



FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

“IMPLEMENTACIÓN DE MEJORAS BASADAS EN EL MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD DE LAS MÁQUINAS EN LA EMPRESA M&C SOLUCIONES S.A.C. AÑO 2020”

Trabajo de suficiencia profesional para optar el título profesional de:

INGENIERO INDUSTRIAL

Autor:

Javier Nestor Ordaya Quispe

Asesor:

Dr. Ing. Juan Carlos Durand Porras

Lima - Perú

2021

DEDICATORIA

A Dios por permitir que se cumpla uno de mis propósitos e ir avanzando en mi vida profesional, siempre con su bendición.

A mis padres por haber contribuido en mi formación personal y académica e incentivar me a perseguir mis objetivos.

A mi esposa Emérita, mi hija Rossmery por su apoyo constante y motivación para realizar el presente trabajo de investigación y celebrar mi esfuerzo.

AGRADECIMIENTO

Expreso mi gratitud al Ingeniero Juan Carlos Durand Porras, quien me asesoró en la elaboración del presente trabajo de investigación y recibí aportes importantes que me ayudaron a culminar mi investigación.

Asimismo, agradecer al Gerente General César Rodríguez de la empresa M&C soluciones S.A.C, Manuel Rodríguez, al Ingeniero Víctor Marquezado y al Mg. Luis Lara; porque me facilitaron la vía para el desarrollo de la presente investigación.

TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO.....	3
ÍNDICE DE TABLAS.....	5
ÍNDICE DE FIGURAS	11
ÍNDICE DE ECUACIONES	12
RESUMEN	13
ABSTRACT	14
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	15
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	29
CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA	68
CAPÍTULO IV. RESULTADOS	98
CAPÍTULO V. DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	138
REFERENCIAS	144
ANEXOS	152

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Frecuencia de ocurrencia de los principales los factores que inciden en los bajos niveles de eficiencia en los equipos de perforación de la empresa	24
Tabla 2. Miembros del Equipo para la implementación del RCM.....	70
Tabla 3. Codificación de los equipos críticos de la empresa M&C Soluciones SAC.....	73
Tabla 4. Sistemas y subsistemas de la Máquina 1: Roscadora de tubos Modelo 535 A.....	73
Tabla 5. Sistemas y subsistemas de la Máquina 2: Ranuradora de rodillos Modelo 918 ...	74
Tabla 6. Ficha técnica de la máquina 1: Roscadora de tubos Modelo 535 A	75
Tabla 7. Ficha técnica de la Máquina 2: Ranuradora de rodillos Modelo918	76
Tabla 8. Lista de partes de la Máquina 1: Roscadora de tubos Modelo 535A.....	77
Tabla 9. Lista de partes de la Máquina 2: Ranuradora de rodillos Ridgid 918.....	78
Tabla 10. Listado de funciones de los sistemas y los sub-sistemas de la Máquina 1: roscadora de tubos Modelo 535A.....	79
Tabla 11. Listado de funciones de los sistemas y los sub-sistemas de la Máquina 2: Ranuradora de rodillos Modelo 918.....	80
Tabla 12. Listado de fallas de los sistemas de la Máquina 1: Roscadora de tubo Modelo 535A - año 2020.....	81
Tabla 13. Listado de fallas de los sistemas de la Máquina 2: Ranuradora de rodillos Modelo 918 - año 2020	81
Tabla 14. Listado de causas de fallas de los sistemas de la Máquina 1: Roscadora de tubo Modelo 535A - año 2020	82
Tabla 15. Listado de causas de fallas de los sistemas de la Máquina 2: ranuradora de rodillos Modelo 918- año 2020	83
Tabla 16. Listado de efectos de fallas de los sistemas de la Máquina 1: Roscadora de tubo Modelo 535A.....	84

Tabla 17. Listado de efecto de falla de los sistemas de la Máquina 2: Ranuradora de rodillos Modelo 918- año 2020	85
Tabla 18. Tabla para evaluar la gravedad de falla (S) para la realización del AMEF.	86
Tabla 19. Tabla para evaluar la Probabilidad de falla (O) para la realización del AMEF. .	86
Tabla 20. Tabla para evaluar la Detectabilidad de falla (D) para la realización del AMEF.	87
Tabla 21. Evaluación de Gravedad (S), Frecuencia (O) y Detectabilidad (D) y controles actuales de las fallas en la Máquina 1: Roscadora de tubos Modelo 535A	88
Tabla 22. Evaluación de Gravedad (S), Frecuencia (O) y Detectabilidad (D) y controles actuales de las fallas en la Máquina 2: Ranuradora de tubos Modelo 918.....	88
Tabla 23. Probabilidad de riesgo de las fallas en la Máquina 1: Roscadora de tubos Modelo 535 A.....	90
Tabla 24. Probabilidad de riesgo de las fallas en la Máquina 2: Ranuradora de rodillos Modelo 918	90
Tabla 25. Acciones recomendadas para disminuir el riesgo de las fallas en la Máquina 1: Roscadora de tubos Modelo 535A	91
Tabla 26. Acciones recomendadas para disminuir el riesgo de las fallas en la Máquina 2: ranuradora de rodillos Modelo 918	92
Tabla 27. Plan de mantenimiento preventivo para disminuir el riesgo de las fallas en la Máquina 1: Roscadora de tubos Modelo 535A.....	92
Tabla 28. Plan de mantenimiento preventivo para disminuir el riesgo de las fallas en la Máquina 2: Ranuradora de rodillos Modelo 918	93
Tabla 29. Probabilidad de riesgo de las fallas luego de las acciones correctivas en la Máquina 1: Roscadora de tubos Modelo 535A.....	95

Tabla 30. Probabilidad de riesgo de las fallas luego de las acciones correctivas en la Máquina 2: Ranuradora de rodillos Modelo 918	96
Tabla 31. Indicador de disponibilidad la Máquina 1: Roscadora de tubo Modelo 535A - año 2020	99
Tabla 32. Reporte de paradas de equipo y tiempo de mantenimiento de la Máquina 1: Roscadora de tubo Modelo 535A - año 2020.....	100
Tabla 33. Análisis de paradas de equipo y tiempo de mantenimiento de la Máquina 1: Roscadora de tubo Modelo 535A año 2020 – indicador de disponibilidad	100
Tabla 34. Indicador de disponibilidad la Máquina 2: Ranuradora de rodillos Modelo 918 - año 2020.....	101
Tabla 35. Reporte de paradas de equipo y tiempo de mantenimiento de la Máquina 2: Ranuradora de rodillos Modelo 918 - año 2020.....	102
Tabla 36. Análisis de paradas de equipo y tiempo de mantenimiento de la máquina 2: Ranuradora de rodillos Modelo 918 año 2020 – indicador de disponibilidad	102
Tabla 37. Indicador de disponibilidad la Máquina 1: Roscadora de tubo Modelo 535A - año 2017	103
Tabla 38. Indicador de disponibilidad la Máquina 1: Roscadora de tubo Modelo 535A - año 2018.....	104
Tabla 39. Indicador de disponibilidad la Máquina 1: Roscadora de tubo Modelo 535A - año 2019.....	105
Tabla 40. Indicador de disponibilidad la Máquina 2: Ranuradora de rodillos Modelo 918- año 2017.....	106
Tabla 41. Indicador de disponibilidad la Máquina 2: Ranuradora de rodillos Modelo 918- año 2018.....	106

Tabla 42. Indicador de disponibilidad la Máquina 2: Ranuradora de rodillos Modelo 918- año 2019	107
Tabla 43. Variaciones en la disponibilidad una vez aplicada la metodología RCM.....	108
Tabla 44. Resultados de disponibilidad antes y después una vez aplicada la metodología RCM.....	108
Tabla 45. Indicador de rendimiento la Máquina 1: Roscadora de tubo Modelo 535A - año 2020.....	111
Tabla 46. Resumen del reporte de producción – indicador de rendimiento.....	112
Tabla 47. Indicador de rendimiento la Máquina 2: Ranuradora de rodillos Modelo 918- año 2020.....	113
Tabla 48. Resumen del reporte de producción – indicador de rendimiento.....	113
Tabla 49. Indicador de rendimiento de la Máquina 1: Roscadora de tubo Modelo 535A - año 2017	114
Tabla 50. Indicador de rendimiento de la Máquina 1: Roscadora de tubo Modelo 535A - año 2018.....	115
Tabla 51. Indicador de rendimiento de la Máquina 1: Roscadora de tubo Modelo 535A - año 2019	116
Tabla 52. Indicador de rendimiento de la máquina 2: Ranuradora de rodillos Modelo 918- año 2017	117
Tabla 53. Indicador de rendimiento de la máquina 2: Ranuradora de rodillos modelo 918 - año 2018	118
Tabla 54. Indicador de rendimiento de la máquina 2: Ranuradora de rodillos Modelo 918- año 2019	119
Tabla 55. Variaciones en el rendimiento una vez aplicada la metodología RCM	120

Tabla 56. Resultados del rendimiento antes y después una vez aplicada la metodología RCM.....	121
Tabla 57. Indicador de calidad (productos aceptados y productos defectuosos) de la Máquina 1: Roscadora de tubo Modelo 535A - año 2020	123
Tabla 58. Resumen del reporte de productos aceptados y productos defectuosos – indicador de calidad.....	124
Tabla 59. Indicador de calidad (productos aceptados y productos defectuosos) de la Máquina 2: Ranuradora de rodillos Modelo 918- año 2020	125
Tabla 60. Resumen del reporte de productos aceptados y productos defectuosos – indicador de calidad.....	126
Tabla 61. Indicador de calidad (productos aceptados y productos defectuosos) de la Máquina 1: Roscadora de tubo Modelo 535A - año 2017	127
Tabla 62. Indicador de calidad (productos aceptados y productos defectuosos) de la Máquina 1: Roscadora de tubo Modelo 535A - año 2018	128
Tabla 63. Indicador de calidad (productos aceptados y productos defectuosos) de la Máquina 1: Roscadora de tubo Modelo 535A - año 2019	129
Tabla 64. Indicador de calidad (productos aceptados y productos defectuosos) de la Máquina 22: Ranuradora de rodillos Modelo 918 - año 2017	129
Tabla 65. Indicador de calidad (productos aceptados y productos defectuosos) de la Máquina 2: Ranuradora de rodillos Modelo 918- año 2018	131
Tabla 66. Indicador de calidad (productos aceptados y productos defectuosos) de la Máquina 2: Ranuradora de rodillos Modelo 918 - año 2019	132
Tabla 67. Variaciones en la calidad una vez aplicada la metodología RCM.....	133
Tabla 68. Resultados de la calidad antes y después una vez aplicada la metodología RCM	134

Tabla 69. Variaciones en la eficiencia global de equipos (OEE) una vez aplicada la metodología RCM en los equipos de perforación de la empresa M&C Soluciones S.A.C.

..... 136

Tabla 70. Resultado de la eficiencia global de equipos (OEE) antes y después aplicada la metodología RCM en los equipos de perforación de la empresa M&C Soluciones S.A.C.

..... 136

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica de la empresa	15
Figura 2. Organigrama de la empresa	18
Figura 3. Diagrama de Ishikawa o de causa y efecto de los factores que inciden en los bajos niveles de eficiencia en los equipos de perforación de la empresa.	23
Figura 4. Frecuencia de ocurrencia de los principales factores que inciden en los bajos niveles de eficiencia en los equipos de perforación de la empresa.	25
Figura 5. Esquema de implementación del RCM.	54
Figura 6. Estructura de la eficiencia global de equipos.....	62
Figura 7. factores relevantes para la gestión de maquinarias y equipos	65
Figura 8. Diagrama de Gantt de la implementación de mejoras en el mantenimiento centrado en la confiabilidad.	72
Figura 9. Actividades de mantenimiento preventivo de acuerdo con el plan RCM implementado.....	97

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Tiempo medio entre fallos (MTBF)	51
Ecuación 2. Tiempo medio de reparaciones (MTTR).....	51
Ecuación 3. Disponibilidad	52
Ecuación 4. Eficiencia global de equipos (OEE)	59
Ecuación 5. Disponibilidad	60
Ecuación 6. Rendimiento	61
Ecuación 7. Calidad.....	61

RESUMEN

El estudio realizado bajo la modalidad de suficiencia profesional tuvo como objetivo general determinar en qué medida la implementación de la metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) permite incrementar la eficiencia global de los equipos de perforación en la empresa M&C Soluciones S.A.C. Dicha metodología es una aplicación orientada al mantenimiento que se realiza con base en la probabilidad de falla del equipo y su detección mucho antes de que ocurran, para garantizar interrupciones mínimas al proceso de producción. Se seleccionó esta modalidad para dar respuesta a los problemas de la empresa, en la que se detectó debilidades relacionadas con la disponibilidad, rendimiento y calidad de las maquinarias y equipos empleados en su proceso productivo. Para el diagnóstico del problema se recurrió a técnicas de mejora continua tales como el diagrama de Causa y Efecto y el Diagrama de Ishikawa, para luego proceder a la implementación de las fases que conforman un plan RCM y dar respuesta a los objetivos específicos, que consistieron en medir los niveles de disponibilidad, rendimiento y calidad posterior a la implementación de la metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM).

Los resultados de la investigación permitieron determinar un incremento en los niveles de cada una de las dimensiones en los dos equipos que se sometieron al proceso de RCM. 1) En el caso de la máquina 1 roscadora de tubo Modelo 535, hubo un aumento de la disponibilidad de 88.9% a 97.3%, y para el caso de la máquina 2 ranuradora de rodillos, se observó mejoras de la disponibilidad de 92.4% a 96.0%. 2) En el caso de la máquina 1 roscadora de tubo Modelo 535, hubo un incremento en el rendimiento de 81.5% a 85.56% y para el caso de la máquina 2 ranuradora de rodillos, el rendimiento fue de 86.3% a 91.19% 3) En la máquina 1 roscadora de tubo Modelo 535, se percibió un aumento en la calidad de 92.4% a 96.7%, y para el caso de la máquina 2 ranuradora de rodillos, se percibió un aumento en la calidad de 92.4% a 97.1% 4) Se observó una mejoría de la eficiencia global de los equipos; ya que en la máquina 1 roscadora de tubo Modelo 535, se observó un aumento de la OEE de 67.1% a 80.5%, mientras que en la máquina 2 ranuradora de rodillos el incremento fue de 73.7% a 85.0%.

Palabras Clave: mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), eficiencia global de los equipos (OEE), disponibilidad, rendimiento, calidad.

ABSTRACT

The general objective of the study carried out under the modality of professional sufficiency was to determine to what extent the implementation of the Reliability-Centered Maintenance (RCM) methodology allows increasing the overall efficiency of drilling equipment in the company M&C Solutions S.A.C. This methodology is a maintenance-oriented application that is carried out based on the probability of equipment failure and its detection long before they occur, to guarantee minimal interruptions to the production process. This modality was selected to respond to the problems of the company, in which weaknesses related to the availability, performance and quality of the machinery and equipment used in its production process were detected. To diagnose the problem, continuous improvement techniques were used such as the Cause-and-Effect diagram and the Ishikawa diagram, to then proceed to the implementation of the phases that make up an RCM plan and respond to the specific objectives, which consisted of in measuring availability, performance and quality levels after the implementation of the Reliability Centered Maintenance (RCM) methodology.

The results of the investigation made it possible to determine an increase in the levels of each of the dimensions in the two teams that underwent the RCM process. 1) In the case of Model 535 pipe threading machine 1, there was an increase in availability from 88.9% to 97.3%, and for the case of roll grooving machine 2, availability improvements of 92.4% were observed at 96.0%. 2) In the case of Model 535 pipe threading machine 1, there was an increase in performance from 81.5% to 85.56% and for the case of roll grooving machine 2, the performance was from 86.3% to 91.19% 3) In the Model 535 pipe threading machine 1, an increase in quality was perceived from 92.4% to 96.7%, and in the case of the roll grooving machine 2, an increase in quality was perceived from 92.4% to 97.1% 4) An improvement in the overall efficiency of the equipment was observed; Since in the Model 535 pipe threading machine 1, an increase in OEE from 67.1% to 80.5% was observed, while in the roll grooving machine 2 the increase was from 73.7% to 85.0%.

Key Words: Reliability Centered Maintenance (RCM), Overall Equipment Efficiency (OEE), Availability, Performance, Quality.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1 Realidad problemática

Delimitación de la investigación – Descripción de la empresa

M&C es una organización fundada en el año 2003 en la ciudad de Lima, con el propósito de atender la demanda a nivel local y nacional en servicios de reparación de maquinarias del sector de la construcción, mantenimiento industrial, así como las empleadas en la limpieza e inspección de drenajes. Ver ubicación geográfica en la Figura 1:

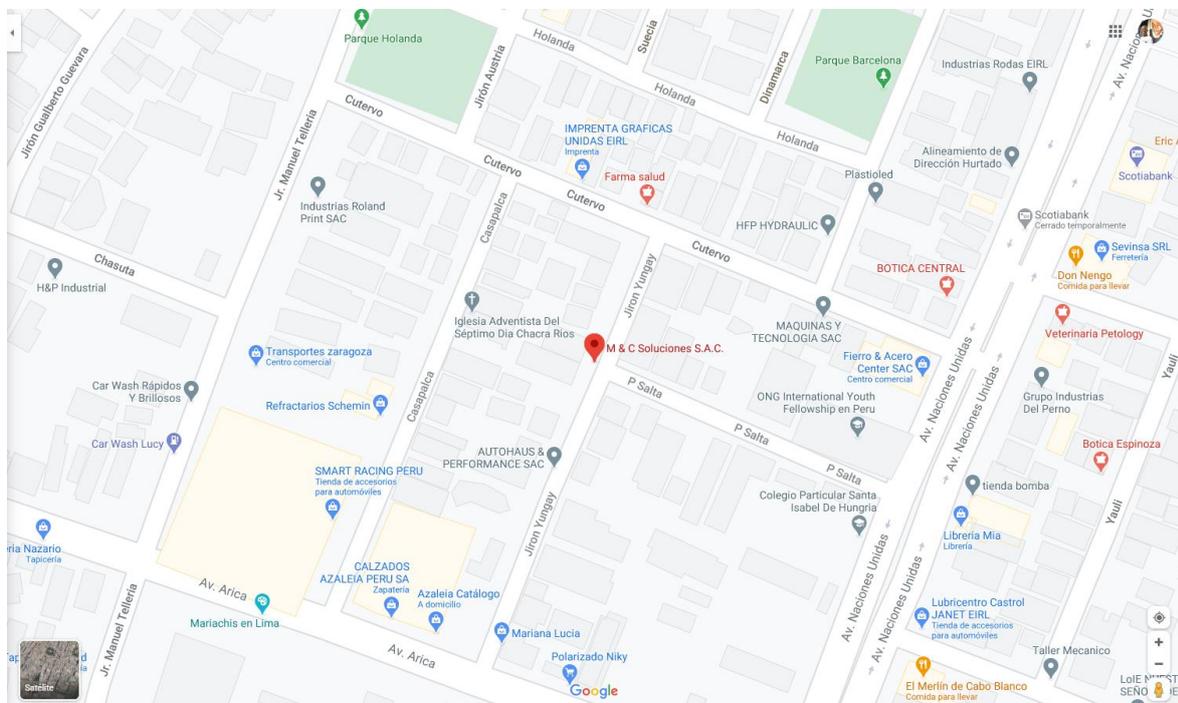


Figura 1. Ubicación geográfica de la empresa
Fuente: M&C Soluciones SAC., a partir de *Google Maps* (2020)

Misión

La misión de la empresa es “Proporcionar un ambiente de trabajo que empodere y motive al personal para brindar a nuestros clientes el mejor servicio posible de acuerdo con nuestros valores fundamentales de honestidad, confianza, compromiso, orgullo, experiencia, desarrollo de relaciones y progreso”.

Visión

“Nuestra visión es hacer de M&C la empresa líder en el sector de servicios de mantenimiento industrial al brindar un valor excepcional, innovación continua y una experiencia de cliente mediante el cumplimiento constante de nuestros compromisos y superando las expectativas en forma constante”.

Valores organizacionales:

- **Calidad en el servicio:** Los servicios de la empresa son de alta calidad y significan un valor agregado para los clientes. Los servicios óptimos y la flexibilidad son de vital importancia para asegurar la satisfacción.
- **Compromiso laboral:** Basado en altos niveles de exigencia a los colaboradores. La empresa cuenta con un equipo humano profesional y competente en todo momento.
- **Educación continua:** Acorde con la agilidad de la sociedad actual y el uso de la tecnología. Para poder seguir el ritmo, la formación, los ajustes educativos y organizativos son de suma importancia y necesidad. Lo que se espera de todos es que la gente comparta y transmita este conocimiento adquirido a sus colegas.
- **Información y comunicación:** La empresa trabaja bajo un ambiente de información abierta y directa, un clima de diálogo basado en la confianza y el respeto mutuos y en la crítica constructiva que realmente resuelva los problemas.
- **Innovación - creatividad - ideas - sugerencias:** Solo se puede tener éxito si se avanza continuamente y se piensa en forma anticipada.
- **Cuidado responsable:** La vida y la salud son un tema importante para las personas. Por eso la empresa se preocupa por la seguridad absoluta como un determinante para el desarrollo actividades diarias. El punto de partida es tener cero accidentes de cualquier tipo entre los integrantes del equipo de trabajo.

- **Apreciación y reconocimiento:** Los empleados trabajan con objetivos y prioridades claros. Los colegas comprometidos que asuman más responsabilidades, sin duda, obtendrán aprecio y reconocimiento por esto.

Productos y/o servicios de la empresa

M&C Soluciones SAC, es una empresa que orienta sus esfuerzos hacia dos líneas de trabajo específicas: por una parte, servicios de reparación de maquinarias y equipos específicos, y por otra, servicios de gasfitería profesional.

En el rubro de servicio de reparación se da respuesta a las necesidades del mercado industrial a través de mantenimientos preventivos y correctivos de máquinas de la marca "RIDGID" quienes son líderes en el mundo en la fabricación de este tipo de maquinarias: también se reparan otras marcas similares, ya que el principio de funcionamiento es el mismo.

Estas máquinas se utilizan para la fabricación de roscas, ranuras y biselado en tubos, para su posterior instalación en diferentes aplicaciones como son: Obras de Construcción o mantenimiento en industrias. También se reparan máquinas de la misma marca que se utilizan para la limpieza e inspección de drenajes.

Estructura Organizacional

Para adecuarse a las exigencias del mercado y asegurar la calidad en todos sus procesos, la organización ha adoptado un modelo basado en procesos, la cual queda plasmada en su organigrama mostrado en la Figura 2:

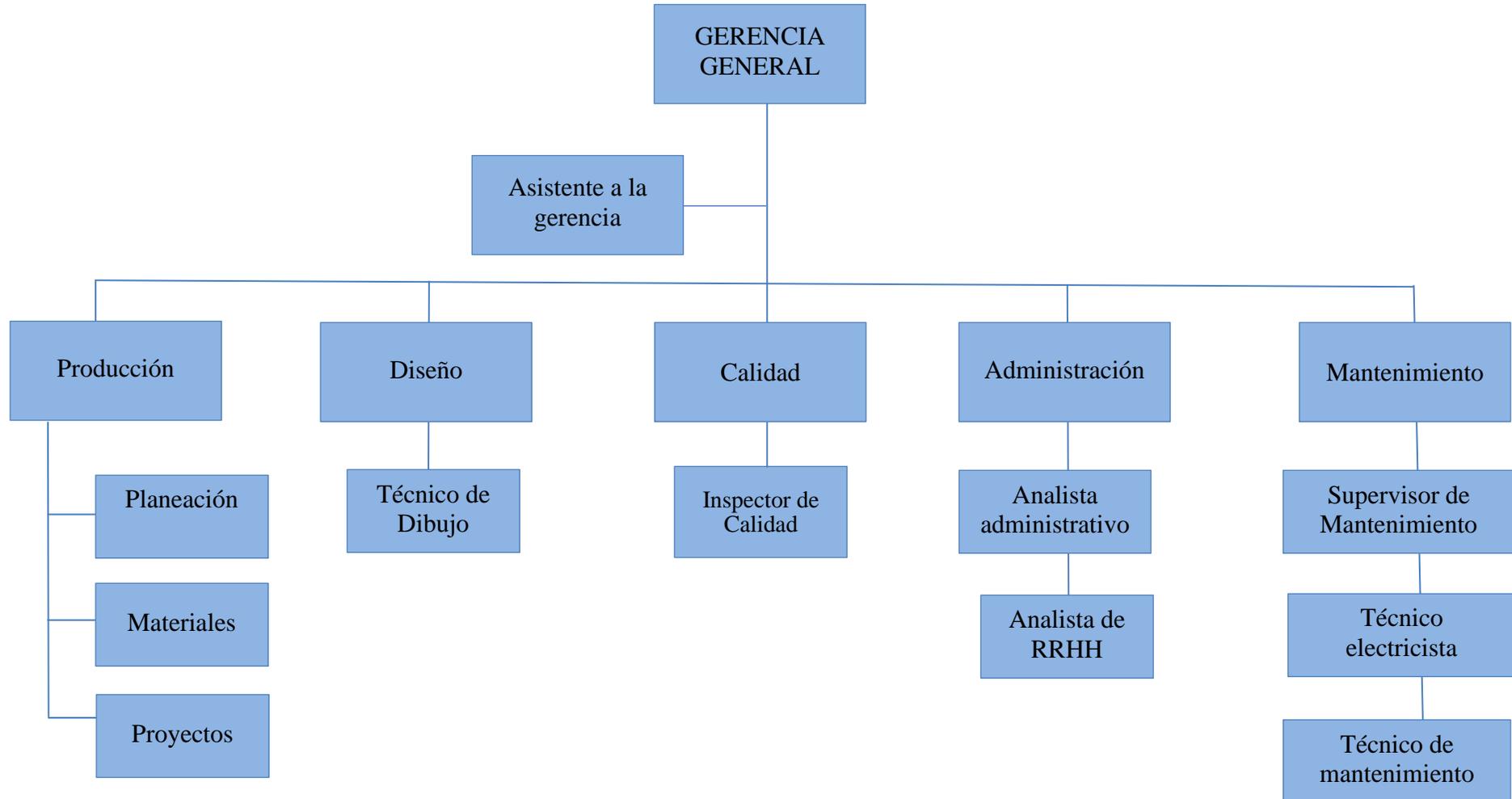


Figura 2. Organigrama de la empresa
 Fuente: M&C Soluciones SAC. (2020)

Realidad problemática a nivel internacional

A nivel internacional, el mantenimiento fue manejado en las últimas décadas como un proceso obligatorio y rutinario, el cual las empresas lo llevaban a cabo sin conocer su importancia; sin embargo, una vez puesta en prácticas las estrategias de mejora continua en la producción, la necesidad de gestionar un mantenimiento efectivo se hizo mayor, especialmente en la actualidad en la que los procesos de automatización la necesidad de mayor disponibilidad, rendimiento y calidad, así como la competitividad han asumido una importancia considerable en el desarrollo y productividad de las organizaciones (Sutharsan y Kaple, 2018).

En el contexto internacional, un estudio de Jin, Siegel, Weiss y Gamel (2016) examinó las prácticas empleadas por los fabricantes a nivel mundial para lograr los objetivos de productividad y comprender qué nivel de tecnologías y estrategias de mantenimiento inteligente se están incorporando en estas prácticas. Este estudio encontró que la efectividad y la elección de la estrategia de mantenimiento estaban fuertemente correlacionadas con el tamaño de la empresa de fabricación; había grandes diferencias en la adopción de prácticas de mantenimiento avanzadas y tecnologías de diagnóstico y pronóstico entre las pequeñas y medianas empresas (PYME).

En lo que respecta a América Latina, a pesar de su mayor adopción de prácticas y tecnologías de mantenimiento basadas en la confiabilidad (RCM), las grandes organizaciones de fabricación solo han tenido un éxito modesto con respecto a los proyectos de diagnóstico y pronóstico y mantenimiento preventivo. Los diversos grados de éxito con respecto a los programas de mantenimiento preventivo resaltan la oportunidad para que los grandes fabricantes mejoren sus prácticas de mantenimiento y el uso de tecnología avanzada de pronósticos (Vilarinho, Lopes y Sousa, 2017).

Realidad problemática a nivel nacional

A nivel nacional, un estudio de Sáenz (2016) sobre prácticas de mantenimiento en empresas peruanas, llegó a la conclusión que el mantenimiento es tomado en cuenta como una de las últimas opciones que las empresas consideran para alcanzar la rentabilidad y la competitividad de manera general las fallas en los activos críticos de las organizaciones impactan negativamente sobre sus indicadores técnicos y resultados económicos; de allí la necesidad de considerar la función mantenimiento como una unidad de negocio específica en las organizaciones y recibir el tratamiento adecuado, para que mediante acciones de disponibilidad, rendimiento y calidad, se pueda garantizar que los sistemas de producción se mantengan alineadas con el contexto operativo.

En este sentido, las organizaciones peruanas deben enfrentar la oportunidad de mejorar sus procesos de mantenimiento para agregar valor a sus productos e incrementar la calidad mediante la maximización de la disponibilidad y la reducción de costos de mantenimiento a través del mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM), que impacten sobre los niveles de producción para lo cual es necesario conocer la situación actual de sus activos en los aspectos técnicos y la gestión administrativa del proceso de mantenimiento (Alavedra et al, 2016).

Realidad problemática a nivel local

A nivel local, en M&C Soluciones S.A.C. organización en la cual se llevó a cabo la experiencia profesional se detectó una serie de debilidades relacionadas con la disponibilidad, rendimiento y calidad de las maquinarias y equipos que la empresa utiliza en su proceso productivo; situación que ha generado fallas en los equipos por falta de

planeación de los mantenimientos, incumplimiento de los mantenimientos preventivos programados, no se ha capacitado en forma adecuada al personal para hacer mantenimientos autónomos ni se ha medido la eficiencia de los programas que se han aplicado para aplicar el mantenimiento.

Los problemas que se encontraron en la empresa M&C Soluciones S.A.C. en posición de desventaja frente a sus competidores, ya que la falta de mantenimiento hace que no todos los equipos estén disponibles en el momento que se requiera, lo que impacta sobre el nivel de compromiso adquirido con los clientes y su imagen como empresa responsable.

A partir del diagnóstico inicial realizado, mediante el proceso de experiencia profesional en la organización se implementó un programa de mantenimiento centrado en la confiabilidad, para mejorar la capacidad de respuesta de la empresa, el conocimiento del personal y la toma de decisiones basadas en hechos estadísticos. Es importante hacer notar que si la empresa no tomaba acciones relacionadas con el mejoramiento de sus procesos de mantenimiento en el corto y mediano plazo vería acrecentar sus problemas y dificultar y a su posición en el mercado, así como el estado general de las máquinas y equipos los cuales son los principales activos materiales de la organización.

Las debilidades identificadas para diagnosticar la situación problemática fueron las siguientes, las cuales fueron representadas en un Diagrama de Ishikawa (Ver Figura 3):

1. Ausencia de métodos para identificar y notificar fallas.
2. Debilidades en el análisis y evaluación de las causas de fallas.
3. Incumplimiento de las actividades diarias de inspección.
4. Incumplimiento de las actividades programadas para el mantenimiento preventivo.
5. Paradas de equipos frecuentes por falta de mantenimiento.
6. Insuficiencia de los materiales adecuados para hacer labores de limpieza.

7. Generación excesiva de desperdicio de materiales durante mantenimiento.
8. No se han definido indicadores para la eficiencia de la gestión de mantenimiento.
9. Los procesos de mantenimiento no están documentados adecuadamente.
10. Ausencia de procedimientos para las actividades de mantenimiento.
11. No se evidencia actividades de capacitación al personal.
12. No se procura la participación del personal en las decisiones relacionadas con mantenimiento

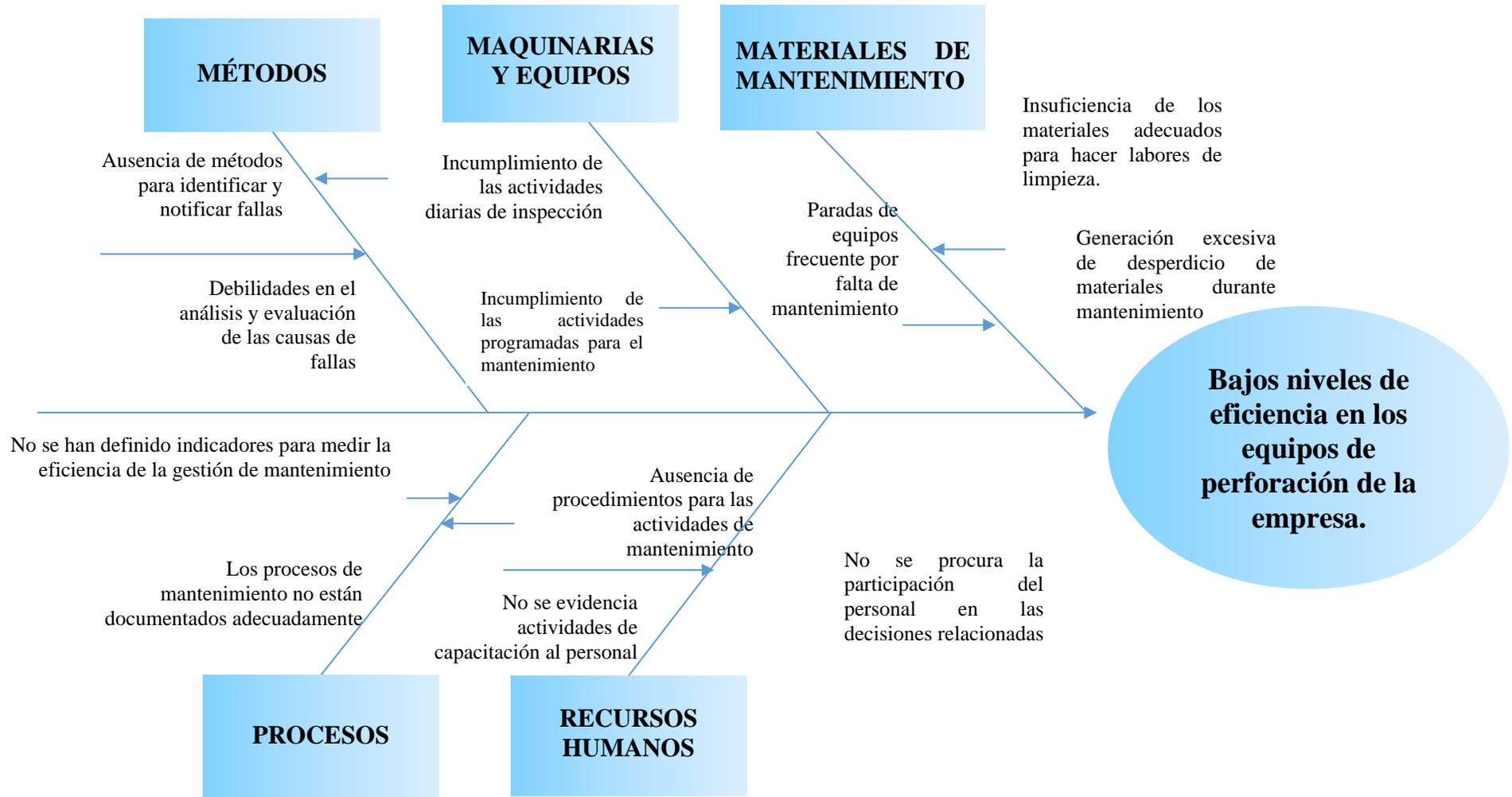


Figura 3. Diagrama de Ishikawa o de causa y efecto de los factores que inciden en los bajos niveles de eficiencia en los equipos de perforación de la empresa.

