

Reducción de pérdidas en tratamiento de degradaciones de tubos de acero mediante la aplicación del Kobetsu-Kaizen

Reduction of losses in treatment of steel tube degradation through application of the Kobetsu-Kaizen

Kimberly Colls Romero, Jesús Rangel Pérez, Jadlyn González de Urquiola

Palabras clave: Kobetsu Kaizen, manufactura de clase mundial, reducción de pérdidas, tubos de acero

Key words: Kobetsu Kaizen, world class manufacturing, reduction of losses, steel tubes

RESUMEN

La investigación se centra en el sistema de dosificación de degradaciones de la laminadora en una empresa dedicada a la producción y comercialización de tubos de acero. Este sistema, diseñado para la extracción y desvío automático de la tubería no conforme, presentaba fallas que obligaban al retiro manual del material defectuoso, generando paradas de línea recurrentes. El objetivo principal fue reducir las pérdidas asociadas al tratamiento de degradaciones bajo el enfoque de Manufactura de Clase Mundial. Mediante la metodología Kobetsu Kaizen y herramientas como 5W+2H, los 5 ¿por qué? y el análisis DOFA, se determinó que las fallas de diseño causaban el 26,405% de las paradas, con un costo de 14,768 \$/TM. En búsqueda de un sistema "cero fallas", se implementaron acciones basadas en análisis estadístico, muestreo de trabajo y estudios ergonómicos. Los resultados muestran la eliminación total de las pérdidas por recolección de tubería no conforme y un aumento del 14,72% en la productividad. El tiempo de recuperación de la inversión fue de 11 días. Finalmente, se estandarizó el proceso mediante instructivos de Prácticas Seguras de Operación, manuales de uso y lecciones puntuales, asegurando la sostenibilidad de la mejora.

ABSTRACT

The research focuses on the defect disposal system of a steel tube rolling mill at a company that produces and sells steel pipes. This system, designed for the automatic extraction and diversion of non-conforming pipe, had flaws that necessitated manual removal of the defective material, resulting in recurring line stoppages. The main objective was to reduce the losses associated with defect disposal using a World-Class Manufacturing approach. Through the Kobetsu Kaizen methodology and tools such as 5W+2H, the 5 Whys, and SWOT analysis, it was determined that design flaws caused 26.405% of the stoppages, at a cost of \$14,768/MT. In pursuit of a "zero-defect" system, actions based on statistical analysis, work sampling, and ergonomic studies were implemented. The results show the complete elimination of losses due to non-conforming pipe collection and a 14.72% increase in productivity. The investment recovery time was 11 days. Finally, the process was standardized through Safe Operating Practices guidelines, user manuals, and specific lessons, ensuring the sustainability of the improvement.

INTRODUCCIÓN

Los procesos de globalización y la integración de mercados individuales, así como el desarrollo dinámico de la economía, representan un desafío para todas las organizaciones, las cuales deben optimizar sus procesos con el fin de ser competitivas (Wolska et al., 2023). En este contexto, es indispensable que las empresas usen eficientemente sus recursos, no solo para alcanzar una estabilidad operativa, sino también como una estrategia fundamental para incrementar la productividad, asegurando su rentabilidad y el crecimiento sostenible (Surya et al., 2024). Por lo tanto, las organizaciones líderes se enfocan en implementar marcos de gestión que les permita realizar cambios de los métodos tradicionales a sistemas altamente eficientes, donde se logre la reducción de costos y la mejora de procesos sin sacrificar el valor entregado al cliente (Amit, 2024).

Una de las metodologías más robustas para enfrentar estos desafíos es el Mantenimiento Productivo Total (MPT, o TPM, por sus siglas en inglés), que se describe como un enfoque táctico para reducir las pérdidas mayores en el sector manufacturero y mejorar la efectividad operativa (Sandeep et al., 2023). De acuerdo con Kumar et al. (2017), esta perspectiva japonesa, que fue creada por el *Japan Institute of Plant Maintenance* (JIPM), se ha vuelto indispensable en sectores que usan maquinarias de forma intensiva, ya que permite maximizar la disponibilidad de los equipos en mercados donde la la calidad y

el costo definen la competitividad de la empresa. En este sentido, Raj et al. (2017) destacan que el éxito del TPM está en establecer una cultura corporativa que tenga como propósito la “reducción a cero”: cero accidentes, cero defectos y cero averías. Este punto de vista es respaldado por Haider et al. (2023), quienes enfatizan que la participación activa de todos los empleados es clave para eliminar las causas raíz de las fallas. En este orden de ideas, una implementación exitosa del TPM tiene un impacto directo en el desempeño operativo y mejora la Efectividad Total del Equipo (OEE, por sus siglas en inglés), permitiendo alcanzar estándares de calidad más altos (Singh y Fentaw, 2023) y una mayor capacidad de respuesta en los fujos de producción (Kumar et al., 2022).

Dentro de los pilares del TPM, el Kobetsu Kaizen (o *Focused Improvement*) juega un papel importante, ya que está orientado a la eliminación sistemática de pérdidas e ineficiencias, y a la mejora continua de la fiabilidad y rendimiento de los equipos. De acuerdo con Wolska et al. (2023), el Kobetsu Kaizen implica la búsqueda constante de oportunidades para reducir los problemas que ocurren con las máquinas y dispositivos existentes, así como para encontrar maneras de mejorar la eficiencia y la calidad del trabajo; la clave es la colaboración constante entre los empleados de producción y mantenimiento, priorizando las pérdidas más importantes y eliminándolas eficazmente. El objetivo primordial del Kobetsu Kaizen es la

eliminación sistemática de las "16 grandes pérdidas" que afectan la OEE, permitiendo así la mejora del rendimiento de la planta (Raj et al., 2021). Al priorizar y erradicar las ineficiencias más significativas, el Kobetsu Kaizen se convierte en la herramienta clave para lograr la certificación de Manufactura de Clase Mundial (Kumar et al., 2017).

Existen muchas investigaciones que confirman que la mejora focalizada es viable en las industrias. Estos estudios sirven de referencia para comprender cómo al aplicar el TPM y sus pilares (como el Kobetsu Kaizen) se pueden transformar procesos ineficientes en operaciones eficientes. En este sentido, Alvarez Divizzia (2021) realizó una investigación con el propósito de incrementar la eficiencia operacional en una línea de envasado de tomate, mediante la metodología Kobetsu Kaizen. A partir de sus resultados se evidencia que la eliminación sistemática de pérdidas, con base en herramientas de análisis de fallas, aumenta la productividad de la organización, destacando que la mejora focalizada es una excelente herramienta.

Asimismo, Bernal Forero y Parra Cárdenas (2020) proponen que la gestión integral bajo el enfoque TPM garantiza que las mejoras técnicas se mantengan a largo plazo mediante la participación activa del personal. En su estudio sobre una planta de ensamblaje, concluyen que realizar un diagnóstico precisa, junto con el establecimiento de prioridades en las acciones correctivas, constituye el primer paso para reducir las paradas no programadas. Estos antecedentes

establecen un referente práctico para abordar problemas similares en el sector metalmecánico.

