



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

“Implementación del mantenimiento preventivo para incrementar la
productividad en el área de producción de una empresa
metalmecánica, Callao, 2021”

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Industrial

AUTORES:

Ayasta Saharig, Cecilia Fabiola (ORCID: 0000-0002-0399-8844)

Cordero Carreño, Froylan Jean Paul (ORCID: 0000-0002-0596-5528)

ASESOR:

Mg. Paz Campaña, Augusto Edward (ORCID: 0000-0001-9751-1365)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Gestión Empresarial y Productiva

LIMA, PERÚ

2021

Dedicatoria

El presente trabajo está dedicado a nuestros padres, a quienes expresamos nuestra más grande admiración y respeto.

Agradecimiento

Agradecemos a Dios por darnos la voluntad y las fuerzas necesarias para la realización de esta investigación; asimismo, agradecemos el apoyo a los docentes de nuestra casa de estudios, por la asesoría constante durante nuestra permanencia en la institución.

Índice de contenidos

| | |
|--|-----|
| Dedicatoria..... | ii |
| Agradecimiento | iii |
| Índice de contenidos | iv |
| Índice de tablas..... | v |
| Índice de gráficos y figuras..... | vii |
| Resumen | ix |
| Abstract..... | x |
| I. INTRODUCCIÓN | 1 |
| II. MARCO TEÓRICO | 9 |
| III. METODOLOGÍA | 22 |
| 3.1. Tipo y diseño de investigación | 22 |
| 3.2. Variables y operacionalización..... | 23 |
| 3.3. Población, muestra y muestreo..... | 26 |
| 3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos | 26 |
| 3.5. Procedimientos | 29 |
| 3.6. Método de análisis de datos | 72 |
| 3.7. Aspectos éticos..... | 73 |
| IV. RESULTADOS | 74 |
| V. DISCUSIÓN..... | 91 |
| VI. CONCLUSIONES | 96 |
| VII. RECOMENDACIONES..... | 98 |
| REFERENCIAS | 99 |
| ANEXOS..... | 103 |

Índice de tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Matriz de alternativas de solución | 5 |
| Tabla 2. Métricas del mantenimiento preventivo | 18 |
| Tabla 3. Matriz de Operacionalización | 25 |
| Tabla 4. Validación del instrumento: Mantenimiento preventivo | 28 |
| Tabla 5. Validación del instrumento: Productividad | 28 |
| Tabla 6. Confiabilidad del instrumento para mantenimiento preventivo | 29 |
| Tabla 7. Confiabilidad del instrumento para productividad | 29 |
| Tabla 8. Disponibilidad y confiabilidad de la maquinaria | 40 |
| Tabla 9. Eficacia, eficiencia y productividad de la empresa | 41 |
| Tabla 10. Objetivos del programa de mantenimiento preventivo | 42 |
| Tabla 11. Cronograma de implementación de la herramienta | 44 |
| Tabla 12. Horario de capacitaciones | 47 |
| Tabla 13. Labores de mantenimiento | 49 |
| Tabla 14. Ficha Técnica de Inventario de Equipos | 54 |
| Tabla 15. Ficha Técnica Costo del Mantenimiento Programado | 55 |
| Tabla 16. Disponibilidad y confiabilidad de la empresa después de la implementación | 56 |
| Tabla 17. Eficacia, eficiencia y productividad de la empresa | 58 |
| Tabla 18. Costo por reposición antes de la implementación | 60 |
| Tabla 19. Costo de mano de obra antes de la implementación | 60 |
| Tabla 20. Costo de materiales y repuestos antes de la implementación | 61 |
| Tabla 21. Costo por reposición antes de la implementación | 62 |
| Tabla 22. Costo de mano de obra antes de la implementación | 62 |
| Tabla 23. Costo de materiales y repuestos antes de la implementación | 63 |
| Tabla 24. Costos por capacitación | 63 |
| Tabla 25. Costo detallado de la capacitación | 64 |
| Tabla 26. Sueldo cancelado por los 2 días de capacitaciones | 64 |
| Tabla 27. Costos de investigación | 66 |
| Tabla 28. Cálculo en Kg de cada estribo producido | 67 |
| Tabla 29. Cuadro comparativo de la producción antes y después de la implementación | 67 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 30. Incremento de la producción después de la implementación..... | 68 |
| Tabla 31. Otros beneficios de la implementación del mantenimiento preventivo asociados a ahorro en materiales y repuestos | 69 |
| Tabla 32. Otros beneficios de la implementación del mantenimiento preventivo asociados a ahorro en mano de obra | 69 |
| Tabla 33. Total de otros beneficios de la implementación del mantenimiento preventivo | 70 |
| Tabla 34. Evaluación económica y financiera de la herramienta | 71 |
| Tabla 35. Análisis descriptivo de la productividad de la empresa | 74 |
| Tabla 36. Análisis descriptivo de la eficiencia de la empresa | 77 |
| Tabla 37. Análisis descriptivo de la eficacia de la empresa | 80 |
| Tabla 38. Prueba de normalidad de la variable productividad | 84 |
| Tabla 39. Comparación de los valores de la media de la variable productividad .. | 85 |
| Tabla 40. Prueba t-Student para la variable productividad | 86 |
| Tabla 41. Prueba de normalidad de la variable eficiencia | 87 |
| Tabla 42. Comparación de los valores de la media de la variable eficiencia | 87 |
| Tabla 43. Prueba t-Student para la variable eficiencia | 88 |
| Tabla 44. Prueba de normalidad de la variable eficacia | 89 |
| Tabla 45. Comparación de los valores de la media de la variable eficacia | 89 |
| Tabla 46. Prueba t-Student para la variable eficacia | 90 |
| Tabla 47. Causas que explican la baja productividad en la empresa | 106 |
| Tabla 48. Criterios de evaluación para el diseño de la matriz de Vester | 106 |
| Tabla 49. Matriz de Vester | 107 |
| Tabla 50. Jerarquización de las causas conforme a su potencial activo..... | 108 |
| Tabla 51. Estratificación por áreas | 109 |
| Tabla 52. Porcentaje de puntaje de causas por área | 109 |
| Tabla 53. Criterios de evaluación para el diseño de la matriz de alternativas de solución..... | 110 |
| Tabla 54. Matriz de priorización | 111 |
| Tabla 55. Niveles de criticidad empleados | 111 |
| Tabla 56. Nivel de impacto aplicado..... | 111 |
| Tabla 57. Mediciones de la productividad por tipo de insumo y de producto..... | 113 |

Índice de gráficos y figuras

| | |
|--|-----|
| Figura 1. Diagrama de Ishikawa de la empresa | 3 |
| Figura 2. Fórmula para la determinación de la productividad unifactorial | 19 |
| Figura 3. Fórmula para la determinación de la eficiencia técnica | 21 |
| Figura 4. Fórmula para la determinación de la eficacia técnica | 21 |
| Figura 5. Diseño de investigación | 23 |
| Figura 6. Producción del mes de agosto de 2020 de la empresa por clientes | 31 |
| Figura 7. Organigrama de la empresa..... | 32 |
| Figura 8. Mapa de procesos de la empresa | 33 |
| Figura 9. Diagrama de operaciones de la empresa | 34 |
| Figura 10. Diagrama de actividades del proceso..... | 36 |
| Figura 11. Fases del programa de mantenimiento preventivo | 43 |
| Figura 12. Tipos de inspección | 45 |
| Figura 13. Check List de mantenimiento Preventivo de máquina MEP Minisyntax | 50 |
| Figura 14. Check List de mantenimiento Preventivo de máquina MEP Minisyntax | 53 |
| Figura 15. Gráfico comparativo de disponibilidad pretest – post test..... | 57 |
| Figura 16. Gráfico comparativo de confiabilidad pretest – post test..... | 57 |
| Figura 17. Gráfico comparativo de productividad pretest – post test | 59 |
| Figura 18. Histograma simple de la productividad antes de la mejora | 75 |
| Figura 19. Histograma simple de la productividad después de la mejora | 76 |
| Figura 20. Histograma simple de la eficiencia antes de la mejora | 78 |
| Figura 21. Histograma simple de la eficiencia después de la mejora | 79 |
| Figura 22. Histograma simple de la eficacia antes de la mejora | 81 |
| Figura 23. Histograma simple de la eficacia después de la mejora | 81 |
| Figura 24. Productividad de las máquinas Schnell Prima 12R y MEP Minisyntax | 82 |
| Figura 25. Eficiencia de las máquinas Schnell Prima 12R y MEP Minisyntax..... | 83 |
| Figura 26. Eficacia de las máquinas Schnell Prima 12R y MEP Minisyntax | 83 |
| Figura 27. Eficiencia de la industria siderúrgica 2014-2018 | 104 |
| Figura 28. Productividad factorial de la economía peruana 1961-2014 | 104 |

| | |
|--|-----|
| Figura 29. Eficiencia promedio de las empresas manufactureras peruanas en 2015 | 105 |
| Figura 30. Diagrama de Vester | 107 |
| Figura 31. Diagrama de Pareto | 108 |
| Figura 32. Porcentaje de puntaje de causas por área | 109 |
| Figura 33. Consolidación de las modalidades de gestión de mantenimiento en distintas décadas | 112 |
| Figura 34. Modelo del mantenimiento preventivo | 112 |
| Figura 35. Inputs del programa de mantenimiento preventivo | 113 |

Resumen

La investigación que se presenta tuvo como objetivo determinar de qué manera la implementación del mantenimiento preventivo incrementa la eficiencia en el área de producción de una empresa metalmeccánica, Callao, 2020. En este sentido, las labores empleadas se centraron en inspecciones periódicas menores y mayores enfocadas en limpieza, reposiciones, controles, lubricaciones, etc. Así, se ha seleccionado como muestra los estribos producidos en las máquinas Schnell Prima 12R y MEP Minisyntax. De esta manera, se desarrolló un estudio aplicado, de enfoque cuantitativo, alcance explicativo y diseño del tipo cuasiexperimental (del tipo pre y posprueba), donde se empleó la observación como técnica y la ficha de recolección de datos. Dentro del resultado, se evidencia un incremento de la eficiencia y eficacia de 18.92% y de 25.56%, respectivamente, logrando una mejora en la productividad de las maquinarias de 39.28% a 71.91% (aumento de 32.62%), generando que en promedio la producción mensual aumente de 17,142.58 kg de barras de acero a 29,035.77 kg (un incremento de 11,893.19) kg, lo cual fue comprobado según los resultados de la prueba t-Student, ya que p-valor < 0.05.

Palabras clave: Mantenimiento preventivo, productividad, estribos, acero

Abstract

The research presented was aimed at determining how the implementation of preventive maintenance increases efficiency in the production area of a metalworking company, Callao, 2020. In this sense, the tasks used were focused on minor and major periodic inspections focused on cleaning, replacements, controls, lubrications, etc. Thus, the stirrups produced on the Schnell Prima 12R and MEP Minisyntax machines have been selected as a sample. In this way, an applied study was developed, with a quantitative approach, explanatory scope and design of the quasi-experimental type (of the pre and post-test type), where observation was used as a technique and the data collection sheet. Within the result, there is evidence of an increase in efficiency and effectiveness of 18.92% and 25.56%, respectively, achieving an improvement in the productivity of machinery from 39.28% to 71.91% (increase of 32.62%), generating that on average the monthly production increased from 17,142.58 kg of steel bars to 29,035.77 kg (an increase of 11,893.19 kg), which was verified according to the results of the t-Student, since p -value <0.05 .

Keywords: Preventive maintenance, productivity, stirrups, steel.

I. INTRODUCCIÓN

Existe una amplia diversidad de modelos que han tratado de aproximarse a la conceptualización de la productividad, los cuales la definen desde una simple (pero significativa) relación entre producción e insumos hasta asociarlo a términos como rentabilidad y desempeño de un sistema productivo (una fábrica, una organización o un país), midiéndose de manera parcial (a través de un único factor) o de forma agregada (añadiendo distintas medidas) (Shankar y Aroulmoji, 2020). Partiendo de dicha definición, dentro de los múltiples términos con los cuales se suele medir la productividad, la eficiencia ha ganado un cuantioso terreno.

Al evaluar el comportamiento de la productividad de la industria siderúrgica mundial, medida como eficiencia en el uso de materiales, se observa una reducción de 1.2% entre los años 2014 y 2018, llegando a ubicarse en 96.3%, lo cual se refleja en la figura 27 en la sección Anexos (World Steel Association, 2017; World Steel Association, 2019).

En el caso del Perú, la productividad; medida, en este caso, como la contribución al crecimiento de la economía o capacidad potencial de los factores, ha experimentado un incremento de 5% entre la década de 1982-1992 y la década de 2004-2014, luego de experimentar una caída progresiva desde la década de 1960, tal como se observa en la figura 28 de la sección Anexos (Ministerio de la Producción, 2017).

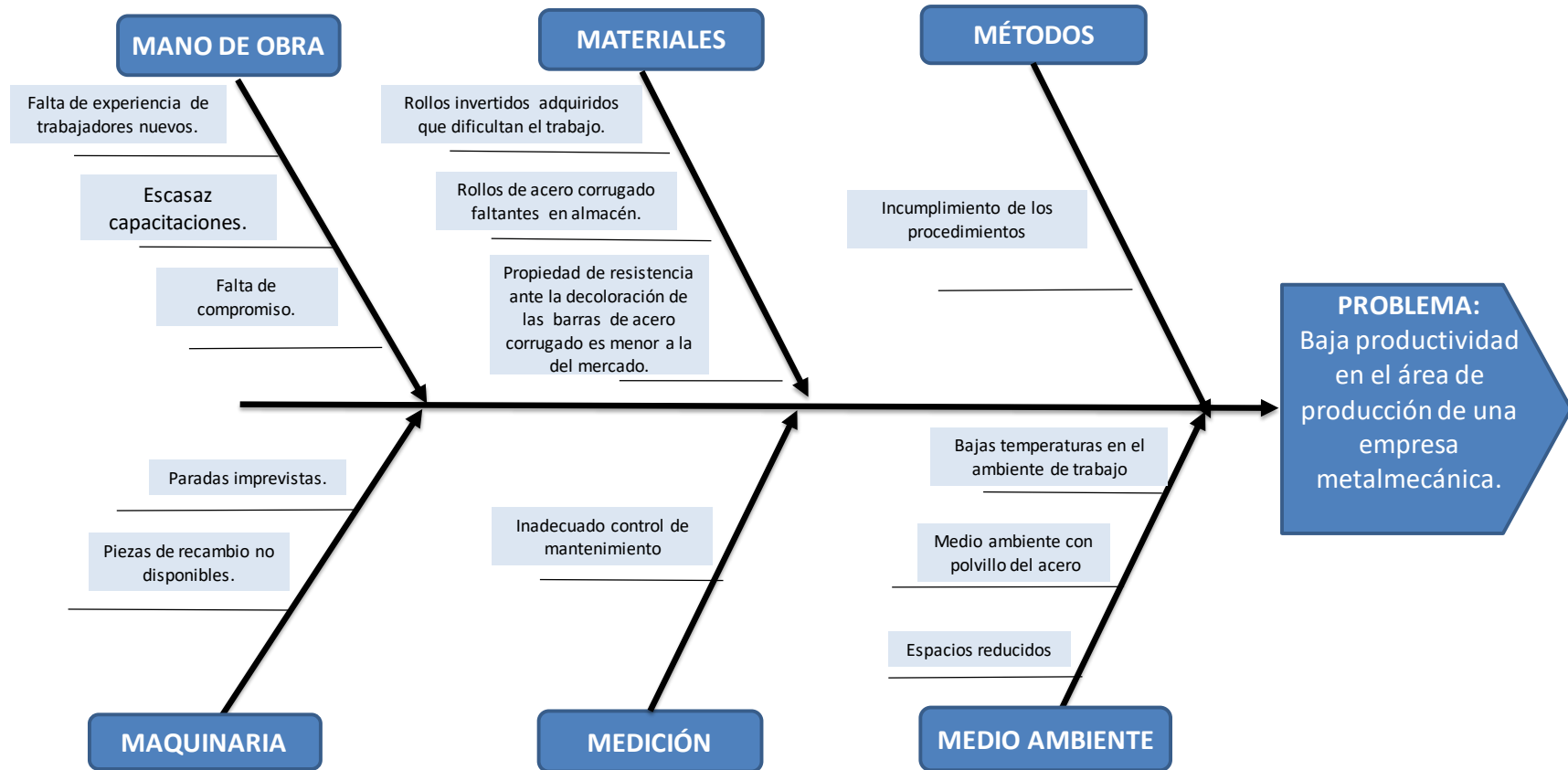
Al compararla con otras economías semejantes, es posible afirmar que la productividad del país es baja, siendo el resultado de asimetrías en los mercados y de marcados rezagos tecnológicos; así de acuerdo al *The Conference Board*, Perú ocupa el puesto 83 de 125 países en materia de productividad y lugar 13 de 17 en América Latina (Perú Compite, 2019). Específicamente, la industria siderúrgica es una de las más productivas del país, ocupando el octavo lugar (dentro de 35 actividades) en el 2015, con una eficiencia promedio de 57%, superando a las industrias de papel, química, alimenticia, entre otros, lo cual se aprecia en la figura 29 de la sección Anexos (Ministerio de Producción, 2017).

En el caso concreto de la empresa objeto de estudio, dedicada a la producción de estribos (de diferentes dimensiones) y barras corrugadas (de cualquier tamaño o forma) a partir de rollos de acero corrugado, a través de un área

operativa que dispone de las siguientes maquinarias: dos máquinas que producen barras y dimensionan (marcas Schell y MEP), una que produce estribos (TJK 12B), una que solo produce barras (GT 5/12), cuatro cortadoras y dos dobladoras. Recientemente, la empresa ha venido experimentando una baja en sus niveles de productividad ocasionadas por distintas causas, las cuales el representante de la empresa, en una entrevista preliminar, ha identificado conforme se observa en la tabla 1.

Con base a las referidas causas, se ha diseñado el diagrama de Ishikawa presentado en la figura 1, en el cual se ordenan y clasifican por categorías (mano de obra, maquinaria, materiales, medición, métodos y medio ambiente). Con la finalidad de determinar las causas críticas que explican el comportamiento negativo de la productividad, se ha diseñado la matriz de Vester, para lo cual se han considerado los criterios de evaluación expuestos en las tablas 47 y 48 de la sección Anexos.

Figura 1. Diagrama de Ishikawa de la empresa



Fuente: Elaboración propia (2020).

Los resultados de la matriz y diagrama de Vester, mostrados en la tabla 49 y la figura 30 de la sección Anexos, demuestran que en la empresa existen cuatro causas críticas (C3, C4, C9 y C10) que se requieren atender con mayor prioridad; así como, dos causas activas (C5 y C6) que también requieren tratamiento oportuno; dos causas pasivas (C2 y C1) que se resolverán en la medida que se atiendan las dos clases precedentes y cinco causas indiferentes que son los de menor prioridad.

Con base a lo anterior, se ha elaborado la tabla 50, en la cual se ordenan descendentemente las causas en función de su potencial activo y el diagrama de Pareto de la figura 31 de la sección Anexos, evidenciándose que como las causas clasificadas como críticas y activas (que representan el 46% de las causas), concentran el 65% de la baja productividad puntuación acumulada y resaltando, de manera individual, las causas C9 (inadecuado control de calidad) y C4 (paradas imprevistas) con 14% y 13%, respectivamente.

Con la finalidad de determinar la responsabilidad de cada área en las causas atribuibles a la baja productividad, se elaboró la matriz de estratificación por áreas, presentada en la tabla 51 de la sección anexos; siendo esto un insumo para presentar en la tabla 52, el porcentaje de puntaje de causas por área, destacando que el área de mantenimiento (con 34%) tiene el mayor porcentaje de causas, mientras que el área de calidad tiene el menor porcentaje de las mismas, con un 12%. Esta misma información, se presenta en la figura 32.

Posterior a la identificación de las causas, la determinación de su influencia en la baja de la productividad y la delimitación del área donde se concentran en mayor medida, se procede a evaluar las alternativas de solución, dentro de las cuales se han propuestos las siguientes: planeamiento estratégico, mantenimiento preventivo, *Lean Manufacturing*, estudio de trabajo y *Just in Time*. Esta evaluación se realiza con base a los criterios establecidos en la tabla 53.

En función de la tabla anterior, se ha elaborado la tabla 1, de la cual es posible determinar que el mantenimiento preventivo representa la mejor opción para atender la baja productividad en la empresa, visto que su costo y tiempo de aplicación es similar al del resto, pero su complejidad, sostenibilidad y completitud es superior, dado que representa una solución integral en la cual se logra aumentar la eficiencia, reducir los accidentes laborales, solucionar las causas de los

problemas, incrementar la seguridad industrial y aumentar la calidad mediante un mayor compromiso del empleado en la atención de sus estaciones de trabajo, lo cual permite el logro de los objetivos organizaciones (Jain et al., 2014).

Tabla 1. *Matriz de alternativas de solución*

| Alternativas | Criterios | | | | | Total |
|--------------------------|-----------|----------------------|-------------|----------------|-------------|-------|
| | Costo | Tiempo de aplicación | Complejidad | Sostenibilidad | Complejitud | |
| Planeamiento estratégico | 1 | 1 | 1 | 2 | 0 | 5 |
| Mantenimiento preventivo | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 8 |
| Lean Manufacturing | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 6 |
| Estudio del Trabajo | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 5 |
| Just in Time | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 4 |

Fuente: Elaboración propia (2020).

En cuanto a la localización de la implementación dentro de la empresa, con base a los resultados de las herramientas previamente empleadas se ha elaborado la matriz de priorización, la cual se presenta en la tabla 54. Para la elaboración de esta última matriz se han considerado los niveles de criticidad e impacto descritos en las tablas 55 y 56 de la sección de Anexos, respectivamente.

Ahondando en términos de la propuesta a implementar, como lo sugiere Zegarra (2015), el máximo rendimiento que se puede obtener de un activo fijo depende de tres elementos críticos: i) su diseño, ii) su uso o aplicación y iii) el mantenimiento que recibe durante su ciclo de vida útil; siendo el tercero de ellos, aquel factor que puede graduarse en mayor medida, para alcanzar el máximo provecho. En general, como lo sugiere este autor, el mantenimiento agrupa un conjunto de técnicas y controles que se orientan a prolongar la vida útil de las infraestructuras, plantas y maquinarias, permitiendo que su valor de inversión perdure hasta su depreciación e inclusive después de ella.

Es así que, en el escenario actual, caracterizado por una naturaleza cambiante, una feroz competencia y un creciente dinamismo, las empresas se esfuerzan por innovar en opciones que garanticen el máximo rendimiento de sus activos y consecuentemente, su sostenibilidad en el mercado (Jain, Bhatti y Singh, 2014). El enfoque *Lean Manufacturing* (LM) se ha ubicado a la vanguardia de estas alternativas, vista su capacidad de reducir las actividades que no agregan valor a

las empresas manufactureras, aunque ameritan un determinado costo y, el mantenimiento preventivo ha sido una de las más importantes y utilizadas herramientas bajo esta visión (Díaz-Reza et al., 2018).

Hernández-López, Pimentel-Aguilar y Ortiz-Posadas (2020) señalan que el mantenimiento preventivo permite prolongar la vida útil de los equipos, evitando daños a través de la inclusión de tareas específicas, como la lubricación, limpieza y/o reemplazo de piezas que se desgastan con regularidad o cuyo ciclo de vida es corto. Asimismo, tiene la ventaja de que puede ser realizado por el fabricante (soporte y apoyo de terceros) o por la propia empresa.

Las tendencias actuales asociadas a la gestión del mantenimiento permiten apreciar una marcada preferencia por una dirección orientada en la predicción y el monitoreo y el cambio de una posición defensiva a una ofensiva (combinado la inteligencia artificial, la realidad aumentada y la realidad virtual más allá de las inspecciones rutinarias), una mayor inversión en I+D en herramientas de gestión que permitan mejores sistemas de medición de desempeño y la constante evaluación del impacto organizacional (Jin et al., 2016). En países desarrollados, donde el 60% de las empresas tienen al menos el 30% de sus actividades automatizadas, es posible la adopción de este nuevo enfoque, lo cual como destaca el McKinsey Global Institute (2017), podría incentivar los niveles de productividad para el alcanzar el crecimiento económico futuro.

En el Perú se ha observado que muchas organizaciones empiezan a destinar parte de su presupuesto al mantenimiento de su maquinaria; incluso las empresas formales encargadas de estas labores, logran facturar alrededor de S/. 200 millones al año, demostrándose una alta participación de la tercerización del mantenimiento dentro de la actividad industrial (ConexionEsan, 2020).

Partiendo de esta realidad, se ha planteado la siguiente interrogante: ¿De qué manera la implementación del mantenimiento preventivo incrementará la productividad en el área de producción de una empresa metalmecánica, Callao, 2020?

Visto lo anterior, se plantean interrogantes como problemas específicos derivados de la realidad problemática:

¿De qué manera la implementación del mantenimiento preventivo incrementará la eficiencia en el área de producción de una empresa metalmecánica, Callao, 2020?

¿De qué manera la implementación del mantenimiento preventivo incrementará la eficacia en el área de producción de una empresa metalmecánica, Callao, 2020?

En este contexto, la investigación se justifica desde el punto teórico, visto que se sustenta en la implementación del modelo del mantenimiento preventivo, por lo que los resultados que se obtengan podrán incorporarse al conocimiento científico; en especial, en el ámbito nacional, donde apenas la gestión de mantenimiento se está considerando en los presupuestos de las organizaciones como parte de las actividades que crean valor. En este sentido, al llenar este espacio cognoscitivo, las futuras investigaciones que se fundamenten bajo este enfoque, podrán contrastar sus resultados con los que se desprendan del presente estudio.

Desde el plano metodológico, esta investigación se justifica visto que en ella se emplearán técnicas e instrumentos de medición de las variables de estudios, con base a las prácticas ingenieriles, los cuales gozarán de la validez y confiabilidad necesaria, permitiendo su uso en próximos estudios. Por lo tanto, la instrumentación empleada podrá estandarizarse en la medida que se aplique nuevamente.

Desde el punto de vista práctico, el estudio se justifica al representar una alternativa de solución a un problema fáctico de la empresa objeto de estudio. En otras palabras, el presente trabajo de investigación proveerá de herramientas gerenciales a dicha empresa para innovar en la gestión del mantenimiento que favorecerá en resolver los problemas de eficiencia y eficacia observados. Por otro lado, este estudio constituye un punto de inicio, para profundizar en nuevos enfoques de mantenimiento basados en el monitoreo.

Desde el punto de vista económico el estudio se justifica pues se presenta como una alternativa para incrementar la productividad en el área de producción; pues, ante las paradas de las máquinas y problemas de mantenimiento se origina una baja en la productividad que puede ser incrementada al resolver estos problemas.

Por esta razón, la presente investigación presenta como objetivo general: Determinar de qué manera la implementación del mantenimiento preventivo incrementa la productividad en el área de producción de una empresa

metalmecánica, Callao, 2020. Para el logro del propósito, se han planteado los siguientes objetivos específicos:

Determinar de qué manera la implementación del mantenimiento preventivo incrementa la eficiencia en el área de producción de una empresa metalmecánica, Callao, 2020.

Determinar de qué manera la implementación del mantenimiento preventivo incrementa la eficacia en el área de producción de una empresa metalmecánica, Callao, 2020.

Basados en las interrogantes anteriores, también se formula la siguiente hipótesis general: La implementación del mantenimiento preventivo incrementa la productividad en el área de producción de una empresa metalmecánica, Callao, 2020

Con las subsecuentes hipótesis específicas:

La implementación del mantenimiento preventivo incrementa la eficiencia en el área de producción de una empresa metalmecánica, Callao, 2020.

La implementación del mantenimiento preventivo incrementa la eficacia en el área de producción de una empresa metalmecánica, Callao, 2020.

II. MARCO TEÓRICO

En cuanto a los antecedentes nacionales, destaca el estudio de Peralta (2019) titulado “Plan de mantenimiento preventivo para incrementar la productividad de la empresa metalmecánica AR&ML Constructores E.I.R.L., San Juan de Lurigancho, 2019”, en la cual se planteó como objetivo elaborar un plan de mantenimiento basado en el enfoque preventivo en dicha empresa con la finalidad de incrementar la eficiencia y la eficacia, como dimensiones de la productividad. Para tal fin, se desarrolló una investigación aplicada, de enfoque cuantitativo y diseño cuasi experimental, donde la población estaba compuesta por 54 equipos, de los cuales se seleccionaron 47 a través de muestreo probabilístico simple, aplicándose como técnica de recolección de datos la observación directa y empleándose una ficha de recolección de datos como instrumento. Los resultados de la investigación demuestran que con la aplicación de la herramienta se logró el incremento de la eficacia en 19% y de la eficiencia de 12%, generando un crecimiento de la productividad de 23%. De allí que, se concluye que el mantenimiento preventivo incide sobre el incremento de la productividad ($t = -8.555$, $p\text{-valor} = 0.000 < 0.05$); así como en sus dimensiones: eficacia ($t = -7.990$, $p\text{-valor} = 0.000 < 0.05$) y eficiencia ($t = -9.857$, $p\text{-valor} = 0.000 < 0.05$). Esta investigación ha sido útil en el presente estudio, favoreciendo en la identificación de la operacionalización de la variable productividad.

Por otro lado, destaca el estudio González (2016) denominado “Propuesta de mantenimiento preventivo y planificado para la línea de producción en la empresa Latercer S.A.C.”, con el objetivo general de proponer un mantenimiento para dicha compañía, con la finalidad de incrementar la producción o formado de ladrillo crudo. El estudio desarrollado fue de enfoque cuantitativo y diseño cuasi experimental, seleccionándose las líneas de producción, molino de tierra y amasadora como población del estudio, capacitándose al personal que se encarga de dichos procesos. Por otra parte, la técnica para la recolección de datos se basó en la observación y la revisión documental, empleándose para ello fichas de mantenimiento y de producción. Los resultados de la investigación comprueban la presencia de 12 puntos críticos en el área de molino de tierra y 9 puntos críticos en la amasadora, lo cual generó una pérdida de S/ 82,553 en 10 meses para la

empresa, observándose un promedio de averías de 3 a 8 mensuales en las máquinas molino de tierra (con paradas de 106.5 horas) y de 4 a 6 en la máquina amasadora (con paradas de 81 horas). Con la implementación del mantenimiento preventivo, se logró reducir en 80% el número de paradas no programadas en toda la línea de producción; con lo cual se concluye que, la productividad se incrementó en 12%. De esta investigación, se ha considerado en el presente estudio las fases implementadas en la aplicación del mantenimiento preventivo: realización de mantenimiento de maquinaria con fallas frecuentes y elaboración de tarjetas de mantenimiento, de lubricación, de inspección periódica y de verificación periódica.

Adicionalmente, se dispone del estudio de Altamirano y Zavaleta (2016) titulado “Plan de gestión de mantenimiento preventivo para mejora de la productividad en la empresa Naylamp – Chiclayo 2016”, centrado en diseñar y evaluar económicamente dicho plan, estimando el impacto en el sistema productivo de la referida empresa. De allí que, se elaboró un estudio cuantitativo, de tipo aplicada, nivel descriptivo y diseño no experimental; con una población de 39 equipos que se utilizan en el proceso, distribuidos en 8 en el área de fermentación, 13 en el área de destilación y 18 en el área de producción e vapor. Al respecto, se optó por realizar un estudio censal (donde la muestra coincide con la población), aplicándose muestreo no probabilístico a conveniencia y empleándose tres técnicas para la recogida de datos: la revisión documental, la observación y la entrevista mediante el empleo de una ficha técnica, una guía de observación y un formato de entrevista. Los resultados del estudio comprobaron la presencia de 65 fallas recurrentes en la fase de fermentación, 35 en el área de destilación y 64 en la producción de vapor; estas fallas se distribuyen en 28 de los 39 equipos de la empresa, los cuales tienen una confiabilidad de 71.79% con una tasa de falla de 0.378 fallas/día y un tiempo promedio entre fallas de 2.64 días; de allí que, con el diseño del mantenimiento preventivo se lograron ampliar los tiempos promedios entre fallas a 6.73, 12.75 y 6.97 días en cada fase, respectivamente. Estos resultados permiten comprobar el incremento en la productividad en 4.5 toneladas de melaza al año y 6,657.33 litros/mes en la fabricación de etanol, obteniéndose un beneficio económico de S/ 10 por cada S/ 1 invertido. De este trabajo previo, se utilizará la técnica de recolección de datos, visto que engloba tres tipos, logrando abarcar todas las fases del ciclo productivo.

Con referencia a las investigaciones previas de origen internacional, se dispone del aporte de Alkuwari (2020) con su trabajo titulado “Improving the process of preventive maintenance for critical telecommunications stations in Qatar”, en distintas ciudades de Qatar, con el objetivo de implementar mejorar en el mantenimiento preventivo para incrementar la productividad en los equipos de campos de las estaciones de telecomunicaciones, lo cual busca mejorar la confiabilidad de los mismos y garantizar un servicio oportuno y productivo. El estudio fue de tipo cuantitativo y diseño experimental, en el cual se realizó el mapeo de 24 procesos, aplicándose revisión documental como técnica de recolección de datos. Luego de la implementación de las mejoras del mantenimiento preventivo y la revisión de procesos con el apoyo del supervisor del departamento de mantenimiento, se determinó que fue posible reducir el tiempo de ejecución del sistema de 476 a 484 minutos, significando una mejora de 40.3%. Este estudio resulta importante para la ciencia, visto que se centra en el uso de herramientas de gestión en mantenimiento en el área de servicios; que ha sido poco explorado, centrándose más bien en actividades de transformación industrial.

Kumer (2019) elaboró el estudio “Development of a preventive maintenance schedule and evaluation of overall equipment effectiveness in a selected garment factory: A case study” in Daka, Bangladesh, orientado a establecer un cronograma de mantenimiento preventivo que permita minimizar las fallas no planificadas y los accidentes; así como maximizar la eficiencia de los equipos. La investigación fue de tipo cuantitativa y diseño cuasi experimental donde se seleccionó como muestra una empresa de ropa de la ciudad indicada, empleándose como técnica para la recogida de datos, la observación y la entrevista, estudiándose por cuatro semanas, las paradas y su tiempo promedio en 10 equipos de trabajo. Los resultados del estudio demuestran que el mantenimiento preventivo incremento la efectividad total de los equipos (OEE) en 11.81%, al pasar de 49.08% a 60.89%, con ahorros en costos por paradas de Tk 182,755.20 y un incremento de la productividad de 87,360 piezas al mes. De este estudio, se ha considerado la operacionalización de la variable independiente en la presente investigación.

Purnomio (2018) desarrolló el estudio “Implementación of preventive maintenance in injection moulding to increase machine reliability in PT.ASD” en Cirakang, Indonesia; planteándose como propósito mejorar la productividad del

sistema, basado en la reducción de los tiempos de parada de los equipos y el incremento de su confiabilidad en un trabajo realizado en tres etapas: i) determinar los componentes críticos que contribuyen a la paralización de los equipos, ii) examinar el tiempo medio entre fallas y el tiempo medio de reparación y iii) determinar el tipo y períodos de mantenimiento preventivo que incrementa la eficiencia. En cuanto a la metodología, el estudio se realizó basado en la observación y la revisión documental, examinándose información de la máquina de moldeo por inyección de plástico del lapso comprendido entre los meses de julio a diciembre de 2017. Los resultados del estudio comprueban que la implementación de dicha herramienta de gestión de mantenimiento condujo a un incremento en la confiabilidad promedio de los equipos de 33%, al pasar de 47% a 80%, lo cual genera una reducción de costos de Rp. 2,871,547. Este trabajo contribuye en la realización del presente estudio, visto que ofrece una guía de la implementación del mantenimiento preventivo.

Conforme lo sugiere Zegarra (2015), el mantenimiento engloba un conjunto de técnicas y actividades que se aplican de manera sistemática y directa, bajo un respectivo control económico, con el objetivo de prolongar lo máximo posible, la vida útil de cualquier equipo, maquinaria, instalación o edificación. Este concepto, el cual también se conoce como gestión de los activos físicos, ha evolucionado a lo largo de la historia, alcanzando interpretaciones más refinadas (Jain et al., 2014); así se ha interpretado de la siguiente manera:

Mantenimiento de averías, aplicado exclusivamente cuando el equipo falla o se reduce su rendimiento y su adopción estuvo vigente en la industria hasta antes de 1950. Bajo este enfoque, las estrategias de mantenimiento se aplican drásticamente cuando la maquinaria lo requiere, generando dificultades como paralizaciones no planificadas, daños excesivos a los activos fijos, elevados costos de reparación y excesivos tiempos de espera y mantenimiento (Modgil y Sharma, 2015).