Luego se procedió a un proceso de observación durante dos meses para determinar la frecuencia de las debilidades detectadas en el Diagrama de Ishikawa y obtener de esta manera los principales factores que inciden en los bajos niveles de eficiencia en los equipos de perforación de la empresa (Tabla 1) a partir de los criterios del Diagrama de Pareto (Ver Figura 4):

Tabla 1.

Frecuencia de ocurrencia de los principales los factores que inciden en los bajos niveles de eficiencia en los equipos de perforación de la empresa

Situación detectada	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Porcentaje acumulado
Incumplimiento del mantenimiento preventivo.	63	29.6%	29.6%
Ausencia de procedimientos.	52	24.4%	54.0%
Los procesos no están documentados.	36	16.9%	70.9%
No hay capacitación al personal.	28	13.1%	84.0%
Incumplimiento de las actividades de inspección.	12	5.6%	89.7%
Ausencia de métodos para notificar fallas.	8	3.8%	93.4%
Paradas de equipos frecuentes.	5	2.3%	95.8%
No se han definido indicadores.	4	1.9%	97.7%
Debilidades en el análisis de las causas.	2	0.9%	98.6%
Insuficiencia de materiales para hacer limpieza.	1	0.5%	99.1%
Generación excesiva de desperdicio de materiales	1	0.5%	99.5%
No se procura la participación del personal.	1	0.5%	100.0%
	63	29.6%	29.6%

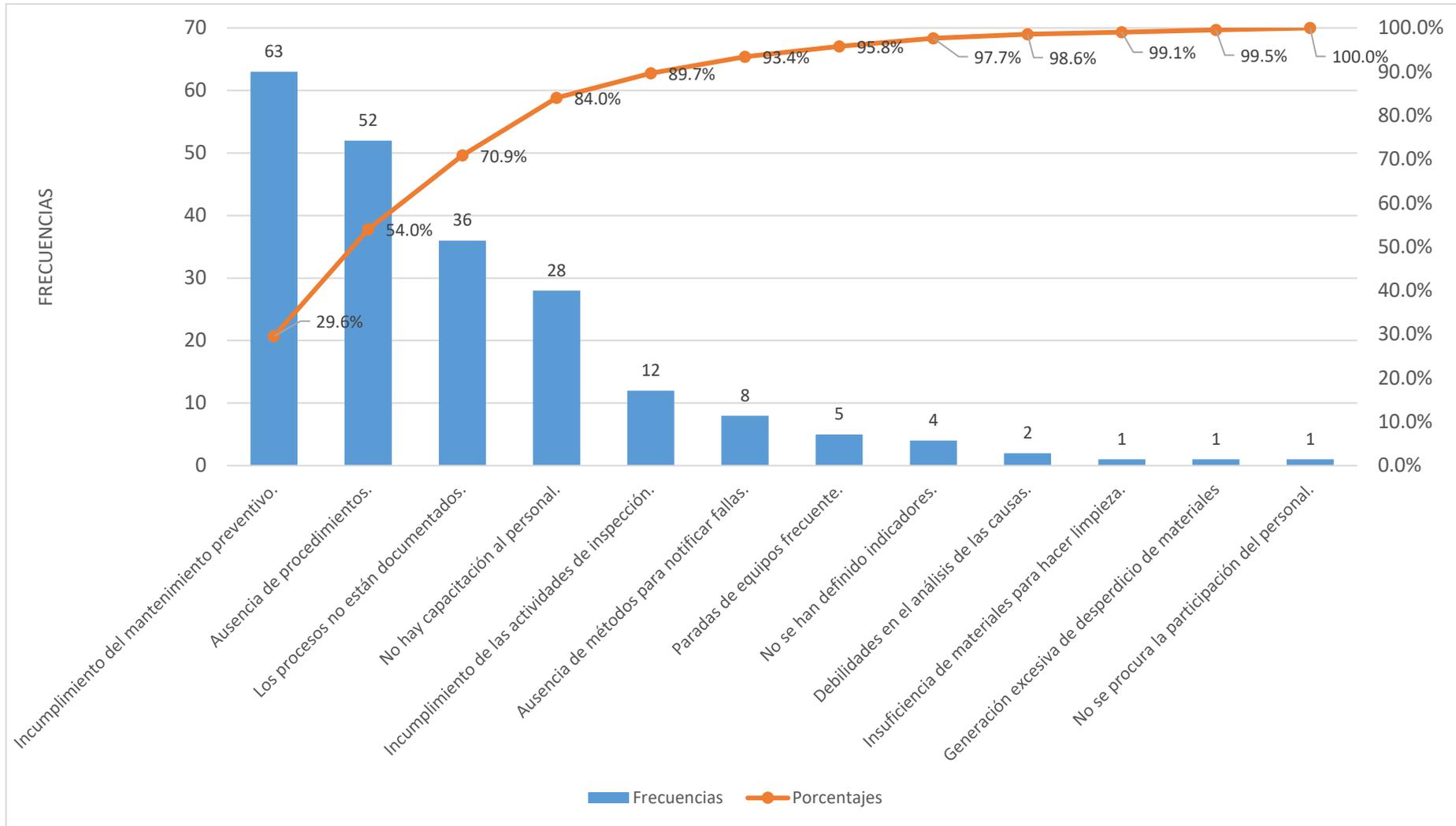


Figura 4. Frecuencia de ocurrencia de los principales factores que inciden en los bajos niveles de eficiencia en los equipos de perforación de la empresa.

1.2 Formulación del problema

Problema General

¿En qué medida la implementación de la metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) permite incrementar la eficiencia global de los equipos de perforación en la empresa M&C Soluciones S.A.C?

Problemas Específicos

¿En qué medida la implementación de la metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) permite incrementar la disponibilidad de los equipos de perforación en la empresa M&C Soluciones S.A.C.?

¿En qué medida la implementación de la metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) permite incrementar el rendimiento de los equipos de perforación en la empresa M&C Soluciones S.A.C.?

¿En qué medida la implementación de la metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) permite incrementar la calidad de los equipos de perforación en la empresa M&C Soluciones S.A.C.?

1.3 Objetivos de la investigación

Objetivo general

Determinar en qué medida la implementación de la metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) permite incrementar la eficiencia global de los equipos de perforación en la empresa M&C Soluciones S.A.C.

Objetivos específicos

Medir el nivel de disponibilidad posterior a la implementación de la metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) en los equipos de perforación en la empresa M&C Soluciones S.A.C.

Medir el nivel de rendimiento posterior a la implementación de la metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) en los equipos de perforación en la empresa M&C Soluciones S.A.C.

Medir el nivel de calidad posterior a la implementación de la metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) en los equipos de perforación en la empresa M&C Soluciones S.A.C.

1.4 Justificación de la investigación

Justificación Teórica

La importancia y justificación de la investigación realizada desde el punto de vista teórico radica en que se llevó a cabo una revisión de los diversos conceptos relacionados con la gestión de mantenimiento, en especial el mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) y su incidencia en la eficiencia global de equipos, con el propósito de que los resultados mostrados durante la experiencia profesional sean sustentados con dicha revisión teórica, lo que permitirá verificar el grado de aplicación práctica de estos modelos en el contexto de las organizaciones y la importancia de su utilización en la planeación del mantenimiento de pequeñas y medianas empresas.

Justificación Práctica

Desde el punto de vista de la justificación práctica, la investigación es importante porque le ofrece a la organización M&C Soluciones SAC, es un conjunto de herramientas que le permitan formalizar sus actividades de mantenimiento de manera más efectiva, para beneficio de los socios, el incremento de las competencias de los trabajadores, reducción de los costos operativos o pérdida de oportunidades y una mayor capacidad de respuesta, lo que se traduce en mayor satisfacción en los clientes.

Justificación Cuantitativa

Desde el punto de vista cuantitativo, el estudio se justifica en virtud que en el diagnóstico de la situación detectada se lograron identificar debilidades en el Incumplimiento del mantenimiento preventivo (29.6%), ausencia de procedimientos (24.4%), falta de documentación de los procesos (16.9%) y falta de capacitación al personal (13.1%), los cuales serán considerados como aspectos base para la formulación de las mejoras.

Justificación Social

Desde el punto de vista social el estudio es importante, porque escogió la metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) como una alternativa de trabajo que contribuya con las metas organizacionales y financieras de la empresa y sus trabajadores, su crecimiento en el mercado en el cual atiende, así como la planificación y control de las actividades de mantenimiento de los equipos, lo que contribuye a asegurar el estado de estos equipos en el momento que los que la organización los requiera, y de esta manera contribuir con la satisfacción de los socios, clientes, trabajadores y comunidad atendida por los productos y servicios de la organización.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes internacionales

Maya (2018). “Aplicación de RCM como estrategia de implementación del mantenimiento predictivo para la metodología TPM”. Tesis para optar por el título de Magister en Ingeniería Mecánica en la Universidad Nacional de Colombia. Tuvo como objetivo principal proponer el desarrollo del mantenimiento centrado en Confiabilidad o Reliability Centered Maintenance (RCM) usando como estrategia el establecimiento de la metodología TPM (del inglés Total Productive Maintenance), en particular, la implementación de mantenimientos preventivos e integración de sistemas de gestión relacionados con todos los aspectos de la producción de galletas en una empresa en Colombia. La investigación tuvo un enfoque cuantitativo y de tipo no experimental descriptivo. El autor utilizó como técnica la recopilación de datos para realizar el análisis actual y la observación a los procesos productivos. Como resultado, encontró que la principal causa que afectaba la productividad de la organización era el alto nivel de gastos en mantenimientos no planificados y la inexistencia de planes de mantenimientos programados así como falta de conocimiento del personal. El autor propuso el desarrollo de un modelo informático para aplicar la metodología TPM para observar el comportamiento y la trazabilidad de los equipos, así como la construcción de una matriz de criticidad operacional de equipos desde las perspectivas de seguridad, calidad, eficiencia e impacto en el medio ambiente.

Zavala (2018). “Plan de mantenimiento preventivo centrado en RCM para el chancador primario Fuller, operación Mantoverde”. Tesis para optar por el título de Ingeniero Mecánico Industrial en la Universidad Técnica Federico Santa María, en Chile. Tuvo como objetivo principal implementar un plan de mantenimiento preventivo para un equipo de alta criticidad en una mina en Chile. Esta investigación tuvo un enfoque cuantitativo y un diseño descriptivo. El autor utilizó la técnica de recolección de datos basada en la observación, para lo cual diseñó formatos que le permitieron realizar análisis de criticidad, análisis funcional e individualización de los modos de falla y cuantificación de sus efectos. Asimismo, realizó el análisis de equipo mediante un diagrama de entrada-proceso-salida y un diagrama funcional de bloques. Estos análisis dieron como resultado una planeación de trabajo basada en RCM que incluía el planteamiento de las funciones de los subsistemas hasta determinar las tareas específicas de mantenimiento para los modos de falla más frecuentes de cada equipo.

Guillén (2015). “Optimización de la efectividad global de los equipos (OEE) a través de estrategias de gestión de mantenimiento Caso: unidad II de la empresa Negroven, S.A”. Tesis para optar por el título de Magíster en Ingeniería Industrial en la Universidad de Carabobo, Venezuela. Tuvo como objetivo proponer mejoras que permitieran optimizar la efectividad global de los equipos (OEE), mediante la maximización del proceso productivo de una unidad productiva de una empresa del sector petroquímico por ser la de mayor exigencia de calidad. Esta investigación tuvo un enfoque cuantitativo, de nivel explicativo basada en el método analítico-deductivo. Se hizo un diagnóstico mediante el análisis jerárquico de (AHP) de todos los equipos y el manejo de indicadores como criticidad, confiabilidad y efectividad, con lo que se determinó que el equipo principal a ser sometido a un plan de mantenimiento fue el reactor U2, al cual se diagnosticó una OEE

inicial de 49,25%, lo que suponía una inaceptabilidad en los requisitos de la empresa.

Seguidamente, con el uso de un análisis de modos y efectos de falla (FMEA) se determinaron los índices de prioridad de riesgo (NPR) y tiempo medio entre fallas (MTBF) de las diferentes partes de reactor. Luego, se procedió al diseño de estrategias de mantenimiento acordes con las debilidades detectadas y el desarrollo de un formato que permitiera recabar información para el cálculo del indicador OEE. Se logró desarrollar una propuesta de mejoras para el mantenimiento que satisficiera las necesidades del reactor, lo que incluyó planes preventivos de calibración e inspección, frecuencia de actividades y personal responsable.

2.1.2 Antecedentes nacionales

García (2019). “Mantenimiento centrado en la confiabilidad para la excavadora 300”. Tesis para optar por el título de Ingeniero Mecánico en la Universidad Nacional de Trujillo.

Tuvo como objetivo identificar de situaciones que dificultan el mejor uso de la flota de excavadoras a través del método AMEF con el propósito de mejorar el mantenimiento de los activos de una organización del sector minero. En sus resultados se mostró una sistematización de las tareas con la ubicación y revisión de los equipos lo que permitió la estandarización de los programas de mantenimiento basado en los riesgos así como el análisis de criticidad de los equipos basados en su contexto operacional. La relación del estudio citado con esta investigación se encuentra en el interés del investigador en mejorar los resultados de la empresa con un mejoramiento en la gestión de mantenimiento.

Asimismo se crearon los indicadores de seguimiento apropiados para garantizar la disponibilidad operativo de los equipos y maquinarias de la organización así como las estrategias de mejora para el logro de los objetivos.

Guevara y Silvera (2019). “Implementación de la metodología TPM y su influencia en la eficiencia operacional de los equipos del proceso de tratamiento de Arenas de molienda en una empresa minera”. Tesis para optar por el título de Ingeniero Industrial en la Universidad Privada del Norte. Tuvo como objetivo general conocer la influencia de la implementación de la metodología de mantenimiento sobre la eficiencia operacional en los equipos del proceso de tratamiento de arenas de molienda en una empresa minera en Cajamarca. Fue realizada bajo el enfoque constructivo de tipo explicativa y diseño cuasi experimental el cual se utilizó como instrumentos la entrevista y la ficha resumen. En los resultados, los autores indicaron que las principales fallas de los equipos estaban ocasionadas por fugaz de soluciones en las carcasas de las bombas desgaste acelerado de los componentes internos y falta de control en el seguimiento de los mantenimiento vista de ello se elaboró un plan enfocado en el mantenimiento autónomo, mantenimiento planificado mejoras del proyecto y formación del personal con lo cual se incrementó la disponibilidad de equipos de 82% al 91% el rendimiento de 47% al 100% la calidad de 81 por 196% y finalmente el OEE de 31% a 87%.

Señas y Malca (2019). “Evaluación de las principales pérdidas que afectan al OEE de una máquina papelera modelo Recard, Lima 2018”. Tesis para optar por el título de Ingeniero Industrial en la Universidad Privada del Norte. Tuvo como objetivo principal evaluar las causas de las pérdidas que incidían sobre la OEE en una máquina papelera en una empresa ubicada en la ciudad de Lima fue una investigación aplicada y cuantitativa en la cual se utilizó como referencia los datos de un software que arrojó un impacto de pérdidas de 735,577.97 dólares. Debido a ello se realizó un modelo que aplicó herramientas de ingeniería para detectar la pérdida de velocidad, las causas de las paradas, las paradas menores, las averías y los tiempos de cambio. En las conclusiones se indicó que las causas principales fueron (a) la falta de inspecciones (b) ausencia de chequeos

preventivos por parte del área de mantenimiento y (c) falta de limpieza e inspecciones por parte del personal de operación.

2.2 Bases teóricas

2.2.1. Primera variable: Metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)

2.2.1.1. Mantenimiento

El mantenimiento se define como la combinación de todas las acciones técnicas, gerenciales y de operaciones durante el ciclo de vida de un elemento destinado a retenerlo o restaurarlo, un estado en el que puede realizar la función requerida (De Carlo y Arleo, 2016). El mantenimiento está en todas partes, cuando hay sistemas, máquinas, elementos que usamos a diario, requiriendo acciones específicas para su correcto funcionamiento, ya que degradaciones y fallas reducen la efectividad en su uso. El sector industrial es quizás uno de los más interesados en las acciones de mantenimiento, ya que las empresas necesitan garantizar los objetivos de productividad exigidos (Vilarinho, Lopes y Sousa, 2017).

A pesar de esto, el mantenimiento no siempre ha tenido la atención que se merecía y durante muchos años fue una actividad secundaria de las organizaciones. Sin embargo, la aparición de las tecnologías de información (TI), simplifica la adquisición de datos y el análisis de los sistemas que requieren actividades de mantenimiento, mientras que la TI integrada permite la optimización matemática de muchos aspectos relacionados con el mantenimiento, como los costos y la disponibilidad (Fraser, Hvolby y Tseng, 2015).

Debido a que los costos de mantenimiento son normalmente altos (Phogat & Gupta, 2017) la aplicación de las mejores prácticas de gestión de mantenimiento pueden impulsar el desempeño operativo de una empresa (Gupta & Vardhan, 2019). Un factor que normalmente las organizaciones pasan por alto en la búsqueda de su éxito operativo es el factor humano en el desempeño operativo, por lo que el apoyo de la gestión es el trampolín entre el éxito y el fracaso operacional. Asimismo, las habilidades impartidas al recurso humano en una empresa van en gran medida para otorgar a la empresa una ventaja competitiva.

2.2.1.2. Importancia del mantenimiento

Una organización debe combinar adecuadamente las prácticas óptimas de gestión del mantenimiento y el apoyo a la mejora continua para que sobreviva en el competitivo campo operativo actual (Kanti & Cudney, 2018). Una de las estrategias a adoptar para concienciar sobre la importancia del mantenimiento en contextos industriales y productivos es demostrar su eficacia (De Carlo y Arleo, 2016). Es fundamental medir el rendimiento del mantenimiento, para la justificación de las inversiones en esta función y para el pensamiento estratégico de los gestores de activos. Sin embargo, Márquez y Gupta (2005) indicaron que en la literatura existente, solo se mide la eficiencia interna, incluso si se debe medir la contribución de mantenimiento hacia un objetivo comercial total (tanto la efectividad externa como la eficiencia interna).

El beneficio del ciclo de vida (LCP) podría ser una medida justa de la eficacia global para destacar tanto el valor como el coste del mantenimiento (De Carlo y Arleo, 2016). El mantenimiento, de hecho, consta de tantas actividades que es difícil cuantificar sus beneficios a nivel de actividad individual, mientras que a nivel macro, es difícil encontrar

la mejor compensación entre costes y beneficios para el beneficio de la empresa (Fraser et al, 2015).

A pesar de todo eso, hoy se acepta que el mantenimiento es una función clave para la rentabilidad a largo plazo en una organización (Fraser et al, 2015), y por esta razón, las organizaciones están tratando el mantenimiento como una parte importante de su negocio, de la misma manera como otras funciones como producción, marketing, ventas, entre otras. La gestión eficaz del mantenimiento, de hecho, requiere un enfoque multidisciplinario en el que el mantenimiento se considere estratégicamente desde la perspectiva empresarial global. Las empresas también invierten en una estimación temprana de la fiabilidad para configurar su servicio en el campo (Modgil y Sharma, 2016).

El mantenimiento correctivo (CM) es sin duda el enfoque con las contribuciones de ingeniería y prevención más bajas, ya que simplemente reacciona ante una falla ocurrida. Pasando de CM al mantenimiento preventivo, se pasa de un enfoque derrotista y pasivo a uno más “agresivo”, donde los principios de ingeniería y el objetivo de prevenir fallas futuras son los aspectos más importantes en la gestión del mantenimiento (De Carlo y Arleo, 2016).

2.2.1.3. Gestión de mantenimiento

La gestión de mantenimiento es hoy en día una función muy importante en el contexto industrial. Por lo general, se define como una función del personal cuya principal responsabilidad es asegurar que las técnicas de mantenimiento sean efectivas, que el equipo se diseñe y modifique para mejorar la mantenibilidad, que se investiguen los problemas técnicos de mantenimiento continuo y que se tomen las acciones correctivas y de mejora adecuadas (De Carlo y Arleo, 2016).

Modgil y Sharma (2016), definieron la gestión del mantenimiento como las actividades de gestión que determinan los objetivos o prioridades de mantenimiento, estrategias y responsabilidades e implementan por medio de la planificación del mantenimiento, el control y la supervisión del mantenimiento y las mejoras de los métodos, incluidos los aspectos económicos de la organización. Márquez y Gupta (2005) van más allá al considerar la gestión del mantenimiento como un proceso y también como un marco. Como un marco, señalaron que es la estructura de soporte esencial y el sistema básico necesario para gestionar el mantenimiento de forma eficaz. Como proceso, es el curso de acción y la serie de pasos o etapas para seguir.

De esta forma, Kanti & Cudney (2018) comentaron que según lo observado por investigadores anteriores, los costos de mantenimiento suelen ser del 10 al 30% de los costos totales de funcionamiento. Estos costos se pueden minimizar adoptando prácticas conocidas, conceptos de gestión y mediante el seguimiento del desempeño de la empresa a través de medidas de sus indicadores clave de desempeño (KPI) de las empresas. Esto está destinado a garantizar que los objetivos de la organización se han cumplido y cuando existe un incumplimiento del objetivo, se deben tomar acciones de intervención. Si se gestiona correctamente, el mantenimiento puede ser un generador de beneficios y si se gestiona mal, puede llevar a las empresas a generar grandes pérdidas (Mwangi, 2014).

Según Márquez & Gupta (2005), en los últimos años, los gerentes se están entusiasmando con la idea de que el mantenimiento puede ser una función generadora de beneficios más que un centro de costos. Por tanto, está claro que la gestión del mantenimiento juega un papel vital en una organización. Esta gestión busca, por lo tanto, evitar interrupciones en la producción, minimizar los costos de producción, porque la producción capacidad está disponible cuando sea necesario (Kanti & Cudney, 2018),

mantener la alta calidad de los productos y maquinaria de fabricación y para evitar pérdidas.

2.2.1.4 Tipos de mantenimiento

Según Márquez & Gupta (2005), existen nueve enfoques de gestión de mantenimiento.

Estos se ejecutan hasta fallar, redundancia, reemplazo programado, programado revisiones / mantenimiento planificado, no planificado, mantenimiento preventivo (PM), antigüedad o uso mantenimiento basado y mantenimiento basado en condición (CBM) y mejora de rediseño / diseño. Si bien esta clasificación de Márquez y Gupta (2005), es de alguna manera similar a la clasificación de Veldman, Wortmann y Klingenberg (2011) introduce ejecución hasta fallas, redundancia, programado y prácticas de gestión de mantenimiento predictivo:

Mantenimiento bajo condiciones: CBM es el mantenimiento que se realiza normalmente cuando las condiciones de operación se desvían de las norma. Se realiza para detectar fallas incipientes mucho antes de que ocurran (Veldman et al., 2011). Usa técnicas de monitoreo de condición para determinar si existe un problema en el funcionamiento del equipo y por cuánto tiempo puede funcionar el equipo antes de fallar. Bajo esta gestión de mantenimiento la práctica detecta e identifica componentes específicos en un equipo que se están degradando, determina causa raíz del problema y tomar medidas correctivas antes de que falle el equipo o el funcionamiento activo (Fraser et al., 2015).

Mantenimiento productivo: Es la práctica de realizar reparaciones / acciones correctivas a pequeña escala personal de operaciones cuando el equipo todavía está en funcionamiento. Cuando todos los empleados de una organización están involucrados en tales acciones de reparación, esto se denomina mantenimiento productivo total (TPM).

TPM implica predecir la ocurrencia de fallas y fomentar la participación en mantenimiento

por trabajadores de producción en lugar de trabajadores de mantenimiento separados. Sus metas son cero averías y cero defectos (Sharma & Yadava, 2011). TPM enfatiza la participación del operador en mantenimiento de rutina.

Mantenimiento centrado en la confiabilidad: RCM es el mantenimiento realizado con base en la probabilidad de falla del equipo y el costo de dicha falla. RCM permite la detección de fallas mucho antes de que ocurran para garantizar interrupciones mínimas al proceso de producción. También elimina la ocurrencia de fallas antes de que aparezcan (Márquez & Gupta, 2005). Según Barney (2011), RCM es el proceso de determinar y asegurar que cualquier activo continúa funcionando como se esperaba en su condición actual. Es un mantenimiento priorizado práctica para llevar primero el mantenimiento a activos con alto valor de riesgo en términos de seguridad y ciencias económicas.

Mantenimiento preventivo (PM): MP es un mantenimiento planificado o programado que se realiza al inicio de la falla para prevenir o retrasar averías y minimizar el impacto de una avería (Phogat & Gupta, 2017). La práctica de manejo de este mantenimiento se basa en el principio de que es mejor prevenir que reparar. Consiste en actividades de mantenimiento realizadas antes de que el equipo se averíe con la intención de mantenerlo operando aceptablemente para reducir la probabilidad de falla (Márquez & Gupta, 2015). Las ventajas de esta práctica es que reduce la tasa de averías, aumenta la disponibilidad de activos, mantiene óptimas eficiencia del equipo y reduce la carga de trabajo del personal de mantenimiento. El MP también aumenta productividad y seguridad de los trabajadores (Barney, 2011)

Mantenimiento programado: Este es un mantenimiento preventivo que normalmente se realiza a intervalos programados para mejorar confiabilidad de una máquina y lidiar con cualquier potencial oculto de falla. El mantenimiento programado es un reemplazo del

mantenimiento correctivo cuando las prácticas de mantenimiento cambian de reactivo a proactivo (Fraser et al., 2015). El mantenimiento programado es un mantenimiento puntual destinado para evitar averías (Mwangi, 2014).

Mantenimiento de la calidad: Este tipo de gestión de mantenimiento también se denomina "puesta a punto" o mejora de la producción. Esta práctica de gestión de mantenimiento implica detener una máquina de producción para atender los defectos o cuellos de botella que puedan estar obstaculizando el rendimiento del activo de producción máxima capacidad. Tiene como objetivo incrementar la eficiencia productiva (Fraser et al., 2015).

Mantenimiento de órdenes de trabajo del sistema: Este es el tipo de práctica de gestión de mantenimiento que se ejecuta como resultado de órdenes de trabajo de mantenimiento generadas por una computadora. El principio de esta práctica de gestión de mantenimiento es basado en Computer Maintenance Management System (CMMS). En las órdenes de trabajo del sistema, el mantenimiento es la columna vertebral del mantenimiento proactivo. Es la herramienta principal para gestionar trabajo y la medición de la eficacia (Mwangi, 2014). Desencadena tareas debidamente priorizadas, gestiona los recursos de mantenimiento y permite un adecuado seguimiento y control de los activos.

Mantenimiento de ejecución hasta fallar (RTFM): En el funcionamiento hasta el mantenimiento de fallas, la unidad se opera sin ningún mantenimiento preventivo hasta ocurre la falla. Es cuando ocurre la falla que se realiza el mantenimiento del equipo. De acuerdo con Sharma & Yadava (2011), RTFM se hace cuando aumentan las horas de mantenimiento y calidad, por lo que el mantenimiento ya no se traduce en un aumento de la producción.

Mantenimiento correctivo: Este es un tipo de mantenimiento reactivo o no planificado que normalmente se realiza cuando una avería ha ocurrido realmente (Fraser et al., 2015). Se hace para restaurar un activo a su estado anterior. Cuando se realiza el mantenimiento reactivo para restaurar el equipo a su estado original condición esto se llama mantenimiento correctivo. Cuando se realiza el mantenimiento reactivo para evitar ocurrencia peligrosa, se llama mantenimiento de emergencia (Veldman et al., 2011). Este tipo de mantenimiento no es una práctica de mantenimiento recomendada. Esta práctica reduce la productividad y es más costoso que otras prácticas de gestión de mantenimiento (Mwangi, 2014).

Mantenimiento predictivo: PDM es un mantenimiento basado en condiciones que gestiona valores de tendencias. Mide y analiza datos sobre el deterioro y emplea tecnología de vigilancia diseñada para monitorear el funcionamiento y las condiciones de un activo a través de un sistema en línea. Cuando las condiciones se desvían de la norma, se toman acciones de mantenimiento (Veldman et al., 2011). PDM se basa en detectar que el equipo va a dar problemas por ejemplo, si el ruido y las vibraciones han aumentado y, por lo tanto, se efectúan arreglos previos para que las reparaciones estén hechas. En PDM, los problemas se predicen antes de que falle el equipo. Por tanto, se ejecutan medidas y esto prolonga la vida útil de los equipos (Mwangi, 2014).

2.2.1.5 Concepto de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)

Junto con la creciente expansión de la tecnología y la competencia entre industrias, las organizaciones emplean diversas acciones y políticas para aumentar la productividad y disminuir los costos. En este sentido, Gupta y Mishra (2016) indicaron que el mantenimiento es una política que se utiliza en las industrias de producción o

manufactureras para disminuir costos, aumentar la productividad y continuar con la competencia global.

Debido a lo antes descrito, se han desarrollado diversas estrategias de mantenimiento durante los últimos años. Entre ellas, el RCM (siglas en inglés del término *Reliability Centered Maintenance*), ha sido una de las estrategias de mantenimiento más utilizadas en todo el mundo (Karevan y Vasili, 2018). Esta forma de mejora continua se originó en la industria de las aerolíneas en la década de 1960 como un proceso para el desarrollo y optimización de los requisitos de mantenimiento de un recurso físico en su contexto operativo, para darse cuenta de su confiabilidad inherente, incorporando lógicamente las estrategias de mantenimiento como reactivo, preventivo, basado en las condiciones de los equipos y su mantenimiento proactivo (Catelani, Ciani, Galar y Patrizi 2020).

De acuerdo con Li y Gao (2010), el RCM toma las causas fundamentales de las fallas como objetos ejecutivos para tomar decisiones de mantenimiento. Para tal fin, se lleva a cabo un análisis de causa raíz (RCA) sobre la falla funcional del equipo para crear un plan de mantenimiento utilizando los métodos combinados de modo de falla, análisis de efectos y criticidad (FMECA) y análisis de árbol de fallas (FTA). Los criterios de evaluación y las matrices de criticidad se utilizan para evaluar el nivel de criticidad de los modos de falla. Además, se aplican conjuntos mínimos de corte (MCS) y el cálculo de importancia para analizar cuantitativamente el modo de fallas, por lo que el uso de un plan de mantenimiento a partir de RCM puede ayudar a asignar recursos de manera racional y mejorar la calidad de las estrategias de mantenimiento.

Tsarouhas (2018), lo define como una consideración sistemática de las funciones del sistema, la forma en que las funciones pueden fallar, y una consideración basada en prioridades de seguridad y economía que identifica tareas de PM aplicables y efectivas. El

autor explica además que las recomendaciones de los fabricantes no siempre están basadas en datos de experiencias reales. Muchos fabricantes obtienen muy pocos comentarios de los usuarios de su equipo después el período de garantía ha terminado. A veces también se afirma que las recomendaciones de los fabricantes pueden ser más sesgadas hacia maximizar las ventas de repuestos consumibles en lugar de que minimizar el tiempo de inactividad por el uso, por lo que las reclamaciones de responsabilidad también pueden influir quizás también en las recomendaciones de los fabricantes.