Considerando la efectividad de las mejoras focalizadas, Industrias Unicon, C.A., líder en la producción de tubos de acero con costura ERW del grupo ArcelorMittal, se trazó desde el año 2011 la meta de alcanzar la certificación MCM. Bajo este enfoque, la organización ha concentrado sus esfuerzos en erradicar las pérdidas y, tras un análisis de las ineficiencias existentes en sus procesos, se identificó a la laminadora 09, como un foco principal que estaba ocasionando pérdidas a la empresa. Específicamente, el sistema de dosificación de degradaciones (tubería de 2da, 3era y 4ta calidad) presentaba fallas críticas de equipo y diseño, lo cual llevó a la empresa a improvisar una cuna que, por limitaciones de espacio y deficiencias en el diseño, tiene una capacidad inferior a la cantidad de tubos degradados por turno. Esto provocaba cuellos de botella, con una duración de 30-40 minutos aproximadamente, para extraer las degradaciones de forma segura; además de esto, se tuvo que disminuir la velocidad de la línea con el fin de identificar los tubos que venían con defectos, para dosificarlos y separarlos de los tubos de 1era calidad. Esta situación ha representado un problema de impacto negativo en la productividad ya que las paradas no programadas se tradujeron en pérdidas de \$556.471,78, en un período de tres años.

De no corregirse estas deficiencias en el sistema de dosificación, la persistencia de paradas no programada y soluciones

improvisadas alejarían a la organización de sus metas de eficiencia global y, por consiguiente, representaría un obstáculo para alcanzar su certificación MCM. Por todo lo anteriormente expuesto, surgió la necesidad de realizar un análisis que permitiera establecer propuestas para solventar las problemáticas en cuanto a los métodos actuales para manejar las

degradaciones. En este sentido, el objetivo de la presente investigación se basa en reducir las pérdidas asociadas al tratamiento actual para las degradaciones de la laminadora 09 de la Planta de Producción Productos Livianos, P-3, de Industrias Unicon, C.A. bajo el enfoque Manufactura de Clase Mundial.

METODOLOGÍA

El presente trabajo siguió la modalidad de proyecto factible, como lo describe UPEL (2016), donde se desarrollaron propuestas correctivas, preventivas y de mejora para la erradicación de las pérdidas del tipo “falla de equipos” en Industrias Unicon, C.A. La investigación es de tipo descriptiva, con diseño de campo, no experimental, de acuerdo con la definición de Martínez Fuentes, y Vivas Escalante (2022). Como fuente de observación primaria se realizaron observaciones directas y entrevistas no estructuradas al personal involucrado en la línea de producción. Debido al uso de la metodología Kobetsu Kaizen, se llevaron a cabo reuniones planificadas, en las cuales fue necesario que los integrantes del trabajo, en presencia de personal capacitado de la empresa, aportaran datos pertinentes sobre la problemática. Fue establecida como fuente secundaria, los registros históricos proporcionados por la empresa para la cuantificación de minutos de parada en la línea de producción y otros datos de interés.

Con el fin de analizar los datos referentes a variables que requerían un estudio estadístico en los equipos de la línea de producción seleccionada, se realizaron modelos de regresión que permitieron proyectar y analizar el comportamiento de los datos como: velocidad de la línea de producción, tiempo de recorrido del tubo y distancia entre tubos.

La investigación se desarrolló en cuatro fases:

Fase I. Estudio de la situación actual del área de empaquetado de la laminadora 09: en esta fase, se cuantificaron los minutos de parada generados en la laminadora 09 durante un período de tres años, los cuales fueron analizados por el método de selección de los proyectos de Mejora Focalizada para la erradicación de pérdidas. Se establecieron los KPI's (*Key Performance Indicators* – Indicadores Clave de Rendimiento), para el análisis del nivel de pérdida. Se realizó un análisis crítico comenzando por la aplicación de la técnica 5W+2H y la técnica de los 5 ¿por qué?, mediante la cual se obtuvieron las causas raíces de las deficiencias que presentaba el

sistema de dosificación de degradaciones. Con la información obtenida, se realizó una matriz DOFA mediante el análisis de todos los subequipos y procesos que intervenían en el sistema.

Fase II. Desarrollo de propuestas correctivas, preventivas y de mejora bajo la metodología Kobetsu Kaizen: se desarrollaron las propuestas de solución a las causas raíces (propuestas correctivas). Luego, se realizó un diagrama de fases, en el cual, se establecieron las condiciones en las que debía encontrarse cada componente durante la ejecución de cada evento a lo largo del proceso de dosificación de degradaciones propuesto para proyectar el funcionamiento adecuado del sistema según lo diseñado. Posteriormente, se realizó un estudio preventivo, con el objetivo de anticiparse a toda posibilidad de falla que pudiese generarse al momento en que el sistema de dosificación de degradaciones propuesto estuviera operativo. Con la información desarrollada, se establecieron las propuestas preventivas. Posteriormente, se diseñaron propuestas de mejora que permitirían hacer uso seguro y eficiente del sistema de dosificación de degradaciones y del espacio.

Fase III. Evaluación técnico - económica de las propuestas establecidas: se consideró el costo total de la inversión mediante los montos asociados a las propuestas

individuales, así como también, la evaluación de los beneficios potenciales por la implementación de las propuestas y la factibilidad a través del Tiempo de Recuperación de la Inversión (TRI). Luego de la evaluación económica, se priorizaron las mejoras mediante la metodología del puntaje ICE, cuyas siglas significan: Impacto, Costo, Facilidad, la cual permite jerarquizar las acciones de mejora según su viabilidad y retorno (Industrias Unicon, 2015) para definir la ruta lógica en un diagrama de precedencias.

