ISBN: 978-628-96613-1-6. ISSN: 2414-6390. Digital Object Identifier: https://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2025.1.1.481

Reliability-Centered Maintenance Application to Reduce Failures in the Critical Machine of a Peruvian Metalworking Company

Sol Analí Novoa Sánchez, Bachelor of Industrial Engineering[1], Ximena Romina Roncal Gutiérrez, Bachelor of Industrial Engineering[2] and Jean Carlos Escurra Lagos, Master in Education[3]
[1,2]Universidad Privada del Norte, Perú, n00260120@upn.pe, n00235134@upn.pe
[3]Universidad Privada del Norte, Perú, jean.escurra@upn.pe

Abstract*– This study aimed to analyze the implementation of Reliability-Centered Maintenance (RCM) in a Peruvian metalworking company to reduce failures in a critical machine, specifically the A10 mill. The research employed a quantitative and experimental design, using document analysis and personal interviews as techniques, along with instruments such as a documentary guide and a questionnaire. Tools such as the criticality matrix, Failure Modes and Effects Analysis (FMEA), Pareto diagram, decision tree, and hour counter were used. The Shapiro-Wilk test confirmed the normality of the data with a significance level of 0.365. The implementation of RCM increased the Mean Time Between Failures (MTBF) to 161.2 hours, reflecting an improvement in operational reliability. However, the Student's t-test yielded a p-value of 0.690, indicating no statistically significant difference between the pre- and post-implementation periods. These results suggest a positive but inconclusive impact on failure reduction and reliability. The study highlights the potential of RCM to optimize maintenance resources and improve the availability of critical equipment. However, further analysis and a longer implementation period are needed to obtain statistically significant results and fully validate its effectiveness.

Keywords*-- Reliability-Centered Maintenance, failure rate, metalworking industry.

Aplicación de mantenimiento centrado en confiabilidad para reducir fallas en la máquina crítica de una empresa metalmecánica peruana

Sol Analí Novoa Sánchez, Bachelor of Industrial[1], Ximena Romina Roncal Gutiérrez, Bachelor of Industrial Engineering[2] and Jean Carlos Escurra Lagos, Master in Education[3]
[1,2]Universidad Privada del Norte, Perú, n00260120@upn.pe, n00235134@upn.pe
[3]Universidad Privada del Norte, Perú, jean.escurra@upn.pe

Resumen– ***Este estudio tuvo como objetivo analizar la implementación del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) en la empresa metalmecánica peruana para reducir las fallas en la máquina crítica, específicamente el molino A10.La investigación empleó un diseño cuantitativo y experimental, utilizando el análisis documental y entrevistas personales como técnicas, junto con instrumentos como una guía documentaria y un cuestionario. Se utilizaron herramientas como la matriz de criticidad, el Análisis de Modos y Efectos de Fallo (AMFE), el diagrama de Pareto, el árbol de decisión y el contador de horas. La prueba de Shapiro-Wilk confirmó la normalidad de los datos con un nivel de significancia de 0.365.: La implementación del RCM incrementó el Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF) a 161.2 horas, reflejando una mejora en la confiabilidad operativa. Sin embargo, la prueba T de Student arrojó un valor p de 0.690, indicando que no hubo una diferencia estadísticamente significativa entre los periodos pre y post implementación. Estos resultados sugieren un impacto positivo, pero no concluyente en la reducción de fallas y la confiabilidad. El estudio destaca el potencial del RCM para optimizar los recursos de mantenimiento y mejorar la disponibilidad de equipos críticos. Sin embargo, es necesario un análisis adicional y un periodo de implementación más largo para obtener resultados estadísticamente significativos y validar plenamente su efectividad.***

Palabras clave-- Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, cantidad de fallas, metalmecánica.

I. INTRODUCCIÓN

El documento aborda la implementación del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) en una empresa metalmecánica peruana ubicada en Trujillo, con el objetivo de reducir fallas recurrentes en su maquinaria crítica, optimizar recursos y garantizar la continuidad operativa. Las fallas no planificadas afectan la productividad, los costos y la satisfacción del cliente.