Mantenimiento preventivo, introducido en 1951, bajo esta gestión de mantenimiento, se realiza una revisión física de cada equipo con la finalidad de evitar averías e incrementar su vida útil; así las funciones, las actividades y el tiempo de mantenimiento suelen estar preestablecidas. Dentro de las estrategias implementadas figuran la lubricación, la limpieza, cambio de piezas y ajustes de

tuercas; así como la inspección de signos de deterioros en los equipos de producción (Jain et al., 2014). Se han identificado dos inconvenientes que hacen de esta gestión una opción poco rentable: i) al centrarse en el recuento de la revisión, muchas veces las labores de mantenimiento son insuficientes y ii) al reemplazar el repuesto antes que se degrade completamente o corregir una falla que aún no se ha presentado, no se logra obtener información que permita aprender del ciclo de vida de la maquinaria (Jin et al., 2016).

Mantenimiento predictivo, con un enfoque similar al mantenimiento preventivo, se centra en la respuesta a una condición particular de la máquina; así que bajo esta gestión se miden las condiciones físicas de los equipos, evaluándose aspectos como ruido, vibración, lubricación y corrosión (Jain et al., 2014; Modgil y Sharma, 2015).

Mantenimiento correctivo, utilizado para evitar fallas en los equipos mediante la aplicación de mejoras en la maquinaria; de manera tal que, que se puedan eliminar o se realice el mantenimiento de manera más fácil. Este tipo de gestión, permite optimizar la confiabilidad, el mantenimiento, la seguridad y la identificación de las debilidades en los equipos, reduciendo su deterioro y la prevalencia de fallas.

Prevención del mantenimiento, introducido en la década de 1960, esta gestión de mantenimiento inicia en la etapa de diseño, por lo que involucra actividades relacionadas con el aprendizaje de las fallas de la maquinaria; del incorrecto funcionamiento de los equipos y de las recomendaciones de los colaboradores del área de producción, clientes y representantes de marketing, con la finalidad de reorganizar los procesos operativos o cambiar el sistema de producción.

Mantenimiento centrado en la confiabilidad, también es un concepto que se introduce en la década de 1960 y se basa en el seguimiento de un proceso lógico que permita el desarrollo de requisitos de mantenimiento con referencia al nivel de confiabilidad deseado (Modgil y Sharma, 2015). Es así, que se comienzan a utilizar con este tipo de gestión, herramientas como el análisis de modo de falla y efectos (FMEA); el análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC); el análisis de peligros físicos; el análisis del árbol de fallas; la optimización de la función de mantenimiento y análisis de peligros y operatividad (Jain et al., 2014).

Mantenimiento productivo, enfocando en incrementar la productividad de los equipos, al reducir los costos totales del equipo durante su vida útil desde su diseño

hasta depreciación total. Los puntos claves de esta modalidad de gestión son la confiabilidad y la facilidad del mantenimiento; así como una elevada conciencia del monto de las inversiones que involucran las actividades a realizar; es así, como este tipo de mantenimiento abarca estrategias de los tres últimos tipos señalados (correctivo, preventivo y centrado en la confiabilidad) (Jain et al., 2014).

Sistemas informáticos de gestión del mantenimiento, utilizados para la administración y manejo de las labores de mantenimiento, incluyendo aspectos como el inventario de los repuestos; la programación de las reparaciones de los equipos y su historial y las órdenes de trabajo. Este tipo de sistemas permiten fortalecer la toma de decisiones con base a la emisión y análisis de informes y reportes que se generan de él (Jain et al., 2014).

En la figura 33 de la sección Anexos, se muestra como estos conceptos de mantenimiento se han consolidado dentro de la actividad industrial en distintas décadas.

Para Jin et al. (2016), el mantenimiento preventivo se basa en la reparación, reemplazo y mantenimiento de cada equipo, con la finalidad de evitar las fallas que inesperadamente se presentan en ellos durante las actividades operativas. De allí que, su objetivo se centra es reducir al mínimo el costo total de la inspección y de la reparación; así como, disminuir el tiempo de inactividad de la máquina.

Una de las características centrales de este modo de gestión de mantenimiento, es que al basarse en estrategias de prevención o de retraso en las fallas de equipo, se supone que los sistemas productivos pueden apagarse para el mantenimiento, cuando éste se requiera; lo cual no siempre aplica a todo tipo de industria (Zhu et al., 2019).

Generalmente, estas labores se realizan en momentos donde la producción está paralizada, con la finalidad de no paralizar el ciclo productivo; sin embargo, esto supone un costo adicional en salario, visto que obliga a los trabajadores en laborar en horarios fuera de su jornada de trabajo (elevando los costos por sobretiempo). Por otro, visto que los procesos productivos son cada más complejos, entonces las tareas de mantenimiento preventivo son cada vez más insuficientes y además, no se evalúan las condiciones actuales del sistema productivo (Ni, Gu y Yi, 2015).

Consideran Ab-Samat et al. (2013) que el mantenimiento preventivo es el más básico que toda empresa debe implementar, involucrando acciones relativas a inspección, servicio, reparación o reemplazo de componentes físicos en maquinarias, plantas o equipos. Este tipo de mantenimiento se focaliza en el sistema fabril, visto que su función es la prevención o ralentización de su deterioro.

Generalmente, el cronograma de mantenimiento es elaborado siguiendo las recomendaciones del proveedor, pero también requiere del conocimiento local, basado en las condiciones de uso reales o experiencias previas. Asimismo, la elaboración de dicho cronograma requiere de evaluaciones cuantitativas de los tiempos de falla, los costos de intervención y las consecuencias de las fallas (Eti, Ogaji y Probert, 2006).

Como destacan Mahfoud, Barkany y Biyaali (2016), al realizar una revisión del concepto de mantenimiento se han encontrado algunos constructos que lo definen. En primer lugar, está asociado al concepto de mantenimiento aplicado en la organización; así, el mantenimiento preventivo puede estar aplicado individualmente o como parte del TPM o del mantenimiento centrado en la confiabilidad. Luego, en materia de políticas y acciones de mantenimiento, se observa una predilección por el enfoque preventivo, en especial el basado en el tiempo. Este tipo de mantenimiento, como lo reflejan Pirela y Pirela (2012), se puede planear o programar con base al tiempo, al uso o las condiciones del equipo.

En cuanto a los objetivos a maximizar dentro del plan de mantenimiento, se ha observado un direccionamiento hacia la medición de la confiabilidad, la disponibilidad y la capacidad, lo cual asegura la vida útil del sistema y minimiza los costos en la gestión de activos. En cuanto a la efectividad del mantenimiento o grado en el que se restablecen las condiciones de funcionamiento de un equipo, luego de ejecutarse alguna acción de mantenimiento; se observa que se han diferenciado dos niveles: reparación perfecta y reparación mínima ofrecida, existiendo una gran variedad de grados entre ellos (Mahfoud et al., 2016).

Seguidamente, se tiene el modelado del deterioro (el cual se considera la parte más importante del mantenimiento), el cual comprende de herramientas que permiten comprender el comportamiento del deterioro de los equipos. La identificación de algoritmos útiles de mantenimiento u optimización de los mismos,

permiten obtener la capacidad para encontrar una solución más apropiada en términos de tiempo y de inversión (Mahfoud et al., 2016).

Adicionalmente, se deben considerar tres aspectos de la organización como los sistemas de información, las técnicas generales que aplican para el modelado y las fuentes de datos, que se aplican rutinariamente en las actividades operativas. Los resultados del mantenimiento preventivo generalmente se asocian a la toma de decisiones oportunas (cuándo y cómo cambiar una determinada pieza) y la evaluación de mejoras u optimizaciones en la inspección. En la figura 34 de la sección anexos se describe la modelación del mantenimiento preventivo (Mahfoud et al., 2016).

Como destacan Jin et al. (2016), la implementación del mantenimiento preventivo se enfrenta a dos retos importantes: i) es posible que las actividades de mantenimiento sean insuficientes o; por el contrario, sean excesivas en función de las necesidades de los equipos y ii) el reemplazo de piezas antes de que esté degradada significativamente o falle, no permite obtener información suficiente de su ciclo de vida.

De esta manera, como lo reflejan Pirela y Pirela (2012), se requiere de la implementación de un plan de mantenimiento preventivo que requiere de la especificación de actividades periódicas orientadas a la conservación de los equipos, ubicando las piezas con defectos y previniendo las fallas que puedan generarse de las paradas imprevistas. Por lo tanto, el aspecto más importante de la política de mantenimiento predictivo es la determinación de su frecuencia, lo que se conoce como el intervalo del mantenimiento preventivo (Nguyen y Bagajewicz, 2010).

En definitiva, los pasos para la implementación del mantenimiento preventivo son:

Administración del plan. Consiste en armar un equipo de trabajo que dé inicio al desarrollo del plan, siendo necesario la designación de un líder, quien luego del anuncio de la implementación del plan, debe organizar las labores para diseñar el programa.

Inventario de instalaciones. Consiste en crear un listado de las instalaciones con los equipos en cada sitio; este documento debe especificar la identificación del

equipo; su descripción y las características de instalación; ubicación, tipo y prioridad.

Inventario de equipo. Desarrollo de un sistema que permita la codificación de cada equipo, identificando el código utilizado para su ubicación, el tipo de máquina y su número. Es obligatorio que el sistema difiera entre plantas, ajustándose a su naturaleza e instalaciones.

Horario del mantenimiento. Identificación de las horas, fechas y frecuencias del mantenimiento.

Registro de instalaciones. Es un archivo electrónico que incluye los detalles técnicos respecto a cada elemento que se ha incluido en el plan de mantenimiento, siendo estos datos los primeros que alimentan el sistema de información del mantenimiento. Así, el registro del equipo incluye un número de identificación, lugar, clase de equipo, quién lo fabricó, fecha de fabricación, número de serie, especificación, tamaño, capacidad, velocidad, peso, potencia, requisito de servicio, detalles de conexión, detalle de cimentación, dimensión general, espacio libre o capacidad utilizada, número de código de referencia, número de referencia para cada manual.

Especificación del trabajo. Es un documento en donde se realiza la descripción del procedimiento de cada tarea, cuyo nivel de detalle permite comprender cada procedimiento a seguir, incluyendo las actividades de seguridad.

Programa de mantenimiento. Debe un elaborarse un programa, contentivo de los equipos, su ubicación, lista detallada de tareas, frecuencia, herramientas y materiales necesarios que contribuyan a la ejecución del mantenimiento; en él se debe especificar incluso las laborales manuales que se deben realizar y las estipulaciones de contrato.

Programa de control. Requerido para evaluar las posibles desviaciones del programa, identificándose los métodos para el seguimiento y monitoreo de indicadores.

Siguiendo a Cruz (2016), la medición del mantenimiento preventivo se puede realizar utilizando dos indicadores básicos: confiabilidad y disponibilidad; el primero, responde a la posibilidad de que una maquinaria realice su función específica para la empresa en un determinado momento; así el análisis de disponibilidad representa el tiempo en que la maquinaria estuvo dispuesta para

realizar sus operaciones. se convierte en un estudio de fallos; la forma como se miden ambos indicadores se describe en la tabla 2.

Tabla 2. *Métricas del mantenimiento preventivo*

| Indicador | Categorías | Ecuación |
|----------------|--|--|
| Confiabilidad | <ul style="list-style-type: none"> Tasa de fallas Tiempo | $C(t) = e^{-0.01*\lambda*t} * 100\%$ <p>C = Porcentaje de Confiabilidad λ = Tasa de fallas t = Tiempo de evaluación, siendo el límite máximo definido por el período el cual puede operar la maquinaria</p> |
| Disponibilidad | <ul style="list-style-type: none"> Tiempo medio entre fallas Tiempo medio para reparar | $D = \frac{TMEF}{TMEF + TMPR} * 100\%$ <p>D = Porcentaje de Disponibilidad TMEF = Tiempo medio entre fallas TMPR = Tiempo medio para reparar</p> |

Fuente: Adaptado de Cruz (2016).

En términos generales, la productividad se ha concebido como la relación existente entre el producto generado por una empresa y los insumos que utiliza, como lo son: mano de obra (horas – hombre), bienes de capital (máquinas y equipos) y recursos (materia prima, dinero y energía) (Nallusamy y Muthamizhmaran, 2016). Una interpretación interesante del concepto de productividad la expone Saari (2006), quien al separar los procesos de las empresas en seis: procesos reales (asociado al sector real de la economía, donde se transforma insumos en bienes), procesos de distribución de ingresos, procesos de negocios, procesos monetarios y procesos de valor de mercado; indica que la productividad se crea en los procesos reales, generando las ganancias requeridas en los procesos de distribución de ingresos, los cuales constituyen los procesos de negocio de una empresa.

Para Bhiradi y Singh (2014), la productividad es una medida que se operacionaliza como la relación entre la producción y los insumos utilizados, por lo que su objetivo consiste en identificar cuán eficiente es un sistema al utilizar los recursos existentes para generar un volumen de producción deseado. Partiendo de esto, es que Festus y Ogadimma (2015) consideran que este concepto está asociado estrechamente con el uso y la disponibilidad de recursos; por lo que la

productividad disminuye cuando los recursos no se utilizan de manera adecuada o por la ausencia de ellos.

Debe destacarse, además, que la medición de la productividad se extiende desde una actividad o proceso organizacional hasta el nivel industrial o nacional, clasificándose entre la productividad de un factor único (productividad parcial) hasta la productividad de múltiples factores (productividad total) (Ayele y Robinson, 2018). Una revisión de las más importantes mediciones de productividad, se encuentran en Carayannis y Grigoroudis (2014), las cuales se presentan en la tabla 57 de la sección de Anexos.

En el caso de la medida de productividad unifactorial, la cual es el centro de esta investigación, Kondakov (2016) señala que puede medirse conforme se describe en la figura 2.

Figura 2. *Fórmula para la determinación de la productividad unifactorial*

$$Q = \frac{N}{T}$$

Donde, Q = productividad; N = volumen del producto y T = tiempo necesario para la producción

Fuente: Adaptado de Kondakov (2016).

Sobre esta expresión, Prokopenko (1999) señala que el tiempo es un buen denominador dentro de la fórmula, visto que es una medida universal y está lejos de ser controlado por el individuo; así cuanto menor tiempo se lleve el proceso de producción, será el sistema más productivo. Además, este tipo de expresión resulta como un interesante instrumento comparativo en diferentes sistemas de producción.

De Been, Van Der Voordt y Haynes (2016) argumentan que son innumerables los factores que inciden sobre la productividad en una organización y los clasifica en:

- Condiciones físicas, entre las que se incluye el clima interior, visto que una temperatura incómoda (muy cálida o muy fría) afecta la productividad de los empleados, en especial en tareas largas. Así, como la calidad del aire interior, el cual también incide en la salud de los colaboradores.
- La disponibilidad de luz solar, mediante ventanas grandes; la presencia de vegetación y la frecuencia e intensidad de ruidos son elementos que inciden en el

desempeño. También se incluye dentro de esta categoría, el control personal de los factores ambientales, lo cual consiste en darle la capacidad al operador de adecuar aspectos como temperatura, calidad de aire, niveles de luz y ruido.

- Espacio, aquí se incluyen aspectos como la capacidad de trabajar sin distracciones y la posibilidad de interactuar con otros compañeros, lo cual afecta la concentración que requieren los trabajadores. De igual manera, este renglón engloba los factores disruptivos y distractores que inciden sobre el desempeño; así como la complejidad de las tareas y las características personales. Las políticas y la gestión de los activos fijos se consideran también relevante en este concepto.

- Ergonomía, se consideran en estas categorías el diseño físico de las estaciones de trabajo y los muebles, equipos, etc., destacando el efecto de un espacio apropiado y un ajuste óptimo de los implementos para cada trabajador como parte de garantizar su salud y seguridad dentro de las instalaciones.

- Estética, el estilo y uso del color y las formas también se ha considerado como un elemento que incide el comportamiento del trabajador.

A estos factores según, Prokopenko (1999) deben agregarse factores blandos como la organización y sistemas; los métodos de trabajo y los estilos de dirección: así como, los recursos naturales disponibles (mano de obra, tierra, energía y materias primas) y aspectos relativos al Estado e infraestructura (disposiciones institucionales; políticas y estrategias; instalaciones, construcciones y empresas públicas).

Como destacan De Been et al. (2016), la productividad es un concepto que, naturalmente, está asociado a eficiencia y eficacia; entendiéndose como eficiencia hacer las cosas de manera correcta; es decir, obtener el resultado con la menor cantidad disponible de recursos) y como eficacia, realizar las cosas correctas o ejecutar las actividades apropiadas para la consecución de los objetivos, siendo el resultado obtenido el más similar al deseado. Así, en términos de la productividad, la eficacia tiene que ver con el producto (mejor resultado), mientras que la eficiencia se vincula con los insumos (menor cantidad posible de recursos utilizados).

Para López-González et al. (2015), la eficiencia técnica se refiere a la habilidad de una unidad productiva (máquina, planta, fábrica, industria, etc.) de producir con el máximo rendimiento posible partiendo de una determinada cantidad de recursos

y de una tecnología dada, es así que comúnmente se mide a través del ratio, expresado en la figura 3.

Figura 3. *Fórmula para la determinación de la eficiencia técnica*

$$EE = \frac{N}{I}$$

Donde, EE = eficiencia; N = volumen del producto y I = insumo utilizado

Fuente: Adaptado de López-González et al. (2015).

Este ratio oscila entre 0 y 1; por lo que la eficiencia técnica permite la medición del máximo nivel de producción del sistema de producción empleado con base a los costos en que se incurre, por ello que muchos autores, la definen como una relación ingreso – costo o salidas – entradas (López-González et al., 2015).

En cuanto a la eficacia, destaca la definición de Prokopenko (1999), quien la define como el indicador que permite observar el cumplimiento de las metas; por lo que relaciona si el resultado logrado es realmente lo que se desea; así que puede medirse con base al ratio expresado en la figura 4.

Figura 4. *Fórmula para la determinación de la eficacia técnica*

$$EA = \frac{N}{NP}$$

Donde, EE = eficacia; N = volumen del producto y NP = producción planificada

Fuente: Adaptado de López-González et al. (2015).

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

De acuerdo a Carrasco (2017), esta investigación se enmarca dentro de los estudios aplicados, los cuales se diferencian por disponer de propósitos prácticos definidos con claridad, buscando actuar para cambiar o modificar una determinada realidad. Es así que, este estudio se enfocará en revertir la tendencia decreciente de la productividad de una empresa del sector metalmecánico, con base a la implementación de una herramienta específica (el mantenimiento preventivo).

En cuanto al enfoque, de acuerdo a Hernández, Fernández y Baptista (2014), el estudio se ubica dentro del marco de los cuantitativos, los cuales comprenden el levantamiento de datos a través de la aplicación de instrumentos de recolección de datos para la comprobación de hipótesis planteadas inicialmente, con el objetivo de validar las teorías existentes.

En función de lo anterior, el estudio a desarrollar comprende un conjunto de pasos que, al ejecutarse de manera sistemática, permitirán disponer de datos respecto a los indicadores planteados (tasa de confiabilidad, tasa de disponibilidad, eficiencia y eficacia) que permitirán demostrar si efectivamente el mantenimiento preventivo mejora la productividad en la empresa seleccionada, lo cual ha sido demostrado en investigaciones previas como se aprecia en la sección de antecedentes.

En función del alcance, el estudio es explicativo, con base a lo descrito por Hernández et al. (2014), visto que por un lado describirá el comportamiento de la realidad existente con base a sus características; en este caso, se reflejará el comportamiento y los rangos de los indicadores seleccionados en un momento determinado, lo cual es propio de los estudios descriptivos. Sin embargo, por otro lado, se concentrará en la determinación de las causas de esa realidad, indagando sobre cómo a través del uso del mantenimiento preventivo se puede mejorar la productividad, lo cual es una característica de los estudios explicativos.

En cuanto a su diseño, el estudio es del tipo cuasiexperimental, toda vez que se manipulará la variable independiente (mantenimiento preventivo) con la finalidad de modificar la variable dependiente (productividad), en los cuales no se determina al azar los sujetos que conforman los grupos de control y experimental (Carrasco,

2017). Además, es un diseño con preprueba-posprueba y grupos intactos en los cuales se evalúa al inicio y al final, luego de la manipulación de la variable (mantenimiento preventivo), siendo el diagrama de diseño el presentado en la figura 5.

Figura 5. *Diseño de investigación*

G₁ X O₁
G₂ --- O₂

Dónde,

G₁ = producción diaria de estribos en el pretest.

O₁ = medición de la productividad en el pretest.

G₂ = producción diaria de estribos en el postest.

O₂ = medición de la productividad en el postest.

3.2. Variables y operacionalización

Variable independiente: Mantenimiento preventivo

Definición conceptual. Para Jin et al. (2016), el mantenimiento preventivo se basa en la reparación, reemplazo y mantenimiento de cada equipo, con la finalidad de evitar las fallas que inesperadamente se presentan en ellos durante las actividades operativas. De allí que, su objetivo se centra es reducir al mínimo el costo total de la inspección y de la reparación; así como, disminuir el tiempo de inactividad de la máquina.

Definición operacional. Se medirá a través de la confiabilidad y disponibilidad (Cruz, 2016).

Variable dependiente: Productividad

Definición conceptual. En términos generales, la productividad se ha concebido como la relación existente entre el producto generado por una empresa y los insumos que utiliza, como lo son: mano de obra (horas – hombre), bienes de capital (máquinas y equipos) y recursos (materia prima, dinero y energía) (Nallusamy y Muthamizhmaran, 2016).

Definición operacional. Como destacan De Been et al. (2016), la productividad es un concepto que, naturalmente, está asociado a eficiencia y eficacia.

La matriz de operacionalización de ambas variables se establece en la tabla 3.

Tabla 3. Matriz de *Operacionalización*

| Variable | Definición conceptual | Definición operacional | Dimensiones | Indicador | Escala |
|--------------------------|---|--|----------------|---|--------|
| Mantenimiento preventivo | Para Jin et al. (2016), el mantenimiento preventivo se basa en la reparación, reemplazo y mantenimiento de cada equipo, con la finalidad de evitar las fallas que inesperadamente se presentan en ellos durante las actividades operativas. De allí que, su objetivo se centra es reducir al mínimo el costo total de la inspección y de la reparación; así como, disminuir el tiempo de inactividad de la máquina. | El mantenimiento Preventivo se medirá a través de las dimensiones de confiabilidad y disponibilidad con sus indicadores de Porcentaje de confiabilidad y Porcentaje de Disponibilidad respectivamente. | Confiabilidad | $C(t) = e^{-0.01*\lambda*t} * 100\%$ C = Porcentaje de Confiabilidad λ = Tasa de fallas t = Tiempo de evaluación | Razón |
| | | | Disponibilidad | $D = \frac{TMEF}{TMEF + TMPR} * 100\%$ D = Porcentaje de disponibilidad TMEF = Tiempo medio entre fallas TMPR = Tiempo medio para reparar | Razón |
| Productividad | En términos generales, la productividad se ha concebido como la relación existente entre el producto generado por una empresa y los insumos que utiliza, como lo son: mano de obra (horas – hombre), bienes de capital (máquinas y equipos) y recursos (materia prima, dinero y energía) (Nallusamy y Muthamizhmaran, 2016). | La productividad será medida en las dimensiones eficiencia y eficacia con sus indicadores de Índice de eficiencia e Índice de eficacia respectivamente. | Eficiencia | $EE = \frac{N}{I}$ EE = Índice de eficiencia N = Horas trabajadas I = Horas programadas | Razón |
| | | | Eficacia | $EA = \frac{N}{NP}$ EA = Índice de eficacia N = Producción real NP = producción planificada | |

Fuente: Elaboración propia (2020).

3.3. Población, muestra y muestreo

Población

La población del estudio, definida como el conjunto de elementos pertenecientes al ámbito especial cuyas características han sido determinadas en la investigación (Carrasco, 2017), está compuesta por la producción diaria de estribos.

Se considerarán los siguientes criterios para delimitar la población:

- **Criterios de inclusión**

Estribos producidos en las máquinas Schnell Prima 12R y MEP Minisyntax. en el horario de lunes a sábado del primer turno, es decir en un horario de 7 a.m. a 4 p.m.

- **Criterios de exclusión**

No se incluirán los productos de acero producidos en las máquinas Schnell Prima 12R y MEP Minisyntax en los turnos de tarde y amanecida, ni los días domingos.

Muestra

La muestra constituye un subgrupo representativo de la población con características que permiten realizar generalizaciones a partir de ella (Carrasco, 2017).

En este caso, se considerará la producción diaria de estribos durante el periodo de tres meses, en el primer turno, establecidos en 12 semanas.

Muestreo

El muestreo que se ha utilizado es de tipo no probabilístico a conveniencia o intencional (no dirigido); donde la selección de los elementos que componen la muestra se realiza bajo criterios establecidos por el investigador (Hernández et al., 2014).

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Como técnica de recolección de datos, se empleará la observación, definida por Palomino, Peña, Zeballos y Orizano (2017), como una técnica que consiste en observar directamente el fenómeno, tomando información del mismo, para luego registrarla y analizarla. En este caso, se ha optado por la observación científica (visto que el objetivo de estudio está claro, definido y preciso), directa (realizada por el propio investigador) y estructurada (aplicando un elemento técnico apropiado).

Así, como elemento o instrumento para la recogida de datos, se empleará la ficha de observación (o de recolección de datos) definida como un instrumento utilizado en investigaciones de campo, acercando directamente al investigador a la fuente de información y está compuesto por ítems e instrucciones precisas (Palomino et al., 2017).

En el Anexo 2, se presentan los instrumentos de recolección de datos para ambas variables: mantenimiento preventivo y productividad; se debe destacar que para la variable mantenimiento preventivo se han diseñado tres fichas; la primera de ellas para la medición de los indicadores del mantenimiento preventivo, la segunda para la evaluación de la programación del mantenimiento y la tercera para la revisión de la maquinaria. En el caso de la variable productividad, la ficha se ha dividido en dos partes, vistos los dos productos principales de la empresa: estribos y barras.

Validez y confiabilidad

Validez. La validez se refiere al grado en que el instrumento de recolección de datos mide cada una de las variables (Carrasco, 2017).

En la presente investigación, se ha utilizado la validación de contenido, definida por Hernández et al. (2014), como el grado en el que instrumento refleja el concepto de la variable que mide. Por otro lado, de acuerdo a Carrasco (2017), se ha evaluado criterios como coherencia, pertinencia y relevancia del contenido, a través de la apreciación de los siguientes docentes de la Universidad César Vallejo:

1. Mg. Ing. López Padilla Rosario
2. Mg. Ing. Lino Rodríguez Alegre
3. Mg. Zeña Ramos José de la Rosa

En las tablas 4 y 5, se presentan los resultados de la validez de contenido para cada uno de los instrumentos, con base al juicio a expertos, descrito en el Anexo 3.

Tabla 4. *Validación del instrumento: Mantenimiento preventivo*

| CRITERIOS: | Experto 1 | Experto 2 | Experto 3 |
|-------------|-----------|-----------|-----------|
| Pertinencia | Sí | Sí | Sí |
| Relevancia | Sí | Sí | Sí |
| Claridad | Sí | Sí | Sí |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5. *Validación del instrumento: Productividad*

| CRITERIOS: | Experto 1 | Experto 2 | Experto 3 |
|-------------|-----------|-----------|-----------|
| Pertinencia | Sí | Sí | Sí |
| Relevancia | Sí | Sí | Sí |
| Claridad | Sí | Sí | Sí |

Fuente: Elaboración propia.

Confiabilidad

Por la naturaleza del instrumento, se medirá la confiabilidad, o grado en el que el instrumento reproduce resultados con características de pertinencia, relevancia y claridad al aplicarse en distintos momentos, utilizando la medida de estabilidad (test-retest) (Hernández et al., 2014). En este caso, los resultados se presentan en las tablas 6 y 7, donde se observa que los coeficientes de correlación son positivos y cercanos o superiores a 0.500, lo cual refleja que no deben eliminarse ninguno de los elementos medidos.

Cabe destacar que la determinación, de dichos valores se realizó sobre un período de los últimos tres meses donde la empresa generó producción (excluyendo los períodos de paralización por la pandemia del covid-19), la información se presenta en el Anexo 4. La evaluación se realizó de manera semanal, considerando para ello las siguientes premisas: i) solo se consideró una de las tres jornadas laborales fijadas de ocho horas (la jornada de 7:00 am a 4:00 pm); ii) son seis los días de operatividad y iii) así, la cantidad de horas programadas es 48. Cabe destacar que, visto que las horas programadas no cambian de

valor y que las horas de reparación resulta de restar el tiempo de reparación de estas horas programadas (existe una relación directa entre ambas variables) se excluyeron ambos indicadores de la medición de la confiabilidad del instrumento para mantenimiento preventivo porque generaban valores negativos.

Tabla 6. *Confiabilidad del instrumento para mantenimiento preventivo*

| Descripción | Correlación total de elementos corregida | Alfa de Cronbach si el elemento se ha suprimido |
|-------------------------|--|---|
| Número de fallas al mes | 0.762 | - |
| Tiempo de reparación | 0.762 | - |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7. *Confiabilidad del instrumento para productividad*

| Descripción | Correlación total de elementos corregida | Alfa de Cronbach si el elemento se ha suprimido |
|------------------------|--|---|
| Horas trabajadas | 0.991 | 0.874 |
| Producción total | 0.982 | 0.648 |
| Producción defectuosa | 0.987 | 0.873 |
| Producción real | 0.982 | 0.648 |
| Producción planificada | 0.941 | 0.676 |

3.5. Procedimientos

3.5.1 Primera etapa: Recopilación de datos

La recopilación de datos, como etapa dentro del proceso de investigación, consiste en obtener la información (directa o indirectamente) del problema de estudio (Carrasco, 2017). Para esta investigación, inicialmente, se recabó información que permitiera determinar las causas de la baja productividad de la empresa bajo estudio.

En función de lo anterior, se realizó una entrevista preliminar con directivos de la empresa a los fines de identificar las causas que explicaban el comportamiento de la productividad (ver tabla 47); posteriormente, se elaboró el diagrama de Ishikawa de la empresa con la finalidad de ordenar y clasificar estas causas (ver figura 1) y, finalmente, se elaboró el diagrama de Pareto, donde se identificaron como causas críticas el inadecuado

control de calidad (C9), con una incidencia del 14% sobre la productividad y las paradas imprevistas (C4) con el 13% (ver tabla 49 y figura 30).

La segunda parte de la recopilación de información se efectuará para recopilar información de los indicadores, dimensiones y variables del estudio, para lo cual se aplicarán los instrumentos que fueron, previamente, validados a través del juicio de expertos. Esto permitirá obtener los datos presentados en la sección de pretest.

3.5.2 Segunda etapa: Propuesta de implementación

A. Situación actual

a. Información de la empresa

La empresa metalmecánica, desde septiembre del 2008, ofrece soluciones en acero que se usan en la construcción de obras, operando conjuntamente con las más importantes constructoras en el Perú. Es parte del grupo Monterrey e Inkaferro Colombia y en colaboración con ArcelorMittal, responde de manera garantizada a las necesidades del mercado en Bolivia, Colombia y Perú. Proveen cerca de 200 mil toneladas de acero según pedido a países suramericanos, coadyuvando con su desarrollo y el de sus ciudadanos. La empresa metalmecánica brinda soluciones en acero de calidad suprema en el mercado nacional, considerado como actividad siderúrgica referente en el mundo, donde abastece de fierro corrugado Belgo 60, elaborado solamente en el país y dispone del servicio de corte y doblado de acero, Belgo Pronto, con el apoyo de ArcelorMittal.

b. Actividades

La empresa realiza las siguientes actividades:

Belgo Pronto, es un servicio de corte y doblado de acero de refuerzo, constituyendo una serie de soluciones para fase de estructura de cada proyecto constructivo. Dicho sistema ofrece mejores niveles de productividad y calidad, asesorando oportunamente a los responsables de la obra y ajustándose a su cronograma, ofreciendo material codificado y en perfecto estado para ser utilizado. Se brinda un servicio de manera personal, acompañado con una vasta experiencia y orientación al cliente, lo cual se respalda con la participación de la mayor siderúrgica en el mundo, líderes soluciones de acero en cada

continente, ArcelorMittal, cuyo enfoque es no ser un simple proveedor, sino convertirse en socio en la construcción.

El servicio de colocado en obra, por el cual la empresa se encarga del armado y montaje de acero, con personal calificado y profundo respeto de los requerimientos del proyecto; así se brinda soporte de ingeniería y mano de obra. Con este sistema, el acero llega cortado y doblado a obra mediante el servicio de corte y doblado Belgo Pronto, luego de ello, el personal altamente especializado efectúa el montaje de la estructura, respetando los estándares de calidad, seguridad y productividad de la obra.

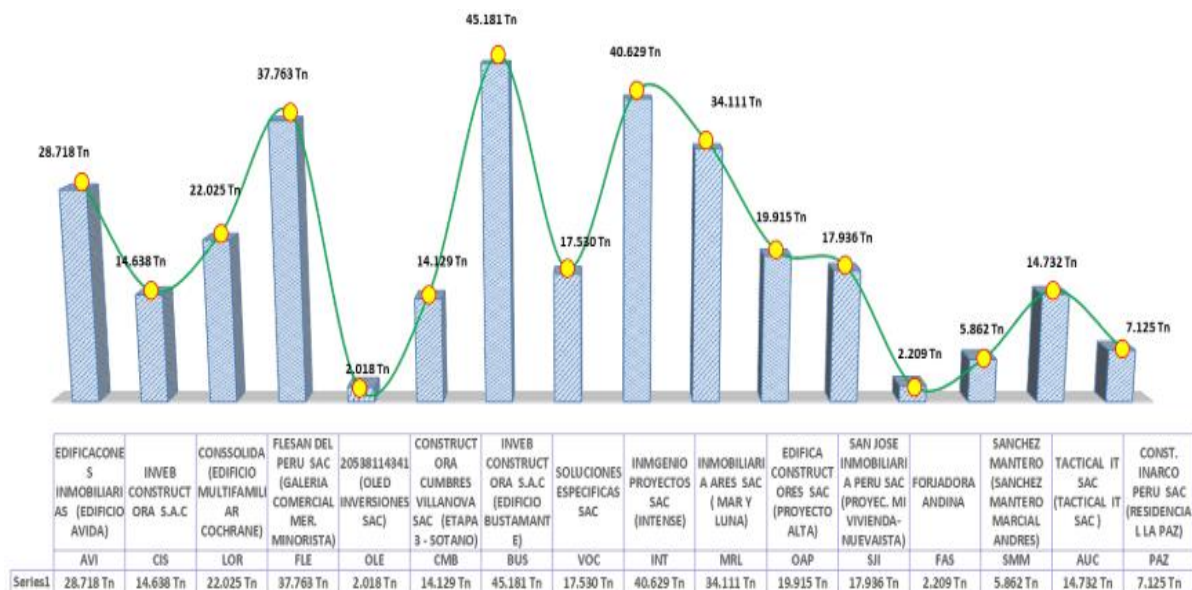
c. Volumen del negocio

En cuanto al volumen del negocio, se puede definir que se realiza aproximadamente cerca de 84 toneladas diarias de corte y doblado de estribos Belgo en diversas dimensiones según pedido del cliente, producidas durante tres turnos de trabajo.

d. Mercado objetivo

El mercado objetivo de la empresa son las empresas que realizan obras de construcción. A continuación, se muestra en la figura 6 la producción por cliente en el mes de agosto del presente año.