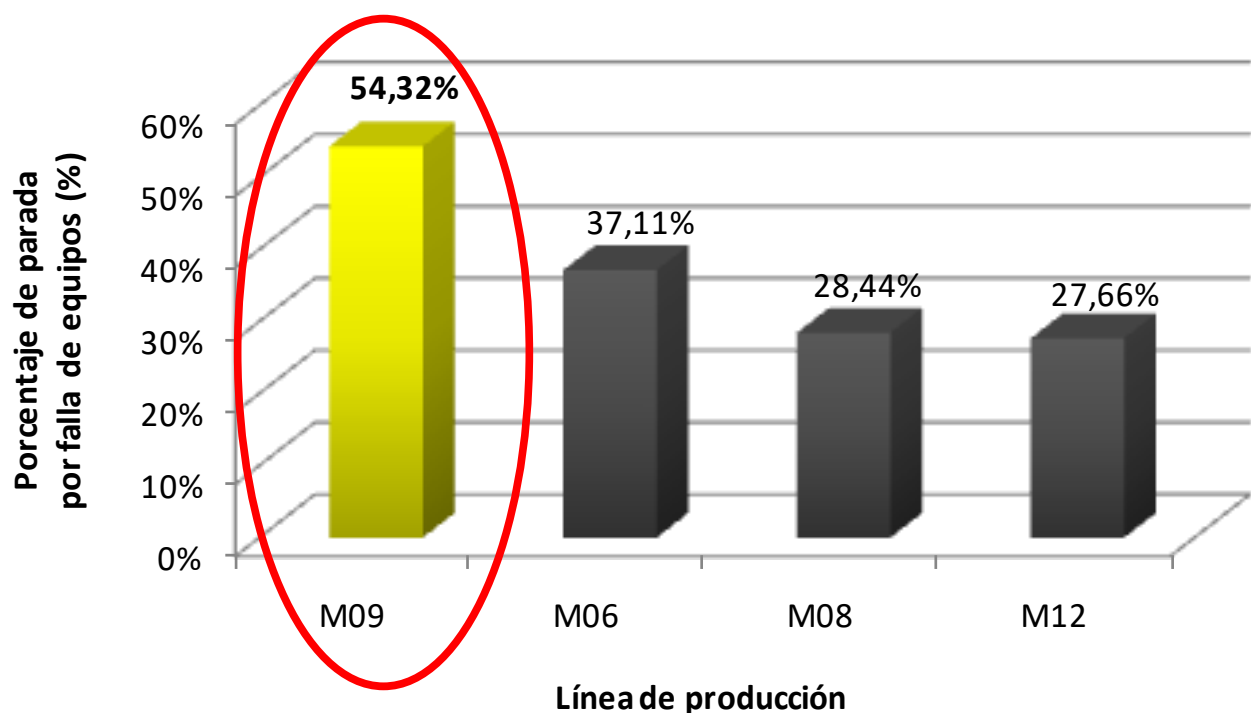
Fase IV. Ejecución de las propuestas según el orden establecido por el puntaje ICE, estableciendo de igual forma, las estandarizaciones, lecciones puntuales y Prácticas Seguras de Operación (PSO) que aseguren la armonía en el puesto de trabajo: esta fase consistió en implementar las propuestas según la priorización obtenida como resultado de la aplicación del puntaje ICE. La ejecución de dichas acciones, fue desarrollada en un lapso de dos (2) meses. Se cuantificaron los resultados derivados a la implementación realizada mediante los KPI's, indicadores técnicos y económicos, a fin de verificar el cumplimiento de los objetivos y metas establecidos. Se desarrollaron acciones de estandarización, entrenamiento al personal, PSO y lecciones puntuales, tal cual la MCM lo exige.

RESULTADOS

Para el análisis de la situación actual, se comenzó por la aplicación el método de selección de proyectos de Mejora Focalizada para la erradicación de pérdidas. Mediante el levantamiento de

diagramas de Pareto del porcentaje de parada de todas las líneas de producción, se determinó que en la laminadora 09 se concentra un 54,32% de paradas, como se muestra en la figura 1.

Figura 1. Nivel I: Porcentaje de parada por línea de producción para la pérdida “falta de equipo” en la empresa



Al observar el detalle de los equipos presentes en la laminadora 09, se evidencia que el 61,32% de las paradas por falla de equipo estaba asociado al área de empaquetado (Ver figura 2). Además, se detecta, de acuerdo con la figura 3, que el

79,27% de las causas de paradas del área de empaquetado eran para recoger las degradaciones, debido a las ineficiencias en el sistema de dosificación de tubería degradada.

Figura 2. Nivel II: Porcentaje de parada por equipo para el tipo de pérdida "falta de equipos" en la Laminadora 09

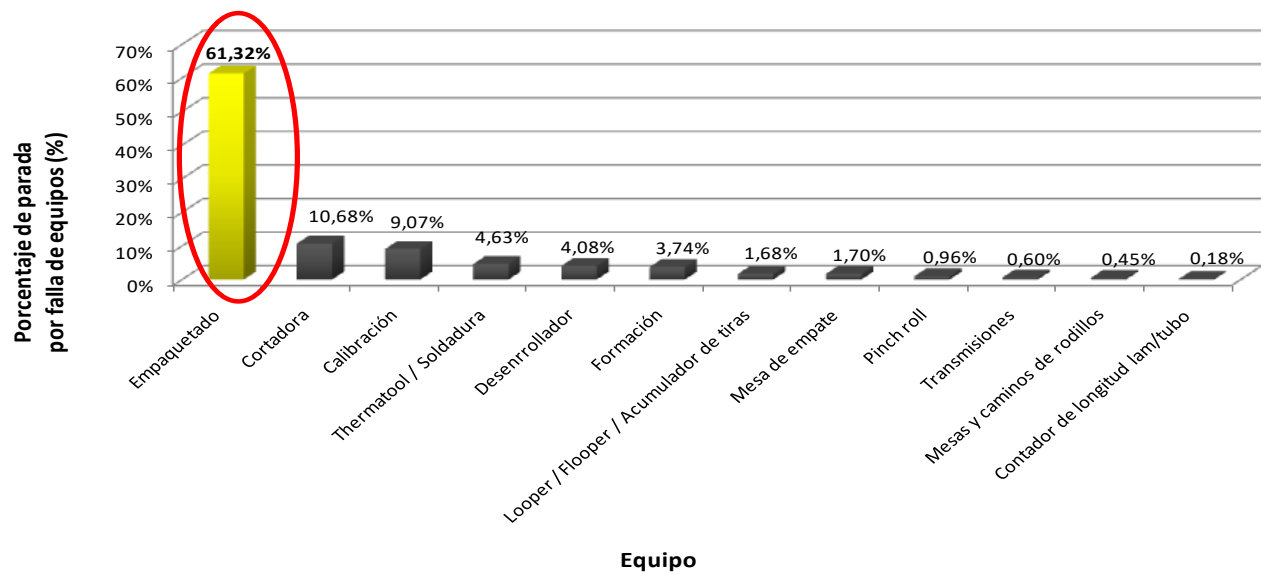
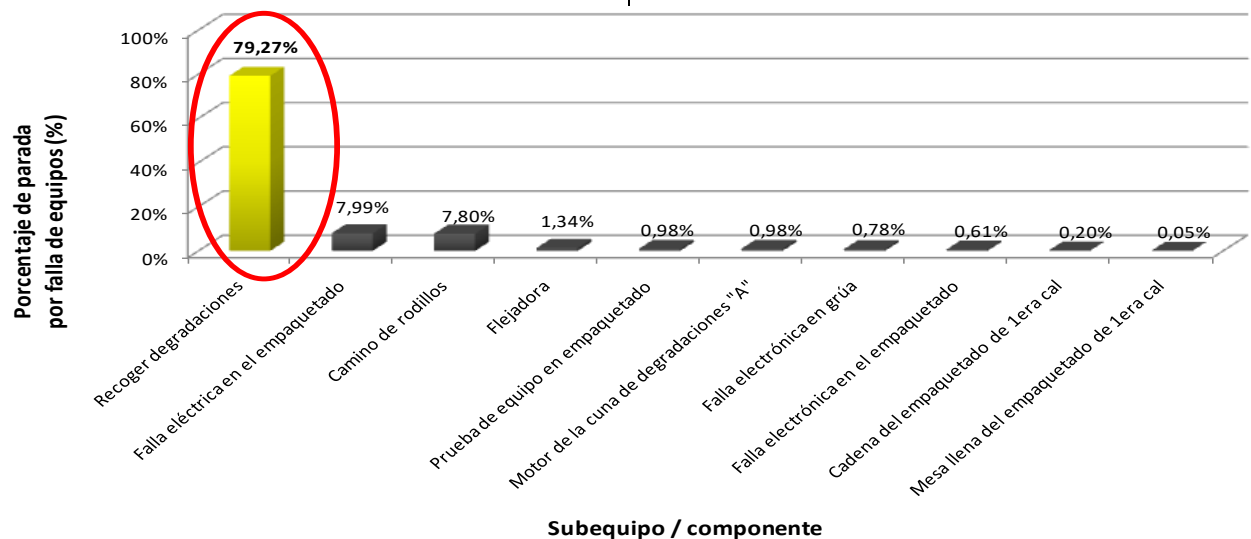