Asimismo, Tang et al. (2016), expresaron que el principal objetivo de RCM es mejorar la disponibilidad de los equipos y reducir el costo de mantenimiento, centrándose en las funciones más importantes del sistema y evitar o eliminar acciones de mantenimiento que no son estrictamente necesarias. Si un programa de mantenimiento ya existe, el resultado de un análisis RCM a menudo será para eliminar las tareas de mantenimiento preventivo ineficientes, por lo que es preferible considerar los aspectos de mantenimiento durante el diseño del sistema, desde la fase inicial del concepto (Jain et al., 2018). Sin embargo, con demasiada frecuencia las consideraciones de mantenibilidad son pospuestas hasta que sea demasiado tarde para hacer cambios significativos en el sistema. Las estrategias de mantenimiento detalladas también son establecidas antes de que el sistema se ponga en funcionamiento. Muy a menudo estas estrategias son rudimentarias y se basan en de forma *ad hoc* cuando surgen problemas inmediatos (Fraser et al., 2019).

Por otra parte, RCM es una técnica para desarrollar un programa de mantenimiento preventivo (MP), basado en el supuesto de que la confiabilidad inherente del equipo es una función del diseño y su calidad de fabricación (Jain et al., 2018). Un programa de MP eficaz asegurará que se logre la fiabilidad inherente. Sin embargo, no puede mejorar la confiabilidad del sistema. Esto solo es posible mediante un rediseño o modificación.

En este sentido, Haidar (2016) indicó que la aplicación de MP a menudo se malinterpreta. Es fácil creer erróneamente que cuanto más un artículo es habitualmente mantenido, más confiable será. A menudo el caso es lo contrario, debido a fallas inducidas por el mantenimiento. El autor citado agrega que RCM fue diseñado para equilibrar los costos y beneficios, para obtener un programa de MP más rentable. Para lograr esto, deben especificarse los estándares de rendimiento del sistema deseados. El MP no evitará todas las fallas y, por lo tanto, se deben identificar las posibles consecuencias de cada falla y se debe conocer la probabilidad de falla. Las tareas de MP son elegidas para abordar cada falla mediante el uso de un conjunto de aplicabilidad y criterios de eficacia.

A nivel mundial, el RCM es una tecnología imperativa en la industria, y se ha aprovechado como estrategia de mantenimiento que puede ser funcional para mejorar la disponibilidad del equipo y su confiabilidad, y a la vez, reducir los costos operativos y de mantenimiento (Ren, 2016). El fundamento conceptual del RCM es la función del sistema operativo y su utilidad para reconocer las consecuencias de la falla por el análisis de fallas y función del sistema.

En este sentido, al analizar las diversas metodologías provistas por la Ingeniería Industrial para el mejoramiento de los procesos, el RCM es una estrategia conformada por actividades preparadas en forma secuencial y complementarias, dirigidas a incorporar valor mediante la planificación de acciones relacionadas con el mantenimiento de maquinarias y equipos que, una vez implementadas, contribuyen a hacer una empresa más competitiva y productiva (Tang et al., 2016).

Asimismo, Azid, Shamsudin, Yusoff y Samat (2019) indicaron que esta metodología sirve para planificar, ya que ayuda a organizar las labores, explorar habilidades y medir el desempeño, a través de la reducción sostenida de las eventuales fallas en los equipos, lo

que se convierte en reducción de los tiempos de producción y mayor eficacia en los recursos humanos y económicos de una organización.

2.2.1.6 Principios para la implementación de un programa RCM

Hay cuatro principios que son críticos para un programa de RCM:

a) El propósito principal de mantener la función del sistema: el punto de partida más importante para implementar un programa RCM es descubrir exactamente qué se supone que debe hacer un determinado equipo en primer lugar. Esto tendrá el mayor impacto en cómo se maneja el mantenimiento de ese artículo a largo plazo, y también arrojará algo de luz sobre la importancia general del artículo en el gran esquema de las cosas. Los elementos con una importancia menor para el funcionamiento exitoso del sistema deben colocarse más abajo en la lista de prioridades, mientras que aquellos que tienen el mayor potencial para hacer que las cosas no funcionen deben mantenerse bajo control de forma regular (Pourahmadi, Firuzabad y Dehghanian, 2017).

b) Identificar modos de falla que pueden incidir sobre la eficacia de las operaciones: a continuación, se debe conocer exactamente cómo cada uno de esos elementos puede fallar potencialmente y cuáles serían los resultados de eso. Los modos de falla pueden variar significativamente en todos los ámbitos, especialmente cuando considera las diferentes formas en que puede utilizar algunos de esos elementos, y es una buena idea tener en cuenta todas las formas posibles en que un equipo puede averiarse. No es suficiente concentrarse en un modo específico de falla que tiende a ocurrir con mayor frecuencia. También se necesita saber cómo se pueden recuperar esos modos de falla a veces, esto puede darle una buena idea de en qué concentrarse en su mantenimiento preventivo. Esto puede ayudarlo a implementar un programa RCM correcto cuando llegue

a los siguientes pasos y comience a ordenar su plan de acción (Pourahmadi, Firuzabad y Dehghanian, 2017).

c) Priorizar los modos de falla: Una vez que haya descubierto cómo pueden fallar los diferentes componentes, primero se debe comprender qué causa esas fallas. Al igual que las fallas en sí mismas, las causas raíz pueden variar y puede haber más de una por elemento, por lo que es importante investigar cada caso en profundidad hasta llegar a la verdadera causa raíz. Hay que tener con las pistas falsas que podrían dar una impresión equivocada sobre la causa de los problemas que el equipo está experimentando y asegurarse de representar una situación de ejemplo que involucre cada causa raíz, si es posible. De esa manera, se sabrá exactamente cómo evolucionan las cosas en caso de que algo salga mal, y sabrá cómo es probable que el problema se manifieste con la acción del tiempo (Pourahmadi, Firuzabad y Dehghanian, 2017).

d) Seleccionar tareas que puedan ser aplicadas para controlar las fallas detectadas: Una vez que se sepa cuáles posibles fallas se pueden encontrar y cuál las causa en la mayoría de los casos, se debe configurar una lista de acciones que deben tomarse para mantener el elemento bajo control a lo largo del tiempo. Como se mencionó anteriormente, RCM se trata de garantizar que el equipo permanezca utilizable durante un largo período de tiempo sin necesidad de esforzarse demasiado en reparaciones y otros procedimientos similares. Evitar que ocurran problemas es, después de todo, una solución mucho más barata que tratar con ellos una vez que ya se han presentado. Esa es la idea central de RCM, y un concepto que se debe comprender lo más profundamente posible cuando se intenta implementar un programa como ese en una organización. Cuanto antes se asegure de que los sistemas están alineados con la idea del mantenimiento a largo plazo, mejor rendimiento se obtendrán de ellos a largo plazo. (Pourahmadi, Firuzabad y Dehghanian, 2017).

Asimismo, el RCM identifica las funciones de la empresa que son más críticas y luego busca optimizar sus acciones de mantenimiento para minimizar las fallas y, en última instancia, aumentar la confiabilidad y disponibilidad del equipo (Tang et al., 2017). Los activos más críticos son aquellos que pueden fallar con frecuencia o que tienen grandes consecuencias de fallas. Con esta estrategia de mantenimiento, se identifican posibles modos de falla y sus consecuencias; todo ello mientras se considera la función del equipo. Entonces se pueden determinar técnicas de mantenimiento rentables que minimicen la posibilidad de fallas (Salah et al., 2017).

Dado que el producto final de un análisis RCM bien ejecutado es que se seleccionará una estrategia de mantenimiento adecuada para cada equipo, el impacto es una mejora general de la confiabilidad. RCM tiene como objetivo reducir costos, mejorar la seguridad y eliminar las tareas de mantenimiento que no son efectivas o apropiadas para una determinada pieza de maquinaria. La implementación de procesos de RCM le permite evitar una mentalidad de talla única que podría desperdiciar tiempo y recursos valiosos.

2.2.1.7 Fases del RCM

De acuerdo con Piasson, Bísaro, Leao y Sanches (2016), un plan de RCM se debe cumplir siguiendo las siguientes fases de trabajo:

Selección de equipo para análisis RCM: Para comenzar, se debe determinar los criterios de selección, decidir los componentes de los datos y organizar los criterios para ayudar a encontrar, mantener y analizar los datos. Al seleccionar los criterios, se debe centrar en las características distintivas (Piasson et al., 2016). La definición de activo establece el alcance físico del programa. Los criterios deben hablar de las cosas que hace una organización en términos de mantenimiento, calidad y actividad de la cadena de

suministro. Estos aspectos del negocio mantienen seguros al personal y al medio ambiente al tiempo que promueven el rendimiento sin los efectos adversos de una avería.

Una operación típica puede tener entre cientos y miles de activos, según el tamaño de la operación y cómo se define un activo. El establecimiento de los componentes estándar de datos de activos permitirá a las empresas agrupar activos de forma eficaz.

Elaboración de la clasificación de la criticidad de los activos: Para crear una clasificación de prioridades, es necesario definir los factores a considerar y el impacto potencial que tendría una falla en la empresa. Al considerar la importancia de un activo o grupo de activos, se debe observar todas las facetas de cómo una falla afectaría al negocio. Los factores típicos en el cálculo del ranking de criticidad de activos (ACR) incluyen operación, utilización, calidad, seguridad y medio ambiente. (Piasson et al., 2016). Esto se puede personalizar para cualquier controlador único que pueda tener una operación. Describir adecuadamente los factores y definir su impacto será fundamental para lograr consistencia y consenso en toda la organización.

Estos factores deben estar bien documentados para que la clasificación sea objetiva. Cuanto mayor sea el número de ACR, más importante es realizar un seguimiento de los síntomas de falla y planificar la intervención. Al final, las clasificaciones deben ser confiables, utilizadas para establecer prioridades e impulsar mejoras de manera efectiva.

Identificación las causas de la falla: Una vez que se enumeran los modos de falla para cada grupo de activos, estos valores se pueden vincular a las órdenes de trabajo de mantenimiento reactivo. Esto proporciona la capacidad de analizar datos de fallas de manera efectiva. Este es el último paso de la programación, porque una vez que se identifican las áreas problemáticas, se pueden determinar y remediar las causas fundamentales como parte de un programa de mejora continua. Se pueden utilizar varios

métodos para identificar los modos de falla. Hay que asegurarse de considerar la clasificación de criticidad de los activos para que los grupos de activos más críticos se evalúen con el más alto nivel de precisión o prioridad. Además, es necesario evaluar los modos de falla que son más importantes para el activo o grupo de activos. El cálculo utilizado para clasificar los modos de falla es el número de prioridad de riesgo (RPN). Los factores estándar de RPN son la gravedad, la probabilidad y la detectabilidad.

Implementación del programa de mantenimiento preventivo: Una vez que se priorizan los grupos de activos, el siguiente paso es desarrollar los horarios y planes de tareas de mantenimiento preventivo (PM) necesarios con optimización proactiva del mantenimiento (OPM). Los pasos secuenciales para este plan son: son identificar los modos de falla, comprender los riesgos asociados con cada uno, aplicar la estrategia de mantenimiento proactivo adecuada para el riesgo y decidir qué tareas proactivas se asignarán para cada uno de los activos respectivos (Piasson et al., 2016). Se pueden realizar una serie de tareas de mantenimiento e inspección en función de la criticidad y las necesidades de la instalación. El objetivo de este paso es decidir las tareas de mantenimiento más efectivas y rentables a realizar y programar la frecuencia con la que deben realizarse estas tareas.

Análisis de repuestos: Además del programa de mantenimiento preventivo y el plan de tareas, también se requiere un análisis de piezas de repuesto (APR). Los pasos secuenciales para un APR son idénticos a los del OPM. El análisis de las piezas de repuesto comienza con la identificación de los modos de falla, con énfasis en garantizar que todas las piezas de repuesto estén vinculadas a un modo de falla y se identifiquen según los riesgos. Al igual que en la PMO, se debe determinar el riesgo asociado con cada modo de falla. Existe una gran sinergia en la ejecución de PMO y APR en paralelo, ya que ambos se basan en la identificación y clasificación del modo de falla (Piasson et al., 2016).

Por lo general, todas las piezas de repuesto asociadas con números de fallas críticas y valores de alto riesgo deben tener cantidades de stock en el sitio. Los modos de falla que tienen valores de RPN medios deben registrarse en el sistema para realizar pedidos rápidamente con toda la información pertinente del pedido ya identificada pero no almacenada con cantidades en el sitio.

Por último, las piezas de repuesto afiliadas con valores de RPN bajos no se tomarán ninguna medida y simplemente se buscarán y ordenarán bajo demanda. Por supuesto, esto es solo una guía. Cada empresa debe determinar su propia estrategia caso por caso.

Control y monitoreo el programa de mantenimiento: El propósito de la analítica es medir la confiabilidad de un activo o grupo de activos y la efectividad de la estrategia de confiabilidad. Para un cálculo analítico coherente, se deben definir los criterios y el equipo de ingeniería multifuncional debe tener claro por qué los criterios son importantes y cuál será el impacto en el negocio (Gupta y Mishra, 2016). El medio principal para garantizar que los análisis se calculen de manera coherente es confirmar las fuentes de datos y la integridad de los datos dentro de esas fuentes. Una fuente común de datos de confiabilidad serían las órdenes de trabajo y los historiales de códigos de cierre.

Evaluación y reinicio del ciclo: Los datos fácticos son la clave para realizar un análisis que genere recomendaciones efectivas. El paso de recopilación de datos es el que lleva más tiempo pero, en última instancia, el más importante, ya que afecta directamente la precisión del enunciado del problema. Dependiendo del método de análisis de la causa raíz, el análisis de datos puede tener muchas formas y tamaños. Las recomendaciones desarrolladas deben centrarse en mejorar aún más las tareas proactivas y el inventario de repuestos, proporcionando así una mejora continua de circuito cerrado (Gupta y Mishra, 2016). Con un sistema de RCM implementado para ayudar a administrar los activos,

comprender los riesgos y establecer prioridades para el mantenimiento preventivo, será posible lograr los objetivos organizacionales para el grupo de activos que atiende.

Los resultados de un programa RCM deben proporcionar retroalimentación para tomar el siguiente conjunto de decisiones y análisis. En esta etapa, las partes interesadas deben identificar oportunidades para mejorar aún más. El propósito de RCM es que se lleve a cabo de forma continua, no solo durante el período según sea necesario. Además, RCM proporciona valor a muchas organizaciones al mantener la integridad de los componentes, extender la vida útil de los equipos, eliminar paradas no planificadas y reducir los costos generales de mantenimiento.

2.2.1.8 Dimensiones del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)

Confiabilidad: La confiabilidad es la probabilidad de supervivencia después de que la unidad o sistema opera durante un cierto período de tiempo. La confiabilidad define la frecuencia de fallas y determina los patrones de tiempo de actividad. La confiabilidad representa la probabilidad de que los componentes, piezas y sistemas realicen sus funciones requeridas durante un período de tiempo deseado sin fallas en entornos específicos con la confianza deseada (Fraser et al., 2019). La confiabilidad, en sí misma, no tiene en cuenta las acciones de reparación que puedan tener lugar. La confiabilidad representa el tiempo que tardará el componente, la pieza o el sistema en fallar mientras está en funcionamiento. No refleja cuánto tiempo llevará que la unidad en reparación vuelva a funcionar. Se obtiene del cálculo del Tiempo medio entre fallos (MTBF)

Tiempo medio entre fallos (MTBF): Mide el tiempo promedio que es capaz de trabajar el equipo a su capacidad, sin interrupciones dentro de un periodo considerado. Su fórmula es la siguiente:

$$MTBF = \frac{HROP}{NTFALLAS + 1}$$

Ecuación 1. Tiempo medio entre fallos (MTBF)

En la ecuación presentada, HROP significa las horas de operación del equipo en un periodo y NTFALLAS es la cantidad de fallas presentadas en el mismo periodo.

Mantenibilidad: también denominada capacidad de mantenimiento describe qué tan pronto se puede reparar la unidad o sistema, lo que determina los patrones de tiempo de inactividad (Fraser et al., 2019). Es la probabilidad de que un sistema o un elemento del sistema se pueda reparar en un entorno definido dentro de un período de tiempo específico. Una mayor capacidad de mantenimiento implica tiempos de reparación más cortos. Se obtiene del cálculo del Tiempo medio de reparaciones (MTTR)

Tiempo medio de reparaciones (MTTR): Se define como la probabilidad de que un equipo, pueda ser reparado a una condición especificada en un periodo de tiempo determinado y quedar en condiciones operativas. Se cuantifica mediante el tiempo medio de reparaciones (MTTR). Su fórmula es la siguiente:

$$MTTR = \frac{TTF}{NTFALLAS}$$

Ecuación 2. Tiempo medio de reparaciones (MTTR)

En la ecuación presentada, TTF es la sumatoria de las horas total de fallas en un periodo y NTFALLAS es la cantidad de fallas presentadas en el mismo periodo.

Disponibilidad: es el porcentaje de tiempo de actividad durante el horizonte temporal, y está determinada por la confiabilidad y la mantenibilidad. Se obtiene del indicador de disponibilidad (Fraser et al., 2019). La disponibilidad se define como la probabilidad de que el sistema esté funcionando correctamente cuando se solicita su uso. En otras palabras, la disponibilidad es la probabilidad de que un sistema no falle ni se someta a una acción de reparación cuando es necesario utilizarlo. A primera vista, podría parecer que si un sistema tiene una alta disponibilidad, también debería tener una alta confiabilidad

Indicador de disponibilidad: Se considera el principal indicador asociado al mantenimiento, dado que limita la capacidad de producción. Se define como la probabilidad de que un equipo esté disponible para su uso en un periodo de calendario dado. Para realizar un análisis de disponibilidad del equipo se debe tener en cuenta los correctivos y fallos, así como las actividades de mantenimiento programado que le aplican.

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

Ecuación 3. Disponibilidad

En la ecuación presentada, MTBF es el tiempo medio entre fallos en un periodo y MTTR es el tiempo medio de reparaciones en el mismo periodo.

2.2.1.9 Importancia del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)

Muchos autores han identificado RCM. Sin embargo, la definición original de RCM es una lógica disciplina para el desarrollo de programas de mantenimiento (Haidar, 2016). La otra definición de RCM es según Gupta y Mishra (2016) que es “una estructura de base cero

proceso utilizado para identificar las estrategias de gestión de fallas necesarias para garantizar que un activo cumpla con sus requisitos de la misión en su entorno operativo de la manera más segura y rentable.

En esta definición, hay tres términos importantes: (a) basado en cero, significa que los AMEF se redactan asumiendo que no se está haciendo nada para prevenir o predecir el modo de falla que lleva al fracaso, por lo que se evalúan las consecuencias y se formulan soluciones sin mencionar lo que es actualmente en proceso; (b) acciones de gestión de fallos: el proceso de análisis RCM se lleva a cabo para identificar las estrategias de gestión de fallos, no las tareas de mantenimiento, y (c) entorno operativo, significa que cuando se formulan soluciones para un activo, algunos se consideran diferentes cuestiones relativas al entorno (Gupta y Mishra, 2016).

El RCM identifica las funciones de un sistema, equipo o activo, que podría ser crítico y luego busca optimizar sus estrategias de mantenimiento. Los activos más críticos son aquellos que a menudo tienen probabilidades de fallar o aquellos que tienen algunas consecuencias de peligro en caso de falla (Haidar, 2016). Uno de los productos más beneficiosos de un análisis RCM es la identificación de las mejores tareas de mantenimiento proactivo, como mantenimiento en condiciones, restauración programada y reemplazo y tareas de descarte programadas. En la Figura 5 se muestra un esquema de implementación del RCM, de acuerdo con Haidar (2016):

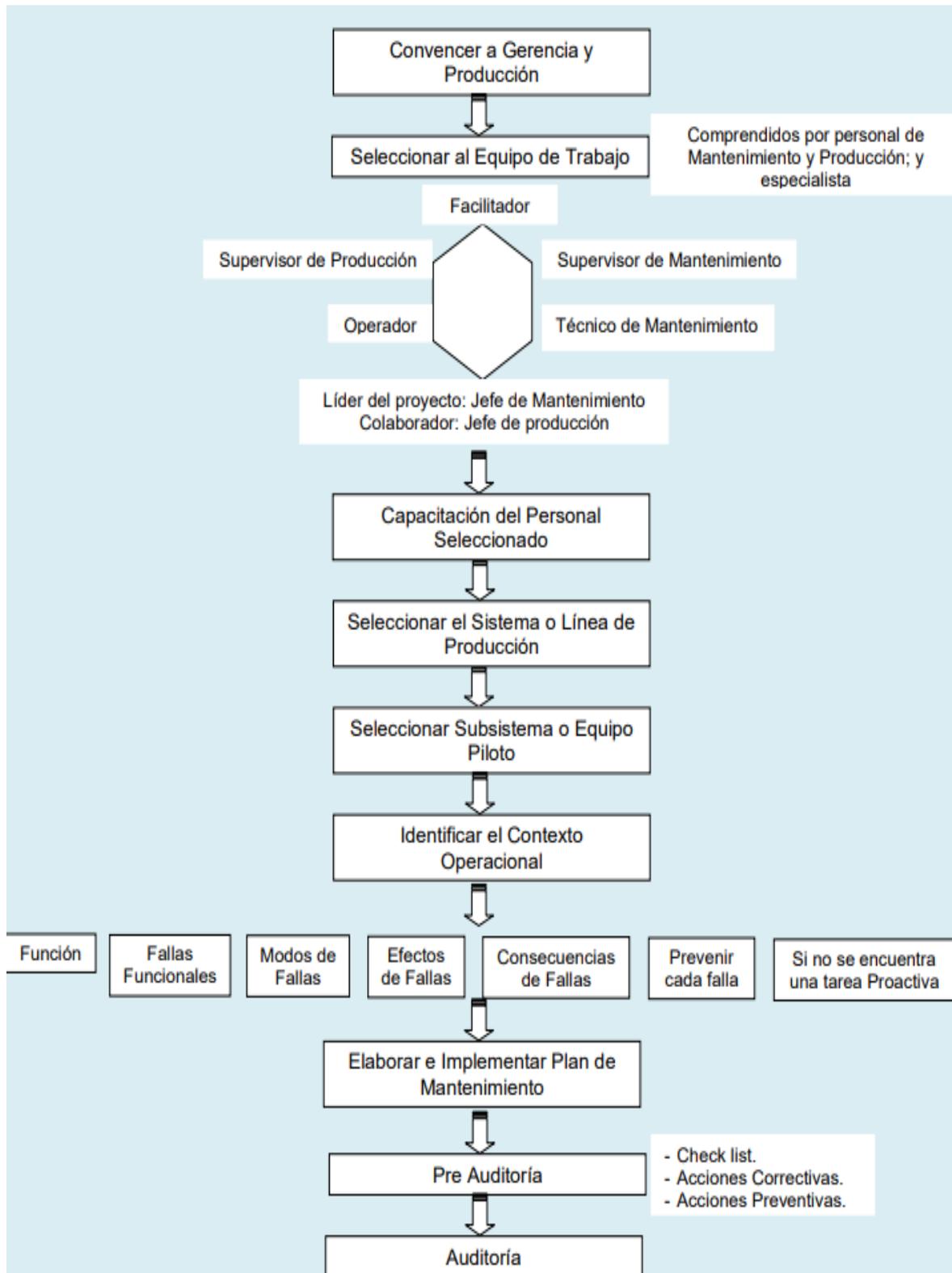


Figura 5. Esquema de implementación del RCM.

Fuente: Haidar (2016)

2.2.2. Segunda variable: Eficiencia global de equipos

2.2.2.1 Importancia de la eficiencia en los procesos de mantenimiento

Todos dentro de la organización deben ser conscientes de las pérdidas ocultas con respecto a la falla de la máquina o el tiempo necesario para la reparación de la máquina. Además, cuando una máquina no puede funcionar a toda velocidad o produce productos inferiores, se considera una actividad que genera pérdidas para la organización. El objetivo es tener una puntuación de eficacia global del equipo (OEE) del 100% y esto representa una producción perfecta. En ese caso, las máquinas siempre funcionan a toda velocidad y entregan productos de perfecta calidad (Jain et al., 2018). De acuerdo con Hooi & Leong (2017), El punto de partida de la gestión es que todos son responsables del mantenimiento diario de las máquinas. La participación de los empleados en las propuestas de mejora y mantenimiento son características clave dentro del mantenimiento, para que puedan mejorar de manera conjunta la eficiencia de la máquina, paso a paso. Por tanto, el mantenimiento también significa "mejora". Las máquinas se compran solo para el propósito previsto. Después de eso, es posible exponer y eliminar defectos ocultos en las máquinas.

Asimismo, Jain et al. (2018) expresaron que todos, desde el operador hasta el ingeniero de mantenimiento, deben hacer esfuerzos conjuntos para mejorar la OEE. Esto se puede lograr formando pequeños equipos multidisciplinarios. Esto se puede lograr prestando atención al mantenimiento autónomo, mantenimiento preventivo, capacitación de los empleados involucrados, seguridad y estandarización de los procesos de trabajo, el objetivo es cero defectos: cero errores, cero pérdidas y cero accidentes laborales.

2.2.2.2. Concepto de eficiencia

La eficiencia significa un nivel máximo de rendimiento que utiliza la menor cantidad de entradas para lograr la mayor cantidad de salida. La eficiencia requiere reducir la cantidad de recursos innecesarios utilizados para producir un resultado determinado, incluido el tiempo y la energía personales (Banton y Boyle, 2020). Los autores mencionados explican que es un concepto medible que se puede determinar utilizando la relación entre la producción útil y la entrada total. Minimiza el desperdicio de recursos como materiales físicos, energía y tiempo mientras logra el resultado deseado.

Asimismo, la organización óptima del trabajo y el uso adecuado de máquinas y dispositivos en el proceso de producción son importantes para la eficiencia del proceso de producción. Realizar análisis periódicos del uso de máquinas y dispositivos que operan en el sistema de producción es sumamente importante para las empresas aunque muchas de ellas las subestiman (Kardas et al., 2017). Gracias al conocimiento el nivel de trabajo de la máquina, el funcionamiento del sistema de producción se puede mejorar para que se optimiza la posibilidad de uso de máquinas en el proceso. De este análisis surgen dos diversas perspectivas de la eficiencia:

La eficiencia económica, se refiere a la optimización de los recursos para servir mejor a cada persona en ese estado económico. Ningún umbral establecido determina la efectividad de una economía, pero los indicadores de eficiencia económica incluyen bienes traídos al mercado al menor costo posible y mano de obra que proporciona el mayor rendimiento posible (Banton y Boyle, 2020).

La eficiencia operativa mide qué tan bien se obtienen las ganancias en función de los costos operativos. Cuanto mayor es la eficiencia operativa, más rentable es una empresa o inversión. Esto se debe a que la entidad puede generar mayores ingresos o rendimientos

por el mismo o menor costo que una alternativa. En los mercados financieros, la eficiencia operativa se produce cuando se reducen los costos de transacción y las tarifas (Banton y Boyle, 2020).

2.2.2.3. Concepto de equipos

Desde la perspectiva de la Ingeniería Industrial, los equipos son bienes de capital que sirven a las instalaciones, máquinas, dispositivos y componentes que conforman el activo fijo de una empresa y que se relacionan con los factores de producción de bienes y servicios (De Lima et al., 2020). De acuerdo con estos autores, los equipos son activos de una organización que se utilizan directamente, en una operación de fabricación, operación de prueba u operación de investigación y desarrollo, si cumplen con alguno de los siguientes criterios:

- Actúa sobre un artículo de propiedad personal tangible o interactúa con él. También se incluye maquinaria y equipo que se utiliza para reparar, mantener o instalar propiedad mueble tangible.
- Transporta, manipula o almacena temporalmente un artículo de propiedad personal tangible en el sitio de fabricación o el sitio de prueba.
- Controla, guía, mide, verifica, alinea, regula o prueba la propiedad personal tangible en el sitio o fuera del sitio.
- Brinda apoyo físico o acceso a la propiedad. Ejemplos de esto son las pasarelas adyacentes a los equipos de producción, los andamios y las escaleras cerca de los controles. La maquinaria y el equipo utilizados para acceder al edificio o para proporcionar un espacio de trabajo para las personas o un espacio para la propiedad o maquinaria y equipo, como escaleras o puertas, no son elegibles.

- Produce energía o lubrica maquinaria y equipo. Un generador que proporciona energía a otro activo de producción es un ejemplo de maquinaria y equipo que produce energía para maquinaria y equipo.
- Produce otro artículo de propiedad mueble tangible para su uso en la operación de fabricación, operación de prueba o operación de investigación y desarrollo, como equipos que fabrican matrices, plantillas o moldes.

Mantener la infraestructura técnica de la empresa en el nivel adecuado de productividad y eficiencia que requiere, sobre todo, el uso de métodos y herramientas adecuados de gestión y adecuada organización del servicio responsable de su implementación. El uso de varios indicadores es la parte inseparable de evaluar la eficacia de estas actividades y operación de máquinas en empresa. La selección de indicadores apropiados para evaluar las acciones clave que se llevan a cabo como parte del proceso de mantenimiento de máquinas, que muestran la eficiencia de las actividades realizadas en relación con los objetivos de la organización, son la base de la evaluación.

2.2.2.4. Eficiencia global de equipos (OEE)

Se han desarrollado varias técnicas de gestión a lo largo de los años para gestionar la fabricación. La pérdida de tiempo, energía, dinero y personal con exceso de trabajo son problemas comunes que enfrenta cualquier empresa de fabricación. La eficacia general del equipo es una técnica novedosa para medir la eficacia de una máquina y realmente reduce los problemas complejos de producción en una presentación de información simple e intuitiva. Ayuda a analizar sistemáticamente el proceso y a identificar las áreas de problemas potenciales que afectan la utilización de las máquinas (Singh et al., 2013).

Este indicador es el estándar principal para medir la productividad de fabricación. En pocas palabras: identifica el porcentaje de tiempo de fabricación que es realmente

productivo. Una puntuación OEE del 100% significa que está fabricando solo piezas buenas, lo más rápido posible, sin tiempo de paradas (Tsarouhas, 2019). En el lenguaje de OEE, eso significa 100% de calidad (solo piezas buenas), 100% de rendimiento (lo más rápido posible) y 100% de disponibilidad (sin tiempo de parada).

El indicador OEE describe tres áreas básicas del actividad de producción: disponibilidad de máquinas, rendimiento y calidad de los productos. El cálculo de OEE permite definir las acciones de mejora en el ámbito de la producción procesos, permite cambiar sus efectos luego de su implementación y eliminar problemas existentes. Ayuda a identificar los cuellos de botella y los principales problemas de la empresa. en consecuencia, la fórmula de la OEE es la siguiente:

$$OEE = \% \text{ disponibilidad} \times \% \text{ rendimiento} \times \% \text{ calidad}$$

Ecuación 4. Eficiencia global de equipos (OEE)

La esencia del método OEE es comparar el uso real de la máquina con el uso ideal, que ocurre cuando la producción y su preparación se llevan a cabo de acuerdo con el plan. El método OEE se está volviendo hacia el proceso. Significa que tenga en cuenta no solo la disponibilidad de tiempo máquinas, sino también el rendimiento (rendimiento real / nominal rendimiento) y el factor de calidad (producción con buena calidad / producción total). Los objetivos de clase mundial generalmente aceptados para cada ingrediente varían de una industria a otra.

2.2.2.4. Dimensiones de la Eficiencia global de equipos (OEE)

De esta forma, Nallusamy y Majumdar (2017), explicaron que la OEE se obtiene de la multiplicación de estos tres índices en periodos determinados:

- a) Disponibilidad: La disponibilidad tiene en cuenta las paradas planificadas y no planificadas. Una puntuación de disponibilidad del 100% significa que el proceso siempre se está ejecutando durante el tiempo de producción planificado. La disponibilidad tiene en cuenta la pérdida de disponibilidad, que incluye cualquier evento que detenga la producción planificada durante un período de tiempo apreciable (generalmente varios minutos; el tiempo suficiente para que un operador registre un motivo). Ejemplos de cosas que crean pérdida de disponibilidad incluyen paradas no planificadas (como fallas de equipos y escasez de material) y paradas planificadas (como tiempo de cambio). El tiempo de cambio se incluye en el análisis OEE, ya que es un tiempo que de otro modo podría utilizarse para la fabricación. Si bien puede que no sea posible eliminar el tiempo de cambio, en la mayoría de los casos se puede reducir significativamente. Su fórmula es la siguiente:

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Tiempo de ejecución}}{\text{Tiempo de producción planificado}}$$

Ecuación 5. Disponibilidad

- b) Rendimiento: tiene en cuenta los ciclos lentos y las paradas pequeñas. Una puntuación de rendimiento del 100% significa que cuando el proceso se está ejecutando, se está ejecutando lo más rápido posible. El rendimiento tiene en cuenta la pérdida de rendimiento, que representa cualquier cosa que haga que el proceso de fabricación se ejecute a menos de la velocidad máxima posible cuando está en ejecución (incluidos los ciclos lentos y las paradas pequeñas). Ejemplos de cosas que crean pérdida de rendimiento incluyen desgaste de la máquina, materiales deficientes y atascos. El

tiempo restante después de restar la pérdida de rendimiento se denomina tiempo de ejecución neto. Su fórmula es la siguiente:

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{unidades producidas}}{\text{unidades planificadas}}$$

Ecuación 6. Rendimiento

- c) Calidad: La calidad tiene en cuenta los defectos, incluidas las piezas que necesitan repararse. Una puntuación de calidad del 100% significa que no hay defectos; es decir, solo se están produciendo piezas buenas. La calidad tiene en cuenta la pérdida de calidad, que representa las piezas fabricadas que no cumplen con los estándares de calidad. Los ejemplos de cosas que crean pérdida de calidad incluyen desechos y piezas que necesitan reparaciones. La calidad OEE define las piezas buenas como piezas que pasan con éxito por el proceso de fabricación la primera vez sin necesidad de volver a trabajar. El tiempo restante después de restar la pérdida de calidad se denomina tiempo de productividad total. Su fórmula es la siguiente:

$$\text{Calidad} = \frac{\text{unidades aceptadas}}{\text{Total unidades elaboradas}}$$

Ecuación 7. Calidad

La medición de OEE es una de las mejores prácticas de fabricación. Al medir la OEE y las pérdidas subyacentes, se obtiene información importante sobre cómo mejorar sistemáticamente su proceso de fabricación. OEE es la mejor métrica para identificar pérdidas, evaluar el progreso y mejorar la productividad de los equipos de fabricación; es

decir, eliminar el desperdicio (Tsarouhas, 2019). En La Figura 6 se hace una representación visual de la estructura de la eficiencia global de equipos (OEE):



Figura 6. Estructura de la eficiencia global de equipos.