Figura 6. Producción del mes de agosto de 2020 de la empresa por clientes

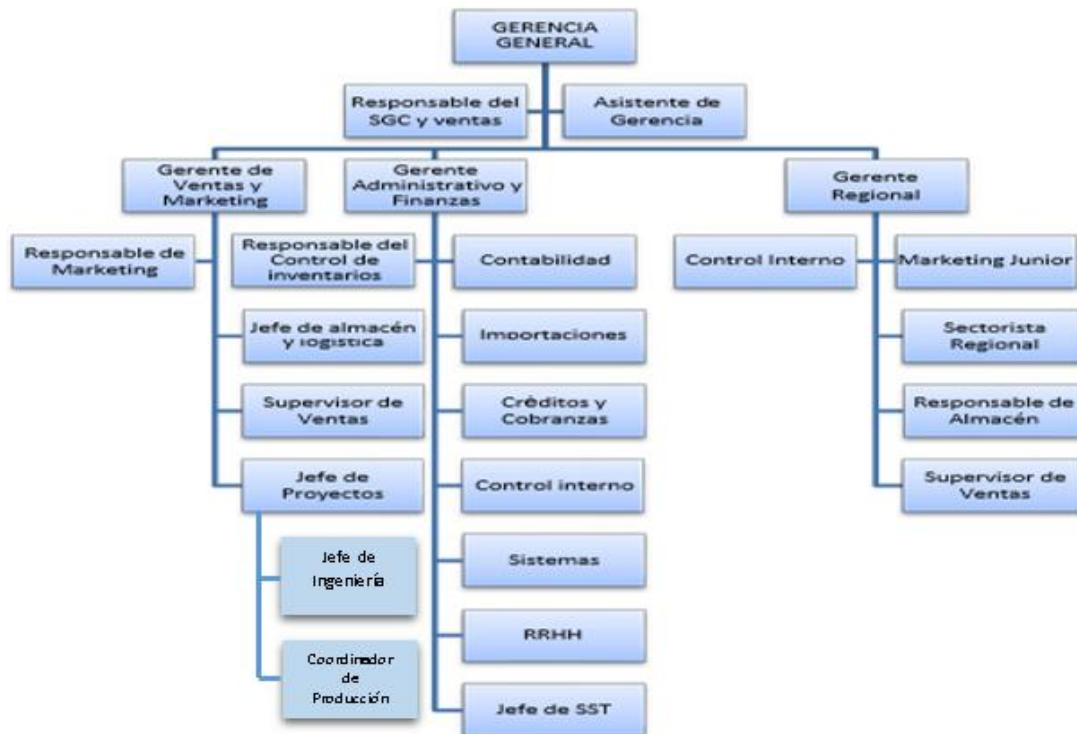


Fuente: Empresa metalmecánica, Callao (2020).

e. Organigrama

El organigrama de la empresa se presenta en la figura 7.

Figura 7. Organigrama de la empresa



Fuente: Empresa metalmecánica, Callao (2020).

f. Misión, visión, valores, código de ética

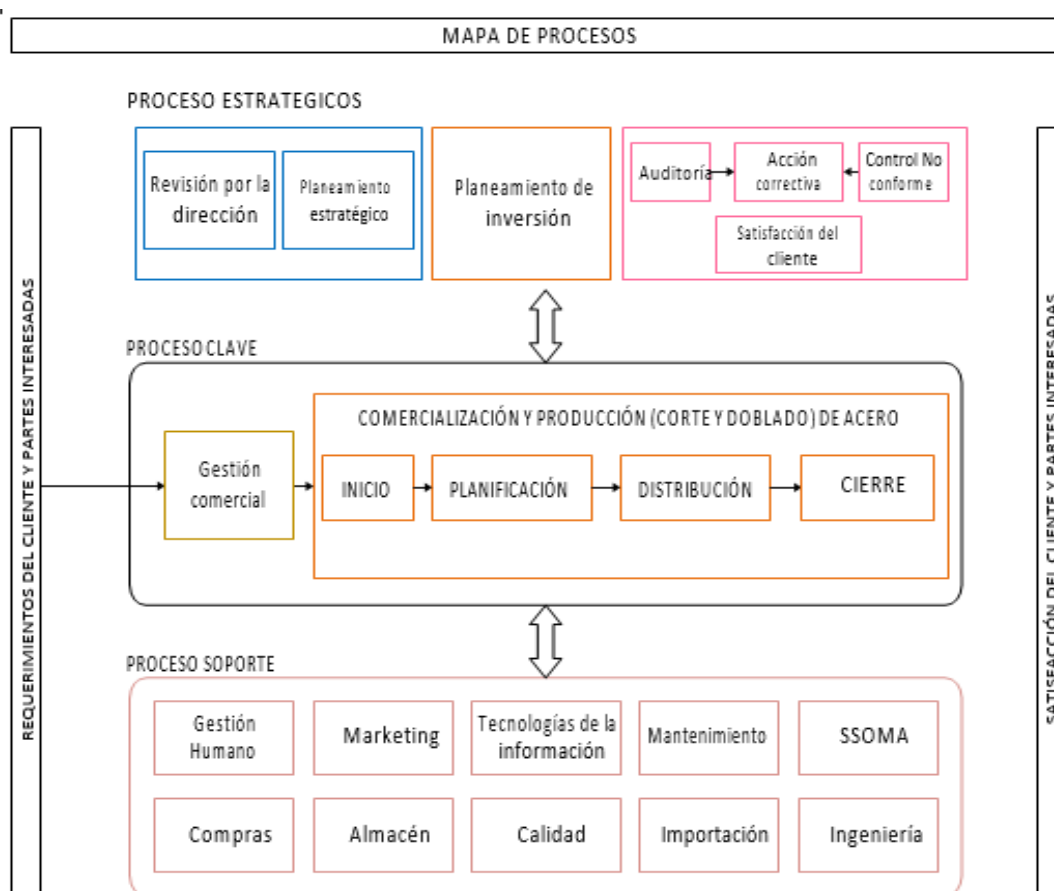
- Misión: Al analizar la misión de la empresa, se encuentra su orientación a la comercialización y servicio de corte y doblado de aceros dentro de la ingeniería civil, con los más supremos niveles de calidad, donde se facilita a cada cliente, la logística para ayudarlo al éxito de su proyecto y a garantizar su operatividad, permitiendo establecer relaciones de largo plazo que favorezca al crecimiento de la propia empresa.
- Visión: En su visión destaca, la imagen de participar de manera preponderante en el mercado peruano, mediante el ofrecimiento de un servicio y de productos de calidad y altamente oportunos.

- Los valores que rigen el funcionamiento de la empresa son: compromiso, trabajo en equipo, lealtad, honestidad, puntualidad, seguridad, liderazgo e integridad.
- La empresa ha puesto en marcha un Sistema de Gestión Anti-soborno, alineado a los lineamientos de su Manual del Sistema de Gestión Anti-soborno y su Política Anti-soborno, el cual ha sido transmitido a su personal y a los *stakeholders*.

g. Procesos

En la figura 8, se presenta el mapa de procesos de la empresa.

Figura 8. Mapa de procesos de la empresa

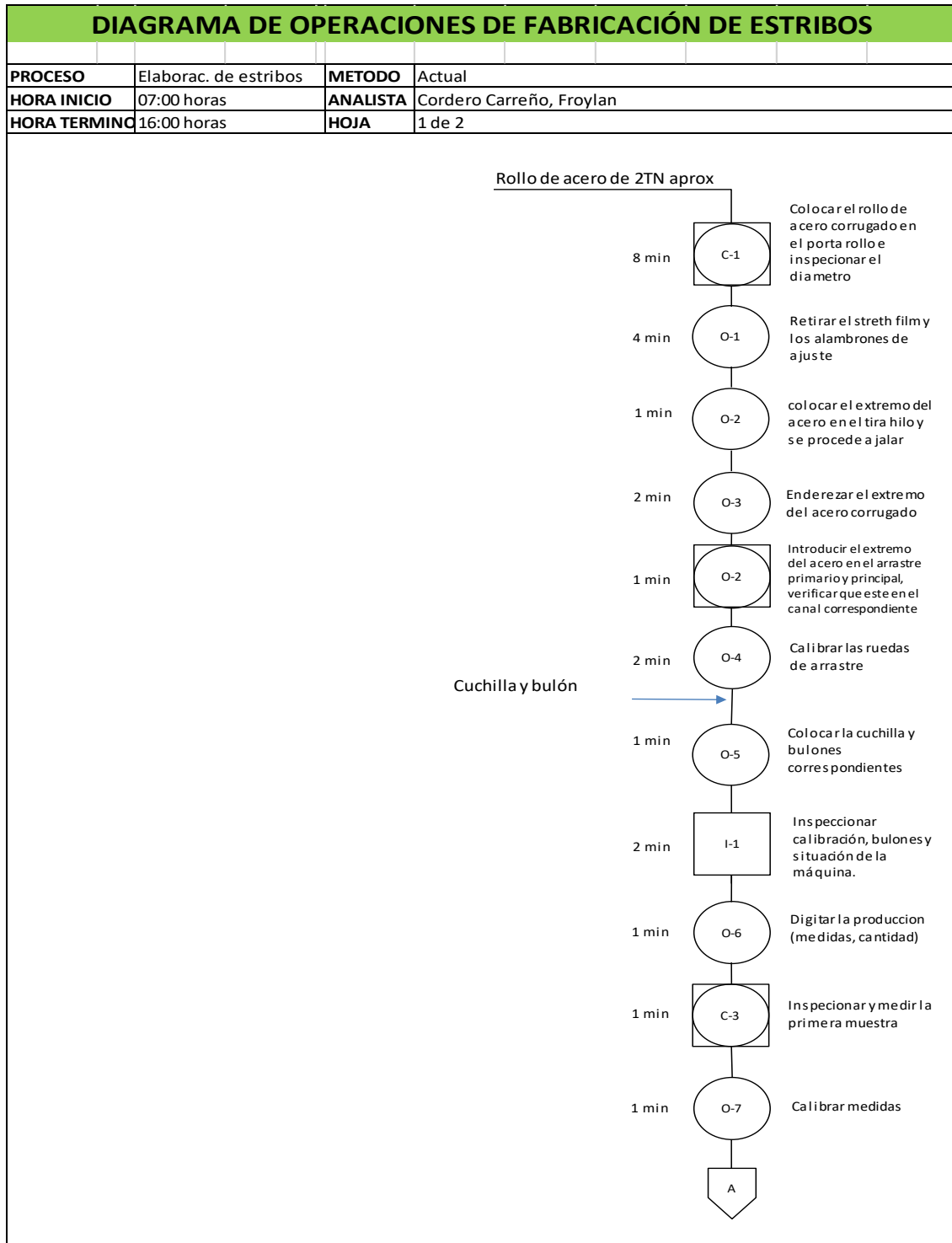


Fuente: Empresa metalmecánica, Callao (2020).

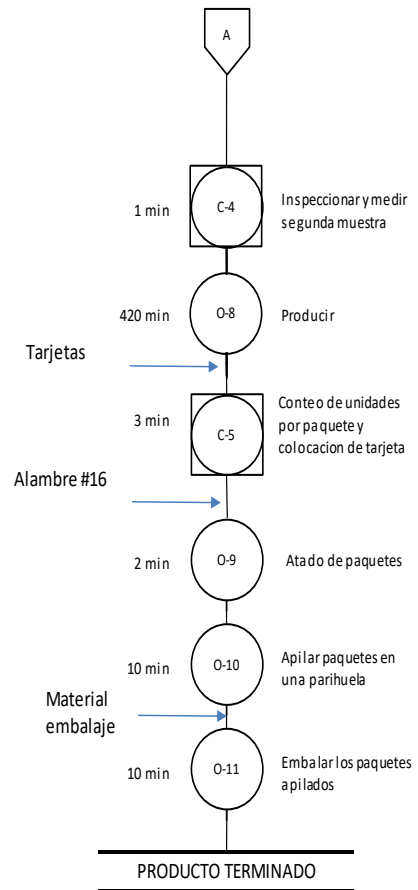
h. Diagramas de operaciones y actividades del proceso

En las figuras 9 y 10, se detallan los diagramas de operaciones y actividades del proceso, respectivamente.

Figura 9. Diagrama de operaciones de la empresa



| | | | |
|------------------------|-------------------------|-----------------|------------------------------------|
| PROCESO | Elaboración de estribos | METODO | Actual |
| HORA DE INICIO | 07:00 horas | ANALISTA | Cordero Carreño, Froylan Jean Paul |
| HORA DE TERMINO | 16:00 horas | HOJA | 2 de 2 |



| SIMBOLO | CANTIDAD | TIEMPO |
|--------------|-----------|----------------|
| ○ | 11 | 454 min |
| □ | 1 | 2 min |
| ◻ | 5 | 16 min |
| TOTAL | 16 | 472 min |

Fuente: Empresa metalmecánica, Callao (2020).

Figura 10. Diagrama de actividades del proceso

| CURSOGRAMA ANALÍTICO | | | | Operario / Material / Equipo | | | | | |
|---|----------|-----------|---------|------------------------------|--------|--------------|----------|---|-------------------------|
| Diagrama no.1 | | Hoja:1 | de | Resumen | | | | | |
| Producto: ESTRIBOS BELGO PRONTO | | | | Actividad | Actual | Propuesto | Economía | | |
| Actividad: CORTAR, ENDEREZAR, INSPECCIONAR Método: actual / propuesto Lugar: CALLAO, PERÚ | | | | Operación ○ | 15 | 13 | 2 | | |
| | | | | Inspección □ | 6 | 3 | 3 | | |
| | | | | Espera D | 1 | 1 | 0 | | |
| | | | | Transporte ⇨ | 5 | 2 | 3 | | |
| | | | | Almacenamiento ▼ | 1 | 1 | 0 | | |
| Operario (s): | | | | Ficha no. | | Costo | | | |
| Compuesto por: | | | | Fecha:22/09/2020 | | Mano de obra | | | |
| Aprobado por: | | | | Fecha: | | Material | | | |
| | | | | TOTAL | | | | | |
| DESCRIPCIÓN | Cantidad | Distancia | Tiempo | ACTIVIDAD | | | | | OBSERVACIONES |
| | | | | ○ | □ | D | ⇨ | ▼ | |
| Esperar orden del supervisor | | | 2 min | | | | | | |
| Inspeccionar tarjetas (códigos) | | | 0,5 min | | | | | | |
| Inspeccionar material en portarrollos | | | 0,5 min | | | | | | Inspec. diámetro |
| Inspeccionar área de trabajo | | | 0,5 min | | | | | | Todo listo para empezar |
| Pedir rollos a montacarguista | | 20 m | 1 min | | | | | | |
| Cortar alambres y retirar stretch film | | | 4 min | | | | | | Utilizar guantes |
| Colocar tira hilos | | | 0,5 min | | | | | | |
| Jalar hilo | | | 0,5 min | | | | | | |
| Enderezar punta de hilo | | | 2 min | | | | | | |
| Abrir enderezado horizontal y ruedas de presión | | | 0,5 min | | | | | | |
| Introducir el hilo | | | 0,5 min | | | | | | |
| Cerrar y enderezar horizontales y ruedas de presión | | | 0,5 min | | | | | | |
| Calibrar verticales | | | 2 min | | | | | | |
| Inspeccionar calibración | | | 0,5 min | | | | | | |
| Digitar producción (medidas, cantidades) | | | 0,5 min | | | | | | |
| Inspeccionar, medir pieza | | | 1 min | | | | | | |
| Calibrar medidas | | | 2 min | | | | | | |
| Inspeccionar medidas | | | 1 min | | | | | | |
| Ejecutar la producción de estribos. | | | 420 min | | | | | | |
| Contar unidades por paquete | | | 1 min | | | | | | |
| Colocar tarjeta | | | 2 min | | | | | | |
| Atar paquetes | | | 2 min | | | | | | |
| Apilar paquetes en parihuela | | | 10 min | | | | | | |
| Embalar paquetes apilados en parihuela | | | 10 min | | | | | | |
| Transportar a almacén | | 30 m | 5 min | | | | | | En montacargas |
| Almacenar | | | 2 min | | | | | | |

Fuente: Elaboración propia (2020).

i. Resultados del Pre-test

Para los cálculos de esta sección, se ha partido de las premisas: (i) la producción de la empresa se ajusta continuamente en función de las demandas de los clientes (solo se produce en función del pedido de los clientes, los cuales varían en dimensiones y cantidades y ii) se ha fijado como tiempo o período de evaluación (t), se ha considerado el criterio de Cruz (2016), quien señala que el seguimiento de la confiabilidad se puede realizar en función del período fijado por el evaluador y siempre es recomendable, utilizar el tiempo en el cual estaría disponible el equipo, en condiciones regulares de producción.

Así, se ha procedido a calcular el tiempo estándar, conforme a lo planteado por Quiroz et al. (2018), en cuyo trabajo lo definen como el tiempo que se requiere para que un operario con nivel de calificación con un nivel de calificación y adiestramiento promedio trabaje a un ritmo normal. En primer lugar, en la tabla 8 se presentan los resultados de la toma de tiempo realizada por un intervalo de 12 días, para lo cual se ha empleado un cronómetro digital, allí se observa que la media de del tiempo requerido (TM) por el operador fue de 6.45 horas por día, con una desviación estándar de 0.06 y un intervalo de confianza al 95% de (LI = 6.41; LS = 6.49).

Tabla 8. *Toma de tiempos*

| Día | Tiempo (en minutos) | Tiempo (en horas) |
|------------------------|---------------------|-------------------|
| 01 | 385 | 6.42 |
| 02 | 388 | 6.47 |
| 03 | 390 | 6.50 |
| 04 | 392 | 6.53 |
| 05 | 387 | 6.45 |
| 06 | 389 | 6.48 |
| 07 | 382 | 6.37 |
| 08 | 394 | 6.40 |
| 09 | 392 | 6.53 |
| 10 | 389 | 6.48 |
| 11 | 387 | 6.45 |
| 12 | 381 | 6.35 |
| Media (TM) | | 6.45 |
| Desviación estándar | | 0.06 |
| Límite inferior al 95% | | 6.41 |
| Límite Superior al 95% | | 6.49 |

Fuente: Elaboración propia.

Cabe destacar que el tiempo señalado en la tabla 8, es el destinado a un volumen e producción aproximada de 1,000 piezas de estribos diariamente, con una producción semanal de 6,000 a 7,500 estribos.

En la tabla 9, se presenta el cálculo del tiempo normal, para lo cual se ha empleado las tablas de factores de valores de Westinghouse, que se presenta en el Anexo 9 (Quiroz et al., 2019). En este sentido, se ha considerado que el nivel de habilidad del operario es bueno (C1) con una ponderación de 6%, mientras que su grado de esfuerzo es en un nivel bueno (C2) con una ponderación de 2%, la valoración de las condiciones en un nivel regular (D) con ponderación de 0% y la consistencia se ha calificado en un nivel aceptable (E) con ponderación de -2%. La suma de estos valores genera un coeficiente de variación del 6%, reflejando que la efectividad promedio del operario es un 6% por encima de los trabajadores habituales.

Tabla 9. *Cálculo del tiempo normal*

| Concepto | Nomenclatura | Valor |
|--------------------------|--------------------|------------|
| Habilidad | H | 6% (0.06) |
| Esfuerzo | E | 2% (0.02) |
| Constancia | CA | 0% (0.00) |
| Consideración | CO | -2% (0.02) |
| Coeficiente de variación | $CV = H+E+CA+CO$ | 6% (0.06) |
| Factor de valoración | $FV = 1+CV$ | 1.06 |
| Tiempo normal | $TN = TM \cdot FV$ | 7.80 |

Fuente: Elaboración propia.

Así, el tiempo normal, o tiempo en el cual el operario trabaja en condiciones de velocidad estándar, sin que se presenten retrasos por razones personales o circunstancias asociadas al entorno laboral (Quiroz et al., 2019), es de 7.80 horas por día.

Seguidamente, en la tabla 10 se calcula el tiempo estándar, para lo cual se ha empleado la tabla de suplementos Westinghouse, que se presenta en el Anexo 9 (Quiroz et al., 2019). En este sentido, dadas las características intrínsecas de la actividad ejecutiva se ha considerado como suplementos: necesidades personales (factor de 5%), fatiga (factor de 4%), trabajo de precisión (factor de 2%), trabajo algo monótono (factor de 1%) y

trabajo algo monótono (factor de 2%), lo que acumula un total de suplementos de 15%, generando un tiempo estándar de 46.79% (≈ 47) horas por día.

Tabla 10. *Cálculo del tiempo estándar*

| Concepto | Nomenclatura | Valor |
|------------------------|---------------------|--------------------|
| Necesidades personales | NP | 5% (0.05) |
| Fatiga | F | 4% (0.04) |
| Trabajo de precisión | TP | 2% (0.02) |
| Trabajo algo monótono | TM | 1% (0.01) |
| Trabajo algo aburrido | TA | 2% (0.02) |
| Suplementos | $S = NP+F+TP+TM+TA$ | 14% (0.14) |
| Tiempo estándar | $TE = TN*(1+S)$ | 46.79 \approx 47 |

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 11, se presentan los resultados del pretest en torno a la disponibilidad y confiabilidad de las maquinarias. Para ello, se ha considerado como tiempo programado las 48 horas por día disponibles y como tiempo de operatividad el tiempo estándar de 47 horas por días determinado en la tabla 10. Con base a ello, se observó que el número de fallas en la semana osciló entre 8 y 16 (con un promedio de 9.66), generando que el tiempo en el cual el equipo estuvo sometido a reparación se ubicara entre 12 y 19 horas por semana (con una media de 11.58). Así, la disponibilidad del equipo se ubicó entre el 58.33% y el 72.92%, con una media durante las doce semanas de evaluación (tres meses) de 64.93%, mientras que la confiabilidad o probabilidad de que dicho equipo realice sus operaciones conforme a lo dispuesto osciló entre 76.45% y 88.91%, siendo la media del período de 83.97%. De esta manera, se observa como las fallas y el tiempo que ameritó su reparación contribuyó a una merma en la disponibilidad y confiabilidad del equipo, lo cual tiene una incidencia importante en la productividad. Este efecto se presenta en la tabla 12, donde también se aprecia el comportamiento de las dimensiones eficacia y eficiencia.

Tabla 11. Disponibilidad y confiabilidad de la maquinaria

| MEDICIÓN DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO PRETEST | | | | | | | | | | | |
|---|--------|------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|--------------------------|------------------------------------|------------------------------------|--|---|------------------------|-------------------------------------|
| MES | SEMANA | INDICADORES | | | | | | | | | |
| | | DISPONIBILIDAD | | | | | | CONFIABILIDAD | | | |
| | | DESCRIPCIÓN | | | | | | INDICADOR | | INDICADOR | |
| | | N° de fallas a la semana (N) | Tiempo programado de operatividad (A) | Tiempo de operación (B) | Tiempo de reparación (C) | Tiempo medio entre fallas TMEF=B/N | Tiempo medio para reparar TMPR=C/N | $D = \frac{TMEF}{TMEF + TMPR} \cdot 100\%$ | Tasa de fallas $\lambda = \frac{1}{TMEF}$ | Tiempo de operatividad | $C(t) = e^{-\lambda t} \cdot 100\%$ |
| SET | 1 | 8 | 48 | 32 | 16 | 4.00 | 2.00 | 66.67% | 0.25 | 47 | 88.91% |
| | 2 | 10 | 48 | 30 | 18 | 3.00 | 1.80 | 62.50% | 0.33 | 47 | 85.50% |
| | 3 | 12 | 48 | 31 | 17 | 2.58 | 1.42 | 64.58% | 0.39 | 47 | 83.37% |
| | 4 | 11 | 48 | 31 | 17 | 2.82 | 1.55 | 64.58% | 0.35 | 47 | 84.64% |
| OCT | 5 | 12 | 48 | 31 | 17 | 2.58 | 1.42 | 64.58% | 0.39 | 47 | 83.37% |
| | 6 | 9 | 48 | 35 | 13 | 3.89 | 1.44 | 72.92% | 0.26 | 47 | 88.62% |
| | 7 | 10 | 48 | 34 | 14 | 3.40 | 1.40 | 70.83% | 0.29 | 47 | 87.09% |
| | 8 | 13 | 48 | 29 | 19 | 2.23 | 1.46 | 60.42% | 0.45 | 47 | 81.00% |
| NOV | 9 | 11 | 48 | 33 | 15 | 3.00 | 1.36 | 68.75% | 0.33 | 47 | 85.50% |
| | 10 | 14 | 48 | 30 | 18 | 2.14 | 1.29 | 62.50% | 0.47 | 47 | 80.31% |
| | 11 | 13 | 48 | 30 | 18 | 2.31 | 1.38 | 62.50% | 0.43 | 47 | 81.57% |
| | 12 | 16 | 48 | 28 | 20 | 1.75 | 1.25 | 58.33% | 0.57 | 47 | 76.45% |
| TOTAL | | 139 | 576 | 374 | 202 | 2.69 | 1.45 | 64.93% | 0.37 | 47 | 83.97% |

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados referidos a la productividad, presentados en la tabla 12, se alinean perfectamente a lo expuesto en la tabla precedente, en cuanto al comportamiento del mantenimiento preventivo en el período estudiado. Así, en primer término, se observa una tendencia decreciente de la eficiencia al pasar de 66.67% al inicio del periodo y culminar en 58.33%; de allí que, en ese intervalo la eficiencia promedió un valor de 64.93%, demostrando un bajo aprovechamiento de las horas programadas para producir y reflejando un bajo rendimiento en función de los recursos disponibles.

En cuanto a la eficacia o cumplimiento de las metas productivas, se aprecia el mismo comportamiento decreciente, iniciando en 65.59% y cerrando en 61.86%, llegando incluso a 46.18% en la semana 5, demostrando la incapacidad de dar respuesta a los requerimientos de los clientes, con un promedio de cumplimiento de 61.23% en el período. Estas cifras arrojaron no solo una baja productividad (promedio de 39.28%), sino una caída de la misma pues inició en 43.73% y culminó en 36.09%, llegando incluso en la semana 5 a apenas 29.83%, esta situación, en un escenario donde la empresa opera en función de los requerimientos de los clientes (no acumulando inventarios), generó reclamos por retraso en los pedidos e incumplimiento en las cantidades acordados.

Tabla 12. Eficacia, eficiencia y productividad de la empresa

| MEDICIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD PRETEST | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|--------|-----------------------------|------------------------------|-------------------|-------------------------|---------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|---------------|---------------------------------|
| MES | SEMANA | EFICIENCIA | | | EFICACIA | | | | | PRODUCTIVIDAD P=(EE*EA)*100% |
| | | Horas Trabaja das (A) | Horas Programa das (B) | INDICADOR | Producción total (C) | Producción defectuosa (D) | Producción real E=C-D | Producción planificada (F) | INDICADOR | |
| | | | | EE= (A/B)*100% | | | | | EA=(E/F)*100% | |
| SET | 1 | 32 | 48 | 66.67% | 5,298 | 51 | 5,247 | 8,000 | 65.59% | 43.73% |
| | 2 | 30 | 48 | 62.50% | 4,340 | 43 | 4,297 | 6,667 | 64.45% | 40.28% |
| | 3 | 31 | 48 | 64.58% | 4,505 | 42 | 4,463 | 6,667 | 66.94% | 43.23% |
| | 4 | 31 | 48 | 64.58% | 5,198 | 50 | 5,148 | 8,000 | 64.35% | 41.56% |
| OCT | 5 | 31 | 48 | 64.58% | 2,493 | 30 | 2,463 | 5,333 | 46.18% | 29.83% |
| | 6 | 35 | 48 | 72.92% | 4,333 | 42 | 4,291 | 6,667 | 64.36% | 46.93% |
| | 7 | 34 | 48 | 70.83% | 3,298 | 34 | 3,264 | 5,333 | 61.20% | 43.35% |
| | 8 | 29 | 48 | 60.42% | 4,833 | 48 | 4,785 | 8,000 | 59.81% | 36.14% |
| NOV | 9 | 33 | 48 | 68.75% | 3,660 | 35 | 3,625 | 6,667 | 54.37% | 37.38% |
| | 10 | 30 | 48 | 62.50% | 2,980 | 31 | 2,949 | 5,333 | 55.30% | 34.56% |
| | 11 | 30 | 48 | 62.50% | 4,950 | 48 | 4,902 | 8,000 | 61.28% | 38.30% |
| | 12 | 28 | 48 | 58.33% | 3,331 | 32 | 3,299 | 5,333 | 61.86% | 36.09% |
| TOTAL | | 493 | 576 | 64.93% | 49,219 | 486 | 48,733 | 80,000 | 60.47% | 39.28% |

Fuente: Elaboración propia.

B. Propuesta de mejora

Con base a los resultados de la Matriz de Alternativas de Solución, presentada en la tabla 8 del capítulo I, se observa que el “Mantenimiento Preventivo” puede corregir estas fallas presentes en la operatividad de la empresa, mejorando los niveles de productividad y, por tanto, los indicadores de eficacia y eficiencia. Es así que, esta alternativa, con una valoración de 8, supera a otras como el Lean Manufacturing, el planeamiento estratégico y el estudio de trabajo, destacando la valoración muy alta en complejidad, sostenibilidad y completitud.

Adicionalmente, con base a lo presentado en la tabla 54 en la sección Anexos (matriz de priorización) del mismo capítulo señalado, queda claro que la prioridad se centra en el área de mantenimiento (con 23%) y un impacto de 10, ubicándose por encima del área de producción y gestión.

De lo anterior nace la siguiente propuesta de programa de mantenimiento que se empleará a la empresa, el cual se basa en el mantenimiento preventivo, que como se ha descrito obliga a desarrollar acciones que se orienten a mantener en óptimas condiciones

los equipos, previniendo fallas y garantizar que, en caso de que estas ocurran, su impacto sobre la productividad sea mínimo.

Esta propuesta de mantenimiento preventivo se sustentó en los aportes de Pirela y Pirela (2012), Cruz (2016) y Kumer (2019). De acuerdo con Kumer (2019), en primer lugar, deben establecerse los objetivos del plan, es decir, el alcance y propósito de lo que se pretende lograr a los fines de garantizar su efectividad. Seguidamente, debe plantearse un cronograma de acción por cada fase del programa a emplear y una vez definido el tiempo que amerita cada etapa, se procede a la implementación.

Cruz (2016) expresa que dicha propuesta debe ajustarse a las condiciones de la empresa y que su implementación requerirá de definir apropiadamente los indicadores de mantenimiento, en este caso se han seleccionado la disponibilidad y la confiabilidad. Por su parte, Morales y Morales (2012) destacan la necesidad de que el programa empleado se convierta una lista completa de tareas que puedan monitorearse.

- **Objetivos**

En la tabla 13 se presentan los objetivos tanto principales como secundarios del programa de mantenimiento preventivo

Tabla 13. *Objetivos del programa de mantenimiento preventivo*

| Objetivo principal | Objetivos secundarios |
|--|---|
| Asegurar la disponibilidad y confiabilidad de las máquinas para la producción de estribos, con la finalidad de incrementar el nivel de productividad de la empresa | Reducir al mínimo los tiempos de parada asociados a las labores de mantenimiento |
| | Garantizar las óptimas condiciones de cada uno de las máquinas para mejorar los niveles de eficacia y eficiencia en la planta |
| | Aumentar la vida útil de las máquinas |
| | Generar ahorros en costos asociados al mantenimiento |

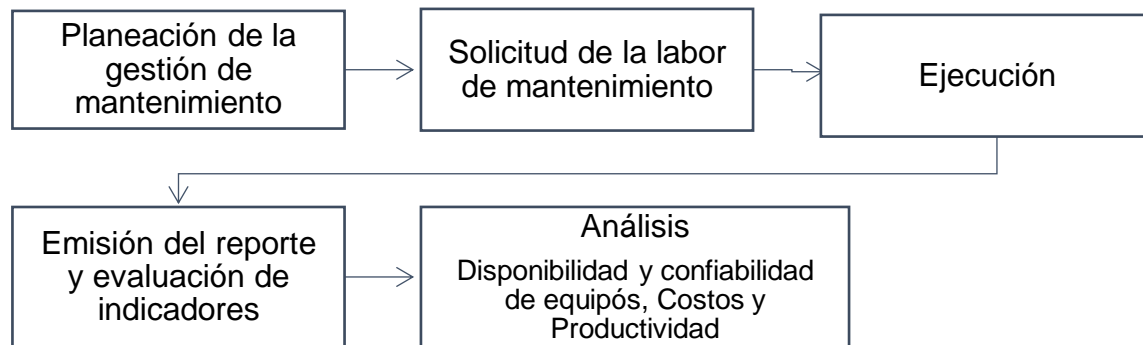
Fuente: Elaboración propia (2020).

Para realizar la implementación del mantenimiento preventivo, establecimos los inputs del programa de mantenimiento preventivo que son los recursos destinados a esa

labor como: las metas de producción, las maquinarias y las mediciones que se realizan a través de indicadores, lo cual genera que como resultado del programa se logre maquinarias disponibles y confiables que asegure la productividad de la empresa. En la figura 11 se muestra un esquema de esto.

Cumplíndose lo previsto, en el cronograma y siguiendo a Kumer (2019) y Cruz (2016), se han establecido cuatro fases para la implementación del mantenimiento preventivo: planificación de la gestión del mantenimiento, solicitud de la labor de mantenimiento, ejecución, emisión del reporte y evaluación de indicadores y análisis.

Figura 11. *Fases del programa de mantenimiento preventivo*



Fuente: Elaboración propia (2020).

- **Cronograma de implementación de la herramienta**

En la tabla 14, presenta el cronograma de implementación de la herramienta.

Tabla 14. Cronograma de implementación de la herramienta

| N° | Actividades | 2020 | | | | 2021 | | | | | | | | | | | | |
|-----|--|-----------|----|----|----|-------|----|----|----|---------|----|----|----|-------|----|----|----|---|
| | | Diciembre | | | | Enero | | | | Febrero | | | | Marzo | | | | |
| | | S1 | S2 | S3 | S4 | S1 | S2 | S3 | S4 | S1 | S2 | S3 | S4 | S1 | S2 | S3 | S4 | |
| 1 | Planificación de la gestión de mantenimiento | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.1 | <i>Identificación de los tipos de inspección</i> | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.2 | <i>Capacitación en materia de uso responsable de la maquinaria</i> | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.3 | <i>Capacitación en sentido de pertenencia y responsabilidad</i> | | ■ | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.4 | <i>Jornadas de análisis de problemas</i> | | ■ | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | Solicitud de la labor de mantenimiento | | | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | |
| 2.1 | <i>Selección de empresa de servicio</i> | | | ■ | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.2 | <i>Elaboración de orden de servicio</i> | | | ■ | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.3 | <i>Coordinación de los términos de inspección</i> | | | | ■ | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | Ejecución | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| 4 | Emisión de reporte y evaluación de indicadores | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| 5 | Análisis económico | | | | | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |

Fuente: Elaboración propia (2020).

C. Implementación de la mejora

Como se ha indicado la implementación de la mejora, se ha realizado con base a la propuesta de Morales y Morales (2012), Cruz (2016) y Kumer (2019), adaptándose a la realidad de la empresa seleccionada.

1. **Planificación de la gestión del mantenimiento.** En esta fase se definieron los tipos de inspecciones y la periodicidad de la misma (Morales y Morales, 2012). Siguiendo a estos autores, en esta fase se realiza un diagnóstico preliminar, se evalúan los aspectos teóricos funcionales de los equipos, se comprueban las condiciones de los mismos, se evalúan las partes y se verifican los accesorios.

Aunado a ello, como señala Cruz (2016) se debe documentar todo el proceso de gestión, lo cual implica identificar los documentos a emplear, las responsabilidades, las autoridades, el control de la documentación y la comunicación.

- Identificación de los tipos de inspección a realizar.

En esta sección identificaremos los tipos de inspección según el intervalo de tiempo o periodicidad de las labores de mantenimiento, sin considerar el estado actual de la maquinaria. De estas labores, se estima conocer más acerca del funcionamiento de los equipos y sus partes, lo cual es útil para la predicción de fallas y realizar otras acciones preventivas, en términos del estado de la maquinaria. Las inspecciones periódicas se clasifican en inspecciones de rutina, periódicas menores y periódicas mayores, lo cual se describe en la figura 12.

Figura 12. Tipos de inspección



Fuente: Elaboración propia (2020).

Inspecciones de rutina, o de mantenimiento autónomo, son las actividades que cotidianamente realizan los operarios en los tres turnos (inspecciones, lubricaciones, ajustes menores, mejoras, etc.) y que conducen al mantenimiento de equipos en procura de garantizar sus óptimas condiciones. Estas acciones se deben realizar sin afectar la producción de los estribos de acero y amerita de una capacitación a dichos trabajadores.