Figura 3. Nivel III: Porcentaje de parada por componente de "falta de equipo" en el área de Empaquetado de la Laminadora 09



Para cuantificar el nivel de pérdida asociada a la actividad manual de recoger degradaciones, se utilizaron indicadores, cuyos valores fueron: Porcentaje de parada = 26,405% y Tiempo Medio entre Interrupciones (MTBI) igual a 5,098 horas.

Dentro del pilar Kobetsu Kaizen, el éxito de la mejora depende de definir correctamente problema (Alvarez Divizzia, 2021). Por ello se debe realizar una "descripción del fenómeno", para lo cual la técnica 5W+2H resulta esencial. Esta herramienta permite

que una situación compleja se pueda desglosar en partes más simples, evitando suposiciones y basándose en hechos observables. Siguiendo esta metodología, una vez que se identificaron y cuantificaron

las pérdidas, se describe el fenómeno en estudio mediante la técnica 5W+2H y el funcionamiento actual del componente crítico seleccionado (ver tabla 1).

Tabla 1. *Aplicación de la técnica 5W + 2H*

Interrogante	Descripción
1. ¿Qué?	Los tubos degradados son dosificados de manera no eficaz de la línea de producción, y por esto, se presentan choques entre tubos y contra la estructura.
2. ¿Quién?	Empaquetadores de M09, cortadora, campanas, dosificadores y, la calidad del producto.
3. ¿Dónde?	En el sistema de dosificación de degradaciones a la salida de la cortadora de M09.
4. ¿Cuándo?	Al momento de dosificar las degradaciones de la línea de producción.
5. ¿Por qué?	Ya que el sistema de dosificación de degradaciones a la salida de la cortadora presenta fallas de equipo desconocidas que no permiten su correcto funcionamiento, actualmente se utiliza el sistema ubicado en el área de empaquetado de 1 ^{era} calidad, el cual, cuenta con una cuna para las degradaciones que, por limitaciones de espacio, posee una capacidad inadecuada y, por lo tanto, se debe detener el proceso de producción, para retirar las degradaciones de forma segura.
6. ¿Cómo?	El diseño del sistema de dosificación no permite dosificar el tubo degradado, antes de que el siguiente tubo se posicione para la dosificación, además, para velocidades altas (mayores a 80 m/min), la dosificación no es eficaz.
7. ¿Frecuencia?	La cuna del sistema de dosificación de degradaciones en el área de empaquetado de 1 ^{era} calidad, alcanza su máxima capacidad aproximadamente dos veces por turno y, se debe detener el proceso de producción entre 20-30 minutos cada vez que ocurre este fenómeno.

Como se muestra en el análisis 5W+2H detallado en la tabla 1, la problemática observada en la Laminadora 09 representa un obstáculo para el flujo de la producción.

Aplicando la técnica de los 5 ¿por qué? (véase tabla 2) se procede a la identificación de las causas raíces que generaban las fallas.

Tabla 2. *Aplicación de la técnica de los cinco ¿por qué?*

¿Por qué?	¿Por qué?	¿Por qué?	¿Por qué?	¿Por qué?
Los tubos chocan al momento de ser dosificados de la línea de producción, para diferentes velocidades de línea.	La sincronización del sistema de dosificación de degradaciones se realiza de manera temporizada.	-	-	-
Para velocidades mayores a 80 m/min de la línea de producción, el tubo no es levantado de manera uniforme.	El punto de dosificación de los tubos degradados no es constante para todas las velocidades.	La sincronización del sistema de dosificación de degradaciones es temporizada.	-	-
El tubo siguiente al que está siendo dosificado, choca contra los dosificadores.	Las dimensiones del perfil de los dosificadores no permiten la dosificación continua.	-	-	-
El tubo queda atrapado en la línea de producción al momento de ser dosificado.	La estructura del sensor posee un área superior excesiva	-	-	-

Es importante destacar que la programación temporizada sería válida para un sistema de dosificación cuya velocidad de línea fuese constante o con pequeñas variaciones; sin embargo, siendo este el caso en el cual las velocidades fluctúan para rangos grandes (65 m/min – 150 m/min), esto no es efectivo ya que los parámetros de dosificación no se comportan igual y generan que, el punto de dosificación de los tubos, sea diferente en cada velocidad entre el punto de dosificación deseado y el real.

Mediante esta técnica, se obtuvo que la ineficiencia del sistema es causada por una sincronización que no permite que, independientemente de la velocidad de línea, el tubo se posicione en un punto en el cual sea segura su expulsión —sin

posibilidad de choques entre tubos y contra la estructura—. Además, el perfil de los dosificadores impide el flujo continuo de los tubos en esta área, así como el borde excesivo del área superior del sensor inductivo del sistema. En este punto, se identificó la ausencia del motoreductor del sistema debido a fallas en el mismo.

Posteriormente, se realizó un análisis FODA (Tabla 3) de lo cual se pueden generar estrategias como: la integración del equipo rotopulser al sistema, por ser ideal para la ubicación de la falla, indiferentemente de la velocidad de la laminadora; además de que se reservaría materia prima para la ejecución posterior de pruebas y se solicitaría apoyo al personal eléctrico y de mecánica.

Tabla 3. Matriz FODA del sistema de dosificación de degradaciones en la Laminadora 09

FORTALEZAS	DEBILIDADES
1. La detección de la falla es realizada de manera automática por el NDT. 2. El sistema cuenta con una cantidad adecuada de dosificadores que proporcionan un levantamiento estable de la tubería si está distribuido de forma equitativa. 3. El motor presente (21 rpm), cuenta con las condiciones adecuadas para dosificar la tubería degradada. 4. La mesa de acumulación de degradaciones es de fácil acceso. 5. La laminadora 09 posee actualmente un nivel de producción estable.	1. La sincronización del sistema es temporizada desde que el NDT detecta la falla, lo cual genera que la dosificación no sea efectiva para todas las velocidades de la máquina. 2. Los dosificadores no poseen un perfil adecuado que permitan la dosificación continua. 3. Riesgo potencial por la cercanía existente entre el puesto de trabajo y la laminadora (área de 6 m²).
OPORTUNIDADES	AMENAZAS
1. Utilización del sub-equipó rotopulser para ubicar virtualmente el desplazamiento de la falla en la tubería. 2. Pueden ejecutarse proyectos Kaizen para la erradicación de pérdidas por seguridad y salud. 3. Se cuenta con un espacio potencial que puede permitir la clasificación inmediata de las degradaciones en el área de inspección. 4. La empresa tiene alta disposición para la ejecución de proyectos orientados a la consecución de los objetivos de la MCM.	1. Situación económica del país que limita las inversiones correspondientes al proyecto de gran impacto económico. 2. Altos tiempos de espera en la realización de pruebas del proyecto de mejora debido a que se paralice la máquina por falta de materia prima.