2.2.2.5. Equipos de perforación

Los equipos de perforación son activos industriales empleados en los procesos de ranurado y/o enroscado de tuberías. Los equipos de perforación para ranurado con oxidcombustible o con llama ofrece a los fabricantes un método rápido y eficiente para eliminar metal. Puede ser al menos cuatro veces más rápido que las operaciones de astillado en frío. El proceso es particularmente atractivo debido a su bajo nivel de ruido, facilidad de manejo y capacidad para usarse en todas las posiciones (The Welding Institute, 2020).

El ranurado por llama es una variante de la soldadura convencional con gas oxidcombustible. Se utilizan oxígeno y un gas combustible para producir una llama de alta temperatura para fundir el acero. Al ranurar, el acero se calienta localmente a una temperatura superior a la temperatura de 'ignición' (normalmente 900 ° C) y se utiliza un chorro de oxígeno para fundir el metal, una reacción química entre el oxígeno puro y el

metal caliente. Este chorro también se utiliza para soplar metal fundido y escoria. Cabe señalar que, en comparación con el corte con oxicombustible, la escoria no atraviesa el material, sino que permanece en la superficie superior de la pieza de trabajo (The Welding Institute, 2020).

La boquilla de ranurado está diseñada para suministrar un volumen relativamente grande de oxígeno a través del chorro de ranurado. Esto puede ser de hasta 300 litros / min a través de una boquilla de orificio de 6 mm. En el ranurado con oxiacetileno, se utilizan cantidades iguales de oxígeno y acetileno para establecer una llama de precalentamiento casi neutra (The Welding Institute, 2020).

Por su parte, los equipos de roscado de tuberías son activos destinados a producir crestas en espiral en el extremo de una tubería que permite estas se puedan unir. Para accesorios macho, la rosca de la tubería aparece en el diámetro exterior del tubo; si es hembra, la rosca de la tubería aparece en el diámetro interior. Al girar un extremo de la tubería macho en una rosca de tubería hembra, los dos accesorios se unen. Ya que La rosca de tubería macho y hembra debe alinearse correctamente para formar una conexión, los fabricantes siguen los estándares de la industria de roscas para tubos (Smith, 2014).

Al principio, los equipos de perforación roscadores de tubos eran máquinas de gran escala de fabricación y tendía a centrarse en la producción en masa de acero roscado para tubería. Junto con el mecanizado del diseño de rosca especificado, las máquinas también cortan la tubería en secciones viables, así como verifican la tubería para asegurar no hubo defectos en la tubería propiamente dicha. Con el tiempo, el proceso de tubería se perfeccionó el roscado y el corte, lo que permitió producir bienes terminados para la venta en un período de tiempo muy corto. Los usos de las máquinas permiten que el proceso de roscado produzca roscas de tubería uniformes que sean uniformes (Smith, 2014).

En la actualidad, junto con una mayor eficiencia y menores costos de mantenimiento, hay tuberías de máquinas de ranurado y roscado diseñadas para trabajar con materiales distintos al metal. Ahora se pueden ejecutar tuberías fabricadas con varios tipos de materiales plásticos o de resina, a través de máquinas roscadoras de tubos sin temor a sobrecalentamiento y, por lo tanto, sin dañar el producto terminado. Hay muchos fabricantes que utilizan estas máquinas para preparar tuberías de plástico de bajo costo utilizando configuraciones universalmente reconocidas (Smith, 2014).

2.2.3 Teorías relacionadas con las variables de estudio

2.2.3.1. Gestión de maquinarias y equipos industriales

Se definen como tales el adecuado manejo de los activos utilizados por un fabricante en un establecimiento de fabricación. La maquinaria es cualquier dispositivo mecánico, eléctrico o electrónico diseñado y utilizado para realizar alguna función y producir un determinado efecto o resultado (Stecula y Brodny, 2016). La palabra incluye no solo la unidad básica de la maquinaria, sino también cualquier complemento o accesorio necesario para que la unidad básica cumpla su función prevista.

La terminología también incluye todos los dispositivos usados o requeridos para controlar, regular u operar una pieza de maquinaria, siempre que dichos dispositivos estén conectados directamente con la maquinaria o sean parte integral de ella y se utilicen principalmente para el control, regulación u operación de maquinaria (Shuaib, 2010).

Plantillas, matrices, herramientas, y otros dispositivos necesarios para el funcionamiento o utilizados junto con el funcionamiento de lo que normalmente se consideraría maquinaria también se consideran maquinaria (Bergamo y Romano, 2016).

Otra definición las concibe como propiedad mueble tangible u otra propiedad con una vida depreciable de tres años o más que se usa como parte integral en la fabricación, procesamiento, composición o producción de propiedad mueble tangible para la venta o se usa exclusivamente en actividades de puerto espacial. La maquinaria no incluye edificios diseñados específicamente para albergar o soportar maquinaria. El equipo es cualquier propiedad personal tangible que se utilice en una operación o actividad (Bergamo y Romano, 2016). En la Figura 7 se muestra un resumen de los factores relevantes para la gestión de maquinarias y equipos:



Figura 7. Factores relevantes para la gestión de maquinarias y equipos

La gestión de equipos incluye la administración, supervisión y mantenimiento tanto de activos móviles como de equipos fijos de planta. La gestión eficaz de los equipos puede marcar una gran diferencia en la utilización de los equipos, lo que permite a las empresas desplegar sus vehículos y equipos donde y cuando se necesiten, y reasignar activos

rápidamente donde sea necesario. Permite a las empresas saber dónde están sus activos y si se están utilizando o no. En este sentido, Haidar (2016) explica que hay una estrecha relación entre gestión de equipos y mantenimiento, pues los equipos que reciben un mantenimiento inadecuado tienen muchas más probabilidades de ser susceptibles a averías y fallas. Esto significa tiempo de inactividad inesperado, que puede contribuir a retrasos en los proyectos y sobrecostos.

2.3 Definición de Términos Básicos

Metodología centrada en la confiabilidad (RCM): (Fraser et al., 2019). Sus dimensiones son: confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad.

Confiabilidad: Es la probabilidad de que un producto, equipo, proceso o sistema realice su función prevista durante un período de tiempo determinado en determinadas condiciones específicas (Haidar, 2016).

Mantenibilidad: Es el conjunto de características cualitativas y cuantitativas combinadas de diseño, instalación y mantenimiento de equipos que permitan la realización de operaciones objetivas con gastos mínimos en condiciones ambientales operativas (Haidar, 2016).

Disponibilidad: Es la probabilidad de que un sistema o equipo cuando se usa bajo condiciones, sin tener en cuenta ningún programa o mantenimiento preventivo en un entorno de apoyo ideal, funcionará satisfactoriamente en cualquier momento dado (Haidar, 2016).

Eficiencia global de equipos OEE: Es una métrica que identifica el porcentaje del tiempo de producción planificado que es verdaderamente productivo. Una puntuación OEE del 100% representa una producción perfecta: fabricar solo piezas buenas, lo más rápido

posible, sin tiempo de inactividad (Singh et al., 2013). Sus dimensiones son: disponibilidad de máquinas, rendimiento y calidad de los productos.

Disponibilidad de máquinas: Es la medición todos los eventos que detienen la producción planificada durante un período de tiempo apreciable. La pérdida de disponibilidad incluye paradas no planificadas, como fallas de equipos y escasez de material, y paradas planificadas, como tiempo de cambio (Gupta y Vardhan, 2019).

Rendimiento: Es la medición de los factores que hacen que el activo de producción funcione a una velocidad inferior a la máxima posible cuando está en funcionamiento, incluidos los ciclos lentos y las paradas pequeñas (Gupta y Vardhan, 2019).

Calidad de los productos: Es la medición que excluye las piezas fabricadas que no cumplen con los estándares de calidad, incluidas las piezas que luego se vuelven a trabajar. Se calcula como la relación entre el tiempo de productividad total y el tiempo de ejecución neto (Gupta y Vardhan, 2019).

CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA

3.1. Descripción inicial de incorporación en la empresa

Experiencia desarrollada en la empresa

La experiencia en la empresa se realizó en cargo de Supervisor de Mantenimiento, en el cual se realizaron actividades inherentes a la responsabilidad asumida, tales como: inspección de equipos, máquinas y unidades de transporte con regularidad, para identificar problemas y el mantenimiento necesario; preparar programas de mantenimiento semanales y asigne el trabajo según las cargas de trabajo previstas; emplear, supervisar y capacitar trabajadores, coordinar las actividades diarias de limpieza y mantenimiento; supervisión de todas las reparaciones y aseguramiento de que el trabajo se complete a tiempo; mantenimiento del inventario de maquinarias y equipos y aseguramiento de su adecuado almacenamiento, cumplimiento de las normas y prácticas de salud y seguridad laboral; realización de trabajos de mantenimiento preventivo de acuerdo a la planificación acordada y trabajos de mantenimiento y reparación no planificados.

Durante la experiencia en la organización, se tuvo la oportunidad de llevar a cabo un conjunto de mejoras e innovaciones, con la intención de aplicar las herramientas de la Ingeniería Industrial adquiridas en experiencias laborales previas y a lo largo de la formación profesional universitaria. Como resultado de esta actividad, se logró inicialmente realizar un diagnóstico que resultó en la implementación de un plan de mejoras en la gestión de mantenimiento bajo la metodología RCM como una solución que facilitara la integración de los operadores a los procesos de mantenimiento, el incremento de sus habilidades, control y seguimiento de las actividades e incidirá favorablemente sobre los resultados financieros de la empresa.

Área donde se realizó la experiencia profesional

El área donde se realizó la experiencia profesional fue el área de mantenimiento, desde marzo de 2018, en la cual se dirigió a un equipo de trabajadores y unos recursos asignados con el propósito de asegurar el cuidado y disponibilidad de los equipos e instalaciones de la empresa bajo los mejores niveles de eficiencia. Uno de los aspectos más relevantes es la comunicación efectiva entre las otras áreas de la empresa para el logro de las metas, el trabajo bajo una planificación y la implementación de mejoras para garantizar que los equipos estén listos en todo momento.

De esta forma, se proporciona la coordinación general de las funciones de mantenimiento y materiales para cumplir con los requisitos de capacidad de la planta. También se proporciona una descripción general del presupuesto y el control de costos, para mejoras continuas, modificaciones, resolución de problemas y acciones correctivas. las labores del personal fueron agrupadas durante la experiencia profesional en tres clases:

Mantenimiento básico: Estos trabajadores realizan el mantenimiento básico de la planta. Están compuestos por electricistas, mecánicos y técnicos calificados. Los equipos se asignan en función de un requisito funcional en toda la planta.

Planificación del trabajo: Este equipo trabaja en estrecha colaboración con los equipos técnicos y el equipo de facilitadores para planificar y programar el mantenimiento, la revisión y el trabajo del resto del personal.

Apoyo de materiales: Este equipo trabaja con el equipo de planificación y los técnicos para cumplir con los requisitos de trabajo planificados y los requisitos de materiales de emergencia.

Equipo profesional involucrado en la experiencia profesional

A continuación se detalla la conformación del equipo encargado de la implementación del plan RCM y sus respectivas funciones en dicho proceso.

Tabla 2.

Miembros del Equipo para la implementación del RCM

Integrantes	Función
1. Líder de la implementación del RCM (Investigador)	Capacitaciones sobre el RCM/Elaboración de los AMEF de los equipos críticos.
2. Jefe de Mantenimiento	Verificar la ejecución del RCM/Levantamiento de información sobre el AMEF
3. Operador mecánico - eléctrico	Encargado de ejecutar la correcta aplicación del plan de mantenimiento preventivo de acuerdo con sus respectivas asignaciones/Levantamiento de información sobre el AMEF
4. Operadores de equipos	Encargado de ejecutar la correcta aplicación del plan de mantenimiento preventivo de acuerdo con sus respectivas asignaciones/Levantamiento de información sobre el AMEF

Nota: se detalla la función de cada integrante en la elaboración del RCM

3.2. Planificación de la experiencia a realizar

Se desarrolló un modelo de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) adaptado a las características de los equipos y sus necesidades de mantenimiento. Las fases implementadas se muestran a continuación, mientras que en la Figura 8 se muestra el cronograma de trabajo:

Planeación

- Identificación de los indicadores de desempeño previos a la implementación del plan RCM.
- Presentación del modelo RCM a implementar en la empresa.

Implementación

- Identificación de los equipos a intervenir en el plan RCM.
- Identificación de las funciones de los sistemas y los sub-sistemas de los equipos a intervenir en el plan RCM.
- Determinación de los fallos funcionales de los sistemas de los equipos críticos en el proceso de perforación en M&C Soluciones SAC.
- Identificación de los modos de fallo o causas de cada uno de los fallos encontrados en la fase anterior.
- Elaboración de la matriz de análisis del modo y efecto de fallas (AMEF)
- Plan de medidas preventivas
- Plan de mantenimiento preventivo
- Puesta en marcha de las medidas preventivas

Evaluación

- Recopilación de datos para evaluar variaciones en el desempeño de la gestión de mantenimiento.
- Verificación del cumplimiento de los objetivos.

ACTIVIDADES	MAYO 2020				JUNIO 2020				JULIO 2020			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
PLANEACIÓN												
Identificación de los indicadores de desempeño previos a la implementación del plan RCM.	X											
Presentación del modelo RCM a implementar en la empresa.	X											
IMPLEMENTACIÓN												
Identificación de los equipos a intervenir en el plan RCM		X	X									
Identificación de las funciones de los sistemas y los sub-sistemas de los equipos a intervenir en el plan RCM			X	X								
Determinación de los fallos funcionales de los sistemas de los equipos críticos en el proceso de perforación en M&C Soluciones SAC			X	X								
Identificación de los modos de fallo o causas de cada uno de los fallos encontrados en la fase anterior				X	X							
Elaboración de la matriz de análisis del modo y efecto de fallas (AMEF)					X	X						
Plan de medidas preventivas						X						
Plan de mantenimiento preventivo						X	X	X	X			
Puesta en marcha de las medidas preventivas								X	X	X		
EVALUACIÓN												
recopilación de datos para evaluar variaciones en el desempeño de la gestión de mantenimiento						X	X	X	X	X	X	X
Verificación del cumplimiento de los objetivos											X	X

Figura 8. Diagrama de Gantt de la implementación de mejoras en el mantenimiento centrado en la confiabilidad.

3.3. Proceso de implementación del proyecto de investigación

3.3.1 Identificación de los equipos a intervenir en el plan RCM

En esta fase se realiza la codificación y el listado de todos los sistemas y subsistemas, que componen los equipos críticos de la empresa M&C Soluciones SAC. Dicho código está conformado por 9 dígitos. Los 4 primeros corresponden a las iniciales del nombre de la empresa, los 3 siguientes las iniciales del nombre del equipo y los 2 últimos corresponden al número interno asignado por la empresa.

Tabla 3.

Codificación de los equipos críticos de la empresa M&C Soluciones SAC

Equipos	Codificación
Máquina 1 – Roscadora de tubos Modelo 535 A	M&CS-RTR-01
Máquina 2 – Ranuradora de Rodillos Modelo 918	M&CS -RRR-01

Nota: se detalla los códigos de cada equipo de planta

Tabla 4.

Sistemas y subsistemas de la Máquina 1: Roscadora de tubos Modelo 535 A

EQUIPO	SISTEMA	SUBSISTEMA
Máquina 1: Roscadora de tubos Modelo 535 A	Mecánico	Caja de Engranajes
		Elementos de roscado
	Eléctrico	Motor
		Control eléctrico
	Lubricación	Bomba de Lubricación

Nota: se detalla el equipo con sus sistemas y subsistemas

Tabla 5.

Sistemas y subsistemas de la Máquina 2: Ranuradora de rodillos Modelo 918

EQUIPO	SISTEMA	SUBSISTEMA
Máquina 2: Ranuradora de rodillos Modelo 918	Mecánico	Caja de engranajes
		Elementos de ranurado
	Eléctrico	Motor
		Control eléctrico
	Hidráulico	Bomba de manivela
		Cilindro hidráulico

Nota: se detalla el equipo con sus sistemas y subsistemas

Luego se procede a elaborar las fichas técnicas de los equipos críticos de la empresa M&C SOLUCIONES SAC.

Tabla 6.

Ficha técnica de la máquina 1: Roscadora de tubos Modelo 535 A

M&C SOLUCIONES SAC	
FICHA TÉCNICA DE EQUIPO	
(M&CS-RTR-01)	
Roscadora de tubos Ridgid Modelo 535 A	
Capacidad de roscado	Tubos, tamaño nominal de 3 a 50 mm
Capacidad de roscado Pernos,	Pernos de 6 a 50 mm
Potencia del motor	1,7 kW
Tipo de motor	Trifásico
Voltaje	230 V
Frecuencia	50/50 Hz
Controles	Conmutador rotatorio
Sistema de lubricación	Bomba eléctrica de 6,6 litros
Peso Neto	118 Kg
Dimensiones	(940 x 535x 535 mm)
Presión de sonido (LPA)	85 Db (A)

Tabla 7.

Ficha técnica de la Máquina 2: Ranuradora de rodillos Modelo918

M&C SOLUCIONES SAC

FICHA TECNICA DE EQUIPO

(M&CS-RRR-01)

Ranuradora de rodillos Ridgid Modelo 918

Capacidad de roscado	Tubos, tamaño nominal de 50 a 304.8 mm
Potencia del motor	1,7 kW
Tipo de motor	Trifásico
Voltaje	230 V
Frecuencia	50/50 Hz
Controles	Conmutador de pedal
Sistema de lubricación	Bomba Manual
Peso Neto	36,7 Kg
Dimensiones	(940 x 579x 586 mm)
Presión de sonido (LPA)	90 Db (A)

Luego se elabora la lista de partes de los equipos críticos de la empresa M&C SOLUCIONES SAC.

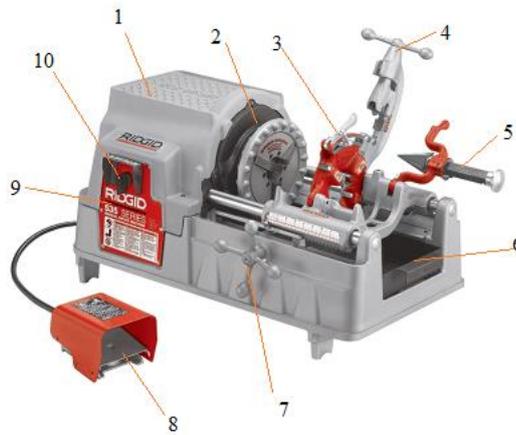
Tabla 8.

Lista de partes de la Máquina 1: Roscadora de tubos Modelo 535A

M&C SOLUCIONES SAC

FICHA TÉCNICA DE EQUIPO

(M&CS-RTR-01)



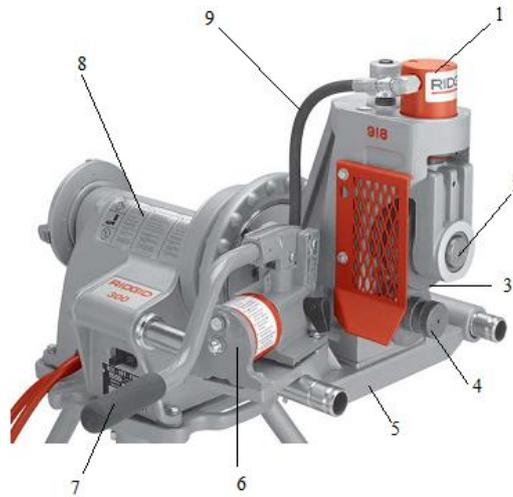
Elemento	Descripción
1	Motor eléctrico
2	Cabezal de centrado de tubos
3	Cabezal de Cojinetes
4	Cortador N° 820
5	Escariador N° 341
6	Bandeja de virutas
7	Volante del carro
8	Pedal de accionamiento
9	Cambio de engranajes
10	Conmutador de retrocesos/apagado/avance

Nota: El despiece detallado del equipo se encuentra en el anexo 2.

Tabla 9.

Lista de partes de la Máquina 2: Ranuradora de rodillos Ridgid Modelo 918

M&C SOLUCIONES SAC
FICHA TÉCNICA DE EQUIPO
(M&CS-RRR-01)



Elemento	Descripción
1	Cilindro hidráulico
2	Eje de ranurado
3	Ranurador
4	Eje Guía
5	Montura
6	Bomba hidráulica
7	Manivela de la bomba hidráulica
8	Motor eléctrico
9	Manguera hidráulica

Nota: El despiece detallado del equipo se encuentra en el anexo 3.

3.3.2 Identificación de las funciones de los sistemas y los sub-sistemas de los equipos a intervenir en el plan RCM

Tabla 10.

Listado de funciones de los sistemas y los sub-sistemas de la Máquina 1: roscadora de tubos Modelo 535A

EQUIPO	SISTEMA	SUBSISTEMA
Máquina 1: Roscadora de tubos Modelo 535 A: Permite realizar roscas en tuberías de distintos materiales	Mecánico: Elementos de la roscadora que permiten la transmisión de movimiento del motor al tubo a roscar y realizar el proceso de roscado	Caja de Engranajes: transmite el movimiento del motor para que el tubo a roscar se desplace en el equipo Elementos de roscado: elementos del equipo que permiten realizar el proceso de roscado.
	Eléctrico: Elementos de la roscadora que producen el movimiento y control del motor para realizar el proceso de roscado	Motor: Produce la potencia requerida para mover el tubo a roscar Control eléctrico: Controla el encendido y movimiento del motor del equipo
	Lubricación: Elementos de la roscadora que permiten lubricar el tubo durante el proceso de roscado	Bomba de lubricación: Bomba hidráulica con motor eléctrico que se encarga de mover el fluido hidráulico para lubricar el tubo

Nota: se detalla las funciones de los sistemas de la Máquina 1: roscadora de tubos Modelo 535A y sus sub-sistemas

Tabla 11.

Listado de funciones de los sistemas y los sub-sistemas de la Máquina 2: Ranuradora de rodillos Modelo 918

EQUIPO	SISTEMA	SUBSISTEMA
<p>Maquina 2: Ranuradora de rodillos Modelo 918: Equipo que permite realizar ranurado a tubería de distintos materiales y espesores.</p>	<p>Mecánico Elementos de la ranuradora que permiten la transmisión de movimiento del motor al tubo a ranurar y realizar el proceso de roscado</p>	<p>Caja de engranajes: transmite el movimiento del motor para que el tubo a ranurar gire y se desplace en el equipo</p>
		<p>Elementos de ranurado: Todos aquellos elementos mecánicos de la máquina que permiten realizar el ranurado (ejes, rodillos ranuradores, centradores)</p>
		<p>Motor: Produce la potencia requerida para mover el tubo a roscar</p>
	<p>Eléctrico: Elementos de la ranuradora que generan y controlan la potencia requerida para el ranurado de tubos.</p>	<p>Control eléctrico: Controla el encendido y movimiento del motor del equipo</p>
		<p>Bomba de manivela: Permite mover el caudal de aceite requerido para realizar el ranurado al tubo.</p>
	<p>Hidráulico: Elementos de la ranuradora que mediante el uso de aceite hidráulico permiten realizar el ranurado</p>	<p>Cilindro hidráulico: Permite realizar el ranurado al tubo mediante presión hidráulica.</p>

Nota: se detalla las funciones de los sistemas de la Máquina 2: Ranuradora de rodillos Modelo 918 y sus sub-sistemas

3.3.3 Determinación de los fallos funcionales de los sistemas de los equipos críticos en el proceso de perforación en M&C Soluciones SAC

En la tabla 12 se muestra las listas de fallas de los sistemas en los equipos intervenidos (*Máquina 1: Roscadora de tubo Modelo 535A*)

Tabla 12.

Listado de fallas de los sistemas de la Máquina 1: Roscadora de tubo Modelo 535A - año 2020

Fecha	Sistema	Descripción de la falla o parada de equipo
15/01/2020	Lubricación	No fluye el aceite de corte
08/02/2020	Eléctrico	El motor anda pero la máquina no funciona
19/02/2020	Mecánico	Fallas en las roscas
12/03/2020	Mecánico	Fallas en las roscas
11/06/2020	Lubricación	El tubo se resbala en la mordaza
18/07/2020	Eléctrico	El motor anda pero la máquina no funciona
23/08/2020	Eléctrico	Cable de limpieza Roto
15/09/2020	Lubricación	No fluye el aceite de corte
10/10/2020	Eléctrico	Fallas eléctricas por cableado
03/11/2020	Mecánico	Ruidos en la caja de engranaje
14/12/2020	Mecánico	Roscas delgadas

En la tabla 13 se muestra las lista de fallas de los sistemas en los equipos intervenidos (*Máquina 1: Ranuradora de rodillos Modelo 918 - año 2020*)

Tabla 13.

*Listado de fallas de los sistemas de la Máquina 2: Ranuradora de rodillos Modelo 918 -
año 2020*

Fecha	Sistema	Descripción de la falla o parada de equipo
15/01/2020	Mecánico	El tubo se levanta o tiende a inclinar la ranuradora hacia atrás
08/02/2020	Lubricación	La bomba no suministra aceite, el cilindro no avanza.
12/03/2020	Mecánico	La manivela de la bomba funciona con fallas
18/07/2020	Mecánico	El tubo se resbala o patina en el rodillo de accionamiento
15/09/2020	Lubricación	La bomba no suministra aceite, el cilindro no avanza
10/10/2020	Mecánico	El cilindro se extiende sólo parcialmente
14/12/2020	Mecánico	La ranura no cumple con las especificaciones

3.3.4 Identificación de los modos de fallo o causas de cada uno de los fallos encontrados en la fase anterior

Tabla 14.

Listado de causas de fallas de los sistemas de la Máquina 1: Roscadora de tubo Modelo 535A - año 2020

Sistema	Descripción de la falla	Causa de la falla
Lubricación	No fluye el aceite de corte	Filtro de malla obstruido
Mecánico	El motor anda pero la máquina no funciona	Correa en V rota
Mecánico	Roscas rotas	Cabezal de Cojinetes mal alineado
Mecánico	El tubo se resbala en la mordaza	Piezas de la mordaza desgastadas

Eléctrico	La máquina no enciende	Escobillas del motor desgastadas
Mecánico	Ruidos en la caja de engranaje	Falta de lubricación de la caja de engranajes
Mecánico	Roscas delgadas	Cojinetes en orden equivocado.

Tabla 15.

*Listado de causas de fallas de los sistemas de la Máquina 2: ranuradora de rodillos
Modelo 918- año 2020*

Sistema	Descripción de la falla	Causa de la falla
Mecánico	El tubo se levanta o tiende a inclinar la ranuradora hacia atrás	Tubo no nivelado en el cabezal
Hidráulico	La bomba no suministra aceite, el cilindro no avanza.	Bajo nivel de aceite en el depósito
Hidráulico	La manivela de la bomba funciona con fallas	Aire atrapado en el sistema
Mecánico	El tubo se resbala o patina en el rodillo de accionamiento	Rodillo de ranurado avanza muy lentamente
Hidráulico	El cilindro se extiende sólo parcialmente	Bajo nivel de aceite en el depósito
Hidráulico	La bomba no suministra aceite, el cilindro no avanza	Cuerpo de la bomba sucio
Mecánico	La ranura no cumple con las especificaciones	Los rodillos de ranurado y de accionamiento no corresponden.

3.3.5 Elaboración de la matriz de análisis del modo y efecto de fallas (AMEF)

La siguiente actividad consistió en la organización de la información respecto a los efectos de fallas de cada uno de los equipos intervenidos (Ver Tablas 16 y 17):

Tabla 16.

Listado de efectos de fallas de los sistemas de la Máquina 1: Roscadora de tubo Modelo 535A

Sistema	Modo de falla	Efecto de la falla
Lubricación	No fluye el aceite de corte	Falla en la rosca del tubo. Parada del equipo.
Mecánico	El motor anda pero la máquina no funciona	Imposibilidad de hacer la rosca. Parada del equipo.
Mecánico	Roscas rotas	Falla en la rosca del tubo. Parada del equipo.
Mecánico	El tubo se resbala en la mordaza	Imposibilidad de hacer la rosca. Parada del equipo
Eléctrico	La máquina no enciende	Imposibilidad de hacer la rosca. Parada del equipo
Mecánico	Ruidos en la caja de engranaje	Parada del equipo
Mecánico	Roscas delgadas	Falla en la rosca del tubo. Parada del equipo

Tabla 17.

Listado de efecto de falla de los sistemas de la Máquina 2: Ranuradora de rodillos Modelo 918- año 2020

Sistema	Modo de falla	Efecto de la falla
Mecánico	El tubo se levanta o tiende a inclinar la ranuradora hacia atrás	Imposibilidad de hacer el ranurado.
Hidráulico	La bomba no suministra aceite, el cilindro no avanza.	Imposibilidad de hacer el ranurado
Hidráulico	La manivela de la bomba funciona con fallas	Imposibilidad de hacer el ranurado. Parada del equipo
Mecánico	El tubo se resbala o patina en el rodillo de accionamiento	Mal ranurado. Parada del equipo
Hidráulico	El cilindro se extiende sólo parcialmente	Imposibilidad de hacer el ranurado. Parada del equipo.
Hidráulico	La bomba no suministra aceite, el cilindro no avanza	Imposibilidad de hacer el ranurado. Parada del equipo
Mecánico	La ranura no cumple con las especificaciones	Perdida de material (Tubería)

Nota: se detalla modos de falla de los sus sub-sistemas

Se procedió a evaluar el efecto, la causa de la falla y los controles actuales que utiliza la empresa, en base a la gravedad (S), Probabilidad de ocurrencia (O) y la Detectabilidad (D). Para esto el comité de RCM analiza cada falla y asigna un valor numérico representativo utilizando las tablas de gravedad, probabilidad y detección que se presentan a continuación:

Tabla 18.

Tabla para evaluar la gravedad de falla (S) para la realización del AMEF.

Gravedad	Criterio	Valor
Muy Alta	Modalidad de fallo potencial muy crítico que afecta el funcionamiento de seguridad del producto o proceso y/o involucra seriamente el incumplimiento de normas reglamentarias. Si tales incumplimientos son graves corresponde un 10	9-10
Alta	El fallo puede ser crítico y verse inutilizado el sistema. Produce un grado de insatisfacción elevado.	7-8
Moderada	El fallo produce cierto disgusto e insatisfacción en el proceso.	4-6
Baja	El tipo de fallo originaria un ligero inconveniente al cliente. Probablemente, éste observara un pequeño deterioro del rendimiento del sistema sin importancia. Es fácilmente subsanable	2-3
Muy Baja	No es razonable esperar que este fallo de pequeña importancia origine efecto real alguno sobre el rendimiento del sistema.	1

Tabla 19.

Tabla para evaluar la Probabilidad de falla (O) para la realización del AMEF.

Frecuencia	Criterio	Valor
Muy Alta	Fallo casi inevitable. Es seguro que el fallo se producirá frecuentemente	9-10
Alta	El fallo se ha presentado con cierta frecuencia en el pasado en procesos similares o previos procesos que han fallado.	6-8
Moderada	Defecto aparecido ocasionalmente en procesos similares o previos al actual. Probablemente aparecerá algunas veces en la vida del componente/sistema.	4-5
Baja	Fallos aislados en procesos similares o casi idénticos. Es razonablemente esperable en la vida del sistema, aunque es	2-3

poco probable que suceda.

Muy Baja	Ningún fallo se asocia a procesos casi idénticos, ni se ha dado nunca en el pasado, pero es concebible	1
----------	--	---

Tabla 20.

Tabla para evaluar la Detectabilidad de falla (D) para la realización del AMEF.

Detectabilidad	Criterio	Valor
Improbable	El defecto no puede detectarse. Casi seguro que lo percibirá el cliente final	9-10
Pequeña	El defecto es de tal naturaleza que resulta difícil detectarlo con los procedimientos establecidos hasta el momento.	7-8
Mediana	El defecto es detectable y posiblemente no llegue al cliente. Posiblemente se detecte en los últimos estadios de producción	4-6
Alta	El defecto, aunque es obvio y fácilmente detectable, podría en alguna ocasión escapar a un primer control, aunque sería detectado con toda seguridad a posteriori.	2-3
Muy Alta	El defecto es obvio. Resulta muy improbable que no sea detectado por los controles existentes	1

Tabla 21.