El enfoque del RCM, según [1], permite priorizar las funciones críticas de los equipos, reducir tiempos de inactividad y optimizar los recursos de mantenimiento. Ejemplos exitosos incluyen la aplicación de RCM en LABINTHAP, México [2], donde se identificaron 30 modos de falla y 132 causas raíz. Reforzando esto, [3]en su investigación internacional aplicando la metodología RCM., se obtuvieron son que, de los 84 equipos evaluados concluye que la implementación de RCM, gestionada a través de un CMMS, permitió mejorar la gestión de mantenimiento en OSG. Por otro lado, en empresas peruanas como Hydro Pátapo S.A.C., que redujo el tiempo de inactividad en 20.58%, generando ahorros anuales de más de $21,900 [4]. Asimismo, una minera peruana logró una reducción del 45% en fallas funcionales, un incremento del Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF) del 82% y un ahorro anual superior a $256,000 en el quinto año [5]. En adición, [6]en su propuesta en la región de la Libertad en su implementación del plan de mantenimiento basado en la confiabilidad resultó en una reducción del 31% en los costos asociados a este de los motores eléctricos y las pérdidas por la tasa de conversión alimenticia.

Entre las herramientas clave del RCM se encuentran: El Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMFE), que permite identificar y clasificar fallas por severidad, frecuencia y capacidad de detección [7, 14]. Por ello [15] destaca que el análisis de fallas, apoyado por herramientas como esta, permite anticipar problemas, reducir inactividad, optimizar mantenimiento y tomar mejores decisiones adaptadas a cada equipo. Se define a las fallas como eventos inesperados que interrumpen el funcionamiento normal de la máquina, afectando la producción y la eficiencia [10] La identificación y análisis de fallas es crucial, ya que afecta la continuidad de las operaciones. Asimismo pueden tener implicaciones financieras significativas debido a los costos de reparación y el tiempo de inactividad asociado [11].El diagrama de Pareto, basado en el principio 80/20, para identificar las causas más críticas de las fallas [12]. La matriz de criticidad, utilizada para evaluar y priorizar equipos en función de su impacto en las operaciones y costos [13].

Se destaca también la importancia de un registro detallado de mantenimiento, que permite analizar patrones de fallas y mejorar la planificación preventiva [16]. Según [8] y [9], la planificación adecuada de acciones preventivas minimiza riesgos, tiempos de inactividad y costos, al garantizar que los recursos se destinen a los equipos más críticos.

El documento plantea como pregunta de investigación: ¿Cómo se podría aplicar el mantenimiento centrado en confiabilidad para reducir las fallas en la máquina crítica de la empresa metalmecánica

peruana? y como objetivo general, aplicar el RCM para reducir fallas en la maquinaria crítica de esta empresa.

En conclusión, la implementación del RCM no solo reducirá el número de fallas, sino que también mejorará la sostenibilidad operativa y la competitividad empresarial, consolidando su posición en el mercado global [14].

II. MATERIALES Y MÉTODOS

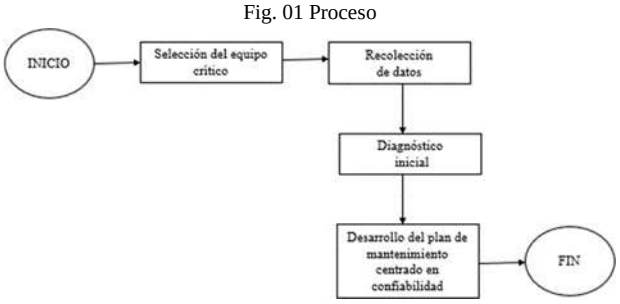
El presente estudio, se emplea un enfoque cuantitativo tal y como lo expresa [17], este busca evaluar la efectividad del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) en la reducción de fallas en el equipo crítico del área de mantenimiento de la empresa. Se centra en la recolección de datos numéricos relacionados con indicadores clave como el Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF), el Tiempo Medio de Reparación (MTTR) y la disponibilidad del equipo.

El diseño de la investigación es pre-experimental, ya que no incluye grupos de control y se aplica únicamente al equipo crítico, permitiendo observar cambios antes y después de la intervención, [18]. Se trata de un estudio de tipo aplicado, orientado a resolver problemas prácticos específicos en un contexto particular. Además, su alcance explicativo busca establecer relaciones causales entre la implementación del mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) y la reducción de fallas, comprendiendo cómo estas intervenciones afectan la frecuencia y gravedad de los fallos.