Diseño de propuestas

Luego del análisis realizado a la situación actual, el primer paso para lograr el funcionamiento efectivo del sistema, ha sido el desarrollar las propuestas correctivas a las causas raíces identificadas por la técnica de los cinco ¿por qué?, para, posteriormente, realizar las propuestas preventivas a modo de evitar o reducir cualquier posibilidad de falla del sistema diseñado y finalmente, establecer propuestas de mejora que aumenten la

efectividad del mismo, tal como lo propone el enfoque MCM.

Propuestas correctivas

Propuesta correctiva 1: adecuación del perfil de los dosificadores. Mediante un estudio del tiempo de giro de los dosificadores hasta una posición de 30° que permita el paso continuo entre tubos mientras que se dosifica, se identificó la necesidad de la disminución del grosor de los dosificadores aproximadamente en un 70%, es decir, debe llevarse hasta 13 mm el ancho del perfil, mediante el cual, se

asegura que el dosificador aún tiene la fortaleza de expulsar tubos degradados de la línea de producción y que se obtiene un tiempo de giro menor.

Propuesta correctiva 2: diseño de la programación del sistema de dosificación de degradaciones. En concordancia con las estrategias generadas en la matriz DOFA, el cambio de programación temporizada a una que funcione independientemente de la velocidad de la línea de producción, es propuesta mediante la inclusión del equipo rotopulser al sistema de dosificación de degradaciones. Para estudiar las interacciones de los sub-equipos, se utilizó la representación gráfica de la secuencia de movimientos realizados por el sistema de dosificación mediante un diagrama de fases y con esto, construir la programación básica del sistema. El establecimiento del punto seguro y efectivo de dosificación, fue establecido mediante un estudio estadístico para el análisis del comportamiento del tiempo de separación entre tubos para las diferentes velocidades de línea de producción. Por la proyección realizada, se realizó un plan de prueba, cuya ejecución, permite determinar el punto real de dosificación efectivo del sistema.

Propuesta correctiva 3: reparación e instalación del motoreductor del sistema de dosificación de degradaciones. Según el personal de mantenimiento de la empresa, el motor presentó un cortocircuito, por tanto, requiere ser rebobinado. Esta operación, se propone que sea realizada por el personal de mantenimiento de la empresa; sin embargo, debe generarse una

solicitud para la adquisición de insumos para realizar el trabajo de rebobinado.

Propuesta correctiva N° 4: adecuación del área superior de la estructura del sensor inductivo. Para realizar la dosificación del tubo de forma estable, es necesario reducir la parte superior de la guarda protectora del sensor, a fin de evitar cualquier posibilidad de que el tubo degradado, al ser dosificado, quede estancado en la línea de producción.

Propuestas preventivas

La aplicación de la herramienta por qué – por qué, inicia con la afirmación de que el sistema de dosificación de degradaciones no realiza su función efectivamente, para luego, establecer las propuestas preventivas con el propósito de proteger el sistema de dosificación de cualquier irregularidad futura.

Propuesta preventiva 1: procedimiento para el apagado seguro del NDT. El apagado incorrecto del equipo NDT (Non Destructive Testing – Ensayo No Destructivo) el cual detecta las fallas presentes en la tubería en línea, se presenta debido a que el personal, con frecuencia, no conoce cómo realizar el procedimiento de manera adecuada por la constante rotación que existe entre las laminadoras. Debido a lo anterior, se realizó la estandarización del procedimiento para orientar a los operadores que les corresponda laborar en el área.

Propuesta preventiva 2: estándar de inspección para el contacto de las ruedas del rotopulser y el tubo en línea. Como medida preventiva ante posibles fallas de la emisión incorrecta de los pulsos por el

rotopulser, se realizó un estándar de inspección que oriente a los operadores para que verifiquen, según una frecuencia prudencial, si la palanca del sistema de ajuste se encuentra en la posición correcta, además de estandarizar esta acción para disminuir la cantidad de olvidos por los operadores y evitar que se produzcan errores en la línea de producción.

Propuesta preventiva 3: reemplazar el eje actual y realizar modificaciones al nuevo eje. El eje actual presenta deformaciones, por lo cual, el sistema de dosificación de degradaciones para altas velocidades (mayor a 80 m/min), no realiza un levantamiento uniforme de los tubos degradados al momento de expulsarlos de la línea de producción. En función a la reducción de costos, se plantea no comprar un eje a un ente externo, sino buscar material existente en la organización y adecuarlo a las condiciones que permitan una dosificación eficaz, para lo cual, fue diseñado un plano con las modificaciones al eje requeridas.

Propuesta preventiva 4: estándar de inspección para mantener el sensor en la posición adecuada. Para proteger el sistema de dosificación de posibles fallas por un giro erróneo de los dosificadores, se creó un estándar de inspección, que permitirá la revisión del sensor y de los actuadores y con esto, prevenir las irregularidades potenciales.

Propuesta preventiva 5: reducir el borde superior de la caja N° 1 de rodillos imantados. A modo de prevención para evitar cualquier desestabilización del sistema, se tiene como propuesta reducir el

borde superior de la caja de rodillos motorizados con la finalidad de evitar que el tubo cuando sea dosificado quede atrapado en la línea de producción y no permita el flujo continuo de la tubería, para lo cual, se diseñó un plano para realizar la reducción del 100 % del borde superior de la caja N° 1 de rodillos imantados.

Propuestas de mejora

Propuesta de mejora 1: cuna de clasificación de degradaciones anexa al área de dosificación. Mediante la matriz DOFA, surge la propuesta de realizar la clasificación de las degradaciones en el área donde las mismas serán dosificadas por existir un espacio potencial para el diseño. Se tiene como propuesta que el inspector realice la clasificación las degradaciones en la cuna diseñada, lo cual resultó ser factible al poseer el tiempo disponible, y fue determinado por un muestreo de trabajo que demostró que, en el caso más crítico (dosificación y clasificación de tubería con mayor velocidad (150 m/min)) se tendrían 48 minutos aproximadamente libres en esta situación. Se evaluaron las condiciones ergonómicas mediante el método REBA (*Rapid Entire Body Assessment*), obteniéndose un nivel de riesgo bajo, por lo cual no requiere acciones correctivas inmediatas (Diego-Mas, 2015).