Evaluación de Gravedad (S), Frecuencia (O) y Detectabilidad (D) y controles actuales de las fallas en la Máquina 1: Roscadora de tubos Modelo 535A

Modos de fallo	Efecto	S	Causa	O	Controles	D
No fluye el aceite de corte	Imposibilidad de hacer el ranurado.	8	Filtro de malla obstruido	8	Inspección Correctivo	6
El motor anda pero la máquina no funciona	Imposibilidad de hacer el ranurado	7	Correa en V rota	5	Inspección Correctivo	5
Roscas rotas	Imposibilidad de hacer el ranurado. Parada del equipo	9	Cabezal de Cojinetes mal alineado	7	Inspección Correctivo	5
El tubo se resbala en la mordaza	Mal ranurado. Parada del equipo	7	Piezas de la mordaza desgastadas	5	Inspección Correctivo	4
La máquina no enciende	Imposibilidad de hacer el ranurado. Parada del equipo.	5	Escobillas del motor desgastadas	7	Inspección Correctivo	5
Ruidos en la caja de engranaje	Imposibilidad de hacer el ranurado. Parada del equipo	5	Falta de lubricación de la caja de engranajes	4	Inspección Correctivo	5
Roscas delgadas	Los rodillos de ranurado y de accionamiento no corresponden.	8	Cojinetes en orden equivocado.	4	Inspección Correctivo	5

Tabla 22.

Evaluación de Gravedad (S), Frecuencia (O) y Detectabilidad (D) y controles actuales de las fallas en la Máquina 2: Ranuradora de tubos

Modelo 918

Modos de fallo	Efecto	S	Causa	O	Controles	D
El tubo se levanta o tiende a inclinar la ranuradora hacia atrás	Imposibilidad de hacer el ranurado.	6	Tubo no nivelado en el cabezal	6	Inspección Correctivo	4
La bomba no suministra aceite, el cilindro no avanza.	Imposibilidad de hacer el ranurado	5	Bajo nivel de aceite en el deposito	5	Inspección Correctivo	4
La manivela de la bomba funciona con fallas	Imposibilidad de hacer el ranurado. Parada del equipo	6	Aire atrapado en el sistema	5	Inspección Correctivo	6
El tubo se resbala o patina en el rodillo de accionamiento	Mal ranurado. Parada del equipo	7	Rodillo de ranurado avanza muy lentamente	6	Inspección Correctivo	4
El cilindro se extiende sólo parcialmente	Imposibilidad de hacer el ranurado. Parada del equipo.	6	Bajo nivel de aceite en el deposito	6	Inspección Correctivo	5
La bomba no suministra aceite, el cilindro no avanza	Imposibilidad de hacer el ranurado. Parada del equipo	5	Cuerpo de la bomba sucio	5	Inspección Correctivo	6
La ranura no cumple con las especificaciones	Perdida de material (Tubería)	8	Los rodillos de ranurado y de accionamiento no corresponden.	6	Inspección Correctivo	6

Con los valores obtenidos en la tabla anterior se calcula el número de probabilidad de riesgo de la falla (NPR), el cual se obtiene de la siguiente ecuación:

$$NPR = S * O * D$$

Tabla 23.

Probabilidad de riesgo de las fallas en la Máquina 1: Roscadora de tubos Modelo 535 A

Modos de fallo	S	O	D	NPR
No fluye el aceite de corte	8	8	6	384
El motor anda pero la máquina no funciona	7	5	5	175
Roscas rotas	9	7	5	315
El tubo se resbala en la mordaza	7	5	4	140
La máquina no enciende	5	7	5	175
Ruidos en la caja de engranaje	5	4	5	100
Roscas delgadas	8	4	5	160

Tabla 24. *Probabilidad de riesgo de las fallas en la Máquina 2: Ranuradora de rodillos Modelo 918*

Modos de fallo	S	O	D	NPR
El tubo se levanta o tiende a inclinar la ranuradora hacia atrás	6	6	4	144
La bomba no suministra aceite, el cilindro no avanza.	5	5	4	100
La manivela de la bomba funciona con fallas	6	5	6	180
El tubo se resbala o patina en el rodillo de accionamiento	7	6	4	168
El cilindro se extiende sólo parcialmente	6	6	5	180
La bomba no suministra aceite, el cilindro no avanza	5	5	6	150
La ranura no cumple con las especificaciones	8	6	6	288

3.3.6 Plan de medidas preventivas

En esta fase se determinan las medidas preventivas que eviten o atenúen los efectos de los fallos a través de la hoja de decisión.

Una vez obtenidos los respectivos NPR, el comité RCM procede a analizar las acciones a tomar para la corrección de los modos de falla que presentan los equipos críticos de la empresa y los responsables de dichas acciones.

Tabla 25.

Acciones recomendadas para disminuir el riesgo de las fallas en la Máquina 1: Roscadora de tubos Modelo 535A

Modos de fallo	Acciones	Responsable (s)
No fluye el aceite de corte	Llene el depósito de aceite. Inspección semanal.	Operador mecánico
El motor anda pero la máquina no funciona	Cambie la correa V. Inspección mensual	Operador mecánico
Roscas rotas	Ajuste el cabezal de Cojinetes. Inspección diaria.	Operador mecánico Operador del equipo
El tubo se resbala en la mordaza	Sustituir las mordazas. Inspección mensual.	Operador mecánico
La máquina no enciende	Sustituya las escobillas del motor. Inspección semestral	Operador eléctrico
Ruidos en la caja de engranaje	Lubricar la caja de engranajes. Inspección mensual.	Operador mecánico
Roscas delgadas	Colocar los cojinetes en el orden recomendado. Inspección diaria.	Operador del equipo

Tabla 26. *Acciones recomendadas para disminuir el riesgo de las fallas en la Máquina 2: ranuradora de rodillos Modelo 918*

<i>Modos de fallo</i>	<i>Acciones</i>	<i>Responsable (s)</i>
El tubo se levanta o tiende a inclinar la ranuradora hacia atrás	Regule el porta tubos para nivelar el tubo. Inspección diaria.	Operador del equipo.
La bomba no suministra aceite, el cilindro no avanza.	Verifique y complete el nivel de aceite. Inspección semanal	Operador mecánico
La manivela de la bomba funciona con fallas	Purgar la bomba de aceite para sacar burbujas de aire. Inspección diaria	Operador del equipo
El tubo se resbala o patina en el rodillo de accionamiento	Alimente el rodillo ranurador a mayor velocidad dentro del tubo. Inspección diaria	Operador del equipo
El cilindro se extiende sólo parcialmente	Verifique y complete el nivel de aceite. Inspección semanal	Operador mecánico
La bomba no suministra aceite, el cilindro no avanza	Limpiar cuerpo de la bomba. Inspección trimestral	Operador mecánico
La ranura no cumple con las especificaciones	Verifique y cambie los rodillos. Inspección diaria.	Operador mecánico

3.3.7 Plan de mantenimiento preventivo

Agrupación de las medidas preventivas en sus diferentes categorías. Elaboración del Plan de Mantenimiento, lista de mejoras, procedimientos de operación y de mantenimiento. La frecuencia y las acciones del plan de mantenimiento preventivo de los equipos críticos de la empresa se elaboraron luego de haber completado y analizado la hoja de decisión del RCM que se diseñó en la fase 5 del RCM.

Tabla 27.

Plan de mantenimiento preventivo para disminuir el riesgo de las fallas en la Máquina 1:

Roscadora de tubos Modelo 535A

<i>Plan de mantenimiento preventivo</i>		
M&C SOLUCIONES S.A.C.	<i>Máquina 1: Roscadora de tubos Modelo 535A</i>	
FRECUENCIA	Acciones	Responsable (s)
DIARIA	Inspección visual. Inspección de Ruidos. Inspección de funcionamiento. Ajuste del cabezal de Cojinetes. Coloque las Cojinetes según el tubo a roscar. Limpieza del equipo Llenar el reporte de inspección diaria.	Operador del equipo
SEMANTAL	<ul style="list-style-type: none"> ● Inspección visual ● Inspección de ruidos ● Inspección de funcionamiento ● Verificación de nivel de aceite hidráulico. ● Llenar el reporte de inspección semanal. 	Operador mecánico
MENSUAL	<ul style="list-style-type: none"> ● Inspección de la correa en V ● Inspección de las mordazas de ajuste ● Lubricar la caja de engranajes ● Llenar el reporte de inspección mensual. 	Operador mecánico
SEMESTRAL	<ul style="list-style-type: none"> ● Inspección de las escobillas del motor eléctrico ● Llenar el reporte de inspección semestral. 	Operador eléctrico

Nota: Las acciones recomendadas serán realizadas de acuerdo con los procedimientos del manual de mantenimiento del fabricante del equipo.

Tabla 28.

Plan de mantenimiento preventivo para disminuir el riesgo de las fallas en la Máquina 2:

Ranuradora de rodillos Modelo 918

Plan de mantenimiento preventivo		
M&C SOLUCIONES S.A.C.		
Máquina 2:		
Ranuradora de rodillos modelo 918		
FRECUENCIA	Acciones	Responsable (s)
DIARIA	Inspección visual. Inspección de Ruidos. Inspección de funcionamiento. Verificación de los rodillos de ranurado. Purga de la bomba de aceite. Limpieza del equipo Llenar el reporte de inspección diaria.	Operador del equipo
SEMANAL	<ul style="list-style-type: none"> ● Inspección visual ● Inspección de ruidos ● Inspección de funcionamiento ● Verificación de nivel de aceite hidráulico. ● Llenar el reporte de inspección semanal 	Operador mecánico
TRIMESTRAL	<ul style="list-style-type: none"> ● Limpieza del cuerpo de la bomba hidráulica. ● Llenar el reporte de inspección trimestral. 	Operador mecánico

Nota: Las acciones recomendadas serán realizadas de acuerdo con el manual de mantenimiento del fabricante.

En el Anexo 4 se presentan los formatos implementados para el mantenimiento de los equipos.

3.3.8 Puesta en marcha de las medidas preventivas

Después de identificar todas las fases anteriormente descritas, se realizaron los trabajos de mantenimiento preventivo en los equipos críticos de la empresa y se realiza el respectivo ajuste de la probabilidad de riesgo luego de poner en marcha el plan de mantenimiento.

Tabla 29.

*Probabilidad de riesgo de las fallas luego de las acciones correctivas en la Máquina 1:
Roscadora de tubos Modelo 535A*

Modos de fallo	Acciones	S	O	D	NPR
No fluye el aceite de corte	Llene el depósito de aceite. Inspección semanal.	8	4	2	64
El motor anda pero la máquina no funciona	Cambie la correa V. Inspección mensual	7	3	2	42
Roscas rotas	Ajuste el cabezal de Cojinetes. Inspección diaria.	9	4	2	72
El tubo se resbala en la mordaza	Sustituya las mordazas. Inspección mensual.	7	5	2	70
La máquina no enciende	Sustituya las escobillas del motor. Inspección semestral	5	3	3	45
Ruidos en la caja de engranaje	Lubricar la caja de engranajes. Inspección mensual.	5	4	1	20
Roscas delgadas	Coloque las Cojinetes en el orden recomendado. Inspección diaria.	8	3	2	48

Tabla 30.

Probabilidad de riesgo de las fallas luego de las acciones correctivas en la Máquina 2:

Ranuradora de rodillos Modelo 918

Modos de fallo	Acciones	S	O	D	NPR
El tubo se levanta o tiende a inclinar la ranuradora hacia atrás	Regule el porta tubos para nivelar el tubo. Inspección diaria.	6	4	2	48
La bomba no suministra aceite, el cilindro no avanza.	Verifique y complete el nivel de aceite. Inspección semanal	5	4	2	40
La manivela de la bomba funciona con fallas	Purgar la bomba de aceite para sacar burbujas de aire. Inspección diaria	6	4	2	48
El tubo se resbala o patina en el rodillo de accionamiento	Alimente el rodillo ranurador a mayor velocidad dentro del tubo.	7	3	2	42
El cilindro se extiende sólo parcialmente	Verifique y complete el nivel de aceite. Inspección semanal	6	3	2	36
La bomba no suministra aceite, el cilindro no avanza	Limpiar cuerpo de la bomba. Inspección trimestral	5	4	2	40
La ranura no cumple con las especificaciones	Verifique y cambie los rodillos. Inspección diaria.	6	3	2	36

De acuerdo a las tabla anteriores, los NPR de los distintos modos de falla, disminuyen notablemente en los equipos críticos de la empresa M&C SOLUCIONES S.A.C. luego de la toma de las acciones preventivas, las cuales están basadas en la aplicación de una inspección continua de los equipos por parte de los operarios y los técnicos de mantenimiento y la sustitución de partes defectuosas en los equipos, lo cual busca lograr que estos fallen en una menor proporción y las fallas presentadas se detecten durante las inspecciones del mantenimiento preventivo (Ver actividades de mantenimiento en la Figura 2).



Figura 9. Actividades de mantenimiento preventivo de acuerdo con el plan RCM implementado.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS

Objetivo específico 1: Medir el nivel de disponibilidad posterior a la implementación de la metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) en los equipos de perforación en la empresa M&C Soluciones S.A.C.

Las actividades realizadas para cumplir con el objetivo específico 1 fueron:

1. Implementar un nuevo programa de mantenimiento y un cronograma de trabajo de acuerdo con los requerimientos de mantenimiento de cada equipo.
2. Definir estrategia de trabajo para realizar las tareas de mantenimiento.
3. Diseñar los procedimientos de mantenimiento preventivo.
4. Llevar control y registro de las fallas y los tiempos de reparación.
5. Analizar los reportes de falla para medir el tiempo medio de fallos posterior a la implementación del RCM.

Cálculo de la disponibilidad

Indicador de disponibilidad: Mide la incidencia de paradas planificadas y no planificadas. Una puntuación de disponibilidad del 100% significa que el proceso siempre se está ejecutando durante el tiempo de producción planificado (Nallusamy y Majumdar, 2017). Su fórmula es la siguiente:

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Tiempo de ejecución}}{\text{Tiempo de producción planificado}} \times 100\%$$

Indicador de disponibilidad de la Máquina 1: Roscadora de tubo Modelo 535A - año 2020

Una vez realizadas las acciones de mantenimientos según el plan de trabajo y el cronograma, se realizó el reporte de disponibilidad roscadora de tubo Modelo 535A, que muestra las horas totales de operación y las horas de paradas planificadas y no planificadas, tal como se observa en la Tabla 31.

Tabla 31.

Indicador de disponibilidad la Máquina 1: Roscadora de tubo Modelo 535A - año 2020

Mes	Tiempo de producción planificado (horas)	Paradas planificadas (horas)	Paradas no planificadas (horas)	Total tiempos de paradas	Total Tiempo de ejecución	Indicador de disponibilidad
Enero	264.00	-	6.00	6.00	258.00	0.977
Febrero	228.00	-	16.00	16.00	212.00	0.930
Marzo	152.00	11.00	4.00	15.00	148.00	0.940
Abril	0.00	-	-	-	-	0.000
Mayo	0.00	-	-	-	-	0.000
Junio	264.00	11.00	3.00	14.00	261.00	0.947
Julio	300.00	-	8.00	8.00	292.00	0.973
Agosto	312.00	-	9.00	9.00	303.00	0.971
Setiembre	288.00	7.00	11.00	18.00	277.00	0.938
Octubre	300.00	-	3.00	3.00	297.00	0.990
Noviembre	264.00	-	4.00	4.00	260.00	0.985
Diciembre	180.00	7.00	4.50	11.50	175.50	0.936
Totales	2,552.00	36.00	68.50	104.50	2,483.50	0.973

En la tabla 31 se muestra que el indicador de disponibilidad de la máquina 1 roscadora de tubos modelos 535A para el año 2020 fue de 0.973, producto de 104.5 horas de parada en un total de tiempo de producción planificado de 2,552 horas.

Tabla 32.

Reporte de paradas de equipo y tiempo de mantenimiento de la Máquina 1: Roscadora de tubo Modelo 535A - año 2020

Fecha	Descripción de la falla o parada de equipo	Tiempo de fallos (horas)
15/01/2020	No fluye el aceite de corte	6.0
08/02/2020	El motor anda pero la máquina no funciona	9.0
19/02/2020	Fallas en las roscas	7.0
01/03/2020	Mantenimiento preventivo trimestral	11.0
12/03/2020	Fallas en las roscas	4.0
01/06/2020	Mantenimiento preventivo trimestral	11.0
11/06/2020	El tubo se resbala en la mordaza	3.0
18/07/2020	El motor anda pero la máquina no funciona	8.0
23/08/2020	Cable de limpieza Roto	9.0
01/09/2020	Mantenimiento preventivo trimestral	7.0
15/09/2020	No fluye el aceite de corte	11.0
10/10/2020	Fallas eléctricas por cableado	3.0
03/11/2020	Ruidos en la caja de engranaje	4.0
01/12/2020	Mantenimiento preventivo trimestral	7.0
14/12/2020	El motor anda pero la máquina no funciona	4.5

Nota: Incluye las paradas por fallas y mantenimiento preventivo

La tabla 32 muestra la cantidad de servicios prestados a los equipos bien sea por mantenimientos preventivos planificados o fallas en la máquina 1 roscadora de tubos modelos 535A durante las operaciones en el año 2020 posterior a la implementación del plan RCM.

Tabla 33.

Análisis de paradas de equipo y tiempo de mantenimiento de la Máquina 1: Roscadora de tubo Modelo 535A año 2020 – indicador de disponibilidad

<i>Máquina 1: Roscadora de tubo Modelo 535A</i>			
Año	Horas de operación	Horas de parada	Disponibilidad
2020	2,552	104.50	97.3%

El indicador de disponibilidad se obtuvo de la siguiente forma:

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Tiempo de ejecución}}{\text{Tiempo de producción planificado}} \times 100\%$$

$$\text{Disponibilidad} = \frac{2,552 - 104.5}{2,552} \times 100$$

$$Disponibilidad = \frac{2,483.50}{2,552} = 97.3\%$$

Luego de todo el análisis mostrado, el resultado final del indicador de disponibilidad del año 2020 de la Máquina 1 roscadora de tubo Modelo 535A fue de 97.3%.

Indicador de disponibilidad de la Máquina 2: Ranuradora de rodillos Modelo 918 - año 2020

Una vez realizadas las acciones de mantenimientos según el plan de trabajo y el cronograma, se realizó el reporte de disponibilidad de la máquina 2 ranuradora de rodillos Modelo 918, que muestra las horas totales de operación y las horas de paradas planificadas y no planificadas, tal como se observa en la Tabla 34.

Tabla 34.

Indicador de disponibilidad la Máquina 2: Ranuradora de rodillos Modelo 918 - año 2020

Mes	Tiempo de producción planificado (horas)	Paradas planificadas (horas)	Paradas no planificadas (horas)	Total tiempos de paradas	Total Tiempo de ejecución	Indicador de disponibilidad
Enero	264.00	-	11.00	11.00	253.00	0.958
Febrero	252.00	-	12.00	12.00	240.00	0.952
Marzo	132.00	10.00	6.00	16.00	116.00	0.879
Abril	-	-	-	-	-	-
Mayo	-	-	-	-	-	-
Junio	180.00	10.00	-	10.00	170.00	0.944
Julio	312.00	-	7.00	7.00	305.00	0.978
Agosto	300.00	-	-	-	300.00	1.000
Setiembre	276.00	10.00	9.00	19.00	257.00	0.931
Octubre	300.00	-	-	-	300.00	1.000
Noviembre	264.00	-	9.50	9.50	254.50	0.964
Diciembre	180.00	10.00	4.50	14.50	165.50	0.919
Totales	2,460.00	40.00	59.00	99.00	2,361.00	0.960

En la tabla 34 se muestra que el indicador de disponibilidad de la máquina 2 ranuradora de rodillos Modelo 918 para el año 2020 fue de 0.960, producto de 99 horas de parada en un total de tiempo de producción planificado de 2,460 horas.

Tabla 35.

Reporte de paradas de equipo y tiempo de mantenimiento de la Máquina 2: Ranuradora de rodillos Modelo 918 - año 2020

Fecha	Descripción de la falla	Tiempo de reparación (horas)
12/01/2020	El tubo se levanta o tiende a inclinar la ranuradora hacia atrás	11.0
17/02/2020	La bomba no suministra aceite, el cilindro no avanza.	12.0
09/03/2020	Mantenimiento preventivo trimestral	10.0
15/03/2020	La manivela de la bomba funciona con fallas	6.0
15/06/2020	Mantenimiento preventivo trimestral	10.0
16/07/2020	El tubo se resbala o patina en el rodillo de accionamiento	7.0
15/09/2020	Mantenimiento preventivo trimestral	10.0
22/09/2020	El cilindro se extiende sólo parcialmente	9.0
04/11/2020	La bomba no suministra aceite, el cilindro no avanza	9.5
15/12/2020	Mantenimiento preventivo trimestral	10.0
17/12/2020	La ranura no cumple con las especificaciones	4.5

Nota: Incluye las paradas por fallas y mantenimiento preventivo

La tabla 35 muestra la cantidad de servicios prestados a los equipos bien sea por mantenimientos preventivos planificados o fallas en la Máquina 2 ranuradora de rodillos Modelo 918 durante las operaciones en el año 2020 posterior a la implementación del plan RCM.

Tabla 36.

Análisis de paradas de equipo y tiempo de mantenimiento de la máquina 2: Ranuradora de rodillos Modelo 918 año 2020 – indicador de disponibilidad

<i>Máquina 2: Ranuradora de rodillos Modelo 918</i>			
Año	Horas de operación	Horas de parada	Disponibilidad
2020	2,460	99.0	96.0%

El indicador de disponibilidad se obtuvo de la siguiente forma:

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Tiempo de ejecución}}{\text{Tiempo de producción planificado}} \times 100\%$$

$$\text{Disponibilidad} = \frac{2,460 - 99}{2,240} \times 100$$

$$\text{Disponibilidad} = \frac{2,361}{2,460} = 96.0\%$$

Luego de todo el análisis mostrado, el resultado final del indicador de disponibilidad del año 2020 de la Máquina 2: Ranuradora de rodillos Modelo 918 fue de 96.0%.

Para medir las variaciones en el indicador posterior a la implementación del plan de mejoras basadas en la metodología RCM, se muestra las horas totales de operación y las horas de paradas planificadas y no planificadas en la Máquina 1 roscadora de tubo Modelo 535A, para el cálculo de la disponibilidad en los tres años previos a la implementación, tal como se observa en las Tabla 7, 8 y 9.

Tabla 37.

Indicador de disponibilidad la Máquina 1: Roscadora de tubo Modelo 535A - año 2017

Mes	Tiempo de producción planificado (horas)	Paradas planificadas (horas)	Paradas no planificadas (horas)	Total tiempos de paradas	Total Tiempo de ejecución	Indicador de disponibilidad
Enero	264.00	-	6.00	6.00	258.00	0.977
Febrero	228.00	-	22.00	22.00	206.00	0.904
Marzo	252.00	11.00	-	11.00	241.00	0.956
Abril	276.00	-	38.00	38.00	238.00	0.862
Mayo	276.00	-	9.00	9.00	267.00	0.967
Junio	264.00	11.00	7.00	18.00	246.00	0.932
Julio	300.00	-	46.00	46.00	254.00	0.847
Agosto	312.00	-	26.00	26.00	286.00	0.917
Setiembre	288.00	11.00	43.00	54.00	234.00	0.813
Octubre	300.00	-	52.00	52.00	248.00	0.827
Noviembre	264.00	-	18.00	18.00	246.00	0.932
Diciembre	216.00	11.00	11.00	22.00	194.00	0.898
Totales	3,240.00	44.00	278.00	322.00	2,918.00	0.901

En la tabla 37 se muestra que el indicador de disponibilidad de la máquina 1 roscadora de tubos modelos 535A para el año 2017 fue de 0.901, producto de 322.5 horas de parada en un total de tiempo de producción planificado de 3,240 horas.

Tabla 38.

Indicador de disponibilidad la Máquina 1: Roscadora de tubo Modelo 535A - año 2018

Mes	Tiempo de producción planificado (horas)	Paradas planificadas (horas)	Paradas no planificadas (horas)	Total tiempos de paradas	Total Tiempo de ejecución	Indicador de disponibilidad
Enero	276.00	-	18.00	18.00	258.00	0.935
Febrero	252.00	-	16.00	16.00	236.00	0.937
Marzo	288.00	11.00	6.50	17.50	270.50	0.939
Abril	300.00	-	41.00	41.00	259.00	0.863
Mayo	264.00	-	32.00	32.00	232.00	0.879
Junio	312.00	11.00	6.00	17.00	295.00	0.946
Julio	288.00	-	41.00	41.00	247.00	0.858
Agosto	312.00	-	39.00	39.00	273.00	0.875
Setiembre	300.00	11.00	31.00	42.00	258.00	0.860
Octubre	264.00	-	35.50	35.50	228.50	0.866
Noviembre	276.00	-	17.00	17.00	259.00	0.938
Diciembre	228.00	11.00	30.00	41.00	187.00	0.820
Totales	3,360.00	44.00	313.00	357.00	3,003.00	0.894

En la tabla 38 se muestra que el indicador de disponibilidad de la máquina 1 roscadora de tubos modelos 535A para el año 2018 fue de 0.894, producto de 357 horas de parada en un total de tiempo de producción planificado de 3,360 horas, lo que representa un incremento de 35 horas (0.7% de disminución de la disponibilidad) en comparación con 2017.

Tabla 39.

Indicador de disponibilidad la Máquina 1: Roscadora de tubo Modelo 535A - año 2019

Mes	Tiempo de producción planificado (horas)	Paradas planificadas (horas)	Paradas no planificadas (horas)	Total tiempos de paradas	Total Tiempo de ejecución	Indicador de disponibilidad
Enero	252.00	-	17.00	17.00	235.00	0.933
Febrero	240.00	-	12.50	12.50	227.50	0.948
Marzo	264.00	11.00	23.50	34.50	229.50	0.869
Abril	288.00	-	51.50	51.50	236.50	0.821
Mayo	300.00	-	37.50	37.50	262.50	0.875
Junio	288.00	11.00	44.00	55.00	233.00	0.809
Julio	300.00	-	43.00	43.00	257.00	0.857
Agosto	324.00	-	35.00	35.00	289.00	0.892
Setiembre	276.00	11.00	12.00	23.00	253.00	0.917
Octubre	288.00	-	38.00	38.00	250.00	0.868
Noviembre	276.00	-	35.00	35.00	241.00	0.873
Diciembre	204.00	11.00	25.00	36.00	168.00	0.824
Totales	3,300.00	44.00	374.00	418.00	2,882.00	0.873

En la tabla 39 se muestra que el indicador de disponibilidad de la máquina 1 roscadora de tubos modelos 535A para el año 2018 fue de 0.873, como resultado de 418 horas de parada en un total de tiempo de producción planificado de 3,300 horas, lo que representa un incremento de 61 horas de paradas (2.1% de disminución de la disponibilidad) en comparación con 2018.

De igual manera, para medir las variaciones en el indicador posterior a la implementación del plan de mejoras basadas en la metodología RCM, se muestra las horas totales de operación y las horas de paradas planificadas y no planificadas en la Máquina 2 ranuradora de rodillos Modelo 918, para el cálculo de la disponibilidad en los tres años previos a la implementación, tal como se observa en las Tabla 40, 41 y 42.

Tabla 40.

Indicador de disponibilidad la Máquina 2: Ranuradora de rodillos Modelo 918- año 2017

Mes	Tiempo de producción planificado (horas)	Paradas planificadas (horas)	Paradas no planificadas (horas)	Total tiempos de paradas	Total Tiempo de ejecución	Indicador de disponibilidad
Enero	264.00	-	4.50	14.50	249.50	0.945
Febrero	228.00	-	14.00	14.50	213.50	0.936
Marzo	252.00	10.00	5.50	14.50	237.50	0.942
Abril	276.00	-	29.00	14.50	261.50	0.947
Mayo	276.00	-	6.50	14.50	261.50	0.947
Junio	264.00	10.00	12.00	14.50	249.50	0.945
Julio	300.00	-	19.00	14.50	285.50	0.952
Agosto	312.00	-	25.00	14.50	297.50	0.954
Setiembre	288.00	10.00	10.50	14.50	273.50	0.950
Octubre	300.00	-	19.00	14.50	285.50	0.952
Noviembre	264.00	-	26.00	14.50	249.50	0.945
Diciembre	216.00	10.00	3.00	14.50	201.50	0.933
Totales	3,240.00	40.00	174.00	214.00	3,066.00	0.946

Los resultados expuestos en la tabla 40 se muestra que el indicador de disponibilidad de la máquina 2 ranuradora de rodillos Modelo 918 para el año 2017 fue de 0.946, producto de 214 horas de parada en un total de tiempo de producción planificado de 3,240 horas.

Tabla 41.

Indicador de disponibilidad la Máquina 2: Ranuradora de rodillos Modelo 918- año 2018

Mes	Tiempo de producción planificado (horas)	Paradas planificadas (horas)	Paradas no planificadas (horas)	Total tiempos de paradas	Total Tiempo de ejecución	Indicador de disponibilidad
Enero	276.00	-	8.00	8.00	268.00	0.971
Febrero	252.00	-	19.00	19.00	233.00	0.925
Marzo	288.00	10.00	13.00	23.00	265.00	0.920
Abril	300.00	-	29.00	29.00	271.00	0.903
Mayo	264.00	-	9.00	9.00	255.00	0.966
Junio	312.00	10.00	21.50	31.50	280.50	0.899
Julio	288.00	-	28.50	28.50	259.50	0.901
Agosto	312.00	-	25.00	25.00	287.00	0.920
Setiembre	300.00	10.00	12.00	22.00	278.00	0.927
Octubre	264.00	-	29.00	29.00	235.00	0.890
Noviembre	276.00	-	25.00	25.00	251.00	0.909
Diciembre	228.00	10.00	19.00	29.00	199.00	0.873
Totales	3,360.00	40.00	238.00	278.00	3,082.00	0.917

En la tabla 41 se muestra que el indicador de disponibilidad de la máquina 2 ranuradora de rodillos Modelo 918 para el año 2018 fue de 0.917, producto de 278 horas de parada en un total de tiempo de producción planificado de 3,360 horas, lo que representa un incremento de 64 horas de paradas (0.29% de disminución de la disponibilidad) en comparación con 2017.

Tabla 42.

Indicador de disponibilidad la Máquina 2: Ranuradora de rodillos Modelo 918- año 2019

Mes	Tiempo de producción planificado (horas)	Paradas planificadas (horas)	Paradas no planificadas (horas)	Total tiempos de paradas	Total Tiempo de ejecución	Indicador de disponibilidad
Enero	252.00	-	16.50	16.50	235.50	0.935
Febrero	240.00	-	20.00	20.00	220.00	0.917
Marzo	264.00	10.00	21.50	31.50	232.50	0.881
Abril	288.00	-	32.00	32.00	256.00	0.889
Mayo	300.00	-	19.00	19.00	281.00	0.937
Junio	288.00	10.00	19.00	29.00	259.00	0.899
Julio	300.00	-	17.50	17.50	282.50	0.942
Agosto	324.00	-	26.00	26.00	298.00	0.920
Setiembre	276.00	10.00	13.00	23.00	253.00	0.917
Octubre	288.00	-	39.00	39.00	249.00	0.865
Noviembre	276.00	-	29.00	29.00	247.00	0.895
Diciembre	204.00	10.00	6.00	16.00	188.00	0.922
Totales	3,300.00	40.00	258.50	298.50	3,001.50	0.910

En la tabla 42 se muestra que el indicador de disponibilidad de la máquina 2 ranuradora de rodillos Modelo 918 para el año 2019 fue de 0.910, producto de 298.5 horas de parada en un total de tiempo de producción planificado de 3,300 horas, lo que representa un incremento de 20.5 horas de paradas (0.17% de disminución de la disponibilidad) en comparación con 2018.

En la Tabla 43, se puede observar las variaciones en la disponibilidad de los equipos intervenidos una vez aplicada la metodología RCM en los equipos de perforación de la empresa M&C Soluciones S.A.C.

Tabla 43.

Variaciones en la disponibilidad una vez aplicada la metodología RCM

Disponibilidad		
Año	Máquina 1: Roscadora de tubo Modelo 535A	Máquina Ranuradora 2: de rodillos Modelo 918
2017	90.1%	94.6%
2018	89.4%	91.7%
2019	87.3%	91.0%
2020	97.3%	96.0%
Promedio anterior a la propuesta	88.9%	92.4%
Variación	8.40%	3.60%

Los resultados mostrados en las variaciones en la disponibilidad de los equipos intervenidos una vez aplicada la metodología RCM en los equipos de perforación de la empresa M&C Soluciones S.A.C, muestran una mejoría en la disponibilidad, el cual se determinó en 97.3% para la roscadora de tubos y 96.4% para la ranuradora de rodillos.

Tabla 44.

Resultados de disponibilidad antes y después una vez aplicada la metodología RCM

Nombre del equipo	Disponibilidad antes	Disponibilidad	Variación
-------------------	----------------------	----------------	-----------

	de la implementación	después de la implementación	
Máquina 1:			
Roscadora de tubo Modelo 535A	88.9%	97.3%	8.40%
Máquina 2:			
Ranuradora de rodillos Modelo 918	92.4%	96.0%	3.60%

Los resultados mostrados en la tabla 14 indican un incremento de 8.4% para la Máquina 1: roscadora de tubos y 3.6% para la Máquina 2: Ranuradora de rodillos, en comparación con los promedios de los tres años anteriores a la implementación (el cual se ubicaba en 88.9% para la roscadora de tubos y 92.4% horas para la ranuradora de rodillos), lo que indica una mejoría en el indicador de disponibilidad.

Objetivo específico 2: Medir el nivel de rendimiento posterior a la implementación de la metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) en los equipos de perforación en la empresa M&C Soluciones S.A.C.

Las actividades realizadas para cumplir con el objetivo específico 2 fueron:

1. Implementar el plan de formación al personal en mantenimiento autónomo de equipos.
2. Llevar control y registro de las fallas y los tiempos de reparación.
3. Analizar los reportes de producción para medir el rendimiento posterior a la implementación del RCM.