Inspecciones periódicas menores. Comprenden actividades de mantenimiento mecánico y eléctrico, las cuales por su naturaleza (importancia, frecuencia y cantidad de elementos a evaluar) se deben realizar periódicamente, generalmente de forma mensual, a fin de detectar oportunamente anormalidades que comienzan a presentarse o identificar fallas que se susciten en el futuro.

Inspecciones periódicas mayores. En el caso que la vida útil de la maquinaria se encuentre reducida o la maquinaria haya presentado continuas y/o prolongadas fallas, se efectúan inspecciones mayores, las cuales se enfocan en aspectos estructurales o de acceso restringido, para este tipo de inspecciones es necesario contar con una empresa especializada en el mantenimiento de maquinaria oleohidráulica.

Asimismo, para realizar las inspecciones de rutina, periódicas menores y para abarcar aspectos importantes que atañen al mantenimiento se realizaron las siguientes capacitaciones:

- Capacitación en materia de uso responsable de la maquinaria

Estas actividades se orientan a capacitar y sensibilizar a los operarios en cuanto al uso responsable de la maquinaria y que debe manipular la maquinaria con cuidado, como si fuera propia, pues se requiere el cumplimiento de ciertos estándares para que sean aplicados absoluta y uniformemente por cada actor.

- Capacitación en sentido de pertenencia y responsabilidad

Además, se capacitará a los trabajadores para crear sentido de pertenencia del operario como una parte importante para el logro de los objetivos de la empresa y para fomentar la responsabilidad y la seguridad laboral en el ambiente de trabajo.

- Jornadas de análisis de problemas

Finalmente se creará un espacio en la jornada de trabajo para el análisis de problemas y propuestas innovadoras en relación a la lubricación y ajuste de la maquinaria.

Lubricación. Comprende las actividades enfocadas en optimizar el desempeño en cuanto al desgaste de las superficies que están en constante contacto y movimiento.

Ajustes. Engloba las actividades que se derivan de las inspecciones, tendentes a recobrar las especificaciones de los equipos conforme a los estándares que se han establecidos.

Para realizar estas capacitaciones se planteó el horario establecido en la tabla 15.

Tabla 15. *Horario de capacitaciones*

| Tema | Fecha y horario | Capacitador responsable |
|--|--------------------------|---|
| Uso adecuado y responsable de la maquinaria. | Sábado 8:00 a 10: 00 | Jean Paul, Cordero Carreño |
| Sentido de pertenencia y responsabilidad en temas de mantenimiento y seguridad laboral | Sábado de 10:30 a 13: 00 | Cecilia Fabiola, Ayasta Saharig |
| Jornada de análisis de problemas (Lubricación y Ajuste de máquinas) | Sábado de 14:00 a 16: 00 | Personal especializado en mantenimiento oleohidráulico. |

Fuente: Elaboración propia (2021)

2. Solicitud de la labor de mantenimiento

2.1 Selección de empresa de servicio. Para Kumer (2019), esta acción involucra identificar cuáles acciones serán tercerizadas y cuáles quedarán en manos de la empresa. Así, se refieren a las acciones orientadas a la contratación del servicio externo para las inspecciones periódicas menores y mayores, entre ellos tenemos a las empresas:

- 2A Soluciones

- Hydromaq S.A.C.
- Pneumatic Service
- Oleodric

Al ser maquinaria de producción masiva y de origen importado, el responsable de realizar el mantenimiento preventivo es la misma empresa importadora Shnell de la maquinaria Prima 12R y la empresa MEP de la maquinaria Minisyntax 16 HS, con la cual se puede programar el mantenimiento anual, y con las empresas mencionadas se realizó el mantenimiento correctivo.

2.2 Elaboración de orden de servicio: Una vez realizada la selección de la empresa a realizar el mantenimiento se decidió realizar el mantenimiento para la máquina SCHNELL Prima 12R con la misma empresa proveedora que es 2A Soluciones, y de la máquina MEP Minisyntax con la empresa Pneumatic Service.

2.3 Coordinación de los términos de inspección:

3. Ejecución

Se realizan las labores de mantenimiento conforme a las indicaciones expuestas en las especificaciones de la maquinaria, ver la tabla 16.

PASO 1. Evaluación de la maquinaria

Tabla 16. *Labores de mantenimiento*

| Máquina | Operación | Problemática | Rango |
|----------------------|---|---|-------|
| Schnell Prima 12R | Jalar el hilo | Atascamiento del acero corrugado | 2 |
| | Apertura y cerrado de enderezado horizontal y ruedas de presión | No ejerce la suficiente presión | 5 |
| | Calibración de ruedas verticales | Los pernos de anclaje de los brazos laterales desgastados | 4 |
| | Ruedas de arrastre | Atascamiento de las ruedas de arrastre. | 3 |
| | Corte de barras de acero. | Falta de ajuste de perno de fijación, la cuchilla oscila y se produce mayor desgaste. | 2 |
| MEP Minisyntax 16 HS | Jalar el hilo | Atascamiento del acero corrugado | 2 |
| | Apertura y cerrado de enderezado horizontal y ruedas de presión | No ejerce la suficiente presión | 5 |
| | Calibración de ruedas verticales | Los pernos de anclaje de los brazos laterales desgastados | 4 |
| | Ruedas de arrastre | Atascamiento de las ruedas de arrastre. | 3 |
| | Corte de barras de acero. | Falta de ajuste de perno de fijación, la cuchilla oscila y se produce mayor desgaste. | 2 |
| | Doblado de barras de acero corrugado. | Inadecuada regulación de sensores de proximidad. | 3 |
| | Encendido de alarmas | Regulación de la temperatura y de alarmas centralita | 2 |

PASO 2: Para la ejecución del mantenimiento, se llenará el Check List de Mantenimiento para revisión según el tipo de máquina, según las figuras 13 y 14.

Figura 13. Check List de mantenimiento Preventivo de máquina MEP Minisyntax

| | | | | | | | |
|--|-----------------------------------|----|----|---------------|-------|------|-----|
| CHECK - LIST DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO SCHNELL (PRIMA 12R) | Identificación: | | | MP.SCHNELL.01 | | | |
| | Revision: | | | 0 | | | |
| | Fecha: | | | 04/01/2021 | | | |
| | Pagina: | | | 1 | | | |
| FECHA: | Frecuencia de intervención | | | | | | |
| | TURNOS | | | SEM | MESES | TRIM | AÑO |
| | 1° | 2° | 3° | | | | |
| LIMPIEZA | | | | | | | |
| Limpieza externa/interna de la maquina | X | - | | | | | |
| Limpieza de las herramientas | X | | | | | | |
| Limpieza de las ruedas de calibracion horizontal/vertical | X | | | | | | |
| limpieza del monitor | X | | | | | | |
| Limpieza filtros de los ventiladores de enfriamiento | X | - | | | | | |
| Limpieza de placas e indicadores luminosos | X | | | | | | |
| LUBRICACION | | | | | | | |
| Zona de ruedas de arrastre.=1 bombeado | X | | | | | | |
| Zona de corte =2 bombeados | X | | | | | | |
| Zona de dobles.=1bombeado | X | | | | | | |
| Control nivel aceite de los reductores | X | | | | | | |
| Sustitucion aceite reductores | - | | | | X | | |
| Reposicion del nivel aceite dosificador | - | | | | X | | |
| Descarga condensados del filtro del aire | - | | | X | | | |
| Lubricacion del enderezador | X | | | | | | |
| MANUTENCION MECANICA | | | | | | | |
| Control de la cuchilla movil | X | | | | | | |
| Sustitucion de la cuchilla movil | | | | | X | | |
| Control de la cuchilla fija | X | | | | | | |
| Sustitucion de la cuchilla fija | | | | | | X | |
| Control del ajuste de los pernos que fijan las cuchillas (fija y movil) | X | | | | | | |
| Comprobar el perno central | X | | | | | | |
| Control del perno doblador | X | | | | | | |
| Girar sobre su propio eje las ruedas de arrastre y de medida | X | | | | | | |
| Comprobacion y sustitucion eventual de las ruedas de arrastre y de medida | | | | | | X | |
| Comprobacion y sustitucion eventual de las ruedas de rectificado | | | | | | X | |
| Control y eventual cambio del casquillo guiahilo de ingreso enderezador ext. | X | | | | | | |
| Control del estado de desgaste del freno motores | | | | | | X | |
| Sustitucion de los filtros del ventilador de refrigeracion | | | | | | | X |
| MANTENIMIENTO ELECTRICO | | | | | | | |
| Control ajuste conector encoder de arrastre-plegaje-translacion | X | | | | | | |

| | | | | | | | |
|--|---|---------------------|--|--|--|--|--|
| Control ajuste conector dinamo taquimetrica de los motores arrastrepliegue | X | | | | | | |
| Control de los microinterruptores de seguridad | X | | | | | | |
| Control de los ventiladores | X | | | | | | |
| Observaciones: | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| EJECUTADO | | SUPERVISOR DE TURNO | | 1er Turno | | | |
| EJECUTADO | | SUPERVISOR DE TURNO | | 2do Turno | | | |
| EJECUTADO | | SUPERVISOR DE TURNO | | 3er Turno | | | |
| EJECUTADO | | SUPERVISOR DE TURNO | | Tec. Mantenimiento y/o Coordinador de Produc. | | | |

| CHECK - LIST DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO MEP (MINI SYNTAX) | Identificación | | MP.MEP.02 | | | | | |
|---|-----------------------------------|----|-----------|---------|---------|----------|---------|--|
| | Revisión: | | 0 | | | | | |
| | Fecha: | | 4/01/2021 | | | | | |
| | Página: | | 1 | | | | | |
| FECHA: | Frecuencia de intervención | | | | | | | |
| | TORNOS | | | SE M | ME N | TRI M | AÑ O | |
| | 1° | 2° | 3° | | | | | |
| Recogida de las escorias de los grupos de remolque | X | | | | | | | |
| Limpieza general de la maquina | X | | | | | | | |
| comprobacion de los cierres hidraulicos | X | | | | | | | |
| control de los ajustes | X | | | | | | | |
| comprobacion del desgaste de los rollos y de las cuchillas | X | | | | | | | |
| LUBRICACION | | | | | | | | |
| Sustitucion de aceite hidraulico en centralita | | | | | X | | | |
| control del nivel y eventual rellenado | X | | | | | | | |
| sustitucion del cartucho filtro de aceite de impulsión | | | | | | X | | |
| sustitucion del cartucho filtro de aceite de circulación | | | | | | X | | |
| control del nivel de aceite en el grupo de remolque | X | | | | | | | |
| control del nivel de aceite en el grupo de curvado | X | | | | | | | |
| engrase del dispositivo de regulacion del grupo de enderezamiento 1 | X | | | | | | | |
| engrase del dispositivo del grupo de remolque | X | | | | | | | |

| | | | | | | | |
|--|-------|---------------------|--|--------------|--|---|--|
| engrase del dispositivo de regulacion del grupo de enderezamiento 2 | X | | | | | | |
| engrase del dispositivo de regulacion del grupo de enderezamiento vertical | X | | | | | | |
| engrase del perno de apoyo de la cizalla | X | | | | | | |
| engrase de los pernos de apoyo del cilindro hidraulico de la cizalla | X | | | | | | |
| engrase de las astas de guia de la caja curvador | X | | | | | | |
| engrase de las astas de guia del remolque 2 (remolque secundario) | X | | | | | | |
| engrase de los cojinetes del eje cuchillas | X | | | | | | |
| engrase de los pernos de la canaladura de apoyo | X | | | | | | |
| engrase del cojinete del mandril de curvatura | X | | | | | | |
| MANTENIMIENTO ELECTRICO | | | | | | | |
| regulacion delas temperaturas de climatizacion | X | | | | | | |
| regulacion de la distancia de los sensores de proximidad | | | | | | X | |
| regulacion de las temperaturas de funcionamiento y de alarmas centralita | X | | | | | | |
| control de las presiones de ejercicio de la instalacion hidraulica | | | | | | X | |
| Observaciones: | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | 1er Turno | | | |
| EJECUTAD O | _____ | SUPERVISOR DE TURNO | | | | | |
| | | | | 2do Turno | | | |
| EJECUTAD O | _____ | SUPERVISOR DE TURNO | | | | | |
| | | | | 3er Turno | | | |
| EJECUTAD O | _____ | SUPERVISOR DE TURNO | | | | | |

Fuente: Elaboración propia

Figura 14. Check List de mantenimiento Preventivo de máquina MEP Minisyntax

| CHECK - LIST DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO MEP (MINI SYNTAX) | Identificación | | MP.MEP.02 | | | | |
|--|-----------------------------------|----|-----------|-----|-----|------|-----|
| | Revision: | | 0 | | | | |
| | Fecha: | | 4/01/2021 | | | | |
| | Página: | | 1 | | | | |
| FECHA: | Frecuencia de intervención | | | | | | |
| | TURNOS | | | SEM | MEN | TRIM | AÑO |
| | 1° | 2° | 3° | | | | |
| Recogida de las escorias de los grupos de remolque | X | | | | | | |
| Limpieza general de la maquina | X | | | | | | |
| comprobacion de los cierres hidraulicos | X | | | | | | |
| control de los ajustes | X | | | | | | |
| comprobacion del desgaste de los rollos y de las cuchillas | X | | | | | | |
| LUBRICACION | | | | | | | |
| Sustitucion de aceite hidraulico en centralita | | | | | X | | |
| control del nivel y eventual rellenado | X | | | | | | |
| sustitucion del cartucho filtro de aceite de impulsion | | | | | | X | |
| sustitucion del cartucho filtro de aceite de circulacion | | | | | | X | |
| control del nivel de aceite en el grupo de remolque | X | | | | | | |
| control del nivel de aceite en el grupo de curvado | X | | | | | | |
| engrase del dispositivo de regulacion del grupo de enderezamiento 1 | X | | | | | | |
| engrase del dispositivo del grupo de remolque | X | | | | | | |
| engrase del dispositivo de regulacion del grupo de enderezamiento 2 | X | | | | | | |
| engrase del dispositivo de regulacion del grupo de enderezamiento vertical | X | | | | | | |
| engrase del perno de apoyo de la cizalla | X | | | | | | |
| engrase de los pernos de apoyo del cilindro hidraulico de la cizalla | X | | | | | | |
| engrase de las astas de guia de la caja curvador | X | | | | | | |
| engrase de las astas de guia del remolque 2 (remolque secundario) | X | | | | | | |
| engrase de los cojinetes del eje cuchillas | X | | | | | | |
| engrase de los pernos de la canaladura de apoyo | X | | | | | | |
| engrase del cojinete del mandril de curvatura | X | | | | | | |
| MANTENIMIENTO ELECTRICO | | | | | | | |
| regulacion delas temperaturas de climatizacion | X | | | | | | |
| regulacion de la distancia de los sensores de proximidad | | | | | | X | |
| regulacion de las temperaturas de funcionamiento y de alarmas centralita | X | | | | | | |
| control de las presiones de ejercicio de la instalacion hidraulica | | | | | | X | |
| Observaciones: | | | | | | | |
| | | | | | | | |

| | | |
|-----------|---------------------|-----------|
| EJECUTADO | SUPERVISOR DE TURNO | 1er Turno |
| EJECUTADO | SUPERVISOR DE TURNO | 2do Turno |
| EJECUTADO | SUPERVISOR DE TURNO | 3er Turno |

Fuente: Elaboración propia

Además, será necesario diseñar un sistema de información para el monitoreo del programa de mantenimiento, lo cual involucra en primera instancia llenar la Ficha Técnica de Inventario de Equipos, de la tabla 17.

Tabla 17. *Ficha Técnica de Inventario de Equipos*

| Código | Nombre | Fabricante | Modelo | Serie | Año de fabricación | Documentación Técnica | | | | | |
|--------|------------|------------|--------------------|------------|--------------------|-----------------------|----|---|----|---|----|
| | | | | | | MF | MO | P | FT | C | LR |
| 001 | Prima 12R | SHNELL | Prima12R_BMAXX.C.O | 5635082707 | 2009 | X | X | X | X | X | - |
| 002 | Minisyntax | MEP | Minisyntax | 181636 | 2010 | | X | X | X | X | - |

Nota: MF = Manual del fabricante; MO = Manual de operación; P = Planos; FT = Ficha técnica; C=Catálogo; LR = Lista de repuestos

Fuente: Elaboración propia (2020).

4. Emisión de reporte y evaluación de indicadores

Para la emisión del reporte, se llenaron, la Ficha de Observación: Programación de Mantenimiento, la cual sirve de base para realizar el seguimiento de las actividades de programación; en este caso, el recuadro del equipo debe coincidir con el código de la maquinaria identificado para el programa. De igual manera, se llenó la Ficha Técnica: Costo del Mantenimiento Programado de la tabla 18. Como señalan Morales y Morales (2012) y

Cruz (2016), en esta etapa se pone en práctica los programas de rutina y las labores diseñadas y se registran con la finalidad de obtener los datos que verifican que la gestión de mantenimiento preventivo es beneficiosa para la empresa.

Tabla 18. *Ficha Técnica Costo del Mantenimiento Programado*

| N° de orden de trabajo | Cod | Fecha DD/MM/AA | Tiempo empleado | Costos | | |
|------------------------|-----|----------------|-----------------|--------------|------------------------|-------|
| | | | | Mano de obra | Materiales y repuestos | Total |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |

Fuente: Elaboración propia (2020).

Se evaluaron los indicadores de las maquinarias conforme a la Ficha de Observación para Confiabilidad y Disponibilidad del Anexo 2. De igual manera, se aplicaron la Ficha de Observación para Indicadores de Productividad del Anexo 2, en la cual se evaluará el efecto del programa implementado en la productividad de la empresa. Para Kumer (2019), esta evaluación amerita tanto describir el comportamiento de los equipos durante el período de observación y su efecto en la variable objetivo (en este caso, la productividad y sus dimensiones), requiriéndose establecer criterios que garanticen la confiabilidad de los datos y puedan replicarse sucesivamente.

D. Resultados del post-test

Los resultados del post-test para la variable mantenimiento preventivo, a través de sus dimensiones (disponibilidad y confiabilidad), se aprecian en la tabla 19. Allí, se observa una notable recuperación de ambos indicadores, alcanzado la disponibilidad una media en el período estudiado (12 semanas) de 83.85%, mientras que la media de confiabilidad se ubicó en 96.56%. La mejora en estas variables es el resultado del mantenimiento preventivo el cual, con la limpieza general, el control de los ajustes, la comprobación de desgaste de los rollos y de las cuchillas, la sustitución de aceite hidráulico y de cartucho de filtro, el

engrase de varios dispositivos, las regulaciones y los controles de presiones ha logrado que las piezas que generalmente se reemplazaba sin un análisis detallado (rollos y cuchillas) puedan cambiarse en el tiempo preciso, sin una prolongada afectación de la operatividad.

Tabla 19. Disponibilidad y confiabilidad de la empresa después de la implementación

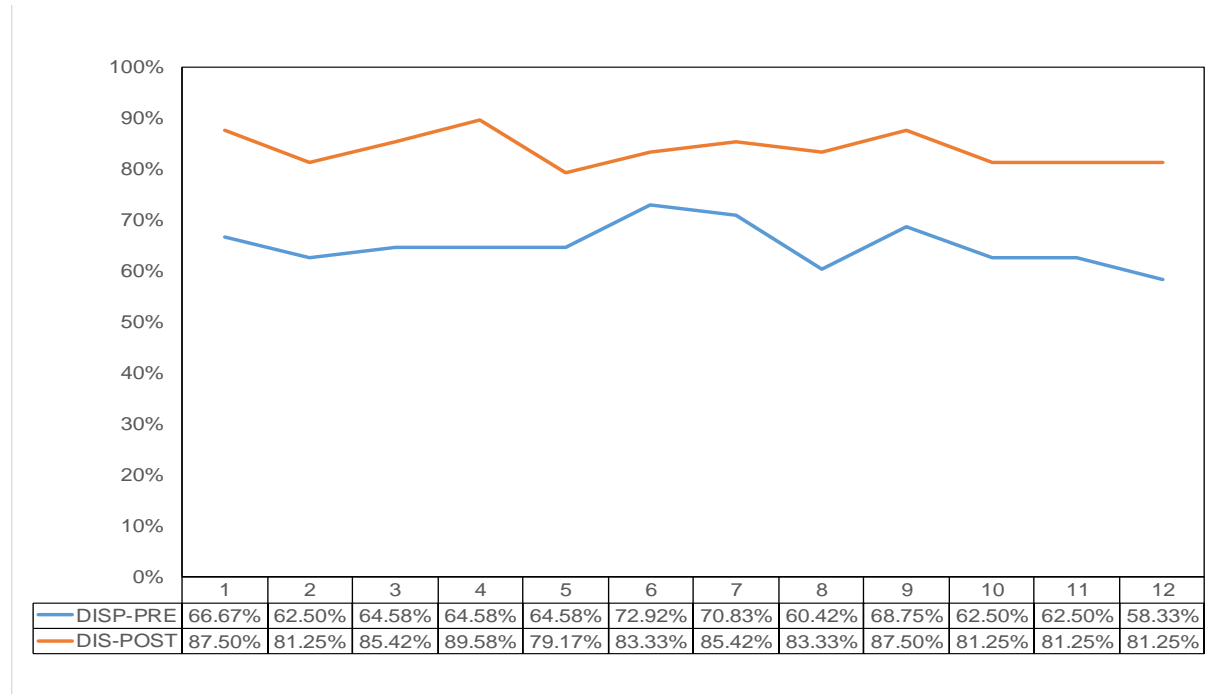
| MEDICIÓN DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO POS TEST | | | | | | | | | | | |
|--|--------|-------------------------|---------------------------------------|-------------------------|--------------------------|------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|---|------------------------|---------------------------------|
| MES | SEMANA | INDICADORES | | | | | | | | | |
| | | DISPONIBILIDAD | | | | | | CONFIABILIDAD | | | |
| | | DESCRIPCIÓN | | | | | | INDICADOR | DESCRIPCIÓN | | INDICADOR |
| | | N° de fallas al mes (N) | Tiempo programado de operatividad (A) | Tiempo de operación (B) | Tiempo de reparación (C) | Tiempo medio entre fallas TMEF=B/N | Tiempo medio para reparar TMPR=C/N | $D = \frac{TMEF}{TMEF+TMPR} * 100\%$ | Tasa de fallas $\lambda = \frac{1}{TMEF}$ | Tiempo de operatividad | $C(t) = e^{-\lambda t} * 100\%$ |
| ENE | 1 | 2 | 48 | 42 | 6 | 21.00 | 3.00 | 87.50% | 0.05 | 47 | 97.79% |
| | 2 | 4 | 48 | 39 | 9 | 9.75 | 2.25 | 81.25% | 0.10 | 47 | 95.29% |
| | 3 | 3 | 48 | 41 | 7 | 13.67 | 2.33 | 85.42% | 0.07 | 47 | 96.62% |
| | 4 | 2 | 48 | 43 | 5 | 21.50 | 2.50 | 89.58% | 0.05 | 47 | 97.84% |
| FEB | 5 | 5 | 48 | 38 | 10 | 7.60 | 2.00 | 79.17% | 0.13 | 47 | 94.00% |
| | 6 | 3 | 48 | 40 | 8 | 13.33 | 2.67 | 83.33% | 0.08 | 47 | 96.54% |
| | 7 | 4 | 48 | 41 | 7 | 10.25 | 1.75 | 85.42% | 0.10 | 47 | 95.52% |
| | 8 | 2 | 48 | 40 | 8 | 20.00 | 4.00 | 83.33% | 0.05 | 47 | 97.68% |
| MAR | 9 | 3 | 48 | 42 | 6 | 14.00 | 2.00 | 87.50% | 0.07 | 47 | 96.70% |
| | 10 | 3 | 48 | 39 | 9 | 13.00 | 3.00 | 81.25% | 0.08 | 47 | 96.45% |
| | 11 | 3 | 48 | 39 | 9 | 13.00 | 3.00 | 81.25% | 0.08 | 47 | 96.45% |
| | 12 | 2 | 48 | 39 | 9 | 19.50 | 4.50 | 81.25% | 0.05 | 47 | 97.62% |
| TOTAL | | 36 | 576 | 483 | 93 | 13.42 | 2.58 | 83.85% | 0.07 | 47 | 96.56% |

Fuente: Elaboración propia

Conforme se observa en la figura 15, se observa una mejora en la dimensión disponibilidad del equipo, reflejando los beneficios del mantenimiento preventivo, en dicho caso la línea en rojo contiene los valores de esta dimensión luego de la implementación de la herramienta, mientras que la azul refleja los valores previos a ello. En este caso, durante el período analizado este indicador se incrementó en promedio 18.92%, logrando al cierre del período el valor de 82.39%, elevando a niveles más óptimos el tiempo de operatividad del equipo.

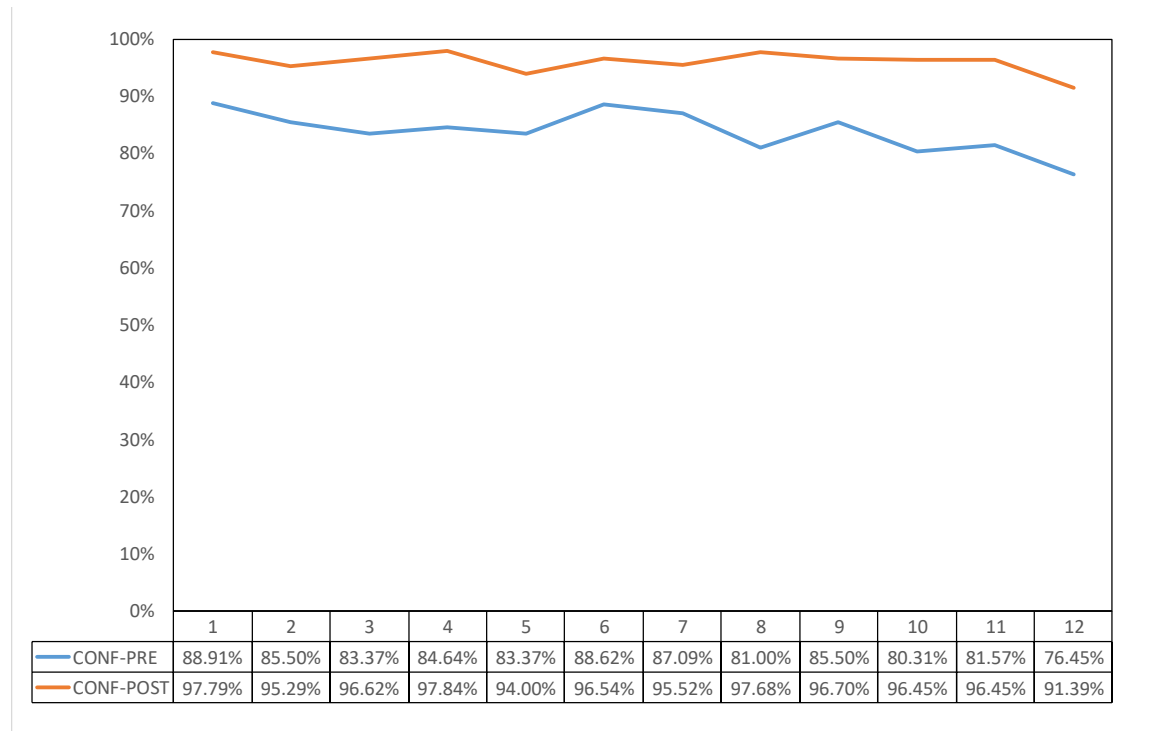
Por otra parte, la figura 16 representa el comportamiento de la dimensión confiabilidad, allí también se aprecia el efecto de la implementación de la herramienta, observándose una mejora de 12.68% en promedio y alcanzando al cierre del intervalo, la cifra de 97.62%

Figura 15. Gráfico comparativo de disponibilidad pretest – post test



Fuente: Elaboración propia

Figura 16. Gráfico comparativo de confiabilidad pretest – post test



Fuente: Elaboración propia

En la tabla 20, se aprecian los resultados del post-test para la variable productividad y sus dimensiones eficiencia y eficacia. En primer se aprecia, un mayor cumplimiento de las metas programadas, siendo la media de la eficiencia en el período de 83.85%, lo cual también permitió cumplir con las metas de producción, llevando la eficacia a 85.98% durante ese lapso. En función de lo anterior, se observa un incremento de la productividad, pasando de 75.58% al inicio del periodo a 80.05%, con una media de 71.91%, esto permitió atender en mayor medida a los requerimientos de los clientes, disminuyendo los reclamos por demoras.

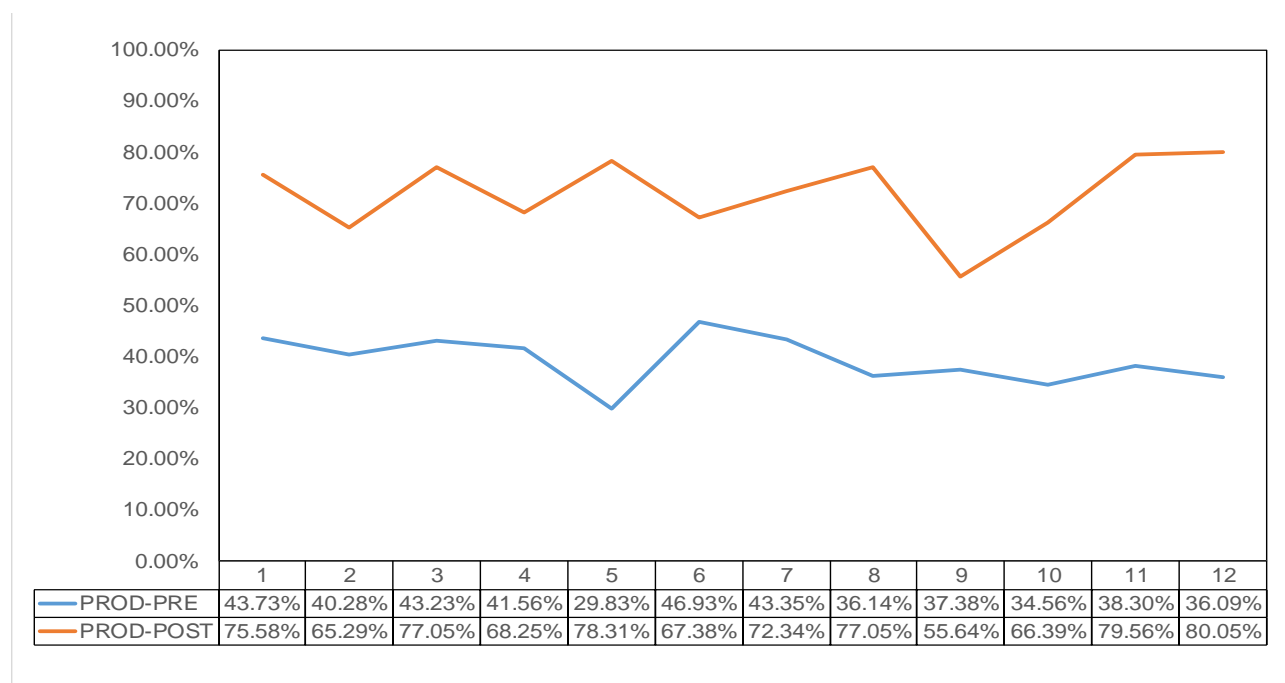
Tabla 20. *Eficacia, eficiencia y productividad de la empresa*

| MEDICIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD POSTEST | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|--------|-----------------------|------------------------|---------------|----------------------|---------------------------|-----------------------|----------------------------|---------------|----------------|
| MES | SEMANA | EFICIENCIA | | | EFICACIA | | | | PRODUCTIVIDAD | |
| | | Horas Trabaja das (A) | Horas Programa das (B) | INDICADOR | Producción total (C) | Producción defectuosa (D) | Producción real E=C-D | Producción planificada (F) | INDICADOR | P=(EE*EA)*100% |
| | | | | EE=(A/B)*100% | | | | | EA=(E/F)*100% | |
| ENE | 1 | 42 | 48 | 87.50% | 6,950 | 40 | 6,910 | 8,000 | 86.38% | 75.58% |
| | 2 | 39 | 48 | 81.25% | 6,447 | 18 | 6,429 | 8,000 | 80.36% | 65.29% |
| | 3 | 41 | 48 | 85.42% | 7,251 | 35 | 7,216 | 8,000 | 90.20% | 77.05% |
| | 4 | 43 | 48 | 89.58% | 6,110 | 15 | 6,095 | 8,000 | 76.19% | 68.25% |
| FEB | 5 | 38 | 48 | 79.17% | 7,945 | 32 | 7,913 | 8,000 | 98.91% | 78.31% |
| | 6 | 40 | 48 | 83.33% | 6,487 | 19 | 6,468 | 8,000 | 80.85% | 67.38% |
| | 7 | 41 | 48 | 85.42% | 6,801 | 26 | 6,775 | 8,000 | 84.69% | 72.34% |
| | 8 | 40 | 48 | 83.33% | 7,425 | 28 | 7,397 | 8,000 | 92.46% | 77.05% |
| MAR | 9 | 42 | 48 | 87.50% | 5,104 | 17 | 5,087 | 8,000 | 63.59% | 55.64% |
| | 10 | 39 | 48 | 81.25% | 6,558 | 21 | 6,537 | 8,000 | 81.71% | 66.39% |
| | 11 | 39 | 48 | 81.25% | 7,856 | 22 | 7,834 | 8,000 | 97.93% | 79.56% |
| | 12 | 39 | 48 | 81.25% | 7,901 | 19 | 7,882 | 8,000 | 98.53% | 80.05% |
| TOTAL | | 483 | 576 | 83.85% | 82,835 | 292 | 82,543 | 96,000 | 85.98% | 71.91% |

Fuente: Elaboración propia

En la figura 17, se observa el comportamiento de la productividad del equipo en el trimestre evaluado, evidenciándose dos aspectos: en primer lugar, un incremento importante (en promedio 32.63%) luego de la implementación del mantenimiento preventivo, alcanzando la cifra de 80.05% producto de una mayor eficiencia y eficacia, es decir de una operatividad mayor por hora y de una producción ajustada en mayor medida a la programación y en segundo término, se observa un comportamiento más estable de acuerdo a las metas planificadas; por lo que puede observarse un menor riesgo de incumplir con las necesidades potenciales de los clientes.

Figura 17. Gráfico comparativo de productividad pretest – post test



Fuente: Elaboración propia

5. Análisis económico – financiero

El análisis económico – financiero realizado consiste en una comparación de los beneficios para la empresa de la implementación del mantenimiento preventivo; para ello, debe considerarse que las dos máquinas seleccionadas, Prima 12R (SHNELL) y Minisyntax (MEP) recibían dos mantenimientos correctivos al año y la propuesta presentada implementada se corresponde con un mantenimiento preventivo trimestral.

Costo del mantenimiento correctivo

En la tabla 21, se observa que el costo de mantenimiento correctivo antes de implementar la propuesta se centraba en la reposición realizada de las cuchillas fijas y móviles que se repusieron cada mes y las ruedas de presión y de arrastre de ambas maquinarias que se repusieron cuatro veces durante el año, generando un costo de S/ 59,975.76 en el año, el cual está discriminado entre costo de mano de obra y costos de materiales y repuestos.

Tabla 21. Costo por reposición antes de la implementación

| Partida | Frecuencia | Costo de mano de obra | Costo de materiales y repuestos | Total anual |
|---|------------|-----------------------|---------------------------------|--------------|
| Reposición cuchillas fijas y móviles – Prima 12R (SHNELL) | Mensual | S/ 2,190.34 | S/ 25,188.86 | S/ 27,379.20 |
| Reposición ruedas de presión y de arrastre Minisyntax (SCHNELL) | Trimestral | S/ 753.66 | S/ 8,667.14 | S/ 9,420.80 |
| Reposición cuchillas fijas y móviles – Prima 12R (MEP) | Mensual | S/ 1.780.38 | S/ 20,474.32 | S/ 22,254.70 |
| Reposición ruedas de presión y de arrastre Minisyntax (MEP) | Trimestral | S/ 73.64 | S/ 846.82 | S/ 920.46 |
| Total | | | | S/ 59,975.76 |

Fuente: Elaboración propia

Con respecto al costo relativo a la mano de obra, en la tabla 22 se presenta el detalle de esta información, destacando que en total son 384 horas hábiles invertidas al año en esta actividad, con un monto anual de S/ 4,798.02. De acuerdo a información de la empresa que prestaba este servicio dicho costo representaba el 8% del total.