Propuesta de mejora 2: herramienta para la medición de longitud del tubo. Con el sistema operativo al 100%, la tubería degradada sería acumulada sobre la mesa de inspección, en la que el operador mide la longitud del tubo con una cinta métrica, para lo cual, se dificulta realizar esta operación, requiriendo la colaboración de

otro operador. Se diseñó una escala anexa a la mesa de acumulación de degradaciones de forma tal que pueda obtenerse fácilmente mediante la gestión visual de la escala, la longitud de la tubería y si está en el rango aceptable por los estándares.

Propuesta de mejora 3: guarda protectora en el área de inspección. Debido a la cercanía del puesto de inspección con la laminadora y el área de dosificación de degradación, se diseñó una guarda protectora, para resguardar al trabajador ante cualquier incidente que se pueda presentar, además de que, permite

delimitar el contacto seguro del operador con la línea de producción.

Evaluación técnico-económica de las propuestas

En el diseño de las propuestas, se tuvo como prioridad utilizar materiales existentes y/o recuperables y mano de obra calificada de la empresa, por lo que, para la organización solo será un gasto efectivo real las modificaciones que se le deberán hacer al nuevo eje del sistema de dosificación. En la tabla 4, se muestra el resumen del costo de oportunidad correspondiente

Tabla 4. Resumen del costo de implementación de las propuestas

	Costos del sistema de dosificación de degradaciones cero fallas	Costo mano de obra (\$)	Costo de materiales (\$)	Costo total (\$)
PROPUESTAS CORRECTIVAS				
1	Adecuación del perfil de los dosificadores	272.50	-	272.50
2	Programación del sistema de dosificación de degradaciones	1,081.00	360.00	1,441.00
3	Reparación e instalación del motoreductor del sistema de dosificación de degradaciones	316.25	2,016.00	2,332.25
4	Adecuación del área superior de la estructura del sensor inductivo	161.00	-	161.00
			sub-total (\$)	4,206.75
Propuestas preventivas				
1	Procedimiento para el apagado seguro del NDT	70.50	-	70.50
2	Estándar de inspección para el contacto de las ruedas del rotopulser y el tubo en línea	28.00	-	0 28.00
3	Remplazar el eje actual y realizar modificaciones al nuevo eje	1,300.00	18,192.00	19,492.00
4	Estándar de inspección para mantener el sensor en la posición adecuada	28.00	-	28.00
5	Reducir el borde superior de las cajas de rodillos imantados	161.00	-	161.00
			sub-total (\$)	19,779.50
Propuestas de mejora				
1	Cuna de clasificación de degradaciones	5,085.00	76,571.97	81,656.97
2	Herramienta para la medición de longitud del tubo	118.50	3,022.06	3,140.56
3	Guarda protectora en el área de inspección	147.00	4,183.70	4,330.70
			sub-total (\$)	89,128.24
	Otros costos			5.000
			TOTAL (\$)	113,714.49

Por otra parte, el beneficio cuantitativo, es establecido como el ahorro potencial que se percibe por no presentar las paradas de línea para recoger degradaciones luego de haberse implementado las propuestas. Para el estudio, se tienen 511,05 min/mes, aproximadamente, asociados a recoger degradaciones mientras que, el costo de parada de esta laminadora, es de 602,69 \$/min, por lo que, el ahorro potencial corresponde a 308.004,07 \$/mes.

La evaluación de la factibilidad de la propuesta global, se realizó a través del tiempo de recuperación de la inversión (TRI), tomando para ello el costo total de la misma, entre el beneficio percibido como el ahorro mensual calculado anteriormente.

$TRI = (\text{Costo de la inversión}(\$/)) / \text{Beneficio}(\$/(\text{unidad de tiempo}))$

$= (113.714,49 \$) / (308.004,07 \$/\text{mes}) = 0,3672$ meses ≈ 11 días

Siendo el TRI considerablemente corto y además de considerar que, del monto total de inversión, solo el 2,3% fue gastado efectivamente por la empresa y el otro, 97,7% es costo de oportunidad, la empresa clasificó la propuesta global como factible económicamente por lo que, se procede a la fase de ejecución del proyecto mediante la implementación de todas las propuestas.

Establecimiento del orden de ejecución de las propuestas a través del puntaje ICE

Para la aplicación del puntaje ICE (Impacto – Costo – Facilidad) mostrado en la tabla 5, se tomó en consideración, la clasificación de cada propuesta, es decir, las propuestas correctivas tienen mayor peso que las preventivas, y éstas a su vez, tienen mayor peso que las de mejora.

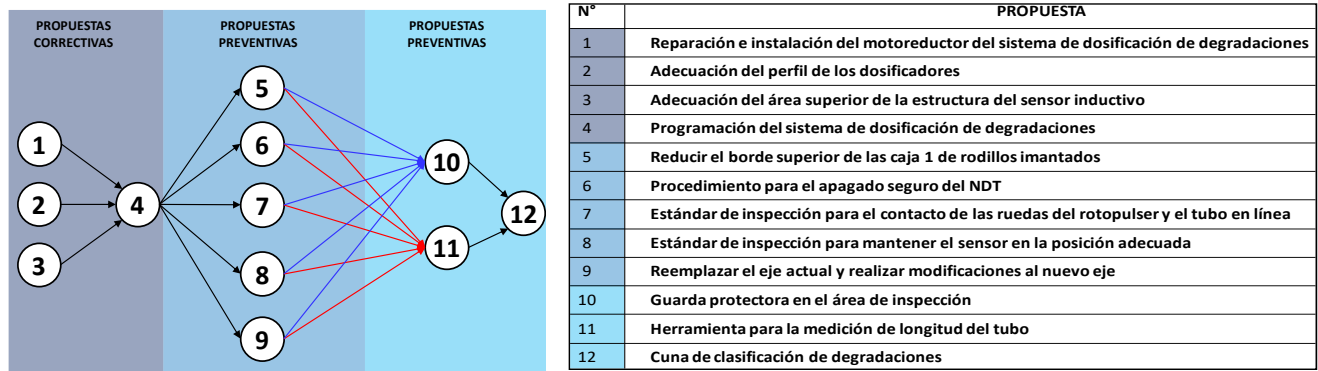
Tabla 5. *Aplicación del puntaje ICE*

	Actividad	I	C	E	Prioridad
Propuestas correctivas	Adecuación del perfil de los dosificadores	5	5	5	125
	Programación del sistema de dosificación de degradaciones	5	5	3	75
	Reparación e instalación del motoreductor del sistema de dosificación de degradaciones	5	5	5	125
	Adecuación del área superior de la estructura del sensor inductivo	5	5	5	125
Propuestas preventivas	Procedimiento para el apagado seguro del NDT	3	5	5	75
	Estándar de inspección para el contacto de las ruedas del rotopulser y el tubo en línea	3	5	5	75
	Remplazar el eje actual y realizar modificaciones al nuevo eje	5	1	3	15
	Estándar de inspección para mantener el sensor en la posición adecuada	3	5	5	75
	Reducir el borde superior de las cajas de rodillos imantados	3	5	5	75
Propuestas de mejora	Guarda protectora en el área de inspección	1	3	5	15
	Cuna de clasificación de degradaciones	5	1	3	15
	Herramienta para la medición de longitud del tubo	1	3	5	15

Tomando en consideración los resultados del puntaje ICE, se realizó un diagrama de precedencia (figura N° 4), para organizar la

secuencia a seguir para la ejecución de las propuestas.