Cálculo del indicador de rendimiento

Indicador de rendimiento: Se define como la pérdida de rendimiento, que representa cualquier cosa que haga que el proceso de fabricación se ejecute a menos de la velocidad máxima posible cuando está en ejecución (Nallusamy y Majumdar, 2017). Su fórmula es la siguiente:

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{unidades producidas}}{\text{unidades planificadas}}$$

Indicador de rendimiento de la Máquina 1: Roscadora de tubo Modelo 535A - año 2020

Una vez realizadas las acciones de mantenimientos según el plan de trabajo y el cronograma, se realizó el reporte de disponibilidad de la roscadora de tubo Modelo 535A,

que muestra el tiempo estándar de fabricación, la producción teórica, la producción real y el rendimiento mensual, tal como se observa en la Tabla 45.

Tabla 45.

Indicador de rendimiento la Máquina 1: Roscadora de tubo Modelo 535A - año 2020

Mes	Tiempo de producción planificado (minutos)	Tiempo estándar de fabricación (minutos)	Producción teórica o planificada (unidades)	Producción real (unidades)	Indicador de rendimiento
Enero	15,840.00	3	5,280	4,838	0.9162
Febrero	13,680.00	3	4,560	3,813	0.8361
Marzo	7,560.00	3	2,520	1,827	0.7250
Abril	-	3	-	-	-
Mayo	-	3	-	-	-
Junio	15,840.00	3	5,280	4,163	0.7884
Julio	18,000.00	3	6,000	5,200	0.8667
Agosto	18,720.00	3	6,240	5,150	0.8253
Setiembre	17,280.00	3	5,760	5,150	0.8941
Octubre	18,000.00	3	6,000	5,313	0.8854
Noviembre	15,840.00	3	5,280	4,850	0.9186
Diciembre	10,800.00	3	3,600	2,925	0.8125
Totales	151,560 .00		50,520	43,227	0.8556

Nota: Los tiempos se expresan en minutos ya que los estándares de fabricación de la empresa están determinados en minutos. El cálculo de la producción teórica o planificada es el resultado de la división del tiempo de producción planificado entre el tiempo estándar que la empresa ha determinado para producir cada pieza. La producción real es la obtenida de los reportes de producción de la empresa.

En la tabla 45 se muestra que el indicador de rendimiento de la máquina 1 roscadora de tubos modelos 535A para el año 2020 fue de 0.8556, resultado de la producción real de 43,227 unidades frente a un presupuesto de producción de 50,520 unidades.

Tabla 46.

Resumen del reporte de producción – indicador de rendimiento

<i>Máquina 1: Roscadora de tubo Modelo 535A</i>			
Año	Producción real	Producción teórica	Rendimiento
2020	43,227	50,520	85.56%

El indicador de rendimiento se obtuvo de la siguiente forma:

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{unidades producidas}}{\text{unidades planificadas}} \times 100\%$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{43,227}{50,250} \times 100$$

$$\text{Rendimiento} = 85.56\%$$

Luego de todo el análisis mostrado el resultado final del indicador de rendimiento del año 2020 de la Máquina 1 roscadora de tubo Modelo 535A fue de 86.53%.

Indicador de rendimiento de la Máquina 2: Ranuradora de rodillos Modelo 918

Una vez realizadas las acciones de mantenimientos según el plan de trabajo y el cronograma, se realizó el reporte de disponibilidad de la Máquina 2: Ranuradora de rodillos Modelo 918, que muestra el tiempo estándar de fabricación, la producción teórica, la producción real y el rendimiento mensual, tal como se observa en la Tabla 47.

Tabla 47.

Indicador de rendimiento la Máquina 2: Ranuradora de rodillos Modelo 918- año 2020

Mes	Tiempo de producción planificado (minutos)	Tiempo estándar de fabricación (minutos)	Producción teórica o planificada (unidades)	Producción real (unidades)	Indicador de rendimiento
Enero	15,840.00	3	5,280	4,912	0.9303
Febrero	15,120.00	3	5,040	4,603	0.9133
Marzo	3,960.00	3	1,320	978	0.7409
Abril	-	3	-	-	-
Mayo	-	3	-	-	-
Junio	10,800.00	3	3,600	2,451	0.6808
Julio	18,720.00	3	6,240	5,780	0.9263
Agosto	18,000.00	3	6,000	5,606	0.9343
Setiembre	16,560.00	3	5,520	5,475	0.9918
Octubre	18,000.00	3	6,000	5,582	0.9303
Noviembre	15,840.00	3	5,280	4,932	0.9341
Diciembre	10,800.00	3	3,600	3,343	0.9286
Totales	143,640.00		47,880	43,662	0.9119

Nota: Los tiempos se expresan en minutos ya que los estándares de fabricación de la empresa están determinados en minutos. El cálculo de la producción teórica o planificada es el resultado de la división del tiempo de producción planificado entre el tiempo estándar que la empresa ha determinado para producir cada pieza. La producción real es la obtenida de los reportes de producción de la empresa.

En la tabla 47 se muestra que el indicador de rendimiento de la Máquina 2: Ranuradora de rodillos Modelo 918 para el año 2020 fue de 0.9119, resultado de la producción real de 43,662 unidades frente a un presupuesto de producción de 47,880 unidades.

Tabla 48.

Resumen del reporte de producción – indicador de rendimiento

<i>Máquina 2: Ranuradora de rodillos Modelo 918</i>			
Año	Producción teórica (unidades)	Producción real (unidades)	Rendimiento
2020	47,880	43,662	91.19%

El indicador de rendimiento se obtuvo de la siguiente forma:

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{unidades producidas}}{\text{unidades planificadas}} \times 100\%$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{43,662}{47,880} \times 100$$

$$\text{Rendimiento} = 91.19\%$$

Luego de todo el análisis mostrado el resultado final del indicador de rendimiento del año 2020 de la Máquina 2: Ranuradora de rodillos Modelo 918 fue de 90.36%.

Para medir las variaciones en el indicador posterior a la implementación del plan de mejoras basadas en la metodología RCM, se muestra el cálculo del rendimiento en la Máquina 1 roscadora de tubo Modelo 535A, para el cálculo de la disponibilidad en los tres años previos a la implementación, tal como se observa en las Tabla 49, 50 y 51.

Tabla 49.

Indicador de rendimiento de la Máquina 1: Roscadora de tubo Modelo 535A - año 2017

Mes	Tiempo de producción planificado (minutos)	Tiempo estándar de fabricación (minutos)	Producción teórica o planificada (unidades)	Producción real (unidades)	Indicador de rendimiento
Enero	15,840.00	3	5,280	4,680	0.8864
Febrero	13,680.00	3	4,560	3,658	0.8022
Marzo	15,120.00	3	5,040	4,127	0.8188
Abril	16,560.00	3	5,520	4,720	0.8551
Mayo	16,560.00	3	5,520	4,982	0.9025
Junio	15,840.00	3	5,280	4,031	0.7634
Julio	18,000.00	3	6,000	4,400	0.7333
Agosto	18,720.00	3	6,240	5,165	0.8277
Setiembre	17,280.00	3	5,760	4,400	0.7639
Octubre	18,000.00	3	6,000	5,138	0.8563
Noviembre	15,840.00	3	5,280	4,660	0.8826
Diciembre	12,960.00	3	4,320	4,454	1.0311
Totales	194,400.00		64,800	54,414	0.8397

En la tabla 49 se muestra que el Indicador de rendimiento de la máquina 1 roscadora de tubos modelos 535A para el año 2017 fue de 0.8397, resultado de la producción real de 54,414 unidades frente a un presupuesto de producción de 64,800 unidades.

Tabla 50.

Indicador de rendimiento de la Máquina 1: Roscadora de tubo Modelo 535A - año 2018

Mes	Tiempo de producción planificado (minutos)	Tiempo estándar de fabricación (minutos)	Producción teórica o planificada (unidades)	Producción real (unidades)	Indicador de rendimiento
Enero	16,560.00	3	5,520	3,852	0.6978
Febrero	15,120.00	3	5,040	4,332	0.8595
Marzo	17,280.00	3	5,760	4,536	0.7875
Abril	18,000.00	3	6,000	4,176	0.6960
Mayo	15,840.00	3	5,280	3,768	0.7136
Junio	18,720.00	3	6,240	5,340	0.8558
Julio	17,280.00	3	5,760	4,476	0.7771
Agosto	18,720.00	3	6,240	3,624	0.5808
Setiembre	18,000.00	3	6,000	4,092	0.6820
Octubre	15,840.00	3	5,280	4,536	0.8591
Noviembre	16,560.00	3	5,520	4,596	0.8326
Diciembre	13,680.00	3	4,560	3,852	0.8447
Totales	201,600.00		67,200	51,180	0.7616

En la tabla 50 se muestra que el indicador de rendimiento de la máquina 1 roscadora de tubos modelos 535A para el año 2018 fue de 0.7616, resultado de la producción real de 51,180 unidades frente a un presupuesto de producción de 67,200 unidades, lo que implica una disminución de la capacidad real de producción en 3,234 unidades (disminución de 7,81%) en comparación con 2017.

Tabla 51.

Indicador de rendimiento de la Máquina 1: Roscadora de tubo Modelo 535A - año 2019

Mes	Tiempo de producción planificado (minutos)	Tiempo estándar de fabricación (minutos)	Producción teórica o planificada (unidades)	Producción real (unidades)	Indicador de rendimiento
Enero	15,120.00	3	5,040	4,319	0.8570
Febrero	14,400.00	3	4,800	4,408	0.9183
Marzo	15,840.00	3	5,280	4,788	0.9068
Abril	17,280.00	3	5,760	4,408	0.7653
Mayo	18,000.00	3	6,000	5,244	0.8740
Junio	17,280.00	3	5,760	5,092	0.8840
Julio	18,000.00	3	6,000	4,725	0.7874
Agosto	19,440.00	3	6,480	5,092	0.7858
Setiembre	16,560.00	3	5,520	4,319	0.7825
Octubre	17,280.00	3	5,760	4,788	0.8313
Noviembre	16,560.00	3	5,520	4,851	0.8789
Diciembre	12,240.00	3	4,080	3,813	0.9345
Totales	198,000.00		66,000	55,847	0.8462

En la tabla 51 se muestra que el indicador de rendimiento de la máquina 1 roscadora de tubos modelos 535A para el año 2019 fue de 0.8462, resultado de la producción real de 55,847 unidades frente a un presupuesto de producción de 66,000 unidades, lo que implica una aumento de la capacidad real de producción en 4,307 unidades (aumento de 8,46%) en comparación con 2018.

De igual manera, para medir las variaciones en el indicador posterior a la implementación del plan de mejoras basadas en la metodología RCM, se muestra el indicador de rendimiento en la Máquina 2 ranuradora de rodillos Modelo 918, en los tres años previos a la implementación, tal como se observa en las Tabla 52, 53 y 54.

Tabla 52.

Indicador de rendimiento de la máquina 2: Ranuradora de rodillos Modelo 918- año 2017

Mes	Tiempo de producción planificado (minutos)	Tiempo estándar de fabricación (minutos)	Producción teórica o planificada (unidades)	Producción real (unidades)	Indicador de rendimiento
Enero	15,840.00	3	5,280	5,131	0.9719
Febrero	13,680.00	3	4,560	4,807	1.0542
Marzo	15,120.00	3	5,040	2,623	0.5204
Abril	16,560.00	3	5,520	2,330	0.4222
Mayo	16,560.00	3	5,520	3,595	0.6512
Junio	15,840.00	3	5,280	3,605	0.6828
Julio	18,000.00	3	6,000	6,040	1.0067
Agosto	18,720.00	3	6,240	5,852	0.9378
Setiembre	17,280.00	3	5,760	5,716	0.9924
Octubre	18,000.00	3	6,000	5,831	0.9719
Noviembre	15,840.00	3	5,280	5,152	0.9757
Diciembre	12,960.00	3	4,320	3,490	0.8079
Totales	194,400.00		64,800	54,173	0.8360

En la tabla 52 se muestra que el indicador de rendimiento de la máquina 2 ranuradora de rodillos modelo 918 para el año 2017 fue de 0.8360, resultado de la producción real de 54,173 unidades frente a un presupuesto de producción de 64,800 unidades.

Tabla 53.

Indicador de rendimiento de la máquina 2: Ranuradora de rodillos modelo 918 - año 2018

Mes	Tiempo de producción planificado (minutos)	Tiempo estándar de fabricación (minutos)	Producción teórica o planificada (unidades)	Producción real (unidades)	Indicador de rendimiento
Enero	16,560.00	3	5,520	5,904	1.0695
Febrero	15,120.00	3	5,040	5,290	1.0496
Marzo	17,280.00	3	5,760	2,887	0.5011
Abril	18,000.00	3	6,000	2,565	0.4274
Mayo	15,840.00	3	5,280	3,956	0.7492
Junio	18,720.00	3	6,240	3,968	0.6358
Julio	17,280.00	3	5,760	6,647	1.1540
Agosto	18,720.00	3	6,240	6,440	1.0321
Setiembre	18,000.00	3	6,000	6,291	1.0484
Octubre	15,840.00	3	5,280	6,417	1.2153
Noviembre	16,560.00	3	5,520	5,670	1.0271
Diciembre	13,680.00	3	4,560	3,841	0.8423
Totales	201,600.00		67,200	59,873	0.8910

En la tabla 53 se muestra que el indicador de rendimiento de la máquina 2 ranuradora de rodillos modelo 918 para el año 2018 fue de 0.8910, resultado de la producción real de 59,873 unidades frente a un presupuesto de producción de 67,200 unidades, lo que representó un incremento en el rendimiento de 5.5% en comparación con 2017 (5,700 unidades adicionales).

Tabla 54.

Indicador de rendimiento de la máquina 2: Ranuradora de rodillos Modelo 918- año 2019

Mes	Tiempo de producción planificado (minutos)	Tiempo estándar de fabricación (minutos)	Producción teórica o planificada (unidades)	Producción real (unidades)	Indicador de rendimiento
Enero	15,120.00	3	5,040	5,168	1.0253
Febrero	14,400.00	3	4,800	5,072	1.0566
Marzo	15,840.00	3	5,280	2,767	0.5241
Abril	17,280.00	3	5,760	2,459	0.4268
Mayo	18,000.00	3	6,000	3,793	0.6321
Junio	17,280.00	3	5,760	3,804	0.6604
Julio	18,000.00	3	6,000	6,372	1.0621
Agosto	19,440.00	3	6,480	6,174	0.9528
Setiembre	16,560.00	3	5,520	6,031	1.0925
Octubre	17,280.00	3	5,760	6,152	1.0680
Noviembre	16,560.00	3	5,520	5,435	0.9847
Diciembre	12,240.00	3	4,080	3,682	0.9025
Totales	198,000.00		66,000	56,908	0.8622

En la tabla 54 se muestra que el indicador de rendimiento de la máquina 2 ranuradora de rodillos modelo 918 para el año 2019 fue de 0.8622, resultado de la producción real de 56,908 unidades frente a un presupuesto de producción de 66,000 unidades, lo que representó una disminución en el rendimiento de 2.88% en comparación con 2018 (5,700 unidades adicionales).

En la Tabla 55, se puede observar las variaciones en el rendimiento de los equipos intervenidos una vez aplicada la metodología RCM en los equipos de perforación de la empresa M&C Soluciones S.A.C.

Tabla 55.

Variaciones en el rendimiento una vez aplicada la metodología RCM

Rendimiento		
Año	Máquina1: Roscadora de tubo Modelo 535A	Máquina 2: Ranuradora de rodillos Modelo 918
2017	83.90%	83.60%
2018	76.10%	89.10%
2019	84.60%	86.20%
2020	85.56%	91.19%
Promedio anterior a la propuesta	81.50%	86.30%
Variación	4.06%	4.89%

Los resultados mostrados en las variaciones en el rendimiento de los equipos intervenidos una vez aplicada la metodología RCM en los equipos de perforación de la empresa M&C Soluciones S.A.C, muestran una mejoría en el rendimiento de los equipos, el cual se determinó en 85.56% para la Máquina roscadora de tubos y 91.19% para la Máquina ranuradora de rodillos.

Tabla 56.

Resultados del rendimiento antes y después una vez aplicada la metodología RCM

Nombre del equipo	Rendimiento antes de la implementación	Rendimiento después de la implementación	Variación
Máquina 1:			
Roscadora de tubo Modelo 535A	81.50%	85.56%	4.06%
Máquina 2:			
Ranuradora de rodillos Modelo 918	86.30%	91.19%	4.89%

Estos resultados representan un incremento de 4.06% para la roscadora de tubos y 4.89% para la ranuradora de rodillos, en comparación con los promedios de los tres años anteriores a la implementación (el cual se ubicaba en 81.5% para la roscadora de tubos y 86.3% horas para la ranuradora de rodillos).

Objetivo específico 3: Medir el nivel de calidad posterior a la implementación de la metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) en los equipos de perforación en la empresa M&C Soluciones S.A.C.

Las actividades realizadas para cumplir con el objetivo específico 3 fueron:

1. Verificar el cumplimiento de las actividades trazadas para mejorar la disponibilidad y el rendimiento de los equipos de acuerdo con el plan de trabajo RCM.
2. Llevar control y registro de las fallas y los tiempos de reparación.
3. Analizar los reportes de productos aceptados y productos defectuosos para medir el nivel de calidad posterior a la implementación del RCM.

Cálculo del indicador de calidad

Indicador de calidad: La calidad tiene en cuenta la pérdida ocasionada por las piezas fabricadas que no cumplen con los estándares de calidad. Los ejemplos de cosas que crean pérdida de calidad incluyen desechos y piezas que necesitan reparaciones (Nallusamy y Majumdar, 2017). Su fórmula es la siguiente:

$$Calidad = \frac{unidades\ aceptadas}{Total\ unidades\ elaboradas} \times 100\%$$

Indicador de calidad de la Máquina 1: Roscadora de tubo Modelo 535A - año 2020

Una vez realizadas las acciones de mantenimiento según el plan de trabajo y el cronograma, se realizó el reporte de productos aceptados y productos defectuosos elaborados en la roscadora de tubo Modelo 535A, que muestra el total de unidades producidas y el total de unidades sin defectos, tal como se observa en la Tabla 57.

Tabla 57.

Indicador de calidad (productos aceptados y productos defectuosos) de la Máquina 1:

Roscadora de tubo Modelo 535A - año 2020

Mes	Producción total (unidades)	Producción con defectos (unidades)	Producción sin defectos (unidades)	Indicador de calidad
Enero	4,838	63	4,775	0.9870
Febrero	3,813	54	3,759	0.9858
Marzo	1,827	147	1,680	0.9195
Abril	-	-	-	-
Mayo	-	-	-	-
Junio	4,163	107	4,056	0.9743
Julio	5,200	230	4,970	0.9558
Agosto	5,150	177	4,973	0.9656
Setiembre	5,150	298	4,852	0.9421
Octubre	5,313	171	5,142	0.9678
Noviembre	4,850	107	4,743	0.9779
Diciembre	2,925	73	2,852	0.9750
Totales	43,227	1,427	41,800	0.9670

Nota: la producción con defectos incluye unidades desechadas por el operario durante el proceso de fabricación, unidades consideradas no aptas en el proceso de inspección de calidad o unidades devueltas por el cliente por no cumplir con sus requisitos.

En la tabla 57, se muestra que el indicador de calidad de la máquina 1 roscadora de tubos modelos 535A para el año 2020 fue de 0.967 (96.70%), producto de 41,800 unidades que cumplían con los requisitos de calidad y 1,427 con defectos, de un total de 43,227 unidades fabricadas.

Tabla 58.

Resumen del reporte de productos aceptados y productos defectuosos – indicador de calidad

<i>Máquina 1: Roscadora de tubo Modelo 535A</i>			
Año	Producción total	Producción sin defectos	Indicador de Calidad
2020	43,227	41,800	96.70%

El indicador de calidad se obtuvo de la siguiente forma:

$$Calidad = \frac{\text{unidades aceptadas}}{\text{Total unidades elaboradas}} \times 100\%$$

$$Calidad = \frac{41,800}{43,227} \times 100$$

$$Calidad = 96.70\%$$

Luego de todo el análisis mostrado el resultado final del indicador de calidad del año 2020 de la Máquina 1 roscadora de tubo Modelo 535A fue de 96.70%.

Indicador de calidad de la Máquina 2: Ranuradora de rodillos Modelo 918

Una vez realizadas las acciones de mantenimientos según el plan de trabajo y el cronograma, se realizó el reporte de calidad de la Máquina 2 ranuradora de rodillos Modelo 918, que muestra el total de unidades producidas y el total de unidades sin defectos, tal como se observa en la Tabla 59.

Tabla 59.

Indicador de calidad (productos aceptados y productos defectuosos) de la Máquina 2:

Ranuradora de rodillos Modelo 918- año 2020

Mes	Producción con defectos (unidades)	Producción sin defectos (unidades)	Indicador de calidad	Producción total (unidades)
Enero	4,912	76	4,836	0.9845
Febrero	4,603	75	4,528	0.9837
Marzo	978	95	883	0.9029
Abril	-	0	-	-
Mayo	-	0	-	-
Junio	2,451	104	2,347	0.9576
Julio	5,780	129	5,651	0.9777
Agosto	5,606	151	5,455	0.9731
Setiembre	5,475	160	5,315	0.9708
Octubre	5,582	145	5,437	0.9740
Noviembre	4,932	177	4,755	0.9641
Diciembre	3,343	122	3,221	0.9635
Totales	43,662	1,234	42,428	0.9717

Nota: la producción con defectos incluye unidades desechadas por el operario durante el proceso de fabricación, unidades consideradas no aptas en el proceso de inspección de calidad o unidades devueltas por el cliente por no cumplir con sus requisitos.

En la tabla 59 se muestra que el Indicador de calidad de la Máquina 2 ranuradora de rodillos Modelo 918 para el año 2020 fue de 0.9717, producto de 42,428 unidades que cumplían con los requisitos de calidad y 1,234 con defectos (2,82%), de un total de 43,662 unidades fabricadas.

Tabla 60.

Resumen del reporte de productos aceptados y productos defectuosos – indicador de calidad

<i>Máquina 2: Ranuradora de rodillos Modelo 918</i>			
Año	Producción total (unidades)	Producción sin defectos (unidades)	Calidad
2020	43,662	42,428	97.17%

El indicador de rendimiento se obtuvo de la siguiente forma:

$$Calidad = \frac{\text{unidades aceptadas}}{\text{Total unidades elaboradas}} \times 100\%$$

$$Calidad = \frac{42,428}{43,662} \times 100$$

$$Calidad = 97.17\%$$

Luego de todo el análisis mostrado el resultado final del indicador de calidad del año 2020 de la Máquina 2 ranuradora de rodillos Modelo 918 fue de 97.17%.

Para medir las variaciones en el indicador de calidad posterior a la implementación del plan de mejoras basadas en la metodología RCM, se muestra los indicadores de productos aceptados y productos defectuosos en la Máquina 1 roscadora de tubo Modelo 535A, para el cálculo de la calidad en los tres años previos a la implementación, tal como se observa en las Tabla 61, 62 y 63.

Tabla 61.

Indicador de calidad (productos aceptados y productos defectuosos) de la Máquina 1:

Roscadora de tubo Modelo 535A - año 2017

Mes	Producción con defectos (unidades)	Producción sin defectos (unidades)	Indicador de calidad	Producción total (unidades)
Enero	4,680	417	4,263	0.9109
Febrero	3,658	290	3,368	0.9207
Marzo	4,127	357	3,770	0.9135
Abril	4,720	229	4,491	0.9515
Mayo	4,982	277	4,705	0.9444
Junio	4,031	325	3,706	0.9194
Julio	4,400	317	4,083	0.9280
Agosto	5,165	354	4,811	0.9315
Setiembre	4,400	347	4,053	0.9212
Octubre	5,138	282	4,856	0.9451
Noviembre	4,660	324	4,336	0.9305
Diciembre	4,454	328	4,126	0.9264
Totales	54,414	3,846	50,568	0.9293

En la tabla 61 se muestra que el indicador de calidad de la máquina 1 roscadora de tubos modelos 535A para el año 2017 fue de 0.9293, producto de 50,568 unidades que cumplían con los requisitos de calidad y 3,846 con defectos (7,46%), de un total de 54,414 unidades fabricadas.

Tabla 62.

Indicador de calidad (productos aceptados y productos defectuosos) de la Máquina 1:

Roscadora de tubo Modelo 535A - año 2018

Mes	Producción con defectos (unidades)	Producción sin defectos (unidades)	Indicador de calidad	Producción total (unidades)
Enero	3,852	196	3,656	0.9491
Febrero	4,332	276	4,057	0.9364
Marzo	4,536	250	4,286	0.9449
Abril	4,176	220	3,956	0.9473
Mayo	3,768	263	3,505	0.9302
Junio	5,340	309	5,031	0.9422
Julio	4,476	401	4,075	0.9104
Agosto	3,624	236	3,388	0.9349
Setiembre	4,092	329	3,763	0.9195
Octubre	4,536	268	4,268	0.9409
Noviembre	4,596	308	4,288	0.9330
Diciembre	3,852	312	3,540	0.9191
Totales	51,180	3,367	47,813	0.9342

En la tabla 62 se muestra que el Indicador de calidad de la máquina 1 roscadora de tubos modelos 535A para el año 2018 fue de 0.9342, producto de 47,813 unidades que cumplían con los requisitos de calidad y 3,367 con defectos (6,57%), de un total de 51,180 unidades fabricadas.

Tabla 63.

Indicador de calidad (productos aceptados y productos defectuosos) de la Máquina 1:

Roscadora de tubo Modelo 535A - año 2019

Producción total (unidades)	Producción con defectos (unidades)	Producción sin defectos (unidades)	Indicador de calidad	Producción total (unidades)
Enero	3,240	216	3,024	0.9334
Febrero	3,306	303	3,003	0.9083
Marzo	3,591	275	3,316	0.9234
Abril	3,306	242	3,064	0.9268
Mayo	3,933	289	3,644	0.9264
Junio	3,819	340	3,479	0.9111
Julio	3,544	441	3,102	0.8755
Agosto	3,819	260	3,559	0.9320
Setiembre	3,240	362	2,877	0.8882
Octubre	3,591	295	3,296	0.9179
Noviembre	3,639	339	3,300	0.9069
Diciembre	2,860	343	2,517	0.8801
Totales	41,886	3,704	38,182	0.9116

En la tabla 63 se muestra que el Indicador de calidad de la máquina 1 roscadora de tubos modelos 535A para el año 2019 fue de 0.9116, producto de 38,182 unidades que cumplían con los requisitos de calidad y 3,704 con defectos (8,84%), de un total de 41,886 unidades fabricadas.

De igual manera, para medir las variaciones en el indicador de calidad posterior a la implementación del plan de mejoras basadas en la metodología RCM, se muestra el indicador de calidad en la Máquina 2 ranuradora de rodillos Modelo 918, en los tres años previos a la implementación, tal como se observa en las Tabla 34, 35 y 36.

Tabla 64.

Indicador de calidad (productos aceptados y productos defectuosos) de la Máquina 22:

Ranuradora de rodillos Modelo 918 - año 2017

Producción total (unidades)	Producción con defectos (unidades)	Producción sin defectos (unidades)	Indicador de calidad	Producción total (unidades)
Enero	5,131	344	4,787	0.9330
Febrero	4,807	315	4,492	0.9345
Marzo	2,623	304	2,319	0.8841
Abril	2,330	300	2,030	0.8713
Mayo	3,595	420	3,175	0.8832
Junio	3,605	215	3,390	0.9404
Julio	6,040	242	5,798	0.9599
Agosto	5,852	231	5,621	0.9605
Setiembre	5,716	228	5,488	0.9601
Octubre	5,831	234	5,597	0.9599
Noviembre	5,152	351	4,801	0.9319
Diciembre	3,490	231	3,259	0.9338
Totales	54,173	3,415	50,758	0.9370

En la tabla 64 se muestra que el Indicador de calidad de la máquina 2 ranuradora de rodillos Modelo 918 para el año 2017 fue de 0.9370, producto de 50,758 unidades que cumplían con los requisitos de calidad y 3,415 con defectos (6,30%), de un total de 54,173 unidades fabricadas.

Tabla 65.

Indicador de calidad (productos aceptados y productos defectuosos) de la Máquina 2:

Ranuradora de rodillos Modelo 918- año 2018

Producción total (unidades)	Producción con defectos (unidades)	Producción sin defectos (unidades)	Indicador de calidad	Producción total (unidades)
Enero	5,904	282	5,621	0.9522
Febrero	5,290	427	4,863	0.9193
Marzo	2,887	353	2,534	0.8778
Abril	2,565	505	2,060	0.8031
Mayo	3,956	713	3,243	0.8198
Junio	3,968	423	3,544	0.8933
Julio	6,647	405	6,242	0.9391
Agosto	6,440	375	6,065	0.9418
Setiembre	6,291	338	5,953	0.9463
Octubre	6,417	327	6,090	0.9491
Noviembre	5,670	717	4,953	0.8736
Diciembre	3,841	375	3,466	0.9024
Totales	59,873	5,239	54,634	0.9125

En la tabla 65 se muestra que el indicador de calidad de la máquina 2 ranuradora de rodillos Modelo 918 para el año 2018 fue de 0.9125, producto de 54,634 unidades que cumplían con los requisitos de calidad y 5,239 con defectos (8,75%), de un total de 59,873 unidades fabricadas.

Tabla 66.

Indicador de calidad (productos aceptados y productos defectuosos) de la Máquina 2:

Ranuradora de rodillos Modelo 918 - año 2019

Mes	Producción total	Producción con defectos	Producción sin defectos	Indicador de calidad
Enero	5,168	327	4,840	0.9367
Febrero	5,072	295	4,777	0.9418
Marzo	2,767	409	2,358	0.8521
Abril	2,459	386	2,073	0.8430
Mayo	3,793	327	3,466	0.9138
Junio	3,804	491	3,313	0.8709
Julio	6,372	369	6,003	0.9421
Agosto	6,174	435	5,739	0.9295
Setiembre	6,031	392	5,639	0.9350
Octubre	6,152	379	5,773	0.9384
Noviembre	5,435	231	5,204	0.9575
Diciembre	3,682	435	3,247	0.8819
Totales	56,908	4,476	52,432	0.9213

En la tabla 66 se muestra que el Indicador de calidad de la máquina 2 ranuradora de rodillos Modelo 918 para el año 2019 fue de 0.9213, producto de 52,432 unidades que cumplían con los requisitos de calidad y 4,476 con defectos (7,86%), de un total de 56,908 unidades fabricadas.

En la Tabla 67, se puede observar las variaciones en el rendimiento de los equipos intervenidos una vez aplicada la metodología RCM en los equipos de perforación de la empresa M&C Soluciones S.A.C.

Tabla 67.

Variaciones en la calidad una vez aplicada la metodología RCM

Calidad		
Año	Máquina 1: Roscadora de tubo Modelo 535A	Máquina 2: Ranuradora de rodillos Modelo 918
2017	92.9%	93.7%
2018	93.4%	91.2%
2019	91.1%	92.3%
2020	96.7%	97.1%
Promedio anterior a la propuesta	92.4%	92.4%
Variación	4.3%	4.7%

Los resultados mostrados en las variaciones en la calidad de los equipos intervenidos una vez aplicada la metodología RCM en los equipos de perforación de la empresa M&C Soluciones S.A.C, muestran una mejoría en la calidad de los equipos, el cual se determinó en 96.7% para la roscadora de tubos y 97.1% para la ranuradora de rodillos.

Tabla 68.

Resultados de la calidad antes y después una vez aplicada la metodología RCM

Nombre del equipo	Calidad antes de la implementación	Calidad después de la implementación	Variación
Máquina 1:			
Roscadora de tubo Modelo 535A	92.4%	96.7%	4.3%
Máquina 2:			
Ranuradora de rodillos Modelo 918	92.4%	97.1%	4.7%

Los resultados mostrados en la Tabla 38 muestran variaciones que representa un incremento de 4.3% para la roscadora de tubos y 4.7% para la ranuradora de rodillos, en comparación con el promedio de los tres años anteriores a la implementación (el cual se ubicaba en 92.4% para la roscadora de tubos y 92.4% horas para la ranuradora de rodillos).

Objetivo general: Determinar en qué medida la implementación de la metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) permite incrementar la eficiencia global de los equipos de perforación en la empresa M&C Soluciones S.A.C.

Debido a que el objetivo fundamental de la implantación de un Mantenimiento centrado en confiabilidad o RCM en una planta industrial es aumentar la eficiencia global de los equipos, la mejora se evaluará a través de la eficiencia global de los equipos (OEE).

Indicador de eficiencia global de equipos: Describe tres áreas básicas del actividad de producción: disponibilidad de máquinas, rendimiento y calidad de los productos (Singh et al., 2013). El cálculo de OEE permite definir las acciones de mejora en el ámbito de la producción procesos, permite cambiar sus efectos luego de su implementación y eliminar problemas existentes. La fórmula de la OEE es la siguiente:

$$OEE = \% \text{ disponibilidad } \times \% \text{ rendimiento } \times \% \text{ calidad}$$

Una vez realizadas las acciones de mantenimientos según el plan de trabajo y el cronograma, se realizó el reporte comparativo entre los indicadores de OEE como se observa en la tabla 69.

Tabla 69.

Variaciones en la eficiencia global de equipos (OEE) una vez aplicada la metodología RCM en los equipos de perforación de la empresa M&C Soluciones S.A.C.