Las técnicas utilizadas incluyen el análisis documental, para examinar informes técnicos y registros históricos de fallas, y entrevistas personales para obtener información detallada sobre las percepciones y experiencias del personal técnico, [19]. Además, también se utilizará la técnica entrevista personal, Esta técnica es valiosa porque proporciona un contexto más rico y matizado sobre el tema de estudio, permitiendo explorar percepciones, experiencias y opiniones de manera más exhaustiva [20]. Los instrumentos empleados son la guía documentaria un instrumento estructurado que facilita la recolección de datos específicos a partir de documentos preexistentes [21], y una lista de preguntas estructuradas para la entrevista que facilita la recolección de datos consistentes y comparables, permitiendo a los investigadores obtener respuestas precisas y enfocadas sobre aspectos específicos del estudio, [22].

El proceso de implementación del RCM consta de cuatro etapas, a continuación, se detalla:

Fig. 01 Proceso



Para este estudio, la población a investigar será las máquinas críticas dentro del área de mantenimiento y la muestra seleccionada será un solo equipo crítico del área de mantenimiento de la empresa. Llamamos a este enfoque, estudio de caso. Según [23], el estudio de caso permite una comprensión intensiva del fenómeno dentro de su contexto real, especialmente cuando los límites entre el fenómeno y el contexto no son claramente evidentes.

El análisis de datos se realiza con el software IBM SPSS Statistics, utilizando pruebas como Kolmogorov-Smirnov para verificar la normalidad de los datos, esta prueba es adecuada para muestras de tamaño mediano o grande y permite evaluar si una distribución difiere significativamente de una distribución normal. Si el valor p resultante es mayor que 0.05, se acepta que los datos son normales; en cambio, si es menor, se rechaza esta suposición [24]. También se aplicará la prueba T de Student, esta prueba es útil cuando las muestras son pequeñas y se supone que los datos siguen una distribución normal, si el valor p es menor que 0.05, se rechaza la hipótesis nula, indicando que hay una diferencia significativa entre los grupos comparados [25]. Por último, se aplicará la unidad estadística media, la cual promedio; la suma de todos los valores dividida entre la cantidad de datos [26].

En cuanto a los aspectos éticos, se garantiza el consentimiento informado por el cual se garantiza que los participantes de una investigación están plenamente informados sobre los procedimientos, riesgos y beneficios de su participación, y consienten voluntariamente a formar parte de la misma [27]. La confidencialidad de los datos, implica que la información personal de los participantes será protegida y no se divulgará sin su permiso, mientras que el anonimato asegura que los datos recopilados no pueden ser vinculados a los participantes individuales [28]. La integridad en la investigación, lo cual implica la honestidad y rigor en la recopilación, análisis e interpretación de los datos, evitando cualquier forma de sesgo o manipulación que pueda distorsionar los resultados [29]. El cumplimiento de normas APA, según la [30], el uso adecuado de las normas APA contribuye a la claridad de la comunicación académica y al respeto de los derechos de autor. Y por último, adherirse a los principios del Colegio de Ingenieros del Perú, estos subrayan la responsabilidad de los ingenieros hacia la sociedad, instando a actuar con honestidad, imparcialidad, y lealtad profesional, [31].

III. RESULTADOS

Objetivo general: Aplicar el mantenimiento centrado en confiabilidad para reducir la cantidad de fallas en la máquina crítica del área de mantenimiento en la empresa la empresa metalmecánica peruana

Se determinó que el principal problema de la empresa son las fallas en el Molino A10. En primer lugar, a la mano de obra se determinó que se debe principalmente por la falta de capacitación. En segundo lugar, con relación a la maquinaria se presentan por desalinización de rodamientos probando la deformación del componente del molino, la canastilla. Como tercer problema, se relaciona a las mediciones de la empresa, debido a su falta de inspecciones provocando el monitoreo inadecuado. En cuarto lugar, en cuanto a los materiales debido

al desgaste del material provoca el desajuste en el buje de la polea. En quinto lugar, con relaciones al medio ambiente se producen temperaturas elevadas por las vibraciones excesivas. Por último, tenemos a los métodos, en el cual se tiene una falta de mantenimiento causando una lubricación insuficiente en la máquina.