Figura 4. Diagrama de precedencias para la ejecución de las propuestas



Ejecución de las propuestas

A continuación, se describen las propuestas ejecutadas, en el orden establecido considerando el puntaje ICE, algunas de las cuales se pueden visualizar en la figura 5.

Reparación e instalación del motoreductor del sistema de dosificación de degradaciones

Se creó una solicitud para la reparación del motoreductor. Fue rebobinado y se instaló en el área correspondiente, así como también, fue verificado su funcionamiento mediante el accionamiento forzado del motor.

Adecuación del perfil de los dosificadores

La reducción del perfil de los dosificadores hasta la dimensión propuesta, para la cual, se evita la posibilidad de colisión de los tubos contra los dosificadores y, por tanto, contra la estructura.

Adecuación del área superior de la estructura del sensor inductivo

Para realizar la dosificación del tubo de forma estable, fue necesario reducir la parte superior de la guarda protectora del sensor, a fin de evitar cualquier posibilidad de que el tubo degradado no pudiese ser dosificado de la línea de producción.

Programación del sistema de dosificación de degradaciones

Para obtener la programación final del sistema de dosificación de degradaciones (figura 8) basado en el flujograma para la programación eléctrica propuesta, fue necesario ejecutar la prueba para la determinación de pulsos a la salida de la cortadora la cual fue realizada con un producto de 3 x 1" 1.10 para un rango de velocidades entre 80 – 130 m/min y una variación de: 100, 950, 450 y 200 pulsos, ante lo cual, la expulsión de los tubos fue satisfactoria. Como conclusión, el punto de dosificación de las degradaciones a la salida de la cortadora es de 200 pulsos (20 cm).

Figura 5. Ejecución de las Propuestas



Reparación e
instalación del
motoreductor



Reducción del
perfil de los
dosificadores



Establecimiento de la
programación del
sistema



Dosificación continua de las degradaciones
con la programación diseñada

Reducción del borde superior de la caja N° 1 de rodillos imantados

Con la finalidad de evitar cualquier posibilidad de que el tubo no sea dosificado de la línea, se eliminó el borde superior de la guarda N° 1 de rodillos, ya que, el extremo del tubo al ser dosificado estaba muy cercano al borde de la caja de rodillos. Procedimiento para el apagado seguro del equipo NDT

El procedimiento diseñado, ha sido aprobado por el supervisor de la línea y el mismo, se encuentra ubicado en las cercanías de la laminadora a modo de consulta e instrucción para los operadores. La capacitación para la aplicación del mismo, fue realizada mediante lecciones puntuales.

Estándar de inspección para el contacto de las ruedas del rotopulser y el tubo en línea
Diariamente, este estándar de inspección es aplicado para la prevención ante cualquier irregularidad con respecto al contacto de las ruedas del rotopulser y el tubo en línea. La capacitación para la aplicación, fue realizada mediante la exposición de lecciones puntuales.

Estándar de inspección para mantener el sensor en la posición adecuada

Este estándar es aplicado por el operador según la frecuencia indicada en el mismo. La capacitación para la aplicación del mismo, fue realizada mediante la exposición de lecciones puntuales.

Reemplazar el eje actual y realizar modificaciones al eje

Se creó un nuevo eje que presenta condiciones adecuadas para el correcto funcionamiento (rectitud) y, además, de longitud mayor para alejar el motor del área de dosificación y proteger este sub-equipos contra cualquier eventualidad.

Guarda protectora en el área de inspección
Se creó la guarda protectora a la salida de la cortadora para resguardar al inspector de calidad en su área de trabajo. Dicha guarda está adjunta a la cortadora y las dimensiones fueron diseñadas a modo de que permita la dosificación del tubo sin posibilidad de choque contra la guarda.

Herramienta para la medición de la longitud del tubo

Como acción de mejora se realizó una herramienta para la medición del tubo,

para facilitar esta operación en la mesa de degradaciones. Esta herramienta posee como referencia la longitud de 6 metros, ante lo cual, para cualquier variación de longitud del tubo podrá ser registrada fácilmente.

Cuna de clasificación de degradaciones

Habiéndose presentado esta oportunidad de mejora, se realizó un sistema clasificatorio para las degradaciones.

Cuantificación de los resultados obtenidos

Para la cuantificación de los resultados obtenidos por la implementación del sistema “cero fallas” diseñado, se tomó como referencia un mes de operaciones siguientes a la implementación de las propuestas. Si bien se presentaron paradas en la laminadora 09, ninguna estuvo asociada a fallas en el sistema de dosificación de degradaciones. El porcentaje de paradas para recoger degradaciones es de 0% y el MTBI (Tiempo Medio Entre Interrupciones) no aplica debido a que la línea, no es detenida por esta causa.

Además de cumplir exitosamente con las metas en los indicadores, se presenta una mejoría en la liberación de las órdenes de producción por la clasificación inmediata de las degradaciones en el área de dosificación. Anteriormente, dichas órdenes tenían un tiempo promedio de

cierre de 1-2 semanas. Por otra parte, se tiene un aumento en la productividad del 14,721% debido a que, para una tubería de 2x1"0,90 se trabajó a su velocidad estándar de 150 m/min, lo cual se logró gracias a la resolución de la problemática objeto de esta investigación, ya que, anteriormente, cuando se estaba dosificando por el área sur de la laminadora (cuna “A” adjunta al empaquetado de 1era calidad), como la dosificación era manual y la velocidad de la línea era muy alta para la capacidad visual de una persona, se había modificado el estándar a 120 m/min.

Acciones de estandarización

Al haberse automatizado la clasificación de degradaciones, se tuvo la necesidad de realizar el instructivo operativo para la clasificación de la tubería de degradación en las cunas correspondientes en la laminadora 09 (manual MAN-O-209). Por otra parte, se creó un manual de uso en el que se especifican los aspectos técnicos y operativos del sistema de dosificación de degradaciones, incluyendo el sistema clasificatorio. De igual forma, se realizaron y dictaron dieciséis lecciones puntuales que muestran puntos o temas clave en aspectos de seguridad, conocimientos básicos, mejoras y fallas relacionadas al sistema de dosificación y clasificación de degradaciones.

CONCLUSIONES

La investigación demuestra que la transición hacia un sistema de "cero fallas" en la dosificación de degradaciones no depende únicamente de la reparación de componentes aislados, sino de un rediseño estructural profundo fundamentado en la metodología Kobetsu Kaizen. Al corregir la sincronización de la línea mediante la integración del equipo rotopulser, se logró desacoplar la eficacia del sistema de la variabilidad de la velocidad de laminación, eliminando el 26,405% de las paradas que anteriormente se atribuían a fallas de diseño. El éxito rotundo del proyecto, evidenciado en la erradicación total de la recolección manual y un aumento del 14,72% en la productividad, valida que el enfoque de Manufactura de Clase Mundial transforma las ineficiencias crónicas en activos de alta rentabilidad, logrando un retorno de inversión en un tiempo récord de apenas 11 días.