Eficiencia global de equipos (OEE)		
Año	Máquina 1: Roscadora de tubo Modelo 535A	Máquina 2: Ranuradora de rodillos Modelo 918
2017	70.3%	74.1%
2018	63.6%	74.6%
2019	67.3%	72.3%
2020	80.5%	85.0%
Promedio anterior a la propuesta	67.1%	73.7%
Variación	13.4%	11.3%

Nota: ver base de datos de históricos de OEE en los Anexos del 5 al 12.

Los resultados mostrados en las variaciones en la eficiencia global de equipos (OEE) de los equipos intervenidos una vez aplicada la metodología RCM en los equipos de perforación de la empresa M&C Soluciones S.A.C, muestran una mejoría en la OEE, el cual se determinó en 80.5% para la roscadora de tubos y 85.0% para la ranuradora de rodillos.

Tabla 70.

Resultado de la eficiencia global de equipos (OEE) antes y después aplicada la metodología RCM en los equipos de perforación de la empresa M&C Soluciones S.A.C.

Nombre del equipo	OEE antes de la implementación	OEE después de la implementación	Variación
Máquina 1:			
Roscadora de tubo Modelo 535A	67.1%	80.5%	13.4%
Máquina 2:			
Ranuradora de rodillos Modelo 918	73.7%	85.0%	11.3%

Estos resultados representan un incremento de 13.4% y 11.3% respectivamente, en comparación con los promedios de los tres años anteriores a la implementación (el cual se ubicaba en 67.1% para la roscadora de tubos y 73.7% para la ranuradora de rodillos)

CAPÍTULO V. DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Discusión de resultados

El resultado obtenido referente al objetivo específico 1, La implementación de la metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) permite incrementar el nivel de disponibilidad en la empresa M & C Soluciones S.A.C. que se obtuvo una mejoría del 88.9% al 97.3% en la máquina 1 roscadora de tubo Modelo 535A y una mejoría del 92.4% al 96.0% en la máquina 2 ranuradora de rodillos Modelo 918 el periodo posterior a la implementación, para unas variaciones positivas de 8.4% y 3.6% respectivamente. A nivel internacional coincide con la investigación Zavala (2018) realizó una planeación de trabajo centrado en RCM que incluía el planteamiento de las funciones de los subsistemas hasta determinar las tareas específicas de mantenimiento para los modos de falla más frecuentes de cada equipo. A nivel nacional coincide con la investigación, Guevara y Silvera (2019) implementó un plan de RCM con el que se incrementó la disponibilidad de equipos de 82% al 91%

El resultado obtenido referente al objetivo específico 2, La implementación de la metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) permitió incrementar el nivel de rendimiento de los equipos de perforación en la empresa M & C Soluciones S.A.C. ya que los resultados mostraron una mejoría en el rendimiento de los equipos, el cual se determinó en un incremento de 81.5% a 85.56% para la Máquina 1 roscadora de tubos y de 86.3% a 91.19% para la máquina 2 ranuradora de rodillos, para unas variaciones positivas de 4.06% y 4.89% respectivamente. A nivel nacional, estos resultados coinciden con Guevara y Silvera (2019) quienes implementaron un plan de RCM con el que se incrementó el rendimiento de 47% al 100%, a la vez que Señas y Malca (2019) realizó un

modelo que aplicó herramientas de ingeniería para detectar la pérdida de velocidad, las causas de las paradas, las paradas menores, las averías y los tiempos de cambio.

El resultado obtenido referente al objetivo específico 3, La implementación de la metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) permitió incrementar el nivel de calidad de los equipos de perforación en la empresa M&C Soluciones S.A.C, ya que los resultados mostrados en las variaciones en la calidad de los equipos intervenidos, muestran una mejoría en la calidad de los equipos, el cual varió de 92.4% a 96.7% para la Máquina 1 roscadora de tubos y de 92.4% a 97.1% para la Máquina 2 ranuradora de rodillos, variaciones que representa un incremento de 4.3 y 4.7% respectivamente. En el plan internacional, coincide con los resultados de Guillén (2015), quien procedió al diseño de estrategias de mantenimiento acordes con las debilidades detectadas y el desarrollo de un formato que permitiera recabar información para el cálculo del indicador OEE. A nivel nacional, coincide con Guevara y Silvera (2019) implementó un plan de RCM con el que se incrementó la calidad de 81 a 96%

El resultado obtenido referente al objetivo general, la implementación de la metodología de mantenimiento basada en la confiabilidad (RCM) incrementó la eficiencia general de los equipos de perforación en la empresa M&C Soluciones S.A.C, ya que los resultados mostrados en las variaciones en la eficiencia global de equipos (OEE) de los equipos intervenidos muestran una mejoría en la OEE, el cual se determinó un incremento de 67.1% a 80.5% para la roscadora de tubos y de 73.7% a 85.0% para la ranuradora de rodillos. Estos resultados representan un incremento de 13.4% y 11.3% A nivel internacional, estos resultados coinciden con el estudio de Maya (2018), quien logró incrementar la OEE de 85% hasta 93%. A nivel nacional, Guevara y Silvera (2019) elaboró un plan enfocado en el mantenimiento autónomo mantenimiento planificado, mejoras del

proyecto y formación del personal, con lo cual se incrementó la disponibilidad de equipos de 82% al 91% el rendimiento de 47% al 100% la calidad de 81 a 96% y finalmente el OEE de 31% a 87%; mientras que García (2019) logró la sistematización de las tareas con la ubicación y revisión de los equipos lo que permitió la estandarización de los programas de mantenimiento basado en los riesgos así como el análisis de criticidad de los equipos basados en su contexto operacional.

Conclusiones

Primero: En cuanto al primer objetivo específico, se concluye que la disponibilidad de la máquina 1 (Roscadora de tubos) en los años 2017, 2018 y 2019 fue del 88.9% y para el año 2020 se obtuvo una disponibilidad de 97.3%, se logró incrementar en un 8.40% debido a la aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM). La disponibilidad de la máquina 2 (Roscadora de tubos) en los años 2017, 2018 y 2019 fue del 92.4% y para el año 2020 se obtuvo una disponibilidad de 96.0%, se logró incrementar en un 3.60% debido a la aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM).

Segundo: En lo que respecta al segundo objetivo específico, la máquina 1 (Roscadora de tubos) en los años 2017, 2018 y 2019 manifestó un rendimiento promedio de 81.5% y para el año 2020 se obtuvo un rendimiento de 85.56%, con lo que se concluye que se logró incrementar en un 4.06% una vez implementado el mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM). por su parte, el rendimiento de la máquina 2 (Roscadora de tubos) en los años 2017, 2018 y 2019 mostró un promedio de 86.3% y para el año 2020 se obtuvo un rendimiento de 91.19%, por lo que se logró incrementar en un 4.89% debido a la aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM).

Tercero: En el tercer objetivo específico se concluye que la calidad de la máquina 1 (Roscadora de tubos) en los años 2017, 2018 y 2019 tuvo un promedio de 92.4% mientras que para el año 2020 se obtuvo una calidad de 96.7%, con lo que se logró incrementar en un 4.3% con la aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM). asimismo, la calidad de la máquina 2 (Roscadora de tubos) en

los años 2017, 2018 y 2019 mostró un índice promedio de 92.4% y para el año 2020 se obtuvo una calidad de 97.1%, con lo que se logró incrementar en un 4.7% debido a la aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM).

Cuarto: En relación con el objetivo general, se concluye que la eficiencia global de equipos (OEE) de la máquina 1 (Roscadora de tubos) en los años 2017, 2018 y 2019 mostró un índice promedio de 67.1% y para el año 2020 se obtuvo una OEE de 80.5%. de esta forma, se logró incrementar en un 13.4% una vez implementado el mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM). de igual manera, la eficiencia global de equipos (OEE) de la máquina 2 (Roscadora de tubos) en los años 2017, 2018 y 2019 fue del 73.7% y para el año 2020 se obtuvo una OEE de 85.0%, con lo que se logró incrementar en un 11.3% con la aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM).

Recomendaciones

Primero: Se recomienda a la empresa realizar un control y monitoreo detallado de las actividades que garanticen la continuidad de las propuestas e implementaciones relacionadas con la metodología RCM para garantizar la disponibilidad y aumentar la eficiencia global de los equipos de la empresa.

Segundo: Se recomienda llevar a cabo actualizaciones anuales en las actividades de formación y desarrollo de competencias del personal de mantenimiento para que contribuyan al logro de los objetivos financieros de la empresa a través de un trabajo eficiente.

Tercero: Se recomienda llevar a cabo la implementación de metodologías más complejas tales como el mantenimiento productivo total de manera tal que se pueda avanzar en la mejora continua de los procesos de mantenimiento de la organización.

Cuarto: Asimismo se recomienda continuar con la organización de las labores en sus fases de planeación adquisición de materiales y gestión de los recursos para ofrecer a la empresa un proceso de mantenimiento eficiente y acorde con sus necesidades.

REFERENCIAS

- Alavedra, C. Gastelu, Y. Méndez, G. Minaya, C., Pineda, B., Prieto, G., Ríos, K., Moreno, C. (2016). Gestión de mantenimiento preventivo y su relación con la disponibilidad de la flota de camiones 730e Komatsu-2013. *Ingeniería Industrial*, 34 (1), 11-26. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=337450992001>
- Azid, N., Shamsudin, S., Yusoff, M. y Samat, H. (2019). Conceptual Analysis and Survey of Total Productive Maintenance (TPM) and Reliability Centered Maintenance (RCM) Relationship. *Materials Science and Engineering*, (2019), 1-14. Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.1088/1757-899X/530/1/012050>
- Banton, C. y Boyle, M. (2020). *Definición de eficiencia*. (Investopedia). Recuperado de: <https://www.investopedia.com/terms/e/efficiency.asp>
- Barney, J. (2011). Firm Resources and Sustained Competitive Advantage. *Journal of management*, 17(1), 99-120. Recuperado de: [https://josephmahoney.web.illinois.edu/BA545_Fall%202019/Barney%20\(1991\).pdf](https://josephmahoney.web.illinois.edu/BA545_Fall%202019/Barney%20(1991).pdf)
- Bergamo, R. y Romano, L. (2016). Agricultural machinery and implements design process: guidelines for small and mid-sized businesses. *System Reliability*. Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.69286>
- Catelani, M., Ciani, L., Galar, D. y Patrizi, G. (2020). Optimizing maintenance policies for a yaw system using reliability centered maintenance and data-driven condition monitoring. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 15 (1), 1-9. Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.1109/TIM.2020.2968160>

De Carlo, F. y Arleo, M. (2017). *Imperfect Maintenance Models, from Theory to Practice.*

Intechopensk (69286). Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.69286>

De Lima, F., Valle, J., Dupont, A., Pires, G., Sordi, J. y Muller, D. (2020). *Modularisation*

as a competitive criterion in industries manufacturing machinery and equipment in

Brazil. South African Journal of Industrial Engineering, 31 (1), 7-22. Recuperado

de: <http://dx.doi.org/10.7166/31-1-2207>

Fraser, K. Hvolby, H. y Tseng, T: (2017). *Maintenance management models: a study of the*

published literature to identify empirical evidence. International Journal of Quality

& Reliability Management, 32 (6), 635-664. Recuperado de:

<http://dx.doi.org/10.1108/IJORM-11-2013-0185>

García, C. (2019), *Mantenimiento basado en la confiabilidad para la excavadora 300.*

(Tesis de grado para optar el título de Ingeniero Mecánico). Universidad Nacional

de Trujillo. Recuperado de: <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/12091>

Guevara, C. y Silvera, C. (2019). *Implementación de la metodología TPM y su influencia*

en la eficiencia operacional de los equipos del proceso de tratamiento de Arenas de

molienda en una empresa minera. (Tesis de Grado). Cajamarca: Universidad

Privada del Norte. Recuperado de: <https://core.ac.uk/download/pdf/270046986.pdf>

Guillén, A. (2015). *Optimización de la efectividad global de los equipos (OEE) a través de*

estrategias de gestión de mantenimiento Caso: unidad II de la empresa Negroven,

S.A. (Tesis de posgrado). Valencia. Universidad de Carabobo. Recuperado de:

<http://mriuc.bc.uc.edu.ve/bitstream/handle/123456789/2428/aguillen.pdf?sequence>

=1

Gupta, G. & Mishra, R (2016), A SWOT analysis of reliability centered maintenance framework. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 22 (2), 130-145.

<https://doi.org/10.1108/JQME-01-2015-0002>

Gupta, P. & Vardhan, S. (2019). Optimizing OEE, productivity and production cost for improving sales volume in an automobile industry through TPM: a case study.

International Journal of Production Research. 54 (10), 2976-2988. Recuperado de:

<https://doi.org/10.1080/00207543.2016.1145817>

Haidar, A. (2016). *Reliability centered maintenance: Different Implementation Approaches*. (Tesis de maestría). Luleå University of Technology, Suecia.

Recuperado

de:

<http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:974288/FULLTEXT01.pdf>

Hooi, L. & Leong, T. (2017). Total productive maintenance and manufacturing performance improvement. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 23 (1),

2-21. <https://doi.org/10.1108/JQME-07-2015-0033>

Jain, A., Singh, H. y Bhatti, R.S. (2018), Identification of key enablers for total productive maintenance (TPM) implementation in Indian SMEs: A graph theoretic approach,

Benchmarking: An International Journal. 25 (8), 2611-2634. Recuperado de:

<https://doi.org/10.1108/BIJ-02-2016-0019>

Jin X., Siegel, D., Weiss, B. y Lee, J. (2016). Present Status and Future Growth of Advanced Maintenance Technology and Strategy in US Manufacturing.

International Journal of Environmental Research and Public Health, 7 (12), 14-28.

Recuperado de: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5207222/>

Kanti, T. & Cudney, E. (2018). Total productive maintenance. *Total Quality Management & Business Excellence*. 29 (12). 28-42. Recuperado de:

<https://doi.org/10.1080/14783363.2018.1438843>

Kardas, E., Brozova, S. y Pustejovska, P. (2017). The evaluation of efficiency of the use of machine working time in the industrial company – case study. *Management Systems in Production Engineering*, 25 (4), 241-245. Recuperado de:

<https://doi.org/10.1515/mspe-2017-0034>

Li, D. y Gao, J. (2010). Study and application of Reliability-centered Maintenance considering Radical Maintenance. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 23 (5), 622-629. Recuperado de:

<https://doi.org/10.1016/j.jlp.2010.06.008>

Márquez, C., & Gupta, J. (2005). Contemporary maintenance management: Process, framework and supporting pillars. *The International Journal of Management Science*, Omega 34 (2006), 313-326. Recuperado de:

<https://doi.org/10.1016/j.omega.2004.11.003>

Maya, J. (2018). *Aplicación de RCM como estrategia de implementación del mantenimiento predictivo para la metodología TPM*. (Tesis de Maestría). Medellín: Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de:

<http://bdigital.unal.edu.co/65668/7/98702383.2018.pdf>

Modgil, S. and 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.

<https://doi.org/10.1108/JQME-10-2015-0048>

Mwangi, K. (2014). Maintenance management practices and operational performance in electricity producing stations in Kenya. (Tesis de Maestría). Nairobi: Universidad de Nairobi, Kenya. Recuperado de:

http://erepository.uonbi.ac.ke/bitstream/handle/11295/76490/Kamau_Maintenance%20management%20practices%20and%20operational%20performance.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Nallusamy, S. y Majumdar, G. (2017). Enhancement of Overall Equipment Effectiveness using Total Productive Maintenance in a Manufacturing Industry. *International Journal of Performability Engineering*, 13 (2), 173-188. Recuperado de:

<http://dx.doi.org/10.23940/IJPE.17.02.P7.173188>

Piasson, D., Bísvaro, A., Leao, F. y Sanches, J. (2016). A new approach for reliability-centered maintenance programs in electric power distribution systems based on a multiobjective genetic algorithm. *Electric Power Systems Research*, 137 (2016), 41-50. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2016.03.040>

Phogat, S. y Gupta, A. (2017). Identification of problems in maintenance operations and comparison with manufacturing operations: A review. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 23 (2), 226-238. Recuperado de:

<https://doi.org/10.1108/JQME-06-2016-0027>

Pourahmadi, F. Fotuhi-Firuzabad, M. y Dehghanian, P. (2017) Application of Game Theory in Reliability-Centered Maintenance of Electric Power Systems. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 53 (2) 936-946. Recuperado de:

<https://doi.org/10.1109/TIA.2016.2639454>

Sáenz, C. (2016). *Diagnóstico del estado de la función mantenimiento en el sector pesquero en el norte peruano*. (Tesis de Grado). Piura: Universidad de Piura.

Recuperado de:

https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2654/IME_207.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Salah, M., Osman, H. y Hosny, O. (2018). Performance-Based Reliability-Centered Maintenance Planning for Hospital Facilities. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 32 (1), 1-20. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CF.1943-5509.0001112](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0001112)

Señas, E. y Malca, J. (2019). *Evaluación de las principales pérdidas que afectan al OEE de una máquina papelera modelo Recard, Lima 2018*. Tesis de Grado). Cajamarca:

Universidad Privada del Norte. Recuperado de:

<https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/21607>

Sharma, A. & Yadava, S.G. (2011). Reviews and Case Studies: A literature review and future perspectives on maintenance optimization. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 17(1), 5- 25. Recuperado de:

<https://core.ac.uk/download/pdf/199199371.pdf>

Shuaib, Y. (2010). Machinery and equipment maintenance cultures in nigerian public and private economy sectors: Ilorin township as a case study. *Engineering Conference of Institute of Technology*, 2 (1), 1-10.

<https://www.researchgate.net/publication/261179251>

Singh, R., Shah, D., Gohil, A. y Shah, M. (2013). Overall Equipment Effectiveness (OEE) Calculation - Automation through Hardware & Software Development. *Procedia Engineering*, 51 (2013), 579-584. Recuperado de:

<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.01.082>

Smith, F. (2014). Pipe Threading and Testing. SOLAS Further Education and Training Authority.. Recuperado de:

https://local.college.ie/Content/APPRENTICE/liu/pipefitting/pdf/M3_U6_Pipe%20Threading%20and%20Testing.pdf

Stecula, K. y Brodny (2016). Application of the Overall Equipment Effectiveness method to improve the effectiveness of the mechanized longwall system's work in the coal exploitation process. *Smart City: A Holistic Approach*. Recuperado de:

<https://www.researchgate.net/publication/305443083>

Sutharsan, S. & Kaple, G. (2018). Benefits of Implementing the 8-Pillars of Total Productive Maintenance - A Case. *Supply Chain Pulse*, 10 (2), 32-40.

<https://search.proquest.com/openview/b6d5b20b9c6d223e5465e12119491ee8/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2068963>

Tang, Y., Liu, Q., Jing, J. Yang, Y. y Zou, Z. (2016). A framework for identification of maintenance significant items in reliability centered maintenance. *Energy Journal*, 2016 (1), 1.9. Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2016.11.011>

The Welding Institute (2020). *Oxy-fuel gouging*. Recuperado de: <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/job-knowledge/oxy-fuel-gouging-009>

Tsarouhas, P. (2018). Reliability, availability, and maintainability (RAM) analysis for wine packaging production line. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 35 (3) 821-842. Recuperado de: <https://doi.org/10.1108/IJQRM-02-2017-0026>

Vilarinho, S., Lopes, I. & Sousa, S. (2017). Design Procedure to Develop Dashboards Aimed at Improving the Performance of Productive Equipment and Processes. *Procedia Manufacturing*. 11 (1), 1634-1641. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.314>

Zavala, C. (2018). *Plan de mantenimiento preventivo basado en RCM para el chancador primario Fuller, operación Mantoverde*. (Tesis de Grado). Valparaíso: Universidad Técnica Federico Santa María. Recuperado de: <https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/40797/3560900257693UTFSM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ANEXOS

Anexo 1.

Matriz de consistencia – Coherencia

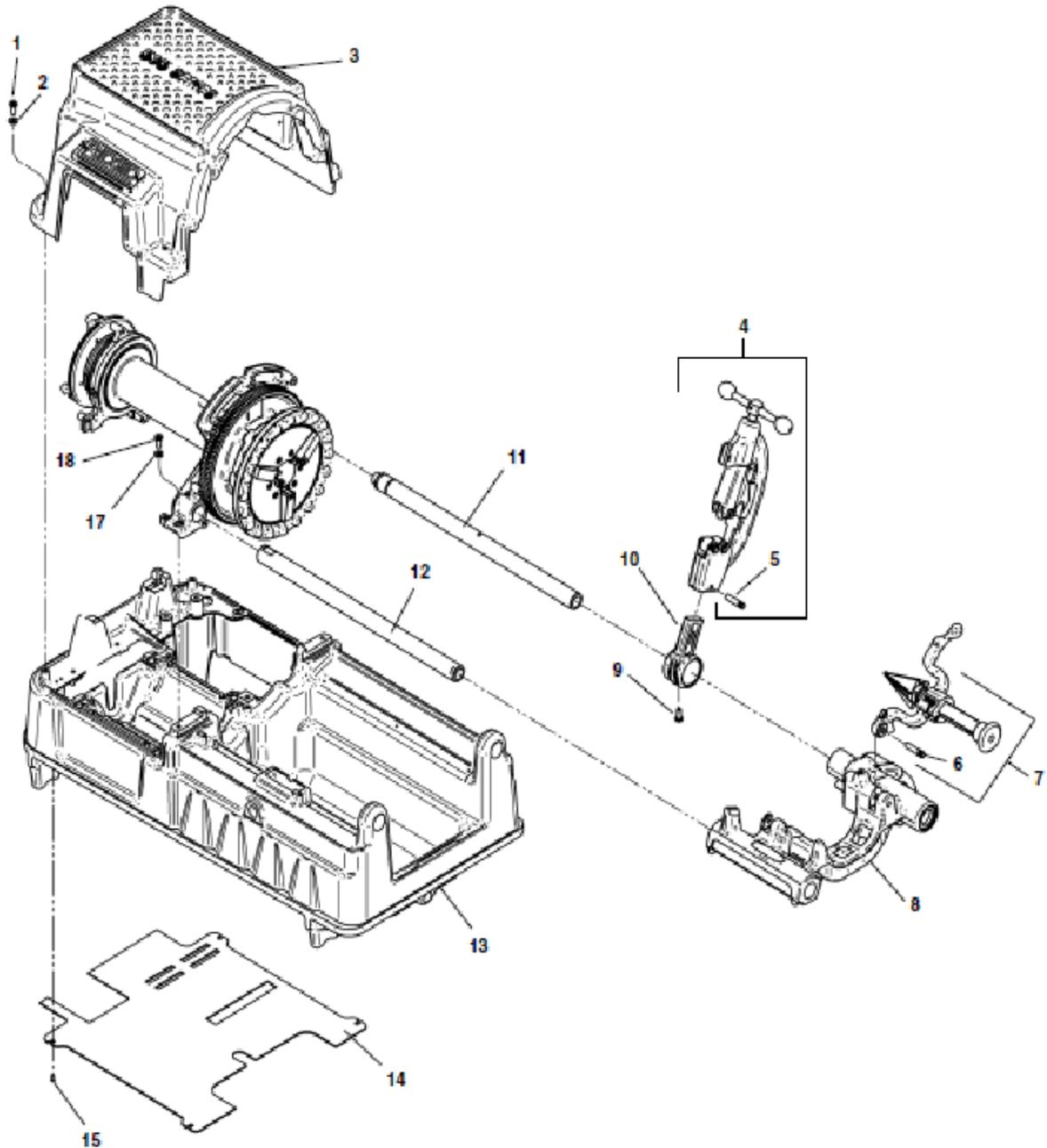
Título: IMPLEMENTACIÓN DE MEJORAS BASADAS EN EL MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD DE LAS MÁQUINAS EN LA EMPRESA M & C SOLUCIONES S.A.C AÑO 2020.

Autor: Javier Nestor Ordaya Quispe

PROBLEMA	OBJETIVOS	VARIABLES
General	General	
¿En qué medida la implementación de la metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) permite incrementar la eficiencia global de los equipos de perforación en la empresa M&C Soluciones S.A.C?	Determinar en qué medida la implementación de la metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) permite incrementar la eficiencia global de los equipos de perforación en la empresa M&C Soluciones S.A.C.	Variable (X) Implementación de la metodología RCM. Variable (Y) Eficiencia global de los equipos de perforación
Específicos	Específicos	
¿En qué medida la implementación de la metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) permite incrementar la disponibilidad de los equipos de perforación en la empresa M&C Soluciones S.A.C.?	Medir el nivel de disponibilidad posterior a la implementación de la metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) en los equipos de perforación en la empresa M&C Soluciones S.A.C.	Variable (X₁) Implementación de la metodología RCM. Variable (Y₁) Nivel de disponibilidad.
¿En qué medida la implementación de la metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) permite incrementar el rendimiento de los equipos de perforación en la empresa M&C Soluciones S.A.C.?	Medir el nivel de rendimiento posterior a la implementación de la metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) en los equipos de perforación en la empresa M&C Soluciones S.A.C.	Variable (X₂) Implementación de la metodología RCM. Variable (Y₂) Nivel de rendimiento.
¿En qué medida la implementación de la metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) permite incrementar la calidad de los equipos de perforación en la empresa M&C Soluciones S.A.C.?	Medir el nivel de calidad posterior a la implementación de la metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) en los equipos de perforación en la empresa M&C Soluciones S.A.C.	Variable (X₃) Implementación de la metodología RCM Variable (Y₃) Nivel de calidad.

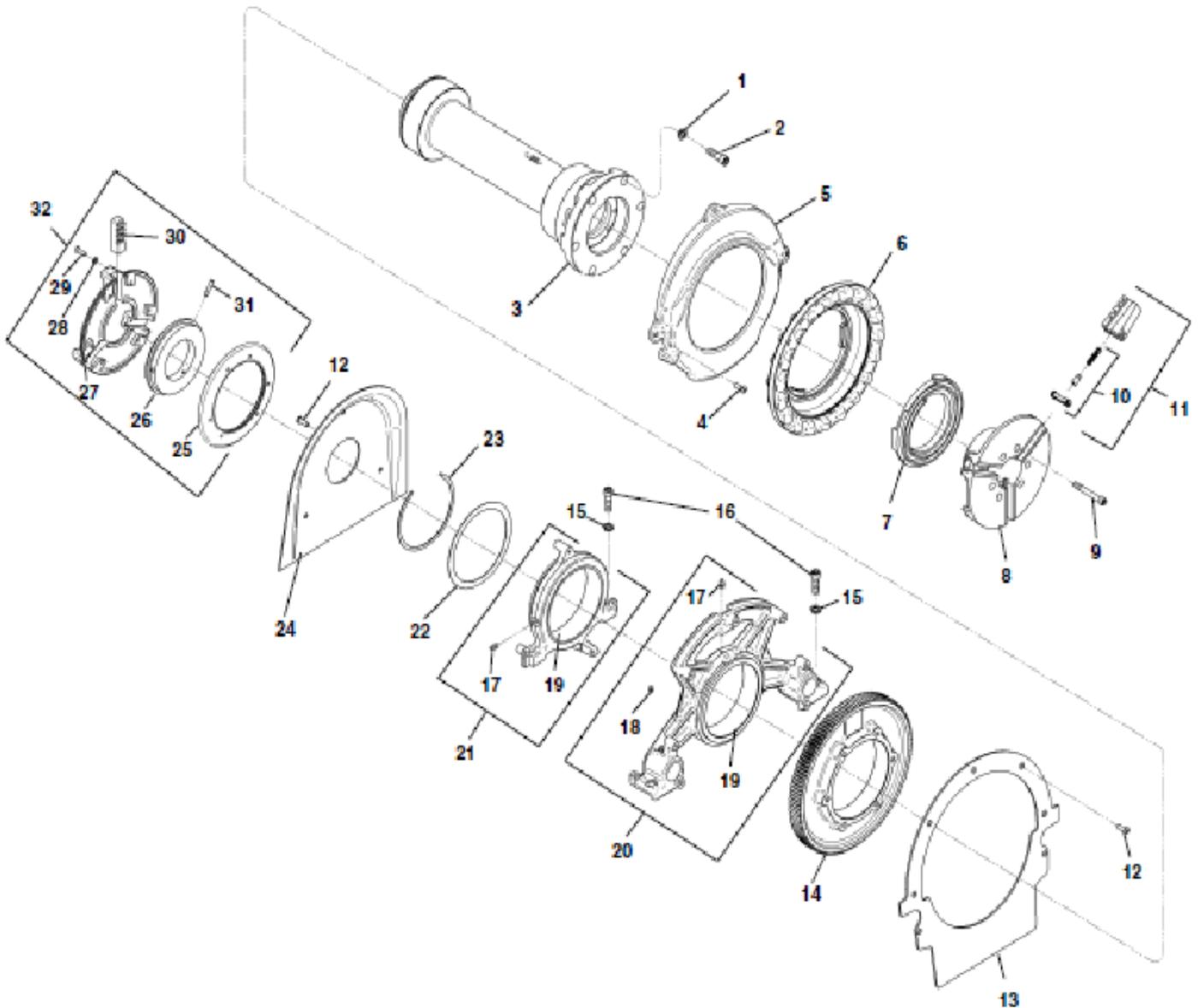
Anexo 2.