Tabla 22. Costo de mano de obra antes de la implementación

| Partida | Frecuencia | Días dedicados | Horas al año | Costo de mano de obra por hora | Costo total de mano de obra |
|---|------------|----------------|--------------|--------------------------------|-----------------------------|
| Reposición cuchillas fijas y móviles – Prima 12R (SHNELL) | 12 | 2 | 192 | S/ 11.41 | S/ 2,190.34 |
| Reposición ruedas de presión y de arrastre Minisyntax (SCHNELL) | 4 | 1 | 32 | S/ 23.55 | S/ 753.66 |
| Reposición cuchillas fijas y móviles – Prima 12R (MEP) | 12 | 1.5 | 144 | S/ 12.36 | S/ 1.780.38 |
| Reposición ruedas de presión y de arrastre Minisyntax (MEP) | 4 | 0.5 | 16 | S/ 4.60 | S/ 73.64 |
| Total | | | | | S/ 4,798.02 |

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 23 se presenta el desglose de los costos de materiales y repuestos antes de la implementación, los cuales se ubicaban en S/ 55,177.14.

Tabla 23. *Costo de materiales y repuestos antes de la implementación*

| Partida | Cantidad de piezas al año | Costo por cada pieza | Costo total de materiales y repuestos |
|---|---------------------------|----------------------|---------------------------------------|
| Reposición cuchillas fijas y móviles – Prima 12R (SHNELL) | 12 | S/ 2,099.07 | S/ 25,188.86 |
| Reposición ruedas de presión y de arrastre Minisyntax (SCHNELL) | 4 | S/ 2,166.79 | S/ 8,667.14 |
| Reposición cuchillas fijas y móviles – Prima 12R (MEP) | 12 | S/ 1,706.19 | S/ 20,474.32 |
| Reposición ruedas de presión y de arrastre Minisyntax (MEP) | 4 | S/ 211.71 | S/ 846.82 |
| Total | | | S/ 55,177.14 |

Fuente: Elaboración propia

Cabe destacar que las cifras de estos costos se realizó a través de la información de un presupuesto realizado por la empresa que ofrece estos servicios, la información de ello se presenta en el Anexo 10.

Costo del mantenimiento preventivo

Con la implementación del mantenimiento preventivo, que ha implicado el desmontaje, cambio de sellos, revisión, medición, instalación y limpieza de varias partes, se logró reducir en la mitad la frecuencia de reposición de las cuchillas y las ruedas para ambas maquinarias, implicando una inversión de S/ 29,364.56 en el año, lo cual se expresa en la tabla 24.

Tabla 24. Costo por reposición después de la implementación

| Partida | Frecuencia | Costo de mano de obra | Costo de materiales y repuestos | Total anual |
|---|------------|-----------------------|---------------------------------|--------------|
| Reposición cuchillas fijas y móviles – Prima 12R (SHNELL) | Bimestral | S/ 888.00 | S/ 12,594.42 | S/ 13,482.42 |
| Reposición ruedas de presión y de arrastre Minisyntax (SCHNELL) | Semestral | S/ 148.00 | S/ 4,333.58 | S/ 4,481.58 |
| Reposición cuchillas fijas y móviles – Prima 12R (MEP) | Bimestral | S/ 666.00 | S/ 10,237.14 | S/ 10,903.14 |
| Reposición ruedas de presión y de arrastre Minisyntax (MEP) | Semestral | S/ 74.00 | S/ 423.42 | S/ 497.42 |
| Total | | | | S/ 29,364.56 |

Fuente: Elaboración propia

Con respecto al costo relativo a la mano de obra, en la tabla 25 se presenta el detalle de esta información, destacando que en total son 192 horas hábiles invertidas al año en esta actividad con un monto anual de S/ 1,776.00. El costo de la mano de obra engloba el sueldo y salario del personal de mantenimiento (S/ 5.46 por hora) y de un operario que le presta colaboración en las pruebas (S/ 3.79).

Tabla 25. Costo de mano de obra después de la implementación

| Partida | Frecuencia | Días dedicados | Horas al año | Costo de mano de obra por hora | Costo total de mano de obra |
|---|------------|----------------|--------------|--------------------------------|-----------------------------|
| Reposición cuchillas fijas y móviles – Prima 12R (SHNELL) | 6 | 2 | 96 | S/ 9.25 | S/ 888.00 |
| Reposición ruedas de presión y de arrastre Minisyntax (SCHNELL) | 2 | 1 | 16 | S/ 9.25 | S/ 148.00 |
| Reposición cuchillas fijas y móviles – Prima 12R (MEP) | 6 | 1.5 | 72 | S/ 9.25 | S/ 666.00 |
| Reposición ruedas de presión y de arrastre Minisyntax (MEP) | 2 | 0.5 | 8 | S/ 9.25 | S/ 74.00 |
| Total | | | | | S/ 1,776.00 |

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 26 se presenta el desglose de los costos de materiales y repuestos después de la implementación, los cuales se ubicaban en S/ 27,588.36.

Tabla 26. *Costo de materiales y repuestos después de la implementación*

| Partida | Cantidad de piezas al año | Costo por cada pieza | Costo total de materiales y repuestos |
|---|---------------------------|----------------------|---------------------------------------|
| Reposición cuchillas fijas y móviles – Prima 12R (SHNELL) | 6 | S/ 2,099.07 | S/ 12,594.42 |
| Reposición ruedas de presión y de arrastre Minisyntax (SCHNELL) | 2 | S/ 2,166.79 | S/ 4,333.58 |
| Reposición cuchillas fijas y móviles – Prima 12R (MEP) | 6 | S/ 1,706.19 | S/ 10,237.14 |
| Reposición ruedas de presión y de arrastre Minisyntax (MEP) | 2 | S/ 211.71 | S/ 423.42 |
| Total | | | S/ 27,588.36 |

Fuente: Elaboración propia

Cálculo de la inversión de la mejora

En la tabla 27, se puede observar el costo incurrido por la implementación del mantenimiento preventivo en la empresa, lo cual significó un monto de S/ 13.599.46. Aquí, se incluye las partidas de capacitación al personal de la empresa, un importe de insumos requeridos al inicio para las labores de mantenimiento y el pago por capacitaciones en la herramienta ejecutadas por los investigadores.

Tabla 27. *Costos por capacitación*

| Concepto | Total |
|--|--------------|
| Capacitación a trabajadores de la empresa metalmecánica | S/ 2,034.64 |
| Insumos | S/ 9,864.82 |
| Capacitación de investigadores en Mantenimiento Preventivo | S/ 1,700 |
| Total | S/ 13,599.46 |

Fuente: Elaboración propia

a) Cálculo de la capacitación a trabajadores de la empresa metalmecánica

El monto de la capacitación a trabajadores de la empresa metalmecánica descrito en la tabla anterior se desglosa en sueldo cancelado por dos días de trabajo (dado que las capacitaciones se realizaron fuera de la jornada laboral) que se ubicó en S/ 884.64, los manuales y programas consignados en dichas capacitaciones con un monto de S/ 650 y el refrigerio entregado de S/ 500. Estas cifras se presentan en la tabla 28.

Tabla 28. Costo detallado de la capacitación

| Concepto | Cantidad | Costo | Total |
|--|--------------|-------|--------------------|
| Sueldo cancelado por días extras para capacitación | | | S/ 884.64 |
| Manuales de equipos | 10 | 15 | S/ 150 |
| Manuales de gestión de mantenimiento | 10 | 20 | S/ 200 |
| Programas de mantenimiento | 10 | 30 | S/ 300 |
| Refrigerio | 2 | 250 | S/ 500 |
| | Total | | S/ 2,034.64 |

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 29, se detalla el sueldo por hora y el total de sueldo cancelado de manera extraordinaria a cada trabajador por su capacitación de 16 horas (2 días) en materia de mantenimiento preventivo.

Tabla 29. Sueldo cancelado por los 2 días de capacitaciones

| Cargo | Cantidad(h) | Sueldo | Total |
|----------------|--------------|---------|------------------|
| Jefe | 16 | S/ 8.61 | S/ 137.76 |
| Asistente | 16 | S/ 5.28 | S/ 84.48 |
| Supervisor | 16 | S/ 6.09 | S/ 97.44 |
| Maquinista | 16 | S/ 5.88 | S/ 94.08 |
| Doblador | 16 | S/ 5.04 | S/ 80.64 |
| Cortados | 16 | S/ 4.63 | S/ 74.08 |
| Montacarguista | 16 | S/ 5.88 | S/ 94.08 |
| Despachador | 16 | S/ 4.63 | S/ 74.08 |
| Mantenimiento | 16 | S/ 5.46 | S/ 87.36 |
| Operario | 16 | S/ 3.79 | S/ 60.64 |
| | Total | | S/ 884.64 |

Fuente: Elaboración propia

b) Cálculo de costos de insumos

En la tabla 30, se presentan los conceptos que engloban el costo de insumos del mantenimiento preventivo, el cual ascendió a S/ 9,864.82, donde el monto de imprevistos obedece al 10% de los conceptos anteriores.

Tabla 30. Costo de insumos empleados en el mantenimiento preventivo

| Concepto | Monto (en S/.) |
|---|-----------------|
| Consumibles | 3,041.71 |
| Implementos | 5,926.31 |
| Imprevistos (10% de los conceptos anteriores) | 896.76 |
| Total | 9,864.82 |

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 31, se detalla las partidas que contienen el renglón consumibles del total de insumos. Para ello, se ha considerado que el cambio de lubricante y de filtros se realiza en un espaciado de 200 horas, o lo que es igual cada 25 días, esto representa un total de cambios al año de 14.4 veces, destacando además que cada cambio engloba 15 galones de aceite (216 galones al año). Los costos unitarios señalados se obtuvieron del valor reflejado en el inventario de la empresa. En total, el costo por lubricantes es de S/ 1,825.20 y por filtros es de S/ 1,216.51, ascendiendo todo a S/ 3,041.71, como se aprecia en la tabla señalada.

Tabla 31. Costo de consumibles del plan de mantenimiento

| Partida | Intervalo de días para el cambio | Cantidad de cambios | Unidades por cada cambio | Unidades al año | Costo unitario (en S/.) | Total (en S/.) |
|------------------------------|----------------------------------|---------------------|--------------------------|-----------------|-------------------------|-----------------|
| Lubricante | Cada 14.40 días | 14.40 | 15 | 216 | 8.45 | 1,825.20 |
| Filtros | (cada 25 horas) | | 1 | 14.40 | 84.48 | 1,216.51 |
| Costo por consumibles | | | | | | 3,041.71 |

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 32, se detalla las partidas que contienen el renglón implementos del total de insumos, el cual asciende a S/. 5,926.31. Cabe destacar que el costo unitario señalado tanto en esta tabla, como en la tabla 31, se obtuvieron de lo reflejado en el inventario de la empresa.

Tabla 32. *Costo de implementos del plan de mantenimiento*

| Partida | Cantidad | Costo unitario (en S/.) | Total (en S/.) |
|------------------------------------|----------|-------------------------|----------------|
| Juego de llaves de distintos tipos | 1 | 1,419.90 | 1,419.90 |
| Alicates | 4 | 129.90 | 519.60 |
| Sistemas de rosca | 1 | 1,758.81 | 1,758.81 |
| Tuercas de ajuste y de fijación | 1 | 960.00 | 960.00 |
| Extractores de ruedas | 1 | 1,268.00 | 1,268.00 |
| Costo por implementos | | | 5,926.31 |

Fuente: Elaboración propia

c) Costo por capacitación de investigadores en Mantenimiento Preventivo

El costo por capacitación de investigadores en Mantenimiento Preventivo contempla la certificación adquirida por los dos investigadores en esta materia, lo cual tuvo un costo unitario de S/ 850.00, ver Anexo 11.

Cálculo de costos de investigación

En la tabla 33, se presentan los costos de investigación, asociados a las erogaciones de los investigadores en sus cursos de metodología, los cuales provienen de un valor de S / 2.75 por hora académica y un total de horas invertidas de 960, dando un total de S/ 2,640.00 por este concepto.

Tabla 33. *Costos de investigación*

| Concepto | Cantidad |
|---------------------------------|----------|
| Semanas | 32 |
| Horas al día | 6 |
| Días a la semana | 5 |
| Horas totales | 960 |
| Costo hora académica (en Soles) | 2.75 |
| Costo de dedicación (en Soles) | 2,640.00 |

Fuente: Elaboración propia

Utilidad por unidades de producción

En la tabla 34, se presenta el peso promedio de una unidad de barra corrugada, el cual se ha determinado con base a la participación de cada tipo de barra en las ventas de

la empresa y su peso en kg, destacando que una unidad vendida pesa en promedio 1.055 kg de acero.

Tabla 34. *Cálculo en Kg de cada estribo producido*

| Ítem | Código | Participación de las ventas | Peso en kg | Peso en Kg por una unidad |
|-------|--------|-----------------------------|------------|---------------------------|
| 1 | 6 mm | 10.80% | 0.222 | 0.024 |
| 2 | 8 mm | 3.50% | 0.395 | 0.014 |
| 3 | 3/8" | 23.40% | 0.560 | 0.131 |
| 4 | 12 mm | 8.80% | 0.888 | 0.078 |
| 5 | 1/2" | 29.50% | 0.994 | 0.293 |
| 6 | 5/8" | 13.30% | 1.552 | 0.206 |
| 7 | 3/4" | 6.70% | 2.235 | 0.150 |
| 8 | 1" | 4.00% | 3.973 | 0.159 |
| Total | | | | 1.055 |

. Fuente: Elaboración propia

En función de los resultados de la tabla anterior, se ha convertido la producción de unidades a kilogramo tanto antes como después de la implementación del mantenimiento preventivo en la empresa, dando un valor promedio de 4,285.65 kg y de 7,258.94 kg, respectivamente (incremento de 69.38%). Esta información se detalla en la tabla 35, en la cual además se describen los valores por semana.

Tabla 35. *Cuadro comparativo de la producción antes y después de la implementación*

| Semana | Antes (en unidades) | Antes (en kg) | Después (en unidades) | Después (en kg) |
|----------------|---------------------|---------------|-----------------------|-----------------|
| 1 | 5,247 | 5,537.14 | 6,910 | 7,292.10 |
| 2 | 4,297 | 4,534.61 | 6,429 | 6,784.50 |
| 3 | 4,463 | 4,709.79 | 7,216 | 7,615.02 |
| 4 | 5,148 | 5,432.66 | 6,095 | 6,432.03 |
| 5 | 2,463 | 2,599.19 | 7,913 | 8,350.56 |
| 6 | 4,291 | 4,528.28 | 6,468 | 6,825.65 |
| 7 | 3,264 | 3,444.49 | 6,775 | 7,149.63 |
| 8 | 4,785 | 5,049.59 | 7,397 | 7,806.02 |
| 9 | 3,625 | 3,825.45 | 5,087 | 5,368.29 |
| 10 | 2,949 | 3,112.07 | 6,537 | 6,898.47 |
| 11 | 4,902 | 5,173.06 | 7,834 | 8,267.19 |
| 12 | 3,299 | 3,481.42 | 7,882 | 8,317.84 |
| Promedio antes | | 4,285.65 | Promedio después | |
| | | | 7,258.94 | |

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 36, se expresa la utilidad de la implementación en cuanto a volumen producido y vendido, generando una ganancia de S/ 374.59. Para dicho cálculo, se ha utilizado el valor de utilidad por S/ 0.031 por kg para el año 2019, presentado en los estados financieros de la empresa y suministrado por el Área de Contabilidad; de igual modo, en la tabla se aprecia que, en el pretest, la utilidad fue de S/ 17,142.58 y en el postest fue de S/ 29,035.77

Tabla 36. *Incremento de la producción después de la implementación*

| Producción | Mensual |
|-------------------|-----------|
| Antes (en kg) | 17,142.58 |
| Después (en kg) | 29,035.77 |
| Adicional (en kg) | 11,893.19 |
| Utilidad (en S/) | 374.59 |

Fuente: Elaboración propia

Otros beneficios que se desprenden de la implementación del mantenimiento preventivo fue la ampliación del tiempo de reposición de las cuchillas y de las ruedas. Antes de la implementación de la herramienta, las cuchillas se estaban cambiando mensualmente, mientras que las ruedas se reponían de forma trimestral, pero luego de aplicarla, dichos tiempos se lograron extender, en el caso de las cuchillas se están reponiendo cada dos meses, mientras que las ruedas se hacen en un promedio de seis meses. Esto es el resultado de, en primer lugar, de una comprobación continua del desgaste de estos implementos, antes solo se reponían con base a la idea de que esa era la vida útil, sin un estudio previo. Asimismo, con un mayor control de los niveles de aceites y una sustitución periódica del cartucho filtro, se ha logrado que el equipo funcione correctamente, aumentando el rendimiento de las cuchillas y las ruedas; esto también se une a una mayor frecuencia del engrase de los cojinetes del eje de las cuchillas y de los dispositivos de regulación y del grupo de remolque (así, como de otros implementos), que ocasiona un mejor funcionamiento del equipo en la transformación de la materia prima a las barras de acero. Todo esto ha contribuido a una reducción en la propagación de las partículas y, por ende, una reducción del exceso de fricción y de fatiga de superficie. Estos

beneficios se han proyectado por un año, como se observa en la tabla 37, con un ahorro total de S/ 27,588.56.

Tabla 37. *Otros beneficios de la implementación del mantenimiento preventivo asociados a ahorro en materiales y repuestos*

| Concepto | Mes 1 | Mes 2 | Mes 3 | Mes 4 | Mes 5 | Mes 6 | Mes 7 | Mes 8 | Mes 9 | Mes 10 | Mes 11 | Mes 12 | Total anual |
|------------------------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|--------|----------|--------|-------------|
| Materiales y repuestos | 3,805.26 | - | 6,183.76 | - | 3,805.26 | - | 3,805.26 | - | 6,183.76 | - | 3,805.26 | - | 27,588.56 |
| Cuchilla | 3,805.26 | - | 3,805.26 | - | 3,805.26 | - | 3,805.26 | - | 3,805.26 | - | 3,805.26 | - | 22,831.56 |
| Rueda | - | - | 2,378.50 | - | - | - | - | - | 2,378.50 | - | - | - | 4,757.00 |

Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente, se observó una disminución del número de horas laborales dedicadas a este tipo de reemplazo, con un ahorro total de 192 horas. Esto ha incidido en un ahorro en mano de obra, a lo que también debe contabilizarse que el costo por hora de labor es menor con el mantenimiento preventivo, visto que la actividad es realizada por los propios trabajadores de la empresa, mientras que cuando se aplicaba mantenimiento correctivo, se pagaba al valor fijado por la empresa que lo ejecutaba. Esta información se presenta en la tabla 38, apreciándose un total ahorrado de S/ 3,021.76.

Tabla 38. *Otros beneficios de la implementación del mantenimiento preventivo asociados a ahorro en mano de obra*

| Concepto | Mes 1 | Mes 2 | Mes 3 | Mes 4 | Mes 5 | Mes 6 | Mes 7 | Mes 8 | Mes 9 | Mes 10 | Mes 11 | Mes 12 | Total anual |
|-------------------------|--------|-------|--------|-------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|-------------|
| Mano de obra (en horas) | 28 | - | 40 | - | 28 | - | 28 | - | 40 | - | 28 | - | 192 |
| Cuchilla | 28 | - | 28 | - | 28 | - | 28 | - | 28 | - | 28 | - | 168 |
| Rueda | - | - | 12 | - | - | - | - | - | 12 | - | - | - | 24 |
| Mano de obra (en S/) | 330.88 | 71.88 | 537.68 | 71.88 | 330.88 | 167.68 | 330.88 | 71.88 | 537.68 | 71.88 | 330.88 | 167.68 | 3,021.76 |
| Cuchilla | 330.88 | 71.88 | 330.88 | 71.88 | 330.88 | 71.88 | 330.88 | 71.88 | 330.88 | 71.88 | 330.88 | 71.88 | 2,416.56 |
| Rueda | - | - | 206.80 | - | - | 95.80 | - | - | 206.80 | - | - | 95.80 | 605.20 |

Fuente: Elaboración propia

En definitiva, como se aprecia en la tabla 39, el ahorro anual de la implementación asciende a S/ 30,610.32, lo cual incluye los beneficios por las dos partidas presentadas en las tablas 37 y 38.

Tabla 39. *Total de otros beneficios de la implementación del mantenimiento preventivo*

| Concepto | Mes 1 | Mes 2 | Mes 3 | Mes 4 | Mes 5 | Mes 6 | Mes 7 | Mes 8 | Mes 9 | Mes 10 | Mes 11 | Mes 12 | Total anual |
|--------------------|----------|-------|----------|-------|----------|--------|----------|-------|----------|--------|----------|--------|-------------|
| Beneficios (en \$) | 4,136.14 | 71.88 | 6,721.44 | 71.88 | 4,136.14 | 167.68 | 4,136.14 | 71.88 | 6,721.44 | 71.88 | 4,136.14 | 167.68 | 30,610.32 |

Fuente: Elaboración propia

Cálculo del flujo de efectivo e indicadores financieros

En la tabla 40, se presenta las proyecciones a doce meses de la puesta en marcha de la implementación; así como los indicadores financieros respectivos para evaluar económica y financieramente la propuesta.

Tabla 40. *Evaluación económica y financiera de la herramienta*

| Período | Mes 0 | Mes 1 | Mes 2 | Mes 3 | Mes 4 | Mes 5 | Mes 6 | Mes 7 | Mes 8 | Mes 9 | Mes 10 | Mes 11 | Mes 12 |
|--|-------------|-------------|------------------|------------|------------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Ingresos | | | | | | | | | | | | | |
| Beneficio al tener mantenimiento preventivo por ahorro en materiales y repuestos | - | 3,805.26 | - | 6,183.76 | - | 3,805.26 | - | 3,805.26 | - | 6,183.76 | - | 3,805.26 | - |
| <i>Ahorro en sustitución de cuchillas</i> | - | 3,805.26 | - | 3,805.26 | - | 3,805.26 | - | 3,805.26 | - | 3,805.26 | - | 3,805.26 | - |
| <i>Ahorro en sustitución de ruedas</i> | - | - | - | 2,378.50 | - | - | - | - | - | 2,378.50 | - | - | - |
| Beneficio al tener mantenimiento preventivo por ahorro en mano de obras | - | 330.88 | 71.88 | 537.68 | 71.88 | 330.88 | 167.68 | 330.88 | 71.88 | 537.68 | 71.88 | 330.88 | 167.68 |
| <i>Ahorro en sustitución de cuchillas</i> | - | 330.88 | 71.88 | 330.88 | 71.88 | 330.88 | 71.88 | 330.88 | 71.88 | 330.88 | 71.88 | 330.88 | 71.88 |
| <i>Ahorro en sustitución de ruedas</i> | - | - | - | 206.80 | - | - | 95.80 | - | - | 206.80 | - | - | 95.80 |
| Utilidad | - | 374.59 | 374.59 | 374.59 | 374.59 | 374.59 | 374.59 | 374.59 | 374.59 | 374.59 | 374.59 | 374.59 | 374.59 |
| Total | - | 4,510.73 | 446.47 | 7,096.03 | 446.47 | 4,510.73 | 542.27 | 4,510.73 | 446.47 | 7,096.03 | 446.47 | 4,510.73 | 542.27 |
| Egresos | | | | | | | | | | | | | |
| Inversión | 13,599.46 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Costo de investigación | 2,640.00 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Total | 16,239.46 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Flujo de efectivo | - 16,239.46 | 4,510.73 | 446.47 | 7,096.03 | 446.47 | 4,510.73 | 542.27 | 4,510.73 | 446.47 | 7,096.03 | 446.47 | 4,510.73 | 542.27 |
| Flujo acumulado | - 16,239.46 | - 11,728.73 | - 11,282.26 | - 4,186.23 | - 3,739.76 | 770.97 | 1,313.24 | 5,823.97 | 6,270.44 | 13,366.47 | 13,812.94 | 18,323.67 | 18,865.94 |
| VAN | 17,937.13 | | | | | | | | | | | | |
| TIR | 15.71% | | | | | | | | | | | | |
| B/C | 2.11 | | | | | | | | | | | | |
| | | | TEA | TEM | | | | | | | | | |
| | | | 5.00% | 0.41% | | | | | | | | | |
| | | | BANCO FINANCIERO | | | | | | | | | | |

Fuente: Elaboración propia

Como se observa de la tabla anterior, basado en las proyecciones realizadas se estima que la ganancia obtenida o **Valor Actual Neto (VAN) es de S/. 17,937.13**, el cual siendo mayor que cero refleja que la ejecución del mantenimiento preventivo es rentable. Esto también se aprecia porque **la tasa interna de retorno mensual (TIR) de 15.71%** es superior a la TEM del Banco Financiero (Pichincha) 0.41%, generando como se observa en la relación beneficio – costo (B/C) de 2.11 que, por cada sol invertido, se genera una ganancia de S/ 1.11. Cabe destacar que se ha elegido la tasa efectiva del Banco Financiero (Pichincha), visto que es la más cercana a la media que presenta en la página web de la Superintendencia de Banca, Seguros y AFP.

3.6. Método de análisis de datos

En general, la investigación se ha desarrollado bajo el método hipotético – deductivo, definido por Palomino et al. (2017), como aquél en el cual se utiliza la comprobación sistemática de hipótesis planteadas en función de principios teóricos generales, partiendo de lo general a lo particular. En cuanto al análisis de datos. Se hará uso de base de datos en Excel y del programa estadístico SPSS, versión 25, para la comprobación de las hipótesis formuladas.

En función de lo anterior, el análisis se compone de dos partes:

1. En primer lugar, un estudio descriptivo mediante gráficos y tablas del comportamiento de la eficiencia, eficacia y productividad del área operativa de la empresa metalmecánica
2. Luego, se hará uso de la prueba t-Student para comparación de medias de dos muestras distintas, con un nivel de significancia del 5%, lo cual permitirá demostrar si la media semanal de eficiencia, eficacia y productividad cambia luego de la implementación del mantenimiento preventivo.

3.7. Aspectos éticos

Para el desarrollo de este estudio, se respetará la identidad de la empresa y de sus trabajadores; al igual que los derechos de propiedad intelectual de las fuentes consultadas. Asimismo, se considerarán los siguientes principios de la investigación:

- Principio de beneficencia o garantía de que los operarios de la maquinaria no experimentarán daños (Palomino et al., 2017).
- Derecho a la intimidad; así como, señalan Palomino et al. (2017) no se expondrá la información privada de los operarios, solo exponiéndose los aspectos que se haya consentido.
- Derecho al anonimato y confidencialidad, no se revelará información de la empresa (Palomino et al., 2017).

IV. RESULTADOS

Análisis descriptivo

Análisis descriptivo de la productividad

Durante las 24 semanas (seis meses), que se evaluó la producción de barras de acero de la empresa, se determinó que la productividad antes de la implementación (las primera doce semanas) se ubicaba en 39.28%, con una varianza de 22.99%, ubicándose en el rango de 17.10% con un valor mínimo de 29.83% y un máximo de 46.93%. Luego de la mejora, la media de la productividad creció a 71.91% en un rango de 24.41%, con un valor mínimo de 55.64% y un máximo de 80.05%, tal como se detalla en la tabla 41.

Tabla 41. *Análisis descriptivo de la productividad de la empresa*

| | | Estadísticos | |
|-----------------------------|----------|---------------------|-----------------------|
| | | Productividad antes | Productividad después |
| N | Válido | 12 | 12 |
| | Perdidos | 0 | 0 |
| Media | | 39,2817 | 71,9075 |
| Error estándar de la media | | 1,38410 | 2,14115 |
| Mediana | | 39,2900 | 73,9600 |
| Moda | | 29,83 ^a | 77,05 |
| Desv. Desviación | | 4,79467 | 7,41717 |
| Varianza | | 22,989 | 55,014 |
| Asimetría | | -,340 | -,891 |
| Error estándar de asimetría | | ,637 | ,637 |
| Curtosis | | -,142 | ,369 |
| Error estándar de curtosis | | 1,232 | 1,232 |
| Rango | | 17,10 | 24,41 |
| Mínimo | | 29,83 | 55,64 |
| Máximo | | 46,93 | 80,05 |

a. Existen múltiples modos. Se muestra el valor más pequeño.

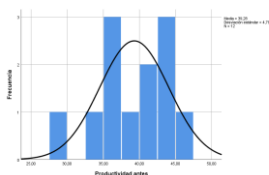
Fuente: Elaboración propia

De la tabla anterior se desprende que, la varianza luego de la mejora fue inferior (pasó de 22.99% a 55.01%), se explica porque el incremento de la

productividad observado es bastante alto; de hecho, de acuerdo al valor de la mediana, el valor de la productividad antes de la mejora durante las primeras seis semanas apenas alcanzó el 39.28%, mientras que, al aplicarse el mantenimiento productivo, se alcanzó una productividad de 71.91% en apenas las primeras seis semanas. También, como se aprecia con el valor de la moda, el indicador de productividad que más se repitió antes de la mejora fue 29.83%, mientras que posterior a ella, alcanzó la cifra de 77.05%.

Con la finalidad de comprender en mayor medida el comportamiento de este indicador, se analizará el histograma del mismo, lo cual permitirá comprender los valores de los estadísticos asimetría y curtosis. En la figura 18, se observa el histograma de la productividad antes de la mejora, en ella se aprecia que los valores se agrupan hacia la derecha de la curva o por encima de la media (asimetría = - 0.340) y la curva es un poco platicúrtica, siendo el valor de curtosis muy cercano a cero (curtosis = - 0.142), es decir, los valores de la media no están muy alejado de su media.

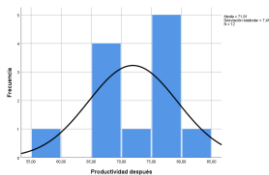
Figura 18. *Histograma simple de la productividad antes de la mejora*



Fuente: Elaboración propia

En la figura 19, se detalla el histograma de la productividad después de la mejora, en ella se aprecia que los valores se agrupan más hacia la derecha de la curva o por encima de la media que antes (asimetría = -0.891) y la curva es un poco leptocúrtica, siendo el valor de curtosis no tan alejado a cero (curtosis = - 0.369) es decir, la curva no es tan plana y los valores se encuentran cercanos a su media.

Figura 19. *Histograma simple de la productividad después de la mejora*



Fuente: Elaboración propia

Análisis descriptivo de la eficiencia

Durante las 24 semanas (seis meses) del estudio, se determinó que la eficiencia antes de la implementación se ubicaba en 64.93%, con una varianza de 18.02%, ubicándose en el rango de 14.59% con un valor mínimo de 58.33% y un máximo de 72.92%. Luego de la mejora, la media de este indicador creció a 81.25% en un rango de 10.41%, con un valor mínimo de 79.17% y un máximo de 89.58%, tal como se detalla en la tabla 42.

Tabla 42. *Análisis descriptivo de la eficiencia de la empresa*

| | | Estadísticos | |
|-----------------------------|----------|---------------------|-----------------------|
| | | Eficiencia antes | Eficiencia después |
| N | Válido | 12 | 12 |
| | Perdidos | 0 | 0 |
| Media | | 64,9300 | 83,8542 |
| Error estándar de la media | | 1,22553 | ,92887 |
| Mediana | | 64,5800 | 83,3300 |
| Moda | | 62,50 ^a | 81,25 |
| Desv. Desviación | | 4,24534 | 3,21772 |
| Varianza | | 18,023 | 10,354 |
| Asimetría | | ,505 | ,388 |
| Error estándar de asimetría | | ,637 | ,637 |
| Curtosis | | -,189 | -,938 |
| Error estándar de curtosis | | 1,232 | 1,232 |
| Rango | | 14,59 | 10,41 |
| Mínimo | | 58,33 | 79,17 |
| Máximo | | 72,92 | 89,58 |

a. Existen múltiples modos. Se muestra el valor más pequeño.

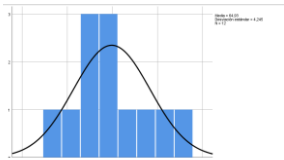
Fuente: Elaboración propia

De la tabla anterior se desprende que, la varianza luego de la mejora fue inferior (pasó de 18.02% a 10.35%), esto se debe a que los tiempos de paradas en las maquinarias fueron menores en comparación con lo reflejado antes de cambiar el mantenimiento de correctivo a preventivo. También, se observa que durante las primeras seis semanas antes del mantenimiento correctivo, la eficiencia fue de 64.58% (valor de la mediana), pero luego de la implementación, ese estadístico aumentó a 83.85%. Esta mejora del indicador eficiencia, se aprecia igualmente en la moda; de allí que antes de la mejora, el valor que más se repetía era de 62.50%, pero luego de ella fue de 81.25%.

Con la finalidad de comprender en mayor medida el comportamiento de este indicador, se analizará el histograma del mismo, lo cual permitirá comprender los valores de los estadísticos asimetría y curtosis. En la figura 20, se observa el histograma de la eficiencia antes de la mejora, en ella se aprecia que los valores se

agrupan hacia la izquierda de la curva o por debajo de la media (asimetría = 0.505) y la curva es un poco platicúrtica, siendo el valor de curtosis muy cercano a cero (curtosis = - 0.189), es decir, los valores de la media no están muy alejado de su media.

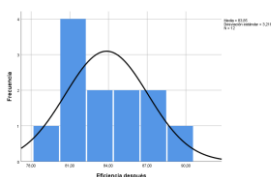
Figura 20. *Histograma simple de la eficiencia antes de la mejora*



Fuente: Elaboración propia

En la figura 21, se detalla el histograma de la eficiencia después de la mejora, en ella se aprecia que los valores se agrupan menos hacia la izquierda de la curva o por debajo de la media que antes (asimetría = 0.388) y la curva es un poco más platicúrtica, siendo el valor de curtosis un poco más alejado a cero (curtosis = - 0.938) es decir, la curva es un poco más plana y los valores se encuentran más alejados de su media.

Figura 21. *Histograma simple de la eficiencia después de la mejora*



Fuente: Elaboración propia

Análisis descriptivo de la eficacia

Durante las 24 semanas (seis meses) del estudio, se determinó que la eficacia antes de la implementación se ubicaba en 60.43%, con una varianza de 34.96%, ubicándose en el rango de 20.76% con un valor mínimo de 46.18% y un máximo de 66.94%. Luego de la mejora, la media de este indicador creció a 85.54% en un rango de 35.32%, con un valor mínimo de 63.59% y un máximo de 98.91%, tal como se detalla en la tabla 43.

De esa misma tabla se aprecia un aumento importante de la varianza de la eficacia de 34.96% a 109.31%, lo cual se explica porque hubo grandes cambios en el cumplimiento de las metas producidas, incluso en una semana el cumplimiento cerró en 98.91%, lo que evidencia la aceleración de los cambios en este indicador. También, se observa que durante las primeras seis semanas antes del mantenimiento correctivo, la eficacia alcanzó el valor de 61.28% (valor de la mediana), pero luego de la implementación, ese estadístico aumentó a 85.54%. Esta mejora del indicador eficacia, se aprecia igualmente en la moda; de allí que antes de la mejora, el valor que más se repetía era de 61.28%, pero luego de ella fue de 63.59%.

Tabla 43. Análisis descriptivo de la eficacia de la empresa

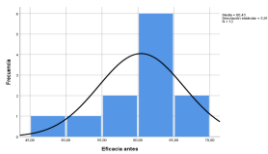
| | | Estadísticos | |
|-----------------------------|----------|---------------------|--------------------|
| | | Eficacia antes | Eficacia después |
| N | Válido | 12 | 12 |
| | Perdidos | 0 | 0 |
| Media | | 60,4258 | 85,9833 |
| Error estándar de la media | | 1,70672 | 3,01813 |
| Mediana | | 61,2800 | 85,5350 |
| Moda | | 61,28 | 63,59 ^a |
| Desv. Desviación | | 5,91226 | 10,45511 |
| Varianza | | 34,955 | 109,309 |
| Asimetría | | -1,397 | -,609 |
| Error estándar de asimetría | | ,637 | ,637 |
| Curtosis | | 1,960 | ,422 |
| Error estándar de curtosis | | 1,232 | 1,232 |
| Rango | | 20,76 | 35,32 |
| Mínimo | | 46,18 | 63,59 |
| Máximo | | 66,94 | 98,91 |

a. Existen múltiples modos. Se muestra el valor más pequeño.

