechazada / producción aceptada
junio 1-7	402	5771	6173	6,5%	93,5%	14,36	0,07
junio 8-15	446	5650	6096	7,3%	92,7%	12,67	0,08
junio 16-22	437	7336	7773	5,6%	94,4%	16,79	0,06
junio 23-30	428	5308	5736	7,5%	92,5%	12,40	0,08
julio 1-7	407	3827	4234	9,6%	90,4%	9,40	0,11
julio 8-15	403	2595	2998	13,4%	86,6%	6,44	0,16
julio 16-22	421	3314	3735	11,3%	88,7%	7,87	0,13
julio 23-30	545	4493	5038	10,8%	89,2%	8,24	0,12
Agosto 1-7	374	1984	2358	15,9%	84,1%	5,30	0,19
Agosto 8-15	614	4732	5346	11,5%	88,5%	7,71	0,13
Agosto 16-22	354	7294	7648	4,6%	95,4%	20,60	0,05
Agosto 23-30	428	7660	8088	5,3%	94,7%	17,90	0,06
Septiembre 1-7	385	3814	4199	9,2%	90,8%	9,91	0,10
Septiembre 8-15	369	7703	8072	4,6%	95,4%	20,88	0,05
Septiembre 16-22	432	7165	7597	5,7%	94,3%	16,59	0,06
Septiembre 23-30	641	4903	5544	11,6%	88,4%	7,65	0,13
Octubre 1-7	593	5087	5680	10,4%	89,6%	8,58	0,12
Octubre 8-15	416	5781	6197	6,7%	93,3%	13,90	0,07
Octubre 16-22	416	2789	3205	13,0%	87,0%	6,70	0,15
Octubre 23-30	580	6714	7294	8,0%	92,0%	11,58	0,09
Total de errores por criterio	9091	103920	113011				

Tabla 6.- Indicadores de Desempeño Productivo Semanal con Mejora Progresiva en el Control de Defectos.

Reducción porcentaje de error	Semana	Producción total rechazada (unidades)	Producción Aceptada (unidades)	Producción Total (unidades)	Tasa de Rechazo de Producción = Producción rechazada / Producción Total (%)	Tasa de Aceptación de Producción = Producción Aceptada / Producción Total (%)	Índice de Aceptación = producción aceptada / producción rechazada	Índice de Rechazo = producción rechazada / producción aceptada
1.5 %	junio 1-7	391	5782	6173	6,3%	93,7%	14,79	0,07
1.5 %	junio 8-15	435	5661	6096	7,1%	92,9%	13,01	0,08
1.5 %	junio 16-22	427	7346	7773	5,5%	94,5%	17,20	0,06
1.5 %	junio 23-30	417	5319	5736	7,3%	92,7%	12,76	0,08
2 %	julio 1-7	395	3839	4234	9,3%	90,7%	9,72	0,10
2 %	julio 8-15	391	2607	2998	13,0%	87,0%	6,67	0,15
2 %	julio 16-22	408	3327	3735	10,9%	89,1%	8,15	0,12
2 %	julio 23-30	530	4508	5038	10,5%	89,5%	8,51	0,12
2 %	Agosto 1-7	363	1995	2358	15,4%	84,6%	5,50	0,18



2 %	Agosto 8-15	597	4749	5346	11,2%	88,8%	7,95	0,13
2 %	Agosto 16-22	343	7305	7648	4,5%	95,5%	21,30	0,05
2 %	Agosto 23-30	416	7672	8088	5,1%	94,9%	18,44	0,05
3 %	Septiembre 1-7	371	3828	4199	8,8%	91,2%	10,32	0,10
3 %	Septiembre 8-15	355	7717	8072	4,4%	95,6%	21,74	0,05
3 %	Septiembre 16-22	416	7181	7597	5,5%	94,5%	17,26	0,06
3 %	Septiembre 23-30	619	4925	5544	11,2%	88,8%	7,96	0,13
3 %	Octubre 1-7	572	5108	5680	10,1%	89,9%	8,93	0,11
4 %	Octubre 8-15	397	5800	6197	6,4%	93,6%	14,61	0,07
4 %	Octubre 16-22	398	2807	3205	12,4%	87,6%	7,05	0,14
4 %	Octubre 23-30	554	6740	7294	7,6%	92,4%	12,17	0,08
Total de errores por criterio		8795	104216	113011				