Detalles de componentes de la Máquina 1: Roscadora de tubos modelo 535



**NOTE: Order parts by Catalog Number only.
DO NOT order by Reference Number.**

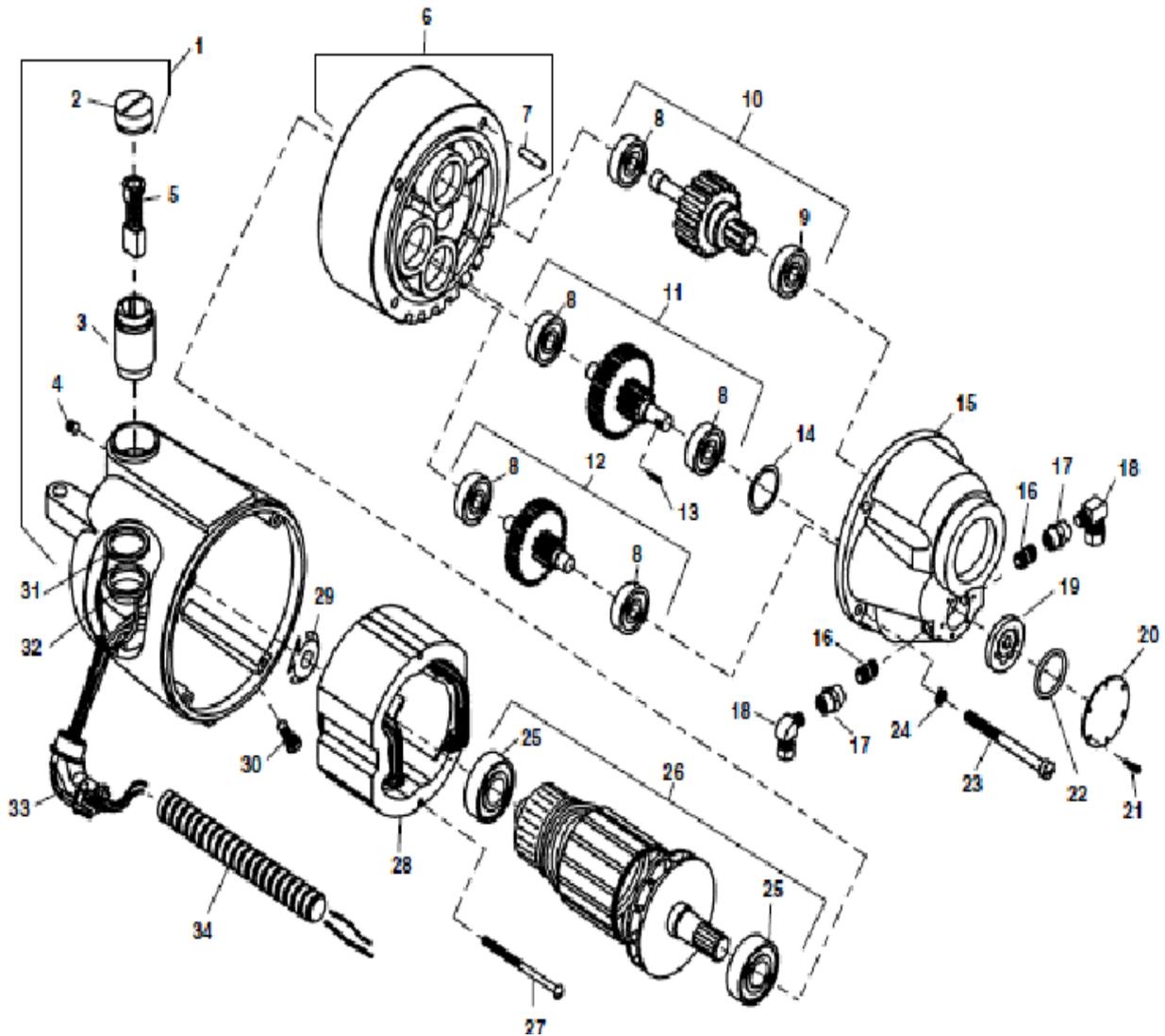
<u>Ref. No.</u>	<u>Catalog No.</u>	<u>Description</u>	<u>Ref. No.</u>	<u>Catalog No.</u>	<u>Description</u>
1	94332	Screw, Button Head 1/4" - 20 x 3/4" (4)	9	44930	Stop Screw
2	94322	Washer, Flat 1/4" (4)"	10	43690	Cutter Arm
3	94432	Top Cover	11	45220	Rear Support Bar
4	42390	820 Cutter Assembly	12	45440	Front Support Bar
5	47135	Stop Pin	13	94042	Base
6	47065	Pin	14	96432	Bottom Cover
7	42365	341 Reamer Assembly	15	94312	Screw, Pan Head #6 - 32 x 2" (4)
8	94357	Carriage Assembly			



**NOTE: Order parts by Catalog Number only.
DO NOT order by Reference Number.**

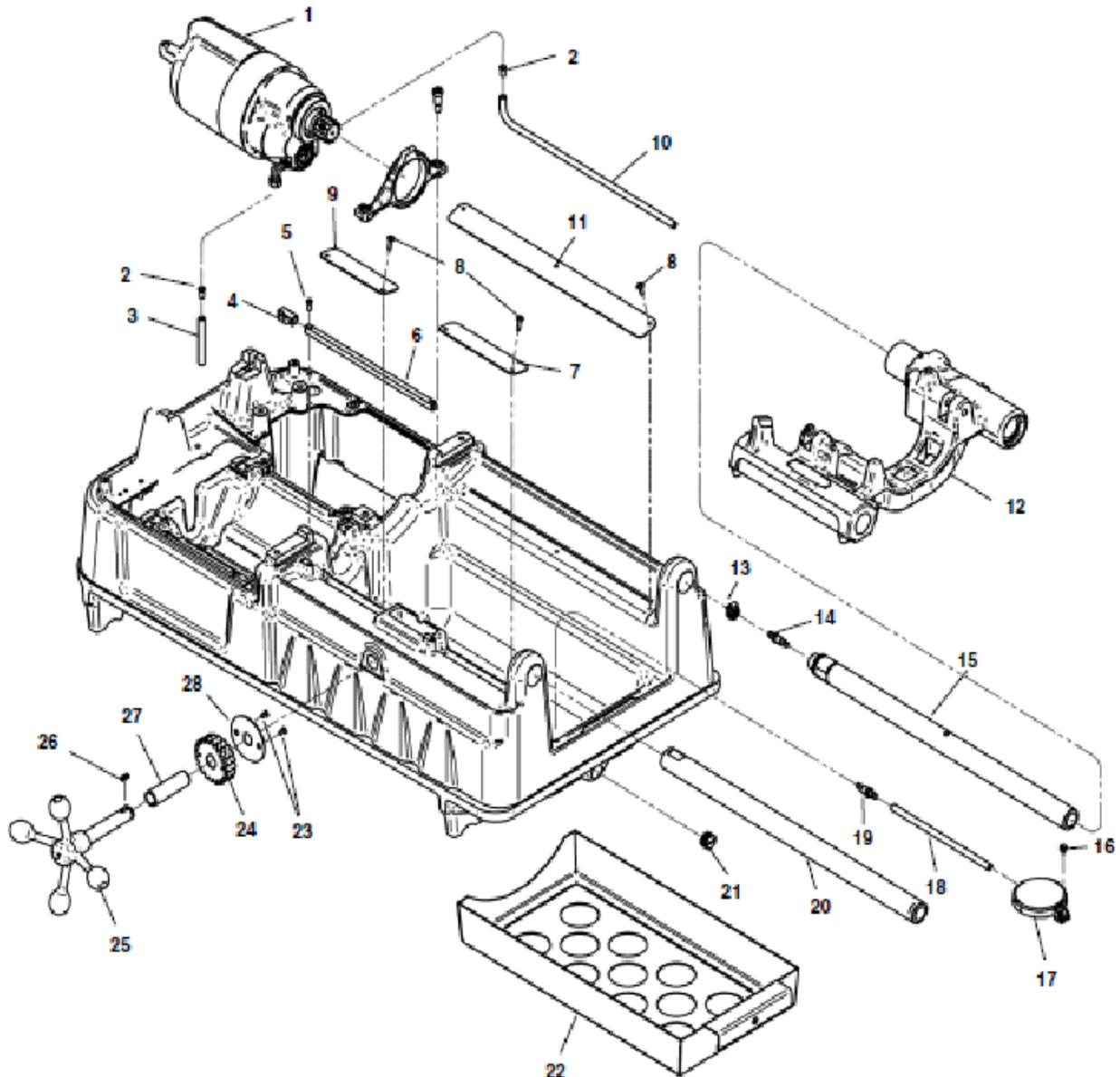
Ref. No.	Catalog No.	Description	Ref. No.	Catalog No.	Description
1	40930	Washer, Lock 3/8"	18	40910	Set Screw 1/8" - 20 x 1/4" (4)
2	46475	Screw, Soc. Hd. 3/8" - 16 x 1 1/2"	19	93957	Spindle Bearing (2)
3	96427	Drive Shaft	20	94027	Front Bracket Assembly
4	94332	Screw, Button Head 1/2" - 20 x 3/4" (9)	21	94037	Rear Bracket Assembly
5	96407	Front Cover	22	94392	Thrust Washer
6	96422	Handwheel	23	94397	Retaining Ring
7	43450	Scroll	24	96487	Rear Cover
8	43525	Chuck Cap	25	43740	Back Plate
9	45295	Screw, 3/16" - 18 x 2 3/4" (6)	19356	Back Plate - Europe	
10	44715	Insert Set	26	44095	Scroll
11	44090	Front Jaw (4)	27	43735	Centering Head
12	94337	Screw, Button Head 1/2" - 20 x 3/4" (7)	19346	Centering Head - Europe	
13	94072	Front Plate	28	40270	Lock Washer (6)
14	96417	Drive Gear	29	46790	Screw, #12-24 x 3/4" (6)
15	40930	Washer, Lock 3/8" (4)	30	46500	Centering Jaw (3)
16	46745	Screw, 3/8" - 16 x 1 1/2" (4)	31	45260	Step Pin (3)
17	46860	Grease Fitting (2)	32	44165	Centering Head Assembly

Motor



**NOTE: Order parts by Catalog Number only.
DO NOT order by Reference Number.**

Ref. No.	Catalog No.	Description	Ref. No.	Catalog No.	Description	Ref. No.	Catalog No.	Description
—	96442	1101 Motor 115V	12	52527	2nd Gear Assembly	25	52517	Male Elbow
—	21208	2301 Motor 230V	13	96885	Pin	26	44565	Armature Bearing (2)
1	43160	Housing Assembly	14	96880	Oil Seal	27	52497	Armature (115V)
2	44545	Brush Cap Set	15	96830	Gear Housing	27	52492	Armature (230V)
3	45025	Brush Holder Set	16	52507	Pipe Nipple 1/8" NPT (2)	27	44555	Mounting Screw (2)
4	39770	Set Screw (2)	17	52512	Coupling 1/8" NPT (2)	28	44015	Field (115V)
5	44540	Brush Assembly Set	18	52517	90° Elbow Fitting (2)	44035	Field (230V)	
6	54552	Fan Housing Assembly	19	96870	Gerotor Set	29	44580	Loading Spring
7	45165	Dowel Pin	20	96840	Cover Plate	30	83500	Locking Screw (2)
8	45060	Gear Bearings (5)	21	96890	Screw (6)	31	96942	White Upper Lead
9	45315	Front Bearing	22	96875	O Ring	32	96492	Red Lower lead
10	96437	Drive Gear	23	45075	Screw (4)	33	46900	Connector 90
11	52522	1st Gear Assembly	24	45150	Lock Washer	34	96482	Flexible Conduit

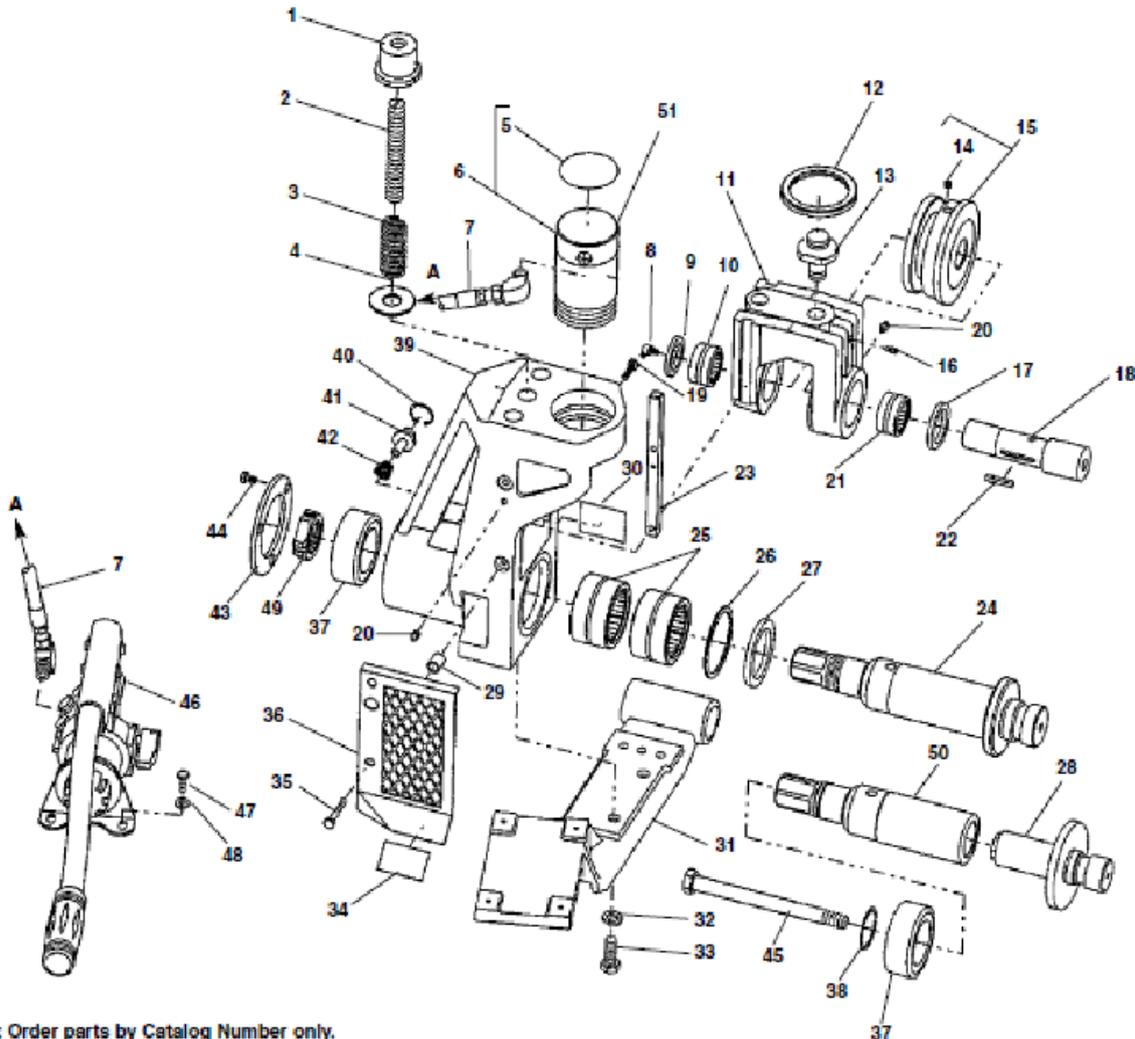


**NOTE: Order parts by Catalog Number only.
DO NOT order by Reference Number.**

Ref. No.	Catalog No.	Description	Ref. No.	Catalog No.	Description
1	96442	1101 Motor Assembly 115V	15	45220	Support Bar, Rear
	21208	2301 Motor Assembly 230V	16	45420	Screw, #10 - 32 x 3/8"
2	35117	Tube Insert	17	58467	Filter Screen Assembly
3	96477	Oil Hose, Input 13"	18	87950	Oil Hose, Filter
4	47110	Indicator Slide	19	54142	Bulkhead Fitting
5	45615	Screw, Flat Head #10 - 32 x 1/2" (2)	20	45440	Support Bar, Front
6	47105	Length Indicator Bar	21	96447	Drain Plug 1/2" NPT
7	94117	Drip Edge	22	94112	Chip Tray
8	43367	Screw, #8 x 3/4"	23	46785	Screw, Flat Head #10 - 32 x 3/8" (2)
9	94122	Drip Edge	24	45430	Pinion
10	58482	Oil Hose, Input 25"	25	94012	Handwheel
11	94127	Drip Edge	26	94267	Key, 3/16" Square x 1/2"
12	94357	Carriage Assembly	27	94222	Bushing
13	35142	Hose Clamp	28	47120	Pinion Lock Ring
14	69167	Barbed Fitting			

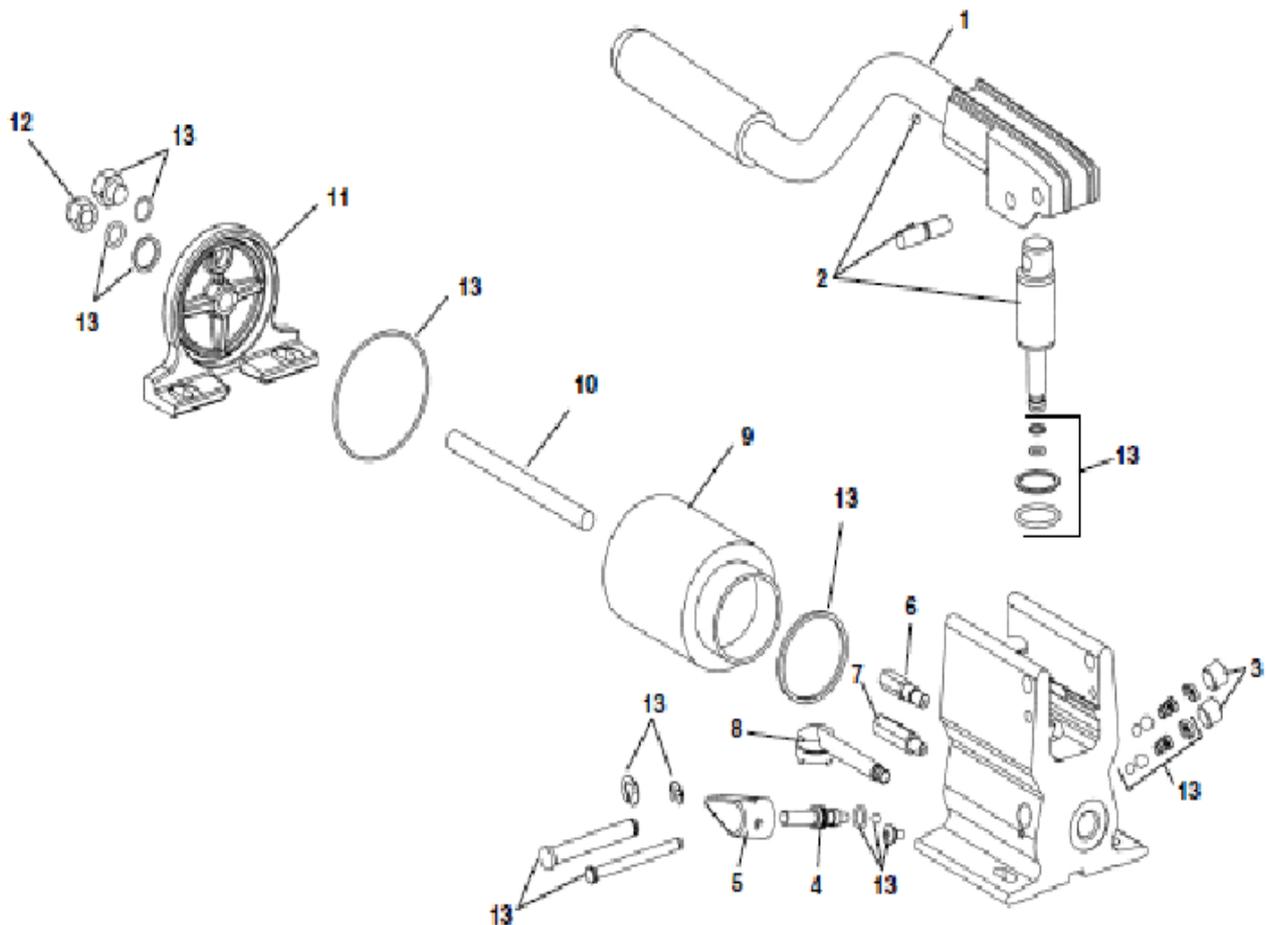
Anexo 3.

Detalles de componentes de la Máquina ranuradora de rodillos Modelo 918



NOTE: Order parts by Catalog Number only.
DO NOT order by Reference Number.

Ref. No.	Catalog No.	Description	Ref. No.	Catalog No.	Description	Ref. No.	Catalog No.	Description
1	49117	Depth Adjustment Nut	22	27002	Key, 3/16 Sq. x 1 1/16	36	49197	Guard (Incls. Ref. 29)
2	49112	Depth Rod	23	49107	Set of 2 Slide Keys	37	49127	Bearing
3	49122	Spring	24	51427	Drive Shaft, 2-6" Sch. 10 & 40	38	49192	Spiral Retaining Ring
4	60995	Flat Washer, 3/4"		51432	Drive Shaft Assy. - same as above and includes Ref. 37, 49	39	49057	Lower Roll Housing (Incls. Ref. 20)
5	49262	Label, Depth Adjustment		51817	Drive Shaft, 8-12" Sch 10, 8" Sch 40	40	49177	Retaining Ring
6	49147	Hydraulic Cylinder		51812	Drive Shaft Assy. - same as above and includes Ref. 37, 49	41	49172	Lock Pin
7	49142	Hydraulic Hose	25	87600	Roller Bearing (2)	42	44915	Spring
8	46915	Grease Fitting - 65 Deg.	26	49187	Spiral Retaining Ring	43	49132	Retaining Plate
9	87695	Seal	27	91000	Seal	44	60265	Hex Screw, 1/4" - 20 x 1/2" (3)
10	87710	Roller Bearing	28	49157	Drive Roll, 1"	45	49667	Hex Bolt 3/8" - 11 x 7"
11	49062	Upper Roll Housing (Incls. Ref. 9, 10, 16, 17, 20, 21)		49072	Drive Roll, 1 1/4" - 1 1/2"	46	61132	Hydraulic Pump
12	49152	Lock Ring		51732	Drive Roll, Copper 2" - 6"	47	60005	Hex Screw, 1/2" - 20 x 3/4" (4)
13	49082	Piston Rod Coupling	29	49202	Set of 2 Spacers	48	27402	Flat Washer (4)
14	45192	Set Screw, 1/4" - 20 x 3/8"	30	49207	Label, Warning	49	49607	Bearing Retaining Nut
15	49162	Groove Roll, 1"	31	48292	Mounting Base Kit - 300	50	49067	Drive Shaft - for 1", 1 1/4", 1 1/2" rolls and copper roll 2" - 6"
	49097	Groove Roll, 1 1/4" - 1 1/2"		48392	Mounting Base Kit - 1822		49627	Drive Shaft Assy. - same as above and includes Ref. 37, 38, 45
	49217	Groove Roll 2" - 6" SC 10/40		48397	Mounting Base Kit - 1224	51	35943	Repair Kit
	51822	Groove Roll, 8" - 12" Sch. 10, 8" Sch. 40		48402	Mounting Base Kit - 535	Following Items Not Shown:		
	50127	Groove Roll, Copper 2" - 6"		60212	Mounting Base Kit - 1233/300 Compact	49087		T-Handle Hex Key, 1/8"
16	45265	Set Screw, 1/4" - 20 x 1/2"	33	45500	Hex Screw, 1/2" x 1 1/4" (2)	49167		Coupling - 535/1822/1224
17	87690	Seal	32	86445	Lock Washer, 1/2" (2)	53987		Roll Storage Case
18	49102	Upper Roll Shaft (Incls. Ref. 8, 22)	34	49257	Label, Warning	54317		Box Wrench
19	49252	Hex Screw, 1/4" - 20 x 1" (2)	35	49212	Hex Screw, 1/4" - 20 x 1 1/4" (2)			
20	46860	Grease Fitting (4)						
21	87610	Roller Bearing						



**NOTE: Order parts by Catalog Number only.
DO NOT order by Reference Number.**

Ref. No.	Catalog No.	Description
1	64427	Handle Assembly
2	97757	Plunger Assembly
3	63742	Pipe Plug (2)
4	97762	Valve Stem
5	64437	Release Knob
6	63752	Low Pressure Bypass
7	63757	High Pressure Relief
8	97782	Oil Filter
9	64412	Reservoir
10	64417	Tie Rod
11	97767	End Cap
12	63707	Acorn Nut
13	97772	Repair Kit

Anexo 4.

Formatos de control de mantenimiento.

<p>M&C SOLUCIONES</p> <p>S.A.C.</p> <p>FORMATO DE INSPECCION DIARIA</p>	<p><i>Plan de mantenimiento preventivo</i></p> <p><i>Maquina 1: Roscadora de tubos Ridgid</i></p> <p><i>modelo 535A</i></p>
<p>Instrucciones: Marque con una X una vez realizada la tarea:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Inspección visual. <input type="checkbox"/> • Inspección de Ruidos. <input type="checkbox"/> • Inspección de funcionamiento. <input type="checkbox"/> • Ajuste del cabezal de terrajas. <input type="checkbox"/> • Coloque las terrajas según el tubo a roscar. <input type="checkbox"/> • Limpieza del equipo <input type="checkbox"/> 	
<p>Observaciones: _____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p>	
<p>Realizado por: _____ Revisado por: _____</p>	

<p style="text-align: center;">M&C SOLUCIONES</p> <p style="text-align: center;">S.A.C.</p> <p>FORMATO DE INSPECCION SEMANAL</p>	<p style="text-align: center;"><i>Plan de mantenimiento preventivo</i></p> <p style="text-align: center;">Máquina 1: Roscadora de tubos Ridgid</p> <p style="text-align: center;"><i>modelo 535A</i></p>
<p>Instrucciones: Marque con una X una vez realizada la tarea:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Inspección visual <input type="checkbox"/> • Inspección de ruidos <input type="checkbox"/> • Inspección de funcionamiento <input type="checkbox"/> • Verificación de nivel de aceite hidráulico. <input type="checkbox"/> 	
<p>Observaciones: _____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p>	
<p>Realizado por: _____ Revisado por: _____</p>	

<p style="text-align: center;">M&C SOLUCIONES</p> <p style="text-align: center;">S.A.C.</p> <p>FORMATO DE INSPECCION MENSUAL</p>	<p style="text-align: center;"><i>Plan de mantenimiento preventivo</i></p> <p style="text-align: center;">Máquina 1: Roscadora de tubos Ridgid</p> <p style="text-align: center;"><i>modelo 535A</i></p>
<p>Instrucciones: Marque con una X una vez realizada la tarea:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Inspección de la correa en V <input type="checkbox"/> • Inspección de las mordazas de ajuste <input type="checkbox"/> • Lubricar la caja de engranajes <input type="checkbox"/> 	
<p>Observaciones: _____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p>	
<p>Realizado por: _____ Revisado por: _____</p>	

<p>M&C SOLUCIONES S.A.C.</p> <p>FORMATO DE INSPECCION SEMESTRAL</p>	<p><i>Plan de mantenimiento preventivo</i></p> <p><i>Máquina 1: Roscadora de tubos</i></p> <p><i>Ridgid modelo 535A</i></p>
<p>Instrucciones: Marque con una X una vez realizada la tarea:</p> <p style="text-align: center;">Inspección de las escobillas del motor eléctrico <input type="checkbox"/></p>	
<p>Observaciones: _____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p>	
<p>Realizado por: _____ Revisado por: _____</p>	

<p style="text-align: center;">M&C SOLUCIONES</p> <p style="text-align: center;">S.A.C.</p> <p style="text-align: center;">FORMATO DE INSPECCION DIARIA</p>	<p style="text-align: center;"><i>Plan de mantenimiento preventivo</i></p> <p style="text-align: center;">Máquina 2: Ranuradora de rodillos modelo</p> <p style="text-align: center;">918</p>
<p>Instrucciones: Marque con una X una vez realizada la tarea:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Inspección visual. <input type="checkbox"/> • Inspección de Ruidos. <input type="checkbox"/> • Inspección de funcionamiento. <input type="checkbox"/> • Verificación de los rodillos de ranurado. <input type="checkbox"/> • Purga de la bomba de aceite. <input type="checkbox"/> • Limpieza del equipo <input type="checkbox"/> 	
<p>Observaciones: _____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p>	
<p>Realizado por: _____ Revisado por: _____</p>	

<p style="text-align: center;">M&C SOLUCIONES</p> <p style="text-align: center;">S.A.C.</p> <p>FORMATO DE INSPECCION SEMANAL</p>	<p style="text-align: center;"><i>Plan de mantenimiento preventivo</i></p> <p style="text-align: center;"><i>Máquina 2: Ranuradora de rodillos modelo</i></p> <p style="text-align: center;">918</p>
<p>Instrucciones: Marque con una X una vez realizada la tarea:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Inspección visual <input type="checkbox"/> • Inspección de ruidos <input type="checkbox"/> • Inspección de funcionamiento <input type="checkbox"/> • Verificación de nivel de aceite hidráulico. <input type="checkbox"/> 	
<p>Observaciones: _____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p>	
<p>Realizado por: _____ Revisado por: _____</p>	

<p>M&C SOLUCIONES S.A.C.</p> <p>FORMATO DE INSPECCION TRIMESTRAL</p>	<p><i>Plan de mantenimiento preventivo</i></p> <p><i>Máquina 2: Ranuradora de rodillos</i></p> <p><i>modelo 918</i></p>
<p>Instrucciones: Marque con una X una vez realizada la tarea:</p> <p style="text-align: center;">Limpieza del cuerpo de la bomba hidráulica <input type="checkbox"/></p>	
<p>Observaciones: _____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p>	
<p>Realizado por: _____ Revisado por: _____</p>	

M&C SOLUCIONES S.A.C.



***Máquina 1: Roscadora de tubos modelo
535 A***

REGISTRO DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO

Fecha: _____

Incidente o tipo de falla: _____

Descripción de la acción correctiva _____

Insumos utilizados: _____

Tiempo parada del equipo: _____

Realizado por: _____ Revisado por: _____

M&C SOLUCIONES
S.A.C.



*Máquina 2: Ranuradora de rodillos modelo
918*

REGISTRO DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO

Fecha: _____

Incidente o tipo de falla: _____

Descripción de la acción correctiva _____

Insumos utilizados: _____

Tiempo parada del equipo: _____

Realizado por: _____ Revisado por: _____

Anexo 5.

Indicador de eficiencia global de equipos (OEE) de la Máquina 1 roscadora de tubo

Modelo 535A - año 2020

Mes	Disponibilidad	Rendimiento	Calidad	Indicador de eficiencia global de equipos (OEE)
Enero	0.977	0.916	0.987	0.883
Febrero	0.930	0.836	0.986	0.767
Marzo	0.940	0.725	0.920	0.627
Abril	-	-	-	-
Mayo	-	-	-	-
Junio	0.947	0.788	0.974	0.727
Julio	0.973	0.867	0.956	0.806
Agosto	0.971	0.825	0.966	0.774
Setiembre	0.938	0.894	0.942	0.790
Octubre	0.990	0.885	0.968	0.848
Noviembre	0.985	0.919	0.978	0.885
Diciembre	0.936	0.813	0.975	0.741
Totales	0.973	0.856	0.967	0.805

Anexo 6.

*Indicador de eficiencia global de equipos (OEE) de la Máquina 1 roscadora de tubo
Modelo 535A - año 2017*

Mes	Disponibilidad	Rendimiento	Calidad	Indicador de eficiencia global de equipos (OEE)
Enero	0.977	0.886	0.911	0.789
Febrero	0.904	0.802	0.921	0.668
Marzo	0.956	0.819	0.914	0.715
Abril	0.862	0.855	0.952	0.701
Mayo	0.967	0.903	0.944	0.824
Junio	0.932	0.763	0.919	0.654
Julio	0.847	0.733	0.928	0.576
Agosto	0.917	0.828	0.932	0.707
Setiembre	0.813	0.764	0.921	0.572
Octubre	0.827	0.856	0.945	0.669
Noviembre	0.932	0.883	0.931	0.765
Diciembre	0.898	1.031	0.926	0.858
Totales	0.901	0.840	0.929	0.703

Anexo 7.

*Indicador de eficiencia global de equipos (OEE) de la Máquina 1 roscadora de tubo
Modelo 535A - año 2018*

Mes	Disponibilidad	Rendimiento	Calidad	Indicador de eficiencia global de equipos (OEE)
Enero	0.935	0.698	0.949	0.619
Febrero	0.937	0.860	0.936	0.754
Marzo	0.939	0.788	0.945	0.699
Abril	0.863	0.696	0.947	0.569
Mayo	0.879	0.714	0.930	0.583
Junio	0.946	0.856	0.942	0.763
Julio	0.858	0.777	0.910	0.607
Agosto	0.875	0.581	0.935	0.475
Setiembre	0.860	0.682	0.920	0.539
Octubre	0.866	0.859	0.941	0.700
Noviembre	0.938	0.833	0.933	0.729
Diciembre	0.820	0.845	0.919	0.637
Totales	0.894	0.762	0.934	0.636

Anexo 8.

Indicador de eficiencia global de equipos (OEE) de la Máquina 1 roscadora de tubo

Modelo 535A - año 2019

Mes	Disponibilidad	Rendimiento	Calidad	Indicador de eficiencia global de equipos (OEE)
Enero	0.9330	0.8570	0.9334	0.7463
Febrero	0.9480	0.9183	0.9083	0.7907
Marzo	0.8690	0.9068	0.9234	0.7276
Abril	0.8210	0.7653	0.9268	0.5823
Mayo	0.8750	0.8740	0.9264	0.7085
Junio	0.8090	0.8840	0.9111	0.6516
Julio	0.8570	0.7874	0.8755	0.5908
Agosto	0.8920	0.7858	0.9320	0.6533
Setiembre	0.9170	0.7825	0.8882	0.6373
Octubre	0.8680	0.8313	0.9179	0.6623
Noviembre	0.8730	0.8789	0.9069	0.6958
Diciembre	0.8240	0.9345	0.8801	0.6777
Totales	0.8730	0.8462	0.9116	0.6734

Anexo 9.

*Indicador de eficiencia global de equipos (OEE) de la máquina 2 ranuradora de rodillos -
año 2018 - año 2020*

Mes	Disponibilidad	Rendimiento	Calidad	Indicador de eficiencia global de equipos (OEE)
Enero	0.9580	0.9303	0.9845	0.8774
Febrero	0.9520	0.9133	0.9837	0.8553
Marzo	0.8790	0.7409	0.9029	0.5880
Abril	-	-	-	-
Mayo	-	-	-	-
Junio	0.9440	0.6808	0.9576	0.6154
Julio	0.9780	0.9263	0.9777	0.8857
Agosto	1.0000	0.9343	0.9731	0.9092
Setiembre	0.9310	0.9918	0.9708	0.8964
Octubre	1.0000	0.9303	0.9740	0.9061
Noviembre	0.9640	0.9341	0.9641	0.8681
Diciembre	0.9190	0.9286	0.9635	0.8222
Totales	0.9600	0.9119	0.9717	0.8506

Anexo 10.

*Indicador de eficiencia global de equipos (OEE) de la máquina 2 ranuradora de rodillos
Modelo 918 - año 2017*

Mes	Disponibilidad	Rendimiento	Calidad	Indicador de eficiencia global de equipos (OEE)
Enero	0.945	0.972	0.933	0.857
Febrero	0.936	1.054	0.935	0.922
Marzo	0.942	0.520	0.884	0.433
Abril	0.947	0.422	0.871	0.348
Mayo	0.947	0.651	0.883	0.545
Junio	0.945	0.683	0.940	0.607
Julio	0.952	1.007	0.960	0.920
Agosto	0.954	0.938	0.961	0.859
Setiembre	0.950	0.992	0.960	0.905
Octubre	0.952	0.972	0.960	0.888
Noviembre	0.945	0.976	0.932	0.859
Diciembre	0.933	0.808	0.934	0.704
Totales	0.946	0.836	0.937	0.741

Anexo 11.

*Indicador de eficiencia global de equipos (OEE) de la máquina 2 ranuradora de rodillos -
año 2018*

Mes	Disponibilidad	Rendimiento	Calidad	Indicador de eficiencia global de equipos (OEE)
Enero	0.971	1.070	0.952	0.989
Febrero	0.925	1.050	0.919	0.893
Marzo	0.920	0.501	0.878	0.405
Abril	0.903	0.427	0.803	0.310
Mayo	0.966	0.749	0.820	0.593
Junio	0.899	0.636	0.893	0.511
Julio	0.901	1.154	0.939	0.976
Agosto	0.920	1.032	0.942	0.894
Setiembre	0.927	1.048	0.946	0.920
Octubre	0.890	1.215	0.949	1.027
Noviembre	0.909	1.027	0.874	0.816
Diciembre	0.873	0.842	0.902	0.664
Totales	0.917	0.891	0.913	0.746

Anexo 12.

*Indicador de eficiencia global de equipos (OEE) la Máquina 2 ranuradora de rodillos
Modelo 918 - año 2019*

Mes	Disponibilidad	Rendimiento	Calidad	Indicador de eficiencia global de equipos (OEE)
Enero	0.935	1.025	0.937	0.898
Febrero	0.917	1.057	0.942	0.913
Marzo	0.881	0.524	0.852	0.393
Abril	0.889	0.427	0.843	0.320
Mayo	0.937	0.632	0.914	0.541
Junio	0.899	0.660	0.871	0.517
Julio	0.942	1.062	0.942	0.943
Agosto	0.920	0.953	0.930	0.815
Setiembre	0.917	1.093	0.935	0.937
Octubre	0.865	1.068	0.938	0.867
Noviembre	0.895	0.985	0.958	0.844
Diciembre	0.922	0.903	0.882	0.734
Totales	0.910	0.862	0.921	0.723