Fuente: Elaboración propia

Con la finalidad de comprender en mayor medida el comportamiento de este indicador, se analizará el histograma del mismo, lo cual permitirá comprender los valores de los estadísticos asimetría y curtosis. En la figura 22, se observa el histograma de la eficacia antes de la mejora, en ella se aprecia que los valores se agrupan hacia la derecha de la curva o por encima de la media (asimetría = -1.397) y la curva es leptocúrtica (curtosis = 1.960), es decir, los valores de la media están concentrados en torno a su media.

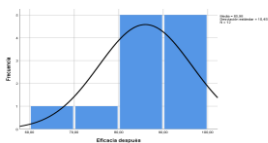
Figura 22. *Histograma simple de la eficacia antes de la mejora*



Fuente: Elaboración propia

En la figura 23, se detalla el histograma de la eficiencia después de la mejora, en ella se aprecia que los valores se agrupan menos hacia la derecha de la curva o por encima de la media que antes (asimetría = -0.609) y la curva es menos leptocúrtica, siendo el valor de curtosis un poco más cercano a cero (curtosis = 0.422) es decir, la curva es un poco más plana y los valores se encuentran más alejados a su media.

Figura 23. *Histograma simple de la eficacia después de la mejora*

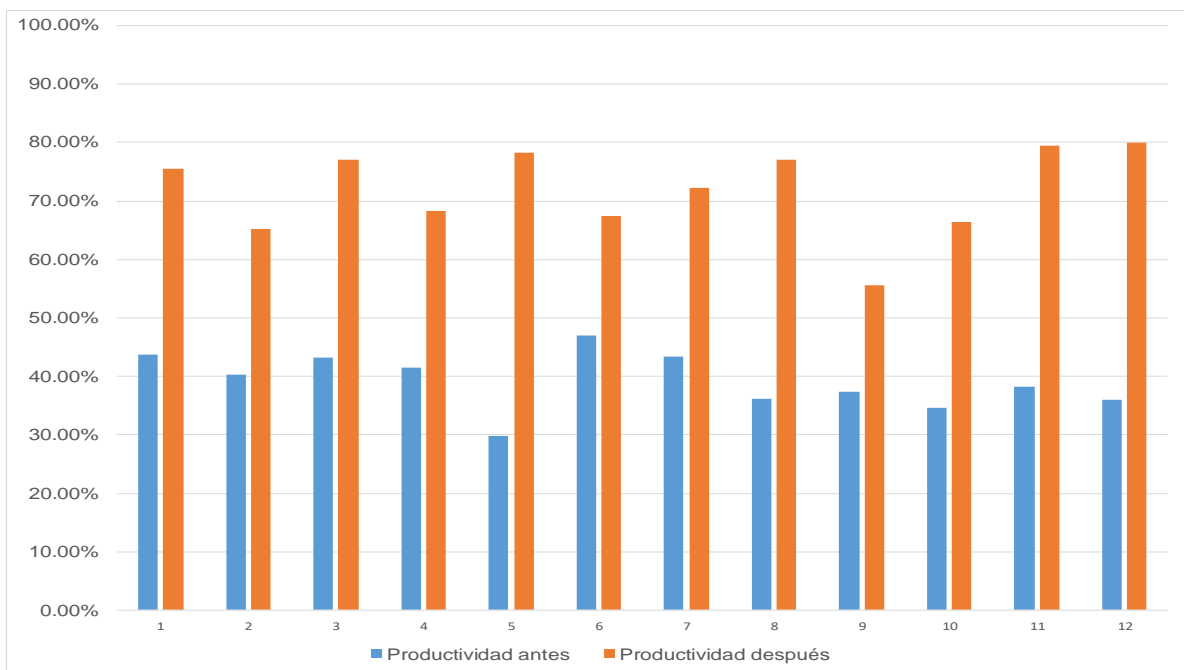


Fuente: Elaboración propia

Análisis comparativo

En esta sección se comparan los resultados de la eficiencia, eficacia y productividad de las máquinas Schnell Prima 12R y MEP Minisyntax, destacando que ellas operan en un mismo proceso productivo. Así, en la figura 24 se observa el impacto positivo de la implementación del mantenimiento preventivo en la productividad de dichas máquinas, al evidenciarse un aprovechamiento mayor del tiempo de producción y mejoras en el cumplimiento de las metas previstas.

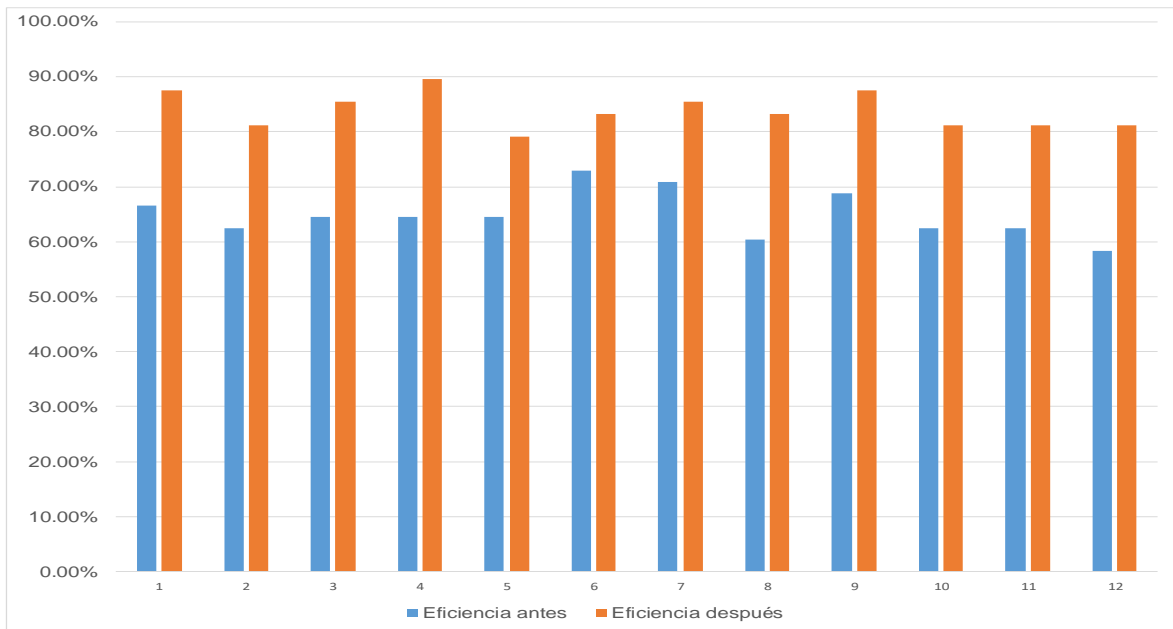
Figura 24. Productividad de las máquinas Schnell Prima 12R y MEP Minisyntax



Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, en la figura 25 se aprecia la mejora que ocasionó la implementación del mantenimiento preventivo en la eficiencia de dichas máquinas, reflejando un comportamiento positivo del tiempo operativo de esas máquinas y menores tiempos de parada

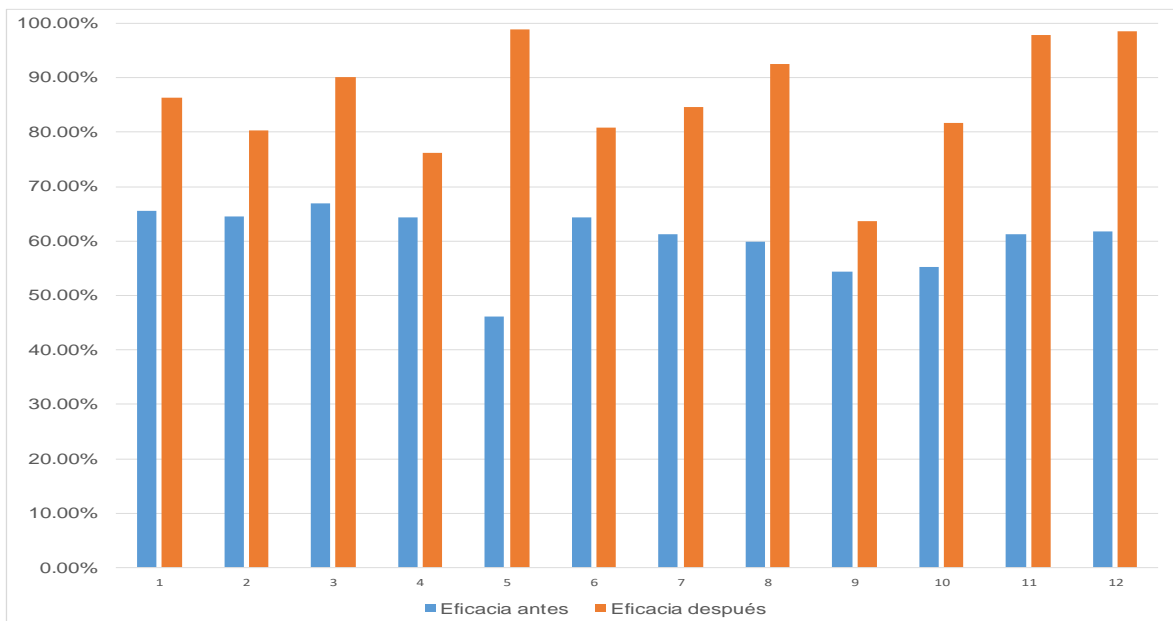
Figura 25. Eficiencia de las máquinas Schnell Prima 12R y MEP Minisyntax



Fuente: Elaboración propia

Finalmente, en la figura 26 se aprecia la mejora que ocasionó la implementación del mantenimiento preventivo en la eficacia de dichas máquinas, explicando el mayor cumplimiento de las metas de producción previstas en función de los requerimientos de los clientes.

Figura 26. Eficacia de las máquinas Schnell Prima 12R y MEP Minisyntax



Fuente: Elaboración propia

Análisis inferencial

Análisis de la hipótesis general

Ha: La implementación del mantenimiento preventivo incrementa la productividad en el área de producción de una empresa metalmecánica, Callao, 2020

Con la finalidad de comprobar la hipótesis general del estudio, se procederá a evaluar la normalidad de la variable productividad antes y después de la implementación del mantenimiento preventivo. En atención a evaluar este comportamiento paramétrico, es posible aplicar las pruebas de normalidad de Kolmogorov – Smirnov y de Shapiro – Wilk, siendo esta última más consistente en muestras pequeñas, como es el caso del presente estudio donde la cantidad de elementos es doce. Así, se plantea la siguiente regla de decisión:

Regla de decisión:

Si p -valor no supera al nivel de significancia fijado de 5% (p -valor ≤ 0.05), entonces los valores de la variable productividad no se distribuyen normalmente (tienen un comportamiento no paramétrico).

Si p -valor supera al nivel de significancia fijado de 5% (p -valor > 0.05), entonces los valores de la variable productividad se distribuyen normalmente (tienen un comportamiento paramétrico).

Los resultados de esta prueba se presentan en la tabla 44, evidencian que tanto antes como después de la mejora, la productividad tiene un comportamiento paramétrico, siendo p -valor > 0.05 en ambos casos.

Tabla 44. Prueba de normalidad de la variable productividad

| | Kolmogorov-Smirnov ^a | | | Shapiro-Wilk | | |
|-----------------------|---------------------------------|----|-------|--------------|----|------|
| | Estadístico | gl | Sig. | Estadístico | gl | Sig. |
| Productividad antes | ,128 | 12 | ,200* | ,973 | 12 | ,940 |
| Productividad después | ,190 | 12 | ,200* | ,901 | 12 | ,164 |

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración propia

Partiendo del resultado anterior, es factible utilizar la prueba estadística t-Student para comparar las medias de la productividad en ambos periodos. Los

resultados de esta comparación se presentan en las tablas 45 y 46. En primer lugar, en la tabla 45, se aprecia que la media de la productividad antes de la mejora (39.28%) era inferior a su valor luego de la implementación del mantenimiento preventivo (71.91%).

Tabla 45. *Comparación de los valores de la media de la variable productividad*

| | | Estadísticas de muestras emparejadas | | | |
|-------|-----------------------|---|----|------------------|----------------------|
| | | Media | N | Desv. Desviación | Desv. Error promedio |
| Par 1 | Productividad antes | 39,2817 | 12 | 4,79467 | 1,38410 |
| | Productividad después | 71,9075 | 12 | 7,41717 | 2,14115 |

Fuente: Elaboración propia

Seguidamente, se realiza el contraste de hipótesis, partiendo de las siguientes hipótesis estadísticas y de la regla de decisión.

Ho: La implementación del mantenimiento preventivo no incrementa la productividad en el área de producción de una empresa metalmecánica, Callao, 2020 (**Ho: $\mu_{Pa} \geq \mu_{Pd}$**).

Ha: La implementación del mantenimiento preventivo incrementa la productividad en el área de producción de una empresa metalmecánica, Callao, 2020 (**Ha: $\mu_{Pa} < \mu_{Pd}$**).

Regla de decisión:

Si p-valor supera al nivel de significancia fijado de 5% ($p\text{-valor} \leq 0.05$), entonces se acepta **Ho: $\mu_{Pa} \geq \mu_{Pd}$** .

Si p-valor no supera al nivel de significancia fijado de 5% ($p\text{-valor} > 0.05$), entonces se rechaza **Ho: $\mu_{Pa} \geq \mu_{Pd}$** .

En la tabla 46, se puede observar que el p-valor de la prueba t-Student antes y después de aplicar el mantenimiento preventivo es 0.000. En consecuencia y conforme a la regla de decisión señalada, se rechaza la hipótesis nula y se termina por aceptar la hipótesis alterna; así, la implementación del mantenimiento preventivo incrementa la productividad en el área de producción de una empresa metalmecánica, Callao, 2020.

Tabla 46. Prueba t-Student para la variable productividad

| | | Prueba de muestras emparejadas | | | | | | | |
|-------|---|--------------------------------|------------------|----------------------|--|-----------|---------|----|------------------|
| | | Diferencias emparejadas | | | | | t | gl | Sig. (bilateral) |
| | | Media | Desv. Desviación | Desv. Error promedio | 95% de intervalo de confianza de la diferencia | | | | |
| Par 1 | | | | | Inferior | Superior | | | |
| | Productividad antes - Productividad después | -32,62583 | 9,47119 | 2,73410 | -38,64354 | -26,60813 | -11,933 | 11 | ,000 |

Fuente: Elaboración propia

Análisis de la primera hipótesis específica

Ha: La implementación del mantenimiento preventivo incrementa la eficiencia en el área de producción de una empresa metalmecánica, Callao, 2020

Con la finalidad de comprobar la primera hipótesis específica del estudio, se procederá a evaluar la normalidad de la variable eficiencia antes y después de la implementación del mantenimiento preventivo. En atención a evaluar este comportamiento paramétrico, es posible aplicar las pruebas de normalidad de Kolmogorov – Smirnov y de Shapiro – Wilk, siendo esta última más consistente en muestras pequeñas, como es el caso del presente estudio donde la cantidad de elementos es doce. Así, se plantea la siguiente regla de decisión:

Regla de decisión:

Si p-valor no supera al nivel de significancia fijado de 5% ($p\text{-valor} \leq 0.05$), entonces los valores de la dimensión eficiencia no se distribuyen normalmente (tienen un comportamiento no paramétrico).

Si p-valor supera al nivel de significancia fijado de 5% ($p\text{-valor} > 0.05$), entonces los valores de la dimensión eficiencia se distribuyen normalmente (tienen un comportamiento paramétrico).

Los resultados de esta prueba se presentan en la tabla 47, evidencian que tanto antes como después de la mejora, la eficiencia tiene un comportamiento paramétrico, siendo $p\text{-valor} > 0.05$ en ambos casos.

Tabla 47. Prueba de normalidad de la variable eficiencia

| | Pruebas de normalidad | | | | | |
|--------------------|---------------------------------|----|-------------------|--------------|----|------|
| | Kolmogorov-Smirnov ^a | | | Shapiro-Wilk | | |
| | Estadístico | gl | Sig. | Estadístico | gl | Sig. |
| Eficiencia antes | ,200 | 12 | ,200 [*] | ,956 | 12 | ,731 |
| Eficiencia después | ,208 | 12 | ,162 | ,930 | 12 | ,379 |

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración propia

Partiendo del resultado anterior, es factible utilizar la prueba estadística t-Student para comparar las medias de la eficiencia en ambos periodos. Los resultados de esta comparación se presentan en las tablas 48 y 49. En primer lugar, en la tabla 48, se aprecia que la media de la eficiencia antes de la mejora (64.93%) era inferior a su valor luego de la implementación del mantenimiento preventivo (83.85%).

Tabla 48. Comparación de los valores de la media de la variable eficiencia

| Estadísticas de muestras emparejadas | | | | | |
|--------------------------------------|--------------------|---------|----|------------------|----------------------|
| | | Media | N | Desv. Desviación | Desv. Error promedio |
| Par 1 | Eficiencia antes | 64,9300 | 12 | 4,24534 | 1,22553 |
| | Eficiencia después | 83,8542 | 12 | 3,21772 | ,92887 |

Fuente: Elaboración propia

Seguidamente, se realiza el contraste de hipótesis, partiendo de las siguientes hipótesis estadísticas y de la regla de decisión.

Ho: La implementación del mantenimiento preventivo no incrementa la eficiencia en el área de producción de una empresa metalmecánica, Callao, 2020 (**Ho: $\mu_{Pa} \geq \mu_{Pd}$**).

Ha: La implementación del mantenimiento preventivo incrementa la eficiencia en el área de producción de una empresa metalmecánica, Callao, 2020 (**Ha: $\mu_{Pa} < \mu_{Pd}$**).

Regla de decisión:

Si p -valor supera al nivel de significancia fijado de 5% (p -valor ≤ 0.05), entonces se acepta **$H_0: \mu_{Pa} \geq \mu_{Pd}$** .

Si p -valor no supera al nivel de significancia fijado de 5% (p -valor > 0.05), entonces se rechaza **$H_0: \mu_{Pa} \geq \mu_{Pd}$** .

En la tabla 49, se puede observar que el p -valor de la prueba t-Student antes y después de aplicar el mantenimiento preventivo es 0.000. En consecuencia y conforme a la regla de decisión señalada, se rechaza la hipótesis nula y se termina por aceptar la hipótesis alterna; así, la implementación del mantenimiento preventivo incrementa la eficiencia en el área de producción de una empresa metalmecánica, Callao, 2020.

Tabla 49. Prueba t-Student para la variable eficiencia

| | | Prueba de muestras emparejadas | | | | | | | |
|------|---------------------------------------|--------------------------------|------------------|----------------------|--|-----------|---------|----|------------------|
| | | Diferencias emparejadas | | | | | t | gl | Sig. (bilateral) |
| | | Media | Desv. Desviación | Desv. Error promedio | 95% de intervalo de confianza de la diferencia | | | | |
| | | | | | Inferior | Superior | | | |
| Par1 | Eficiencia antes - Eficiencia después | -18,92417 | 4,11488 | 1,18786 | -21,53863 | -16,30970 | -15,931 | 11 | ,000 |

Fuente: Elaboración propia

Análisis de la segunda hipótesis específica

Ha: La implementación del mantenimiento preventivo incrementa la eficacia en el área de producción de una empresa metalmecánica, Callao, 2020

Con la finalidad de comprobar la segunda hipótesis específica del estudio, se procederá a evaluar la normalidad de la variable eficacia antes y después de la implementación del mantenimiento preventivo. En atención a evaluar este comportamiento paramétrico, es posible aplicar las pruebas de normalidad de Kolmogorov – Smirnov y de Shapiro – Wilk, siendo esta última más consistente en muestras pequeñas, como es el caso del presente estudio donde la cantidad de elementos es doce. Así, se plantea la siguiente regla de decisión:

Regla de decisión:

Si p -valor no supera al nivel de significancia fijado de 5% (p -valor ≤ 0.05), entonces los valores de la dimensión eficacia no se distribuyen normalmente (tienen un comportamiento no paramétrico).

Si p -valor supera al nivel de significancia fijado de 5% (p -valor > 0.05), entonces los valores de la dimensión eficacia se distribuyen normalmente (tienen un comportamiento paramétrico).

Los resultados de esta prueba se presentan en la tabla 50, evidencian que tanto antes como después de la mejora, la eficacia tiene un comportamiento paramétrico, siendo p -valor > 0.05 en ambos casos.

Tabla 50. *Prueba de normalidad de la variable eficacia*

| Pruebas de normalidad | | | | | | |
|------------------------------|---------------------------------|----|-------|--------------|----|------|
| | Kolmogorov-Smirnov ^a | | | Shapiro-Wilk | | |
| | Estadístico | gl | Sig. | Estadístico | gl | Sig. |
| Eficacia antes | ,219 | 12 | ,117 | ,867 | 12 | ,060 |
| Eficacia después | ,129 | 12 | ,200* | ,937 | 12 | ,461 |

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración propia

Partiendo del resultado anterior, es factible utilizar la prueba estadística t-Student para comparar las medias de la eficacia en ambos periodos. Los resultados de esta comparación se presentan en las tablas 51 y 52. En primer lugar, en la tabla 51, se aprecia que la media de la eficacia antes de la mejora (60.43%) era inferior a su valor luego de la implementación del mantenimiento preventivo (85.98%).

Tabla 51. *Comparación de los valores de la media de la variable eficacia*

| Estadísticas de muestras emparejadas | | | | | |
|---|------------------|---------|----|------------------|----------------------|
| | | Media | N | Desv. Desviación | Desv. Error promedio |
| Par 1 | Eficacia antes | 60,4258 | 12 | 5,91226 | 1,70672 |
| | Eficacia después | 85,9833 | 12 | 10,45511 | 3,01813 |

Fuente: Elaboración propia

Seguidamente, se realiza el contraste de hipótesis, partiendo de las siguientes hipótesis estadísticas y de la regla de decisión.

Ho: La implementación del mantenimiento preventivo no incrementa la eficacia en el área de producción de una empresa metalmecánica, Callao, 2020 (**Ho: $\mu_{Pa} \geq \mu_{Pd}$**).

Ha: La implementación del mantenimiento preventivo incrementa la eficacia en el área de producción de una empresa metalmecánica, Callao, 2020 (**Ha: $\mu_{Pa} < \mu_{Pd}$**).

Regla de decisión:

Si p-valor supera al nivel de significancia fijado de 5% ($p\text{-valor} \leq 0.05$), entonces se acepta **Ho: $\mu_{Pa} \geq \mu_{Pd}$** .

Si p-valor no supera al nivel de significancia fijado de 5% ($p\text{-valor} > 0.05$), entonces se rechaza **Ho: $\mu_{Pa} \geq \mu_{Pd}$** .

En la tabla 52, se puede observar que el p-valor de la prueba t-Student antes y después de aplicar el mantenimiento preventivo es 0.000. En consecuencia y conforme a la regla de decisión señalada, se rechaza la hipótesis nula y se termina por aceptar la hipótesis alterna; así, la implementación del mantenimiento preventivo incrementa la eficacia en el área de producción de una empresa metalmecánica, Callao, 2020.

Tabla 52. Prueba t-Student para la variable eficacia

| | | Prueba de muestras emparejadas | | | | | | | |
|-------|-----------------------------------|--------------------------------|----------------------|----------|--|-----------|--------|----|------------------|
| | | Diferencias emparejadas | | | 95% de intervalo de confianza de la diferencia | | t | gl | Sig. (bilateral) |
| | Media | Desv. Desviación | Desv. Error promedio | Inferior | Superior | | | | |
| Par 1 | Eficacia antes - Eficacia después | -25,55750 | 12,47468 | 3,60113 | -33,48353 | -17,63147 | -7,097 | 11 | ,000 |

Fuente: Elaboración propia

V. DISCUSIÓN

Los resultados de la presente investigación han demostrado que la implementación del mantenimiento preventivo permitió el incremento de la productividad de la empresa metalmecánica estudiada. Así, se observó en la tabla 39 que, con la aplicación de esa herramienta, la productividad aumentó de 39.28% a 71.91%, logrando que en promedio la producción mensual aumente de 17,142.58 kg de barras de acero a 18,080.50 kg (un incremento de 947.92 kg), tal como se observó en la tabla 30. Este análisis descriptivo se confirmó con los resultados de la prueba t-Student con p -valor > 0.05 .

Este comportamiento en la productividad del estudio realizado, también se evidencia en el estudio de Peralta (2019), cuyo objetivo se centró en incrementar la productividad de una empresa metalmecánica con un plan de mantenimiento productivo, obteniendo como resultados que la productividad creció en 23%, luego de la implementación de la mejora propuesta. En este sentido, ambos estudios coinciden en que el inadecuado control de mantenimiento era la causa principal de la baja productividad y que para corregir ello, el plan aplicado debe comprender distintas actividades con frecuencias diarias, semanales y mensuales, además de centralizar en la empresa estas labores para garantizar su efectividad.

Otro resultado similar, lo obtuvo Altamirano y Zavaleta (2016), quienes lograron con un plan de gestión de mantenimiento en una empresa industrial, lograr que la productividad aumente en 4.5 toneladas de melaza al año y 6,657.33 litros/mes en la fabricación de etanol. Un aspecto común entre dicho estudio y el que se está presentando es que, en ambos casos, se logró incrementar el conocimiento en cuanto a la operatividad y comportamiento de las máquinas, evitando realizar reposiciones innecesarias y prolongando la vida útil de las mismas, siendo esto un factor que generó un incremento en la rentabilidad de la empresa.

Estos resultados también están en concordancia con lo hallado por González (2016), quien se propuso implementar el mantenimiento preventivo y planificado para la línea de producción en la empresa Latercer, logrando aumentar la productividad en 12%. Sin embargo, como se observa el incremento en este estudio es inferior al 83.07% obtenido actualmente, la diferencia radica en que, en el primer caso, el autor solo pudo implementar la programación inicial del plan (vistos los

altos costos que generaba) y dejó de lado rutinas como evaluación de sobrecalentamiento y de vibraciones, mientras que aquí se logró aplicar todo el programa previsto.

En el contexto internacional, Kumer (2019) también logró con la implementación de un cronograma de mantenimiento preventivo que permita minimizar las fallas no planificadas y los accidentes, aumentar la productividad de una fábrica de prendas en Bangladesh en 87,360 piezas al mes. Como se observa en volumen este incremento es mayor a los 3,409 estribos adicionales obtenidos en el presente estudio, siendo la razón principal que el estudio realizado por Kumer (2019), incluyó un total de diez maquinarias, mientras que en la presente investigación solo se aplicó en una.

Asimismo, Alkuwari (2020), logró con la implementación de una mejora en el mantenimiento preventivo incrementar la productividad en los equipos de campos de las estaciones de telecomunicaciones en Qatar, reduciendo el tiempo de ejecución del sistema de 476 a 484 minutos, que significó una mejora de 40.3%. Un aspecto comparativo entre dicha investigación y el estudio que se ha realizado actualmente, es que el primero consistió en la mejora de un servicio y no en la actividad manufacturera, además que se midió el efecto de planes de mantenimiento preventivo ya aplicados y no se formuló una propuesta.

De igual modo, en el presente estudio se demostró que la implementación del mantenimiento preventivo logró un incremento en la eficiencia de la empresa seleccionada; así en la tabla 42 se aprecia que, con la aplicación de esa herramienta, este indicador aumentó de 64.93% a 83.85%, lo cual fue confirmado con los resultados de la prueba t-Student con p -valor > 0.05 . Este resultado fue similar al obtenido en el estudio de Peralta (2019), el cual ya fue señalado en esta sección, donde se logró un incremento de este indicador de 12% para el promedio de los 47 equipos evaluados que participan en distintas fases del proceso productivo (soldadura, corte, rolado, perforación y doble).

Asimismo, en la investigación realizada se demostró que la implementación del mantenimiento preventivo logró un incremento en la eficacia de la empresa seleccionada; así en la tabla 45 se aprecia que, con la aplicación de esa herramienta, este indicador aumentó de 60.42% a 85.98%, lo cual fue confirmado con los resultados de la prueba t-Student con p -valor > 0.05 . Este resultado fue

similar al obtenido en el estudio de Peralta (2019), donde se logró un incremento de este indicador de 19%.

Al evaluar el comportamiento de las maquinarias, se aprecia en el estudio realizado una mejora en la disponibilidad de las mismas de 18.92% y de la confiabilidad de 12.41%, según lo expuesto en la tabla 16. Esto también fue comprobado por Purnomio (2018), con la implementación del mantenimiento preventivo en una máquina PT.ASD en Indonesia, logró un resultado similar en la confiabilidad, elevándola en 33%, en este caso se observa que el incremento en el antecedente internacional es mayor, visto que se realizó un examen de mayor rigurosidad a los tiempos medios entre fallas y de reparación, logrando aplicar algunos componentes del mantenimiento predictivo.

Un resultado más similar al de la presente investigación, fue obtenido por Kumer (2019), cuyo estudio reflejó como esta herramienta aumentó la efectividad total de los equipos (OEE) en 11.81%, al pasar de 49.08% a 60.89%. Ambos estudios coinciden en aplicar labores propias del mantenimiento preventivo (lubricación, revisión constante y capacitación a los empleados).

Así, como señala Alkuwari (2020) con un cronograma eficaz de mantenimiento preventivo se logra mejorar la confiabilidad de los mismos y garantizar un servicio oportuno y productivo, porque se revisa cada uno de los procesos con el apoyo del supervisor del departamento de mantenimiento. Logrando, como destaca González (2016), superar los inconvenientes que generan los puntos críticos que se presentan en las áreas de producción de las empresas.

Ante ello, como destaca también Cruz (2016), el mantenimiento preventivo logró un aumento de la probabilidad de que una maquinaria realice su función específica para la empresa en un determinado momento y el tiempo en que la maquinaria estuvo dispuesta para realizar sus operaciones. De esta manera, como también lo refiere este autor, el estudio al final de cuentas termina por ser un análisis de fallas, lo cual precisamente era una de las principales debilidades observadas al inicio en el diagrama de Ishikawa (inadecuado control e incumpliendo de procesos).

De allí que del estudio de Kumer (2019), se observa se logra identificar las fallas que comúnmente no se planifican e incluso los accidentes, constituyendo el mantenimiento preventivo, también una estrategia para garantizar la seguridad de los operarios y del personal del área productiva. Esto demuestra que empleando el

mantenimiento preventivo se logró solucionar las causas de los problemas, incrementar la seguridad industrial y aumentar la calidad mediante un mayor compromiso del empleado en la atención de sus estaciones de trabajo, logrando el cumplimiento de las metas.

De igual modo, este estudio se logró ampliar el tiempo medio entre falla de las maquinarias de 2.69 horas por semana, como se aprecia en la tabla 8, a 13.42 horas por semana, tal como se evidencia en la tabla 16, lo cual también fue logrado en el estudio prenombrado de Altamirano y Zavaleta (2016), donde la confiabilidad de la maquinaria se logró aumentar, visto que con el mantenimiento preventivo se ampliaron los tiempos promedios entre fallas a 6.73, 12.75 y 6.97 días en las fases de fermentación, destilación y producción a vapor, respectivamente.

En atención a lo anterior, en la investigación recién realizada se logró que el tiempo en el cual se mantenían paralizadas las maquinarias, pasara de 202 horas durante el trimestre, lo cual se señala en la tabla 8, a 93 horas, lo cual se aprecia en la tabla 16. Esto también fue logrado por González (2016), quien logró reducir los tiempos de parada en 80%, al pasar de 106.5 horas mensuales a 81 horas.

Es que con el mantenimiento preventivo se logra restablecer las condiciones de funcionamiento de un equipo, comprendiendo el comportamiento del deterioro de los equipos, por ello uno de los más importantes logros del presente estudio es la extensión del periodo en el cual se reemplazan las cuchillas y ruedas de las maquinarias Prima 12R (SHNELL y MEP).

Desde una perspectiva económica, en el presente estudio se logró un ahorro anual en materiales, repuestos y mano de obra de S/ 30,610.32, tal como se aprecia en la tabla 32, pero también un incremento en la utilidad mensual de S/ 298.56 como resultado del incremento en la productividad. De igual manera, en el estudio de González (2016), se logró reducir una pérdida de S/ 82,533 en la empresa, por medio de la implementación del mantenimiento preventivo. En el caso de la investigación realizada por Kumer (2019), el ahorro obtenido fue de Tk 182,755.20 y el de Purnomio (2018) fue de Rp. 2,871,547.

En todos estudios se evidencia cómo el mantenimiento preventivo logra ahorros importantes en cuanto a lo siguiente: reducción de la cantidad de horas de mantenimiento correctivo, prolongación de la vida útil de los equipos y reducción en el costo unitario de la mano de obra. Además, las mejoras en la productividad

involucran un mayor volumen de producción que elevan los ingresos y los índices de rentabilidad.

En términos de rentabilidad, la propuesta planteada en este estudio logró una relación costo - beneficio de 2.32, demostrando que por cada S/ 1 invertido, se obtuvo una ganancia neta de S/ 1.32; mientras que en el caso del estudio realizado por Altamirano y Zavaleta (2016), el un beneficio económico fue de S/ 10 por cada S/ 1 invertido. Esto demuestra una de las premisas establecidas al inicio, en cuanto a que el óptimo rendimiento de los activos permite incrementar la productividad y, por ende, su rentabilidad, logrando que su ciclo de vida sea más largo y que el desgaste natural se retarde.

Sobre este particular, se ha cumplido con las etapas implementadas por Kumer (2019), estableciéndose los objetivos del plan, así como cronograma de acción por cada fase del programa a emplear y luego la implementación. En cada una de esas etapas, se ha requerido capacitar al personal de la empresa, siendo esto una de las debilidades observadas en el diagrama de Ishikawa (falta de experiencia de los trabajadores, escasez de capacitaciones y falta de compromiso), lo cual como señala González (2016) permite la realización del mantenimiento de maquinaria con fallas frecuentes y elaboración de tarjetas de mantenimiento, de lubricación, de inspección periódica y de verificación periódica.

En definitiva, a pesar de los retos que ha significado la implementación del mantenimiento preventivo en la empresa bajo estudio, se ha logrado un número de actividades suficientes, no siendo excesivas en términos de las necesidades de los equipos y el reemplazo oportuno de las piezas, eso como lo demuestran los estudios seleccionados como trabajos previos, permiten el logro de los objetivos planteados.

VI. CONCLUSIONES

Con base a los resultados obtenidos de la presente investigación, se concluye lo siguiente:

1. Se ha comprobado la hipótesis general del estudio, visto que, con la implementación del mantenimiento preventivo se alcanzó una mejora en la productividad de las maquinarias de 39.28% a 71.91%, logrando que en promedio la producción mensual aumente de 17,142.58 kg de barras de acero a 18,080.50 kg (un incremento de 947.92 kg). De esta manera, se logró un aumento de la productividad de 32.62%, lo cual fue comprobado según los resultados de la prueba t-Student, ya que $p\text{-valor} < 0.05$. Así, se ha logrado alcanzar el objetivo planteado; además, esta mejora en la productividad de la empresa y los ahorros que ha generado la sustitución del mantenimiento correctivo por el preventivo, conllevó a un incremento en la rentabilidad de S/ 1.11 por cada sol invertido, evidenciando los beneficios de dicha herramienta.
2. Se comprobó la primera hipótesis específica, así con la implementación del mantenimiento preventivo se alcanzó una mejora en la eficiencia de la maquinaria de 64.93% a 83.85%. De esta manera, se logró un aumento de este indicador de 18.92%, lo cual fue comprobado según los resultados de la prueba t-Student, ya que $p\text{-valor} < 0.05$. Así, este objetivo fue logrado, dado que con la herramienta empleada el tiempo de operatividad del equipo o disponibilidad se incrementó en promedio en 18.92%, mientras que la confiabilidad mejoró en 12.68%.
3. Se comprobó la segunda hipótesis específica de la investigación, luego de que la implementación del mantenimiento preventivo mejoró la eficacia de la maquinaria de 60.43% a 85.98%. De esta manera, se logró un aumento de este indicador de 25.56%, lo cual fue comprobado según los resultados de la prueba t-Student, ya que $p\text{-valor} < 0.05$. Así, se cumplió con el segundo objetivo específico propuesto, con una ampliación del tiempo medio entre fallas de 2.69 a 13.42 horas y del tiempo medio para reparar de 1.45 a 2.58 horas, reduciendo la tasa de

fallas de 0.37 a 0.07 y el total de fallas de 139 en un trimestre a 36 en ese mismo lapso.