Este despliegue técnico encontró su soporte estratégico en la Fase IV, donde la aplicación del puntaje ICE (Impacto, Costo, Facilidad) y el diagrama de precedencias permitieron una jerarquización lógica de las intervenciones. Esta articulación metodológica garantizó que las propuestas de mejora se ejecutaran bajo criterios

estrictos de factibilidad económica y técnica, asegurando que la secuencia de implementación respetara las dependencias críticas de la laminadora y optimizara los recursos de la organización. Al vincular la prioridad de las acciones con la realidad operativa de la planta, se construyó una ruta de ejecución coherente que evitó improvisaciones y permitió una transición fluida hacia el nuevo sistema de dosificación automatizado.

Finalmente, se concluye que la sostenibilidad de la mejora alcanzada reside en el robusto proceso de estandarización y entrenamiento implementado tras la ejecución de las propuestas. La creación de instructivos de Prácticas Seguras de Operación (PSO), manuales de uso y lecciones puntuales (LUP) asegura que el conocimiento técnico generado sea transferible y que las condiciones de "cero fallas" se mantengan a largo plazo. Esta gestión integral de la seguridad y el conocimiento no solo protege la integridad física de los operadores al delimitar el contacto seguro con la línea mediante guardas protectoras, sino que consolida una cultura de excelencia operativa alineada con las metas de certificación de Manufactura de Clase Mundial.

REFERENCIAS

- Alvarez Divizzia, L. (2021). *Incremento de eficiencia operacional en la línea de envasado tomate en Molitalia utilizando la metodología Kobetsu-Kaizen*. [Trabajo de suficiencia profesional para optar el título de Ingeniero Industrial, Universidad San Ignacio de Loyola]. <https://hdl.handle.net/20.500.14005/13100>
- Bernal Forero, W. P., y Parra Cárdenas, E. L. (2020). Plan de aplicación del TPM para los equipos y herramientas de la planta de fabricación y ensamblaje de vehículos de Niko Racing Colombia [Trabajo de especialización, Universidad ECCI]. Repositorio Institucional ECCI. <https://repositorio.ecci.edu.co/handle/001/713>
- Corporación Cto L Excelencia Operacional de Arcelormittal (2011). *E6.01 Version*.
- Diego-Mas, J. A. (2015). *Evaluación de la carga postural mediante el método REBA*. Ergonautas, Universidad Politécnica de Valencia.
- Gonzales Inga, J. M., y Morales Cuadros, K. J. (2021). *Propuesta de mejora en la gestión del mantenimiento preventivo para incrementar la eficiencia de la línea de producción de envases de hojalata en una empresa metalmecánica*. [Tesis de título profesional, Universidad San Ignacio de Loyola]. <https://repositorio.usil.edu.pe/server/api/core/bitstreams/4a5a44e2-4552-418b-abb0-9debf1ea6ba9/content>
- Haider, M. M. N., y Rafiquzzaman, M. (2023). Implementation of Total Productive Maintenance in a jute bag industry: A case study. *Journal of Engineering Science*, 14(1), 137-149. <https://doi.org/10.3329/jes.v14i1.67642>
- Industrias Unicon, C.A. (2015). *Manual de Manufactura de Clase Mundial*. Venezuela.
- Kumar, P., Chauhan, P., Chaudhary, R., y Juneja, D. (2017). Implementation of 5S and Kobetsu Kaizen (TPM Pillar) in a manufacturing organization. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 4(7), 2987-2991. <https://www.irjet.net/archives/V4/i7/IRJET-V4I7603.pdf>
- Kumar, R., Singh, K., y Jain, S. K. (2022). Setup time reduction to enhance the agility of the manufacturing industry through kobetsu kaizen and SMED: A case study. *International Journal of Process Management and Benchmarking*, 12(5), 631-656. <https://doi.org/10.1504/IJPMB.2022.125320>
- Martínez Fuentes, M., y Vivas Escalante, A. (2022). *Guía de Modalidad de Proyecto Factible: etapas, propuesta, ejecución y evaluación*. Universidad Miguel de Cervantes.
- Raj, M., Swaroop, S., Kumar, S., Bhushan, R., Kumar, V., y Borkar, M. G. (2017). Kobetsu Kaizen Losses Analysis to Enhance the Overall Plant Effectiveness in Steel Manufacturing Industry—A Case Study at JSPL, Raigarh. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 4(12), 245-251. <https://www.irjet.net/archives/V4/i12/IRJET-V4I1245.pdf>
- Raj, M., Bhushan, R., Prakash, K. V. K. S., Pandey, V., Raju, B. A., y Borkar, M. (2021). Embellishing TPM through Losses Analysis to Enhance Overall Plant Effectiveness in Ferro Alloys Plant- A Case Study at JSPL, Raigarh. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 8(3), 840-847. <https://www.irjet.net/archives/V8/i3/IRJET-V8I3179.pdf>
- Rifqi, H., Zamma, A., Souda, S. B., y Hansali, M. (2021). Lean manufacturing implementation through DMAIC approach: A case study in the automotive industry. *Quality Innovation Prosperity*, 25(2), 54-77. <https://doi.org/10.12776/qip.v25i2.1576>

Sandeep, S., Kumar, M., y Upadhyay, H. (2023). A tactical perspective to reduce major losses in manufacturing sector through Total Productive Maintenance technique. *International Journal of Research Publication and Reviews*, 4(9), 2820–2839.

<https://ijrpr.com/uploads/V4ISSUE9/IJRPR17453.pdf>

Singh, A. P., y Fentaw, N. (2023). Relationship between TPM practices and operational performance in soft drinks manufacturing industry. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 29(4), 729–762.

<https://doi.org/10.1108/JQME-10-2022-0067>

Surya, A., Kumar, R., y Trehan, R. (2024). Application of lean manufacturing using Kaizen analysis: A case study. *Journal of Graphic Era University*, 12(1), 125–146.

<https://doi.org/10.13052/jgeu0975-1416.1218>

UPEL (2016). *Manual de Trabajos de Grado de Especialización y Maestría y Tesis Doctorales*. 5ª Edición. Fondo Editorial de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador.

Wolska, M., Gorewoda, T., Roszak, M., y Gajda, L. (2023). Implementation and Improvement of the Total Productive Maintenance Concept in an Organization. *Encyclopedia*, 3(4), 1537–1564.

<https://doi.org/10.3390/encyclopedia3040110>

Autores

Kimberly Dayana Colls Romero. Ingeniero Industrial, Universidad de Carabobo, Venezuela.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-9091-9978>

Email: collskimb@gmail.com

Jesús Alberto Rangel Pérez. Ingeniero Industrial, Universidad de Carabobo, Venezuela.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-7026-7225>

Email: rangelpja@gmail.com

Jadlyn Nirosky González de Urquiola. Ingeniero Industrial, Universidad de Carabobo; Magister en Ingeniería Ambiental, Universidad de Carabobo, Venezuela.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-6273-6404>

Email: jadlyng@gmail.com

Recibido: 09-03-2025

Aceptado: 19-11-2025