VII. RECOMENDACIONES

1. Para profundizar el impacto del mantenimiento preventivo en la empresa, se sugiere a la directiva de la empresa aplicar esta herramienta para el resto de las maquinarias de la empresa, logrando así un enfoque más global en la aplicación de este tipo de mantenimiento, que conllevará a reducir aún más las demoras en el cumplimiento de las metas previstas de producción.
2. De igual modo, se recomienda a la Gerencia de Administración y Finanzas de la empresa, incluir la gestión de mantenimiento preventivo dentro de la planificación de la empresa, permitiendo un grado mayor de concienciación respecto a las bondades de las actividades de prevención en el uso de las maquinarias.
3. Adicionalmente, se recomienda a la alta directiva, la creación de un Área de Mantenimiento, que pueda lograr transitar del modelo correctivo que imperaba hasta formas más actualizadas del mantenimiento preventivo. En dicha área, deben generarse las políticas necesarias para lograr la instauración de un modelo preventivo en cada uno de los equipos de la empresa.
4. Se sugiere a próximos investigadores, extender este estudio a un número mayor de maquinarias e incluso a todas las actividades de la empresa e implementar herramientas más robustas como el mantenimiento productivo total (TPM), lo cual involucra la aplicación de pilares, como el mantenimiento planificado, mantenimiento autónomo, mejoras en la seguridad y medio ambiente, entre otros.

REFERENCIAS

- Ab-Samat, H., Basri, E., Harun, N., Wee, S., & Kamaruddin, S. (2013). Preventive maintenance checklist towards effective maintenance system: A case study in semiconductor industry. *Advanced Materials Research*, 748, 1208-1211.
- Ahmad, N., Hossen, J., & Mithun, S. (2018). Improvement of overall equipment efficiency of ring frame through total productive maintenance: a textile case. *The International Journal of Advanced Manufacturing*, 94, 239-256.
- Alkuwari, A. (2020). Improving the process of preventive maintenance for critical telecommunications stations in Qatar. *Tesis de grado*. Qatar.
- Altamirano, Y., & Zavaleta, M. (2016). Plan de gestión de mantenimiento preventivo para mejora de la productividad en la empresa Naylamp – Chiclayo 2016. *Tesis de grado*. Pimentel, Perú.
- Ayele, S., & Robinson, A. (2018). A framework for total productivity measurement of industrial construction projects. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 1-37.
- Azizi, A. (2015). Evaluation improvement of production productivity performance using statistical process control, overall equipment efficiency, and autonomous maintenance. *Procedia Manufacturing*, 2, 186-190.
- Bihardi, I., & Singh, B. (2014). Work measurement approach for productivity improvement in heavy machine shop. *5th International & 26th All India Manufacturing Technology, Design and Research Conference* (págs. 570-1 / 570-6). Assam, India: IIT Guwahati.
- Carrasco, S. (2017). *Metodología de la investigación científica*. Lima: Editorial San Marcos.
- ConexionEsan. (25 de junio de 2020). *Apuntes empresariales: ¿Cuáles son los pilares del Mantenimiento Productivo Total?* Obtenido de <https://www.esan.edu.pe/apuntes-empresariales/2020/06/cuales-son-los-pilares-del-mantenimiento-productivo-total/>
- Cruz, L. (2016). Diseño de un plan de mantenimiento preventivo basado en la confiabilidad para mejorar la disponibilidad y confiabilidad en máquinas circulares en la empresa textil WG. SAC - Lima. *Innovación en Ingeniería*, 2(1), 1-19.
- Dattatraya, D., & Prasad, R. (2018). Application of AHP for ranking of total productive maintenance pillars. *Wireless Pers Commun*, 100, 449-462.
- De Been, I., Van Der Voordt, T., & Haynes, B. (2016). Productivity. En P. Jensen, & T. Van Der Voordt, *Facilities management and corporate real estate management as value drivers: how to manage and measure adding value* (págs. 1-15). London: Routledge.

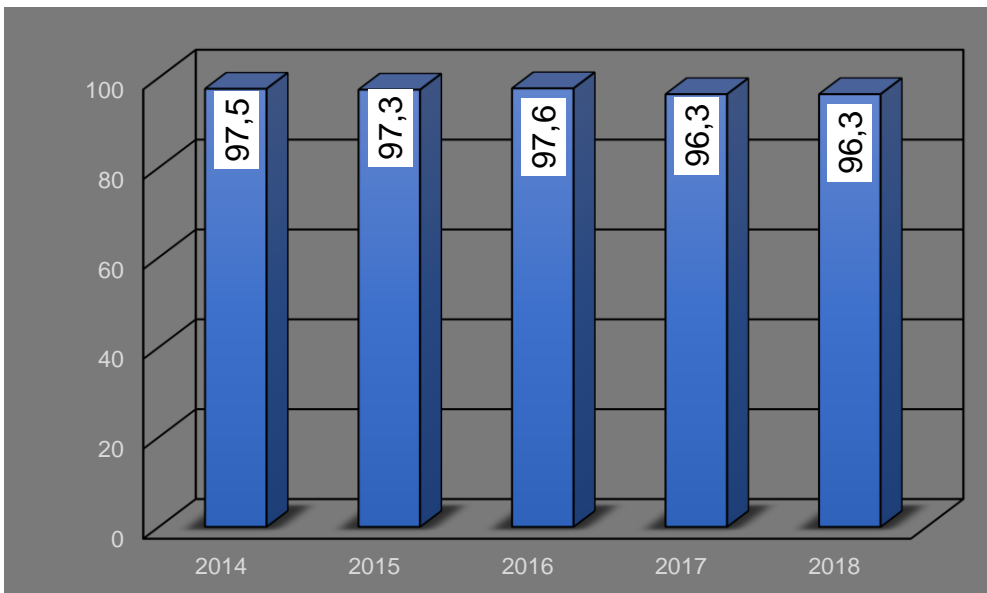
- Díaz-Reza, J., García-Alcaraz, J., Avelar-Sosa, L., Mendoza-Fong, J., Sáenz Diez-Muro, J., & Blanco-Fernández, J. (2018). The role of managerial commitment and TPM implementation strategies in productivity benefits. *Applied Science*, 8(7), 1153-1172.
- Eti, M., Ogaji, S., & Probert, S. (2006). Development and implementation of preventive-maintenance practices in Nigerian industries. *Applied Energy*, 83(10), 1163-1179.
- Festus, A., & Ogadimma, A. (2015). Influence of management style on workers' productivity in Nigeria Machine Tools, Osogbo, Osun State, Nigeria. *International Journal of Innovative Research & Development*, 4(4), 74-80.
- González, J. (2016). Propuesta de mantenimiento preventivo y planificado para la línea de producción en la empresa Latercer S.A.C. *Tesis de grado*. Chiclayo, Perú.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. Ciudad de México: McGraw-Hill.
- Hernández-López, L., Pimentel-Aguilar, A., & Ortiz-Posadas, M. (2020). An index to prioritize the preventive maintenance of medical equipment. *Health and Technology*, 10, 399-403.
- Jain, A., Bhatti, R., & Singh, H. (2014). Total productive maintenance (TPM) implementation practice: A literature review and directions. *International Journal of Lean Six Sigma*, 5(3), 293-323.
- Jin, X., Siegel, D., Weiss, B., Gamel, E., Wang, W., Lee, J., & Ni, J. (2013). The present status and future growth of maintenance in US manufacturing: results from a pilot survey. *Manufacturing Review*(3), 10-37.
- Jin, X., Siegel, D., Weiss, B., Gamel, E., Wang, W., Lee, J., & Ni, J. (2016). The present status and future growth of maintenance in US manufacturing: results from a pilot survey. *Manufacturing Review*(3), 1-27.
- Kumer, A. (2019). Development of a preventive maintenance schedule and evaluation of overall equipment effectiveness in a selected garment factory: A case study. *Tesis de grado*. Daka, Bangladesh.
- López-González, A., Zúniga-González, C., López, M., Quirós-Madrugal, O., Colón-García, A., Navas-Calderón, J., . . . Rangel-Cura, R. (2015). Estado del arte de la medición de la productividad y la eficiencia técnica en América Latina: Caso Nicaragua. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*, 1(2), 75-100.
- Mahfoud, H., Barkany, A., & Biyaali, A. (2016). Preventive maintenance optimization in healthcare domain: Status of research and perspective. *Journal of Quality and Reliability Engineering*(5314312), 1-10.

- McKinsey Global Institute. (2017). *Un futuro que funciona: Automatización, empleo y productividad*. Pensilvania, USA: McKinsey & Company.
- Ministerio de Producción. (2017). *Estudio de la situación actual de las empresas peruanas: Los determinantes de su productividad y orientación exportadora*. 2017: Ministerio de Producción.
- Modgil, S., & Sharma, S. (2016). Total productive maintenance, total quality management and operational performance: An empirical study of Indian pharmaceutical industry. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 22(4), 353-377.
- Nallusamy, S., & Muthamizhmaran, S. (2016). Enhancement of productivity and overall equipment efficiency using time and motion study technique - A review. *Advanced Engineering Forum*, 14, 55-62.
- Nguyen, D., & Bagajewicz, M. (2010). Optimization preventive maintenance in chemical process plants. *Ingeniería & Engineering Chemistry Research*(49), 4329-4339.
- Ni, J., Gu, X., & Jin, X. (2015). Preventive maintenance opportunities for large production systems. *CIR Annuals - Manufacturing Technology*(64), 447-450.
- Palomino, J., Peña, J., Ypanaque, G., & Orizano, J. (2017). *Metodología de la investigación*. Lima: Editorial San Marcos.
- Peralta, G. (2019). Plan de mantenimiento preventivo para incrementar la productividad de la empresa metalmecánica AR&ML Constructores E.I.R.L., San Juan de Lurigancho, 2019. *Tesis de grado*. Callao, Perú.
- Perú Compite. (2019). *Informe de competitividad 2019*. Lima: Perú Compite.
- Pirela, A., & Pirela, A. (2012). Mantenimiento preventivo para los tornos convencionales en el departamento de mecánica del IUTC. *Formación General*, 1(1), 33-46.
- Prokopenko, J. (1989). *La gestión de productividad: Manual práctico*. Ginebra: OIT.
- Purnomo, A. (2018). Implementación of preventive maintenance in injection moulding to increase machine reliability in PT.ASD. *Tesis de grado*. Cikarang, Indonesia.
- Saari, S. (2006). Productivity: Theory and measurement in business. *Espoo, Finland: European Productivity Conference*, 1-10.
- Shankar, R., & Aroulmoji, V. (2020). A Review on Productivity and its Effect in Industrial. *International Journal of Advanced Science, Engineering and Technology Manufacturing*, 6(4), 1490-1499.
- World Steel Association. (2019). *Sustainable Steel: Indicators 2019 and the steel supply chain*. Bruselas: World Steel Association.

- World Steel Association. (World Steel Association). *Sustainable Steel: Indicators 2019 and the steel supply chain*. Bruselas: 2017.
- Zegarra, M. (2015). Gestión moderna del mantenimiento de equipos pesados. *Ciencia y Desarrollo. Universidad Alas Peruanas*, 18(1), 57-67.
- Zhu, Z., Xiang, Y., Li, M., Zhu, W., & Scheneider, K. (2019). Preventive maintenance subject to equipment unavailability. *IEE Transactions on reliability*(99), 1-12.

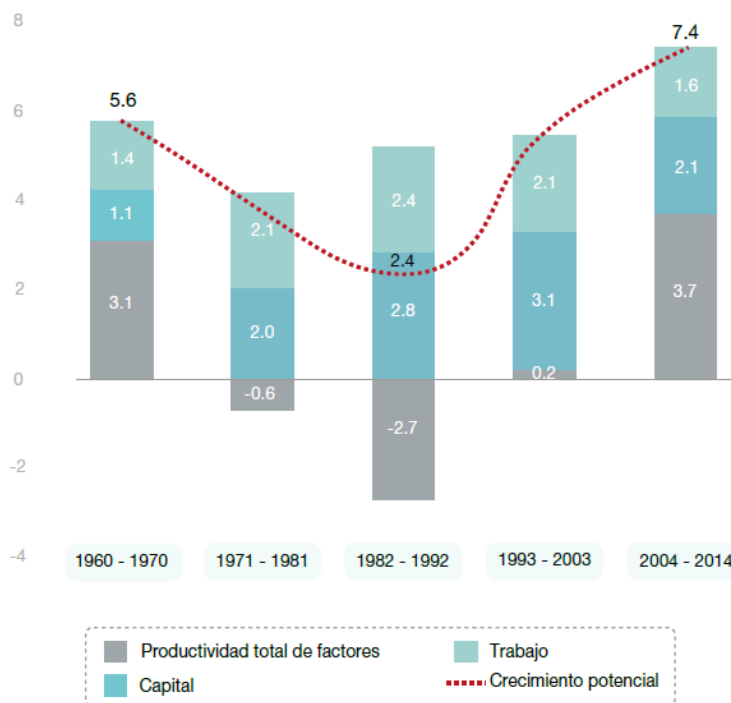
ANEXOS

Figura 27. Eficiencia de la industria siderúrgica 2014-2018



Fuente: World Steel Association (2017) y World Steel Association (2019).

Figura 28. Productividad factorial de la economía peruana 1961-2014



Fuente: Ministerio de la Producción (2017).

Figura 29. Eficiencia promedio de las empresas manufactureras peruanas en 2015

| Posición | Industria | Eficiencia promedio (%) |
|----------|--|-------------------------|
| 1 | Fabricación de maquinaria y equipo n.c.p. | 75% |
| 2 | Fabricación de otros tipos de transporte | 68% |
| 3 | Fabricación de productos informáticos, electrónicos y ópticos | 67% |
| 4 | Fabricación de productos textiles | 66% |
| 5 | Fabricación de otros productos minerales no metálicos | 65% |
| 6 | Otras industrias manufactureras | 61% |
| 7 | Fabricación de equipo electrónico | 58% |
| 8 | Fabricación de metales comunes | 57% |
| 9 | Fabricación de papel y de productos de papel | 55% |
| 10 | Fabricación de sustancias y productos químicos | 49% |
| 11 | Elaboración de productos alimenticios | 47% |
| 12 | Producción de madera y fabricación de productos de madera y corcho, excepto muebles, fabricación de artículos de paja y de materiales transables | 46% |
| 13 | Fabricación de coque y de productos de la refinación del petróleo | 43% |
| 14 | Fabricación de muebles | 42% |
| 15 | Fabricación de prendas de vestir | 41% |
| 16 | Elaboración de bebidas | 40% |
| 17 | Actividades de impresión y reproducción de grabaciones | 38% |
| 18 | Fabricación de cueros y productos conexos | 38% |
| 19 | Fabricación de productos farmacéuticos y preparaciones farmacéuticas | 36% |
| 20 | Reparación e instalación de la maquinaria y equipo | 36% |
| 21 | Fabricación de productos de caucho y plástico | 35% |
| 22 | Fabricación de vehículos automotores, remolques y semirremolques | 26% |
| 23 | Fabricación de productos elaborados de metal, excepto maquinaria y equipo | 15% |

Fuente: Ministerio de la Producción (2017).

Tabla 53. *Causas que explican la baja productividad en la empresa*

| N° | Causas |
|-----------|--|
| C1 | Falta de experiencia de trabajadores nuevos |
| C2 | Pocas capacitaciones |
| C3 | Alta rotación de personal |
| C4 | Paradas imprevistas |
| C5 | Piezas de recambio no disponibles |
| C6 | Rollos invertidos |
| C7 | Rollos de acero corrugado faltantes |
| C8 | Decoloración de barras de acero corrugado |
| C9 | Inadecuado control de mantenimiento |
| C10 | Incumplimiento del método de mantenimiento |
| C11 | Bajas temperaturas en el ambiente de trabajo |
| C12 | Medio ambiente con polvillo de acero |
| C13 | Espacios de trabajo reducidos |

Fuente: Entrevista preliminar realizada al representante de la empresa (2020)

Tabla 54. *Criterios de evaluación para el diseño de la matriz de Vester*

| Grado de causalidad | Calificación |
|----------------------------|---------------------|
| No existe relación causal | 0 |
| Causalidad débil | 1 |
| Causalidad moderada | 2 |
| Causalidad fuerte | 3 |

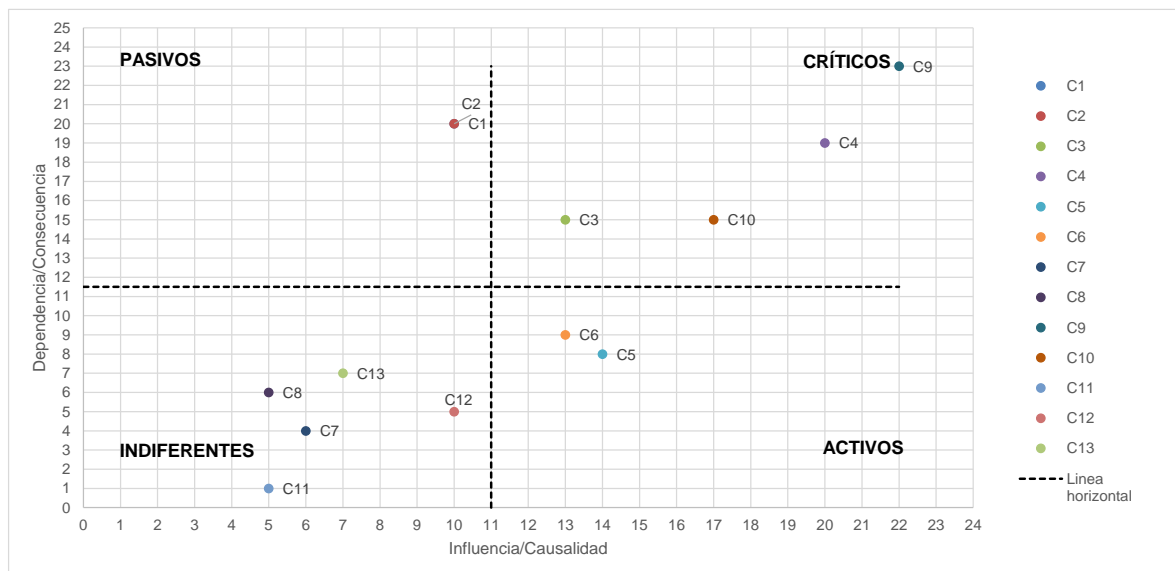
Fuente: Elaboración propia (2020).

Tabla 55. *Matriz de Vester*

| Código | Variable | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 | C7 | C8 | C9 | C10 | C11 | C12 | C13 | Activos |
|---------|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|---------|
| C1 | Falta de experiencia de trabajadores nuevos | 0 | 3 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 | 1 | 0 | 10 |
| C2 | Escasas capacitaciones | 3 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 10 |
| C3 | Falta de compromiso | 3 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 13 |
| C4 | Paradas imprevistas | 2 | 3 | 2 | 0 | 3 | 3 | 3 | 0 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 20 |
| C5 | Piezas de recambio no disponibles | 2 | 2 | 0 | 3 | 0 | 1 | 0 | 0 | 3 | 3 | 0 | 0 | 0 | 14 |
| C6 | Rollos invertidos adquiridos que dificultan el trabajo | 2 | 1 | 0 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 3 | 1 | 0 | 0 | 2 | 13 |
| C7 | Rollos de acero corrugado faltantes en almacén | 1 | 1 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 |
| C8 | Propiedad de resistencia ante la decoloración de las barras de acero corrugado es menor a la del mercado. | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 |
| C9 | Inadecuado control de mantenimiento | 3 | 3 | 2 | 1 | 1 | 3 | 1 | 3 | 0 | 3 | 0 | 0 | 2 | 22 |
| C10 | Incumplimiento de los procedimientos | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 17 |
| C11 | Bajas temperaturas en el ambiente de trabajo | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 |
| C12 | Medio ambiente con polvillo de acero | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 | 10 |
| C13 | Espacios reducidos | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 0 | 7 |
| Pasivos | | 20 | 20 | 15 | 19 | 8 | 9 | 4 | 6 | 23 | 15 | 1 | 5 | 7 | 0 |

Fuente: Elaboración propia (2020).

Figura 30. *Diagrama de Vester*



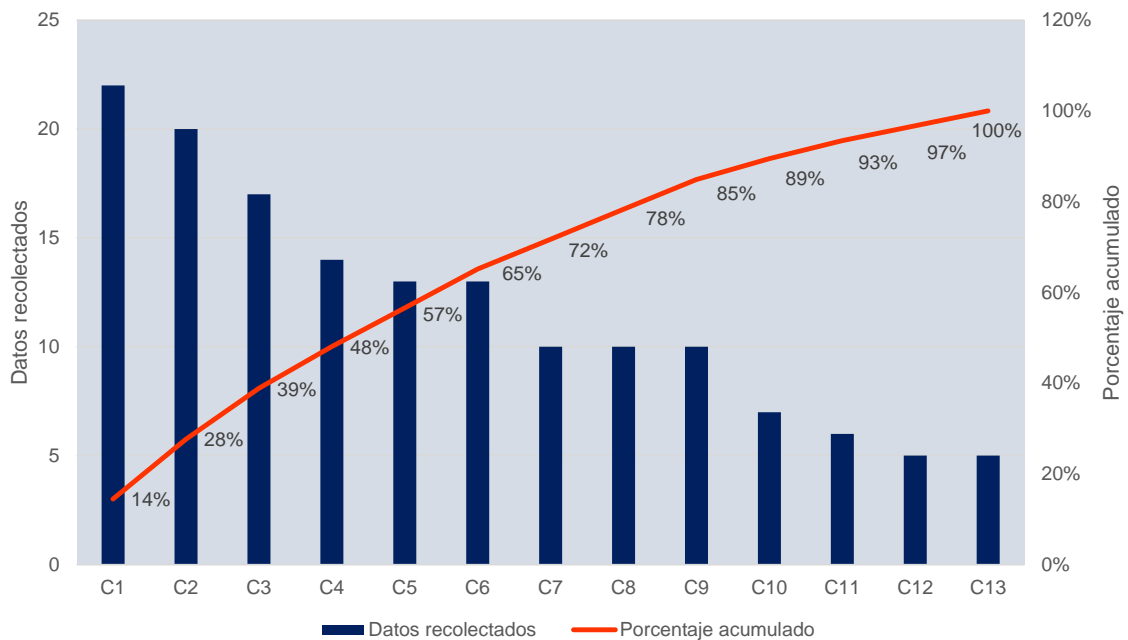
Fuente: Elaboración propia (2020).

Tabla 56. Jerarquización de las causas conforme a su potencial activo

| N° | Causas | Puntuación | Puntuación acumulada | Puntuación porcentual parcial | Puntuación porcentual acumulada |
|-------|---|------------|----------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| C9 | Inadecuado control de mantenimiento | 22 | 22 | 14% | 14% |
| C4 | Paradas imprevistas | 20 | 42 | 13% | 28% |
| C10 | Incumplimiento de los procedimientos | 17 | 59 | 11% | 39% |
| C5 | Piezas de recambio no disponibles | 14 | 73 | 9% | 48% |
| C3 | Falta de compromiso | 13 | 86 | 9% | 57% |
| C6 | Rollos invertidos adquiridos que dificultan el trabajo | 13 | 99 | 9% | 65% |
| C1 | Falta de experiencia de trabajadores nuevos | 10 | 109 | 7% | 72% |
| C2 | Escasas capacitaciones | 10 | 119 | 7% | 78% |
| C12 | Medio ambiente con polvillo de acero | 10 | 129 | 7% | 85% |
| C13 | Espacios reducidos | 7 | 136 | 5% | 89% |
| C7 | Rollos de acero corrugado faltantes en almacén. | 6 | 142 | 4% | 93% |
| C8 | Propiedad de resistencia ante la decoloración de las barras de acero corrugado es menor a la del menor. | 5 | 147 | 3% | 97% |
| C11 | Bajas temperaturas en el ambiente de trabajo | 5 | 152 | 3% | 100% |
| Total | | 152 | | 100% | |

Fuente: Elaboración propia (2020).

Figura 31. Diagrama de Pareto



Fuente: Elaboración propia (2020).

Tabla 57. *Estratificación por áreas*

| Código | Causa | Puntuación | Área |
|--------|---|------------|------------------|
| C1 | Falta de experiencia de trabajadores nuevos | 10 | Recursos Humanos |
| C2 | Pocas capacitaciones | 10 | Producción |
| C3 | Falta de compromiso | 13 | Recursos Humanos |
| C4 | Paradas imprevistas | 20 | Mantenimiento |
| C5 | Piezas de recambio no disponibles | 14 | Mantenimiento |
| C6 | Rollos invertidos adquiridos que dificultan el trabajo | 13 | Calidad |
| C7 | Rollos de acero corrugado faltantes en almacén | 6 | Producción |
| C8 | Propiedad de resistencia ante la decoloración de las barras de acero corrugado es menor a la del mercado. | 5 | Calidad |
| C9 | Inadecuado control de mantenimiento | 22 | Producción |
| C10 | Incumplimiento de procedimientos | 17 | Mantenimiento |
| C11 | Bajas temperaturas en el ambiente de trabajo | 5 | Gestión |
| C12 | Medio ambiente con polvillo de acero | 10 | Gestión |
| C13 | Espacios de trabajo reducidos | 7 | Gestión |

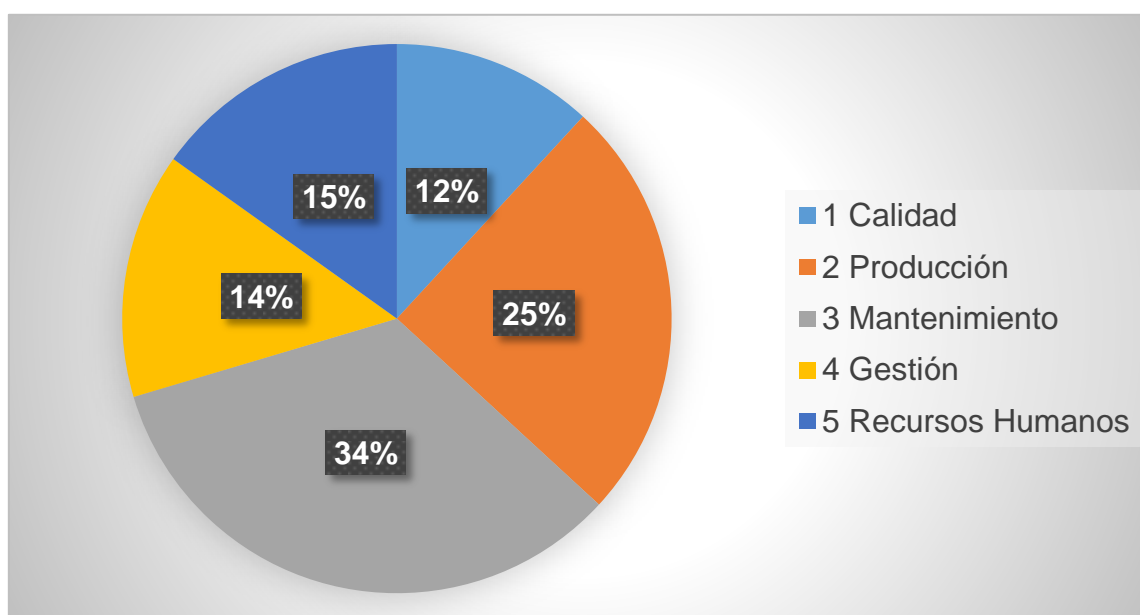
Fuente: Elaboración propia (2020).

Tabla 58. *Porcentaje de puntaje de causas por área*

| Ítem | Área | Puntuación | Porcentaje |
|-------|------------------|------------|------------|
| 1 | Calidad | 18 | 12% |
| 2 | Producción | 38 | 25% |
| 3 | Mantenimiento | 51 | 34% |
| 4 | Gestión | 22 | 14% |
| 5 | Recursos Humanos | 23 | 15% |
| Total | | 152 | 100% |

Fuente: Elaboración propia (2020).

Figura 32. *Porcentaje de puntaje de causas por área*



Fuente: Elaboración propia (2020).

Tabla 59. *Criterios de evaluación para el diseño de la matriz de alternativas de solución*

| Categoría | Calificación |
|------------------|---------------------|
| No bueno | 0 |
| Bueno | 1 |
| Muy bueno | 2 |

Fuente: Elaboración propia (2020).

Tabla 60. Matriz de priorización

| Área | Mano de obra | Material | Maquinaria | Medio ambiente | Método | Medición | Nivel de criticidad | Total de problemas | Porcentaje | Impacto | Clasificación | Prioridad | Herramienta |
|------------------|--------------|----------|------------|----------------|----------|----------|---------------------|--------------------|-------------|---------|---------------|-----------|---------------------------|
| Calidad | | 2 | | | | | Bajo | 2 | 15% | 7 | 14 | 4 | <i>Just in Time</i> |
| Producción | 1 | 1 | | | | 1 | Alto | 3 | 23% | 8 | 24 | 2 | Estudio del Trabajo |
| Mantenimiento | | | 2 | | 1 | | Alto | 3 | 23% | 10 | 30 | 1 | Mantenimiento Preventivo |
| Gestión | | | | 3 | | | Medio | 3 | 23% | 7 | 21 | 3 | Planeamiento estratégico |
| Recursos Humanos | 2 | | | | | | Medio | 2 | 15% | 5 | 10 | 5 | <i>Lean Manufacturing</i> |
| Total | 3 | 3 | 2 | 3 | 1 | 1 | | 13 | 100% | | | | |

Fuente: Elaboración propia (2020).

Tabla 61. Niveles de criticidad empleados

| Nivel de criticidad |
|---------------------|
| Alto |
| Medio |
| Bajo |

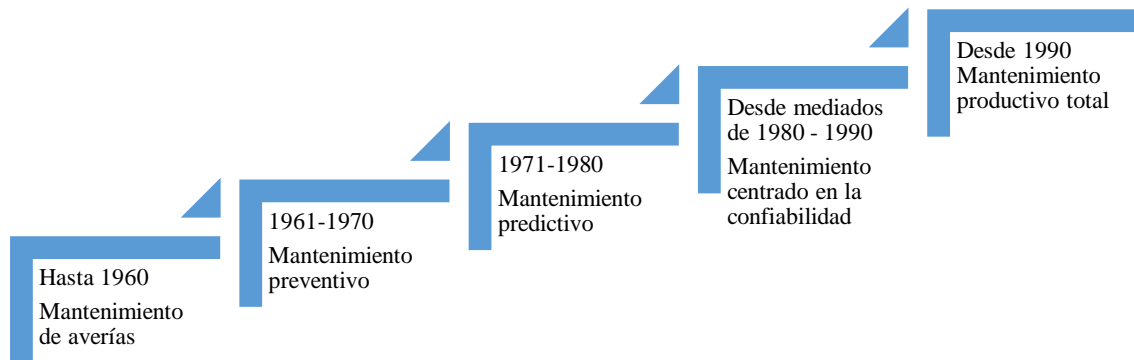
Fuente: Elaboración propia (2020).

Tabla 62. Nivel de impacto aplicado

| Nivel de impacto | Calificación |
|------------------|--------------|
| Alto | 10 |
| Bajo | 0 |

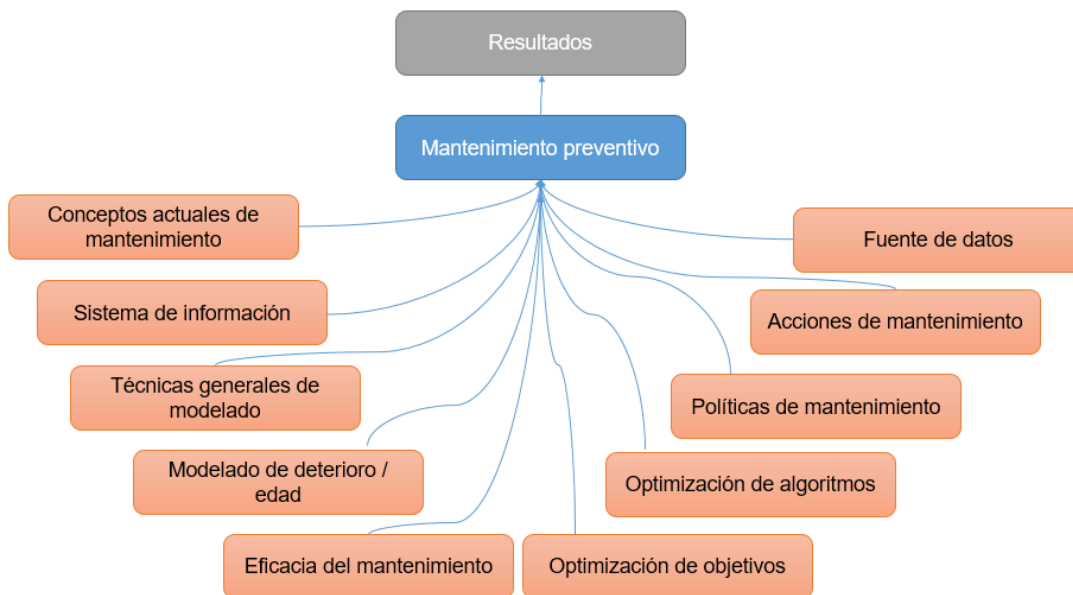
Fuente: Elaboración propia (2020).

Figura 33. Consolidación de las modalidades de gestión de mantenimiento en distintas décadas



Fuente: Adaptado de Jain et al. (2014).

Figura 34. Modelo del mantenimiento preventivo



Fuente: Adaptado de Mahfoud et al. (2016).

Tabla 63. Mediciones de la productividad por tipo de insumo y de producto

| Tipo de producto | Tipo de insumo | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Trabajo | Capital | Capital y trabajo | Capital, trabajo e insumos intermedios (energía, materia prima y servicios) |
| Producción bruta | Productividad laboral (basada en la producción bruta) | Productividad del capital (basada en la producción bruta) | Productividad multifactorial laboral y de capital (basada en la producción bruta) | Productividad multifactorial laboral - de capital - de insumos intermedios |
| Valor agregado | Productividad laboral (basada en el valor agregado) | Productividad del capital (basada en el valor agregado) | Productividad multifactorial laboral y de capital (basada en el valor agregado) | |
| Medición de la productividad unifactorial | | | Medición de la productividad multifactorial | |

Fuente: Adaptado de Carayannis y Grigoroudis (2014).

Figura 35. Inputs del programa de mantenimiento preventivo



Fuente: Elaboración propia (2020).

ANEXO 1

MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

| VARIABLES DE ESTUDIO | DEFINICIÓN CONCEPTUAL | DEFINICIÓN OPERACIONAL | DIMENSIÓN | INDICADORES | ESCALA DE MEDICIÓN |
|---|---|--|----------------|---|--------------------|
| Mantenimiento preventivo (variable independiente) | Para Jin et al. (2016), el mantenimiento preventivo se basa en la reparación, reemplazo y mantenimiento de cada equipo, con la finalidad de evitar las fallas que inesperadamente se presentan en ellos durante las actividades operativas. De allí que, su objetivo se centra en reducir al mínimo el costo total de la inspección y de la reparación; así como, disminuir el tiempo de inactividad de la máquina. | El mantenimiento Preventivo se medirá a través de las dimensiones de confiabilidad y disponibilidad con sus indicadores de Porcentaje de confiabilidad y Porcentaje de Disponibilidad respectivamente. | Confiabilidad | $C(t) = e^{-0.01*\lambda*t} * 100\%$ C = Porcentaje de Confiabilidad λ = Tasa de fallas t = Tiempo | Razón |
| | | | Disponibilidad | $D = \frac{TMEF}{TMEF + TMPR} * 100\%$ D = Porcentaje de Disponibilidad TMEF = Tiempo medio entre fallas TMPR = Tiempo medio para reparar | Razón |
| Productividad (variable dependiente) | En términos generales, la productividad se ha concebido como la relación existente entre el producto generado por una empresa y los insumos que utiliza, como lo son: mano de obra (horas – hombre), bienes de capital (máquinas y equipos) y recursos (materia prima, dinero y energía) (Nallusamy y Muthamizhmaran, 2016).. | La productividad será medida en las dimensiones eficiencia y eficacia con sus indicadores de Índice de eficiencia e Índice de eficacia respectivamente. | Eficiencia | $EE = \frac{N}{I}$ EE = Índice de eficiencia N = Horas trabajadas I = Horas programadas | Razón |
| | | | Eficacia | $EA = \frac{N}{NP}$ EA = Índice eficacia N = Producción real NP = producción planificada | |

ANEXO 2

INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN: MANTENIMIENTO PREVENTIVO

FICHA DE OBSERVACIÓN PARA CONFIABILIDAD Y DISPONIBILIDAD

Instrucciones: Incluir la información de cada ítem en las unidades utilizadas en la empresa.

| Mes | 1 | 2 | 3 |
|--|---|---|---|
| Número de fallas al mes (N) | | | |
| Tiempo programado de operatividad (A) | | | |
| Tiempo de operación (B) | | | |
| Tiempo de reparación (C) | | | |
| Tiempo medio entre fallas $TMEF = (B) / (N)$ | | | |
| Tiempo medio para reparar $TMPR = (C) / (N)$ | | | |
| Dimensión Disponibilidad $D = \frac{TMEF}{TMEF + TMPR} * 100\%$ | | | |
| Tasa de fallas $\lambda = \frac{1}{TMEF}$ | | | |
| Tiempo $t = TMEF + TMPR$ | | | |
| Dimensión Confiabilidad $C(t) = e^{-0.01 * \lambda * t} * 100\%$ | | | |

INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN: MANTENIMIENTO PREVENTIVO

FICHA DE OBSERVACIÓN PROGRAMACIÓN DE MANTENIMIENTO

Instrucciones: Marcar con un aspa (X) según lo programado y ejecutado para cada maquinaria

| NR. EQUIP. | MÁQUINAS / EQUIPOS | MODELO / FABRICANTE | M | MES 1 | | | | MES 2 | | | | MES 3 | | | |
|---------------|-----------------------|------------------------|---|-------|---|---|---|-------|---|---|---|-------|---|---|---|
| | | | S | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 01 | | | P | | | | | | | | | | | | |
| | | | E | | | | | | | | | | | | |
| 02 | | | P | | | | | | | | | | | | |
| | | | E | | | | | | | | | | | | |
| 03 | | | P | | | | | | | | | | | | |
| | | | E | | | | | | | | | | | | |
| 04 | | | P | | | | | | | | | | | | |
| | | | E | | | | | | | | | | | | |
| 05 | | | P | | | | | | | | | | | | |
| | | | E | | | | | | | | | | | | |
| 06 | | | P | | | | | | | | | | | | |
| | | | E | | | | | | | | | | | | |
| 07 | | | P | | | | | | | | | | | | |
| | | | E | | | | | | | | | | | | |
| 08 | | | P | | | | | | | | | | | | |
| | | | E | | | | | | | | | | | | |
| 09 | | | P | | | | | | | | | | | | |
| | | | E | | | | | | | | | | | | |
| 10 | | | P | | | | | | | | | | | | |
| | | | E | | | | | | | | | | | | |

LEYENDA:
P=Mantenimiento Preventivo Planificado
E=Mantenimiento Preventivo Ejecutado

INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN: MANTENIMIENTO PREVENTIVO

FICHA DE OBSERVACIÓN CHECK LIST PARA REVISIÓN DE MAQUINARIA

Instrucciones: Marcar con un aspa (X) según lo evaluado en la inspección, dependiendo de la naturaleza del equipo

| | | | | | | | | | | |
|--|---|----------------------|-----------------|--------------------|-------------------|--------------------|----------------|----------------------------------|-----------------|-------------|
| Código de equipo : | | | | | Responsable: | | | | | |
| Nombre del equipo : | | | | | mantenimiento | | | | | |
| Frecuencia: semanal | | | | | Fecha: | | | | | |
| Marcar los casilleros de la derecha que describan la condición de los componentes mostrados en la columna de la izquierda. | Correcto | Requiere Lubricación | Requiere Ajuste | Requiere Reemplazo | Requiere Limpieza | Excesiva Vibración | Excesivo Calor | Cambiar sellos y/o empaquetadura | Ver Comentarios | Adicionales |
| | 1.-Motor eléctrico: A. Rodamientos B. Base de fijación C. Temperatura D. Vibración E. Ruido | | | | | | | | | |
| 2.-Caja del husillo: A. Ruido B. Nivel de aceite | | | | | | | | | | |
| 3.-Ruedas de repujado: A. Estado de rodamientos | | | | | | | | | | |
| 4.-Filtro de succión: A. Limpieza B. Entrada libre | | | | | | | | | | |
| 5.-Bomba: A. Ruido B. Flojo C. Presión D. Base de fijación E. Alineamiento F. Fugas | | | | | | | | | | |
| 6.-Válvula de alivio: A. Presión ajustada B. Calentamiento | | | | | | | | | | |
| 7.-Válvula direccional: A. Operación libre B. Calentamiento | | | | | | | | | | |
| 8.-Cilindro hidráulico: A. Fugas B. Alineamiento C. Calentamiento | | | | | | | | | | |
| 9.-Líneas: A. Seguridad del montaje B. Estado de mangueras C. Acoplamientos sueltos | | | | | | | | | | |
| Comentarios Adicionales: | | | | | | | | | | |

INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN: PRODUCTIVIDAD

FICHA DE OBSERVACIÓN PARA INDICADORES DE PRODUCTIVIDAD

Instrucciones: Incluir la información de cada ítem en las unidades utilizadas en la empresa.

| Mes | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|
| Horas trabajadas (A) | | | |
| Horas programadas (B) | | | |
| Producción total (C) | | | |
| Producción defectuosa (D) | | | |
| Producción real (E) = (C) – (D) | | | |
| Producción planificada (F) | | | |
| <u>Dimensión</u> Eficiencia (EE) = (A) / (B) | | | |
| <u>Dimensión</u> Eficacia (EA) = (E) / (F) | | | |
| <u>Variable</u> Productividad (P) =(EE)*(EA) | | | |

ANEXO 3

VALIDEZ DEL INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS



CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO QUE MIDE LA VARIABLE INDEPENDIENTE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

| Nº | DIMENSIONES / Items | Pertinencia ¹ | | Relevancia ² | | Claridad ³ | | Sugerencias |
|----|--|--------------------------|----|-------------------------|----|-----------------------|----|-------------|
| | | Si | No | Si | No | Si | No | |
| 1 | DIMENSIÓN 1: Confiabilidad | | | | | | | |
| | $C(t) = e^{-0.01 \cdot \lambda \cdot t} * 100\%$ <p>C = Porcentaje de Confiabilidad λ = Tasa de fallas t = Tiempo</p> | x | | x | | x | | |
| 2 | DIMENSIÓN 2: Disponibilidad | | | | | | | |
| | $D = \frac{TMEF}{TMEF + TMPR} * 100\%$ <p>D = Porcentaje de disponibilidad TMEF = Tiempo medio entre fallas TMPR = Tiempo medio para reparar</p> | x | | x | | x | | |

Observaciones (precisar si hay suficiencia): _____ si hay suficiencia _____

Opinión de aplicabilidad: Aplicable [X] Aplicable después de corregir [] No aplicable []

Apellidos y nombres del juez validador. Dr/ Mg: ... López Padilla, Rosario del Pilar DNI: ...08163545.....

Especialidad del validador:Ingeniera alimentaria/Maestra en Administración.....

¹Pertinencia: El ítem corresponde al concepto teórico formulado.
²Relevancia: El ítem es apropiado para representar al componente o dimensión específica del constructo
³Claridad: Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del ítem, es conciso, exacto y directo

Nota: Suficiencia, se dice suficiencia cuando los ítems planteados son suficientes para medir la dimensión

...30...de...Octubre...del 2020

 ING. ROSARIO LÓPEZ PADILLA
 CIP 200326
 Firma del Experto Informante.

CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO QUE MIDE LA VARIABLE DEPENDIENTE PRODUCTIVIDAD

| Nº | DIMENSIONES / ítems | Pertinencia ¹ | | Relevancia ² | | Claridad ³ | | Sugerencias |
|----|---|--------------------------|----|-------------------------|----|-----------------------|----|-------------|
| | | Si | No | Si | No | Si | No | |
| 1 | DIMENSIÓN 1: Eficiencia | | | | | | | |
| | $EE = \frac{N}{I}$ EE = Índice de eficiencia N = Horas trabajadas I = Horas programadas | x | | x | | x | | |
| 2 | DIMENSIÓN 2: Eficacia | | | | | | | |
| | $EA = \frac{N}{NP}$ EA = Índice de eficacia N = Producción real NP = producción planificada | x | | x | | x | | |

Observaciones (precisar si hay suficiencia): _____ si hay suficiencia _____

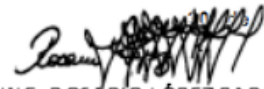
Opinión de aplicabilidad: **Aplicable** [x] **Aplicable después de corregir** [] **No aplicable** []

Apellidos y nombres del juez validador. Dr/ Mg:..... López Padilla, Rosario del Pilar DNI:.....08163545.....

Especialidad del validador:..... Ingeniera alimentaria/Maestra en Administración.....

¹Pertinencia: El ítem corresponde al concepto teórico formulado.
²Relevancia: El ítem es apropiado para representar al componente o dimensión específica del constructo
³Claridad: Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del ítem, es conciso, exacto y directo

Nota: Suficiencia, se dice suficiencia cuando los ítems planteados son suficientes para medir la dimensión


 Octubre ...del 2020
ING. ROSARIO LÓPEZ PADILLA
 CIP 200326
 Firma del Experto Informante.

CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO QUE MIDE LA VARIABLE INDEPENDIENTE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

| N ^o | DIMENSIONES / ítems | Pertinencia ¹ | | Relevancia ² | | Claridad ³ | | Sugerencias |
|----------------|--|--------------------------|----|-------------------------|----|-----------------------|----|-------------|
| | | Si | No | Si | No | Si | No | |
| 1 | DIMENSIÓN 1: Confiabilidad | Si | No | Si | No | Si | No | |
| | $C(t) = e^{-0.01 \cdot \lambda \cdot t} * 100\%$ <p>C = Porcentaje de Confiabilidad λ = Tasa de fallas t = Tiempo</p> | x | | x | | x | | |
| 2 | DIMENSIÓN 2: Disponibilidad | Si | No | Si | No | Si | No | |
| | $D = \frac{TMEF}{TMEF + TMPR} * 100\%$ <p>D = Porcentaje de disponibilidad TMEF = Tiempo medio entre fallas TMPR = Tiempo medio para reparar</p> | x | | x | | x | | |

Observaciones (precisar si hay suficiencia): PERTINENTE si hay suficiencia _____

Opinión de aplicabilidad: Aplicable [X] Aplicable después de corregir [] No aplicable []

Apellidos y nombres del juez validador. Mg: Rodríguez Alegre Lino DNI: ...06535058.....

Especialidad del validador: Ingeniero Pesquero Tecnológico

...30...de...Octubre ...del 2020

¹Pertinencia: El ítem corresponde al concepto teórico formulado.
²Relevancia: El ítem es apropiado para representar el componente o dimensión específicos del constructo
³Claridad: Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del ítem, es conciso, exacto y directo

Nota: Suficiencia, se dice suficiencia cuando los ítems planteados son suficientes para medir la dimensión



Firma del Experto Informante.

CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO QUE MIDE LA VARIABLE DEPENDIENTE PRODUCTIVIDAD

| Nº | DIMENSIONES / ítems | Pertinencia ¹ | | Relevancia ² | | Claridad ³ | | Sugerencias |
|----|---|--------------------------|----|-------------------------|----|-----------------------|----|-------------|
| | | Si | No | Si | No | Si | No | |
| 1 | DIMENSIÓN 1: Eficiencia | | | | | | | |
| | $EE = \frac{N}{I}$ EE = Índice de eficiencia N = Horas trabajadas I = Horas programadas | x | | x | | x | | |
| 2 | DIMENSIÓN 2: Eficacia | | | | | | | |
| | $EA = \frac{N}{NP}$ EA = Índice de eficacia N = Producción real NP = producción planificada | x | | x | | x | | |

Observaciones (precisar si hay suficiencia): **PERTINENTE** si hay suficiencia _____

Opinión de aplicabilidad: **Aplicable [x]** **Aplicable después de corregir []** **No aplicable []**

Apellidos y nombres del juez validador. Mg:..... **Rodríguez Alegre Lino** DNI:.....**06535058**.....

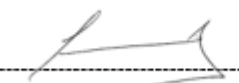
Especialidad del validador:..... **Ingeniero Pesquero Tecnólogo**
**30**...de...**Octubre** ...del **2020**

¹Pertinencia: El ítem corresponde al concepto técnico formulado.

²Relevancia: El ítem es apropiado para representar el componente o dimensión específica del constructo

³Claridad: Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del ítem, es conciso, exacto y directo

Nota: Suficiencia, se dice suficiencia cuando los ítems planteados son suficientes para medir la dimensión



Firma del Experto Informante.

CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO QUE MIDE LA VARIABLE INDEPENDIENTE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

| N.º | DIMENSIONES / ítems | Pertinencia ¹ | | Relevancia ² | | Claridad ³ | | Sugerencias |
|-----|--|--------------------------|----|-------------------------|----|-----------------------|----|-------------|
| | | Si | No | Si | No | Si | No | |
| 1 | DIMENSIÓN 1: Confiabilidad | Si | No | Si | No | Si | No | |
| | $C(t) = e^{-0.01+\lambda+t} * 100\%$ <p>C = Porcentaje de Confiabilidad λ = Tasa de fallas t = Tiempo</p> | x | | x | | x | | |
| 2 | DIMENSIÓN 2: Disponibilidad | Si | No | Si | No | Si | No | |
| | $D = \frac{TMEF}{TMEF + TMPR} * 100\%$ <p>D = Porcentaje de disponibilidad TMEF = Tiempo medio entre fallas TMPR = Tiempo medio para reparar</p> | x | | x | | x | | |

Observaciones (precisar si hay suficiencia): _____ si hay suficiencia _____

Opinión de aplicabilidad: **Aplicable [X]** **Aplicable después de corregir []** **No aplicable []**

Apellidos y nombres del juez validador. D^r/ Mg: ... Zeña Ramos, José la Rosa DNI: ...17533125.....

Especialidad del validador: Ingeniero Industrial

...30...de...Octubre ...del 2020

¹Pertinencia: El ítem corresponde al concepto teórico formulado.
²Relevancia: El ítem es apropiado para representar el componente o dimensión específicos del constructo
³Claridad: Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del ítem, es conciso, exacto y directo

Nota: Suficiencia, se dice suficiencia cuando los ítems planteados son suficientes para medir la dimensión



Firma del Experto Informante.

CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO QUE MIDE LA VARIABLE DEPENDIENTE PRODUCTIVIDAD

| Nº | DIMENSIONES / ítems | Pertinencia ¹ | | Relevancia ² | | Claridad ³ | | Sugerencias |
|----|---|--------------------------|----|-------------------------|----|-----------------------|----|-------------|
| | | Si | No | Si | No | Si | No | |
| 1 | DIMENSIÓN 1: Eficiencia | | | | | | | |
| | $EE = \frac{N}{I}$ EE = Índice de eficiencia N = Horas trabajadas I = Horas programadas | x | | x | | x | | |
| 2 | DIMENSIÓN 2: Eficacia | | | | | | | |
| | $EA = \frac{N}{NP}$ EA = Índice de eficacia N = Producción real NP = producción planificada | x | | x | | x | | |

Observaciones (precisar si hay suficiencia): _____ si hay suficiencia _____

Opinión de aplicabilidad: **Aplicable** [x] Aplicable después de corregir [] No aplicable []

Apellidos y nombres del juez validador: **D^o Mg: Zeña Ramos, José la Rosa** DNI: **17533125**.....

Especialidad del validador: **Ingeniero Industrial**
30...de...Octubre ...del 2020

¹Pertinencia: El ítem corresponde al concepto técnico formulado.
²Relevancia: El ítem es apropiado para representar el componente o dimensión específicos del constructo
³Claridad: Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del ítem, es conciso, exacto y directo



Nota: Suficiencia, se dice suficiencia cuando los ítems planteados son suficientes para medir la dimensión

ANEXO 4

CONFIABILIDAD DEL INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

*Sin título1.sav [ConjuntoDatos1] - IBM SPSS Statistics Editor de datos

| | NF | TPO | TOR | TRE | HT | HP | PT | PF | PR | PPL | va |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|-------|---------|---------|----|
| 1 | 8,00 | 48,00 | 32,00 | 16,00 | 32,00 | 48,00 | 5298,00 | 51,00 | 5247,00 | 8000,00 | |
| 2 | 10,00 | 48,00 | 30,00 | 18,00 | 26,00 | 40,00 | 4340,00 | 43,00 | 4297,00 | 6667,00 | |
| 3 | 12,00 | 48,00 | 31,00 | 17,00 | 27,00 | 40,00 | 4505,00 | 42,00 | 4463,00 | 6667,00 | |
| 4 | 11,00 | 48,00 | 31,00 | 17,00 | 31,00 | 48,00 | 5198,00 | 50,00 | 5148,00 | 8000,00 | |
| 5 | 12,00 | 48,00 | 31,00 | 17,00 | 15,00 | 32,00 | 2493,00 | 30,00 | 2463,00 | 5333,00 | |
| 6 | 9,00 | 48,00 | 35,00 | 13,00 | 26,00 | 40,00 | 4333,00 | 42,00 | 4292,00 | 6667,00 | |
| 7 | 10,00 | 48,00 | 34,00 | 14,00 | 20,00 | 32,00 | 3298,00 | 34,00 | 3264,00 | 5333,00 | |
| 8 | 13,00 | 48,00 | 29,00 | 19,00 | 29,00 | 48,00 | 4833,00 | 48,00 | 4785,00 | 8000,00 | |
| 9 | 11,00 | 48,00 | 33,00 | 15,00 | 22,00 | 40,00 | 3660,00 | 35,00 | 3625,00 | 6667,00 | |
| 10 | 14,00 | 48,00 | 30,00 | 18,00 | 18,00 | 32,00 | 2980,00 | 31,00 | 2949,00 | 5333,00 | |
| 11 | 13,00 | 48,00 | 30,00 | 18,00 | 30,00 | 48,00 | 4950,00 | 48,00 | 4902,00 | 8000,00 | |
| 12 | 16,00 | 48,00 | 28,00 | 20,00 | 20,00 | 32,00 | 3331,00 | 32,00 | 3299,00 | 5333,00 | |
| 13 | | | | | | | | | | | |
| 14 | | | | | | | | | | | |

Confiabilidad para mantenimiento preventivo

Estadísticas de fiabilidad

| Alfa de Cronbach | Alfa de Cronbach basada en elementos estandarizados | N de elementos |
|------------------|---|----------------|
| ,863 | ,865 | 2 |

Matriz de correlaciones entre elementos

| | Número de fallas | Tiempo de reparación |
|----------------------|------------------|----------------------|
| Número de fallas | 1,000 | ,762 |
| Tiempo de reparación | ,762 | 1,000 |

Estadísticas de total de elemento

| | Media de escala si el elemento se ha suprimido | Varianza de escala si el elemento se ha suprimido | Correlación total de elementos corregida | Correlación múltiple al cuadrado | Alfa de Cronbach si el elemento se ha suprimido |
|----------------------|--|---|--|----------------------------------|---|
| Número de fallas | 16,8333 | 4,152 | ,762 | ,581 | . |
| Tiempo de reparación | 11,5833 | 4,992 | ,762 | ,581 | . |

Confiabilidad para productividad

| Alfa de Cronbach | Alfa de Cronbach basada en elementos estandarizados | N de elementos |
|------------------|---|----------------|
| ,821 | ,994 | 5 |

Matriz de correlaciones entre elementos

| | Horas trabajadas | Producción total | Producción defectuosa | Producción real | Producción planificada |
|------------------------|------------------|------------------|-----------------------|-----------------|------------------------|
| Horas trabajadas | 1,000 | 1,000 | ,983 | 1,000 | ,941 |
| Producción total | 1,000 | 1,000 | ,983 | 1,000 | ,941 |
| Producción defectuosa | ,983 | ,983 | 1,000 | ,983 | ,957 |
| Producción real | 1,000 | 1,000 | ,983 | 1,000 | ,941 |
| Producción planificada | ,941 | ,941 | ,957 | ,941 | 1,000 |

Estadísticas de total de elemento

| | Media de escala si el elemento se ha suprimido | Varianza de escala si el elemento se ha suprimido | Correlación total de elementos corregida | Correlación múltiple al cuadrado | Alfa de Cronbach si el elemento se ha suprimido |
|------------------------|--|---|--|----------------------------------|---|
| Horas trabajadas | 14869,9167 | 8691787,902 | ,991 | ,999 | ,874 |
| Producción total | 10793,0000 | 4156392,364 | ,982 | 1,000 | ,648 |
| Producción defectuosa | 14854,0833 | 8678851,356 | ,987 | ,999 | ,873 |
| Producción real | 10833,4167 | 4187671,720 | ,982 | 1,000 | ,648 |
| Producción planificada | 8227,9167 | 3453942,629 | ,941 | ,919 | ,676 |

ANEXO 5

CONSENTIMIENTO INFORMADO

Nombres y Apellidos: _____

DNI: _____

Cargo: _____

Teléfono de contacto: _____

Firma

ANEXO 9

TABLAS DE FACTORES Y DE SUPLEMENTOS DE WESTINGHOUSE

Factores

| HABILIDAD | | ESFUERZO | | CONDICIÓN | | CONSISTENCIA | |
|-----------|-------|----------|-------|-----------|-------|--------------|-------|
| A1 | 0,15 | A1 | 0,13 | A | 0,06 | A | 0,04 |
| A2 | 0,13 | A2 | 0,12 | B | 0,04 | B | 0,03 |
| B1 | 0,11 | B1 | 0,1 | C | 0,02 | C | 0,01 |
| B2 | 0,08 | B2 | 0,08 | D | 0 | D | 0 |
| C1 | 0,06 | C1 | 0,05 | E | -0,03 | E | -0,02 |
| C2 | 0,03 | C2 | 0,02 | F | -0,07 | F | -0,04 |
| D | 0 | D | 0 | | | | |
| E1 | -0,05 | E1 | -0,04 | | | | |
| E2 | -0,1 | E2 | -0,08 | | | | |
| F1 | -0,16 | F1 | -0,12 | | | | |
| F1 | -0,22 | F1 | -0,17 | | | | |



Suplementos

| | H | M | | H | M |
|---|----|-----|---|---|----|
| 1. suplementos constantes | | | E. Calidad de aire (factores climáticos inclusive) | | |
| - suplemento por necesidades personales | 5 | 7 | - buena ventilación o aire libre | 0 | 0 |
| - suplementos básicos por fatiga | 4 | 4 | - mala ventilación, pero sin emanaciones tóxicas ni nocivas | 5 | 5 |
| total: | 9 | 11 | - proximidades de hornos, calderas, etc. | 5 | 15 |
| 2. suplementos variables añadidas al suplemento básico por fatiga | | | F. tensión visual | | |
| A. suplemento por trabajar de pie | 2 | 4 | - trabajos de cierta precisión | 0 | 0 |
| B. suplemento postura anormal | | | - trabajos de precisión o fatigosos | 2 | 2 |
| - Ligeramente incómoda | 0 | 1 | - trabajos de gran precisión o muy fatigosos | 5 | 5 |
| - incómoda inclinado | 2 | 3 | G. Tensión auditiva | | |
| - Muy incómoda (echado-estirado) | 7 | 7 | - Sonido continuo | 0 | 0 |
| C. Levantamiento de pesos y uso de fuerza (levantar, tirar o empujar) | | | - Intermitente y fuerte | 2 | 2 |
| - Peso levantado o fuerza ejercida (en kg) | | | - Intermitente y muy fuerte | 3 | 3 |
| 2,50 | 0 | 1 | - Estridente y fuerte | 5 | 5 |
| 5,00 | 1 | 2 | H. Tensión mental | | |
| 7,50 | 2 | 3 | - Proceso bastante complejo | 1 | 1 |
| 10,00 | 3 | 4 | - Proceso complejo o atención muy dividida | 4 | 4 |
| 12,50 | 4 | 6 | - Muy complejo | 8 | 8 |
| 15,00 | 6 | 9 | I. Monotonía mental | | |
| 17,50 | 8 | 12 | - Trabajo algo monótono | 0 | 0 |
| 20,00 | 10 | 15 | - Trabajo bastante monótono | 1 | 1 |
| 22,50 | 12 | 18 | - Trabajo monótono | 4 | 4 |
| 25,00 | 14 | --- | J. Monotonía física | | |
| 30,00 | 19 | --- | - Trabajo algo aburrido | 0 | 0 |
| 40,00 | 33 | --- | - Trabajo aburrido | 2 | 1 |
| 50,00 | 58 | --- | - Trabajo muy aburrido | 5 | 2 |
| D. Intensidad de luz | | | | | |
| - Ligeramente por debajo de lo recomendado | 0 | 0 | | | |
| - Bastante por debajo | 2 | 2 | | | |
| - Absolutamente insuficiente | 5 | 5 | | | |

ANEXO 10

FACTURAS SUMINISTRADAS POR LA EMPRESA

| # | Artículo & Descripción | Cant. | Costo | Importe |
|--|--|-------------|----------|----------|
| MANTENIMIENTO CORRECTIVO Y PREVENTIVO MINI SYNTAX | | | | |
| 1 |  <p>Mantenimiento correctivo y preventivo Mini Syntax SKU : SV-MTO-MIN-SYN</p> <p>A. Desmontaje y cambio de sellos de pistón de accionamiento en torreta de corte. B. Desmontaje y cambio de sellos de pistón de rodillos de alimentador de alambre. C. Seteo de válvulas hidráulicas y medición de todos los puntos de testeo de la máquina conforme indica el plano hidráulico; reajuste de tornillos de regulación y seguros flojos. D. Desmontaje total de las electroválvulas hidráulicas ;mantenimiento y revisión de Correderas (spull) y asientos de válvulas ; así como el cambio de sellos y orings de todas las válvulas. E. Desmontaje, revisión y carga de nitrógeno del acumulador hidráulico(según presión indicada en el plano hidráulico). F. Instalación de protectores (espumas) para minimizar la entrada de polvillo en la estación de alimentación de alambre y evitar contaminación en el block de electroválvulas. G. Limpieza y lubricación general de la máquina. Pruebas de funcionamiento. Tiempo de ejecución: 14 días hábiles</p> | 1.00 und | 3,565.77 | 3,565.77 |
| 2 |  <p>Membrana de acumulador hidráulico SKU : MEM-ACU-HID</p> <p>De encontrarse rota la membrana del acumulador hidráulico se le cambiará por una nueva</p> | 1.00 und | 587.28 | 587.28 |

| # | Artículo & Descripción | Cant. | Costo | Importe |
|--|---|-------------|------------------|-------------------|
| MANTENIMIENTO CORRECTIVO Y PREVENTIVO FORMAT 12 | | | | |
| 3 |  Mantenimiento correctivo y preventivo format 12 SKU : SW-MTD-FT12 A. Desmontaje total de torreta de doblado. Se realizará el cambio de los limpiadores y/o recardores, cromado de columnas guías están grifadas debido al ingreso de polvo en las superficies móviles.(cotización de cromado y fabricación de bocinas se presentará una vez desmontada la torreta). Fabricación de bocinas por desgaste; verificación de sistema de lubricación en las partes móviles de la torreta ; cambio de graseras en mal estado. B. Desmontaje y cambio de sellos en motor hidráulico de estación de armastre. C. Desmontaje y cambio de sellos en Bomba hidráulica principal. D. Desmontaje, revisión y recarga de nitrógeno en acumulador hidráulico a la presión adecuada que se indica en el plano hidráulico. E. Desmontaje total de electroválvulas hidráulicas, revisión de Correderas (spul) y asientos de válvulas, cambio de sellos, se informará oportunamente al personal encargado si se encontrase algún componente de válvula dañado que pueda ocasionar cualquier falla inesperada. F. Limpieza y lubricación general de la máquina. Pruebas de funcionamiento. Tiempo de ejecución: 10 días hábiles. | 1.00 und | 2,852.61 | 2,852.61 |
| 4 |  Membrana de acumulador hidráulico SKU : MEM-ACU-HID De encontrarse rota la membrana del acumulador hidráulico se le cambiará por una nueva | 1.00 und | 587.28 | 587.28 |
| Artículos en total 4.00 | | | Subtotal | 7,592.94 |
| | | | IGV (18%) | 1,366.73 |
| | | | Total | \$8,959.67 |

ANEXO 11

EVIDENCIAS DE LA CAPACITACIÓN

event.webinarjam.com/live/174/x4r4vcpxagxtl9c523

RECONECTAR

INTRODUCCION A LA NORMA ISO 55000

LA EVOLUCION DE LA GESTION DE ACTIVOS

The diagram illustrates the evolution of asset management through four stages, each represented by a colored block of increasing size and complexity:

- Red block (bottom-left):** Ejecución del Mantenimiento
- Orange block (middle-left):** Ingeniería de Mantenimiento
- Yellow block (middle-right):** Ingeniería de Confiabilidad
- Blue block (top-right):** Gestión de Activos

Vertical axis (Confabilidad de):

- Intervención
- Técnicas
- Función
- Ciclo de vida
- Políticas y estrategia

Horizontal axis (Alcance y Tiempo):

- Mantenimiento
- Mantenimiento + Operaciones
- Mantenimiento, Operaciones + Ingeniería
- Mantenimiento, Operaciones + Ingeniería + Políticas

Chat messages:

- Miller Anthony Escudero Lecca: hay un cuadro en la parte superior derecho que tapa las imágenes
- Miller Anthony Escudero Lecca: buenas noches
- WILLIAM JORGE PAIVA TORRES: Buenas noches con todas y todas.
- Jonatan sem Vargas calero: Buenas noches con todos
- Rene Agustín Tala Ticona: buenas noches
- Luis Gustavo DIAZ VERGARA: buenas noches
- Froylan Jean Paul Cordero Carreño: buenas noches con todos

event.webinarjam.com/live/174/x4r4vcpxagxtl9c523

RECONECTAR

PERSPECTIVA DE MANTENIMIENTO

1-As: Indisponibilidad Inherente

Estado de un elemento caracterizado por una avería o por una posible incapacidad para realizar una función requerida.

NORMA: UNE -EN 13306-2011

$$As = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

$$TASA DE FALLAS = \frac{1}{MTBF}$$

$$MTBF = \frac{\Sigma TO}{\# DE FALLAS}$$

$$MTTR = \frac{\Sigma TR}{\# DE FALLAS}$$

Chat messages:

- Joseluis Vargas v: saludos !!
- Ayasta Saharig Cecilia Fabiola: hay un cuadro en la parte superior derecho que tapa las imágenes
- Miller Anthony Escudero Lecca: buenas noches
- WILLIAM JORGE PAIVA TORRES: Buenas noches con todas y todas.
- Jonatan sem Vargas calero: Buenas noches con todos
- Rene Agustín Tala Ticona: buenas noches
- Luis Gustavo DIAZ VERGARA: buenas noches

(1) WhatsApp x Recibidos (338) - jeanpaulfroy17 x Gestión de Activos en Mant...

event.webinarjam.com/live/174/M4dvcpxagxtl9c523

RECONECTAR

PERSPECTIVA DE MANTENIMIENTO

Can't update Chrome
Chrome couldn't update to the latest version, so you're missing out on new features and security fixes.
Reinstall Chrome

| | |
|----|----------------|
| n | 5 años |
| i | 10% anual |
| H | 5000 hrs/año |
| Cl | 25,000 US\$/hr |
| Fa | 3.79 |

Aspectos Financieros

$$F\bar{a} = (1+i)^n - 1$$

Aspectos de seguridad, humanos, repuestos, operacionales, técnicos,

| | Costo de equipo | Tasa de falla 1/hrs | MTTR hrs | MTBF hrs | Ai | Tiempo promedio fuera de servicio por fallas hrs/año | Destrución de negocio promedio anual US\$/año | |
|-----------|-----------------|---------------------|--------------|--------------|---------|--|---|---------|
| 1 | 20,000 | 1.50E-06 | 15 | 666,666.7 | 99.998% | 0.112 | 2,812.44 | |
| 2 | 5,000 | 1.35E-04 | 5 | 7,407.4 | 99.933% | 3.373 | 84,318 | |
| 3 | 5,000 | 1.35E-04 | 5 | 7,407.4 | 99.933% | 3.373 | 84,318 | |
| 4 | 10,000 | 1.50E-04 | 10 | 6,666.7 | 99.850% | 7.489 | 187,219 | |
| 5 | 20,000 | 1.50E-06 | 15 | 666,666.7 | 99.998% | 0.112 | 2,812 | |
| 6 | 20,000 | 1.50E-06 | 15 | 666,666.7 | 99.998% | 0.112 | 2,812 | |
| 7 | 5,000 | 1.35E-04 | 5 | 7,407.4 | 99.933% | 3.373 | 84,318 | |
| | | | | | As | 99.642% | 17,921 | 448,032 |
| Inversión | | Ejercicio | Ineficiencia | Total | | | | |
| 85,000 | | 200000 | 448,032 | 2,541,549.90 | | US\$ | | |

CG

Aspectos del negocio

Gestión de la Información

WEBINARJAM

Solicitud para hablar 11 00:01:49

Joseluis Vargas v saludos !!

Ayasta Saharig Cecilia Fabiola hay un cuadro en la parte superior derecho que tapa las imágenes

Miller Anthony Escudero Lecca buenas noches

WILLIAM JORGE PAIVA TORRES Buenas noches con todas y todas.

Jonatan sem Vargas calero Buenas noches con todos

Rene Agustín Tala Ticona buenas noches

Luis Gustavo DIAZ VERGARA buenas noches

Enviar a todos ... Modo chateo

Escriba su mensaje aquí ...

20:39

ANEXO 12

AUTORIZACIÓN DE LA EMPRESA PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS



CARTA DE AUTORIZACIÓN

Por medio de la presente, yo, **MAYRA GONZALES CAMPERO**, gerente general de la empresa **INKAFERRO S.A.C.**, con RUC 20519305098, autorizo a los estudiantes de la Universidad Cesar Vallejo de la E.P. de Ingeniería Industrial, para que inicien la toma de datos e información del área de producción con el fin de una investigación científica, el cual colaborará con la organización.

Nombre y DNI de cada estudiante:

- | | |
|--------------------------------------|---------------|
| - Ayasta Saharig, Cecilia Fabiola | DNI: 40924148 |
| - Cordero Carreño, Froylan Jean Paul | DNI: 70572106 |

Callao, 05 octubre del 2020

INKAFERRO PERU S.A.C.


.....
Mayra Gonzales Campero
CE 00612718

AV. Argentina 3441
Callao – Callao
T. (01) 6511574 / 65115775
info@inkaferro.com.pe

Mz A2 Lt 17 Parque Industrial
Norte. La Esperanza - Trujillo
T. (004) 238-916
sucursaltrujillo@inkaferro.com.pe

www.inkaferro.com



ANEXO 13

NO AUTORIZACIÓN DE LA EMPRESA PARA LA PUBLICACIÓN EN LA WEB



CARTA DE NO AUTORIZACIÓN

INKAFERRO S.A.C. Con RUC N° 20519305098, Domiciliada en Av. Argentina N° 3441 Callao, representada por la Srta. **MAYRA GONZALES CAMPERO**, identificado con C.E. N° 000612718, Gerente General.


Por medio de la presente, yo, **MAYRA GONZALES CAMPERO**, gerente general de la empresa **INKAFERRO S.A.C.**, no autorizo a los estudiantes de la Universidad Cesar Vallejo de la E.P. de Ingeniería Industrial, para que publiquen los datos ya que es información confidencial que beneficiaría a nuestros competidores, de igual manera en su título de su tesis que se describa de forma general.

Nombre y DNI de cada estudiante:

- | | |
|--------------------------------------|---------------|
| - Ayasta Saharig, Cecilia Fabiola | DNI: 40924148 |
| - Cordero Carreño, Froylan Jean Paul | DNI: 70572106 |

Callao, 17 julio del 2021

INKAFERRO PERU S.A.C.


.....
Mayra Gonzales Campero
C.E. 000612718

AV. Argentina 3441
Callao – Callao
T. (01) 6511574 / 65115775
info@inkaferro.com.pe

Mz A2 Lt 17 Parque Industrial
Norte. La Esperanza - Trujillo
T. (004) 238-916
sucursaltrujillo@inkaferro.com.pe

www.inkaferro.com