A continuación, se realizó el diagrama de Pareto para identificar las causas más significativas con el fin de reducir en cuanto a su frecuencia de fallas.

TABLA 1
Matriz para análisis de Pareto

Razones	*Frecuencia*	*% Relativo*	*% Acumulado*	*80 -20*
Desajuste en el buje de polea	3	30%	30%	80%
Desalineacion de rodamientos	2	20%	50%	80%
Falta de inspecciones	2	20%	70%	80%
Error de instalacion	1	10%	80%	80%
Lubricación insuficente	1	10%	90%	80%
Vibraciones excesivas	1	10%	100%	80%
Total	10	100%		

Para optimizar la eficiencia y la reducción de problemas en el sistema, se deben priorizar las primeras tres causas (desajuste en el buje de polea, desalineación de rodamientos, y falta de inspecciones). Si se eliminan o se mejoran estas áreas, se corregiría una parte significativa del problema total (70%). Las otras causas también merecen atención, pero en una etapa posterior, ya que tienen un impacto menor.

A partir de ello se aplicaron las herramientas mencionadas anteriormente, luego se realizó la comparación del Pre Test y Post Test de nuestra investigación. Se aplicó la prueba de Kolmogorov-Smirnov debido a que el conjunto de datos obtenidos es mayor a 50.

Se realizó la prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov para los datos de pre y post test, obteniendo un p-valor, que es superior al nivel de significancia de 0.05.

TABLA 2
Matriz de Normalidad Kolmogorov-Smirnov

	Normalidad Kolmogorov-Smirnov	
	Pre test	Post test
Frecuencia de fallas	0.200	0.200
MTBF	0.200	0.200
MTTR	0.200	0.200

Este hallazgo indica que no hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula de normalidad en los resultados. La confirmación de una distribución normal es fundamental, ya que permite aplicar una variedad de análisis estadísticos que requieren este supuesto. En este contexto, se realiza la prueba T de Student, la cual nos ayudará a determinar si lo propuesto cumple con la hipótesis sobre la reducción de fallas. Además, el hecho de contar con una distribución normal en los datos del pretest y postest respalda la validez de las comparaciones realizadas entre ambos grupos. En consecuencia, los resultados pueden interpretarse con mayor confianza, lo que contribuye una mejor comprensión de las implicaciones de los datos analizados.

TABLA 3
Matriz de Prueba T- student

	Pre test	Post test	Prueba T-student p- de los factores
Frecuencia de Fallas	15	8	0.180
MTBF	746.38	394.14	0.147
MTTR	57.26	39.23	0.347

El valor del p de dos factores para cada variable, supera ampliamente el umbral de 0.05. Esto sugiere que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre los valores de antes y después de la intervención. Los resultados indican que las medidas implementadas no lograron generar un cambio notable en este indicador de rendimiento, lo que pone de

manifiesto la necesidad de reevaluar las estrategias aplicadas. A pesar de la intervención, el MTTR se mantuvo en niveles similares, lo que implica que las acciones correctivas no tuvieron el impacto esperado. Esta falta de variación significativa resalta la importancia de realizar un análisis más profundo para identificar posibles áreas de mejora en el proceso de mantenimiento

Después de realizar la prueba T-student se llegó a el siguiente análisis:

Hipótesis Nula (H_0): La aplicación del mantenimiento centrado en confiabilidad no reduce la cantidad de fallas en la máquina crítica del área de mantenimiento en la empresa Metal Work Solutions S.A.C, Trujillo, 2024.

Hipótesis Alternativa (H_1): La aplicación del mantenimiento centrado en confiabilidad reduce la cantidad de fallas en la máquina crítica del área de mantenimiento en la empresa Metal Work Solutions S.A.C, Trujillo, 2024.

Tras el análisis de los datos, se puede afirmar que, aunque se observó una variación en la cantidad de fallas, el tiempo medio entre fallas (MTBF) y el tiempo medio de reparación (MTTR) después de la implementación del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), estos cambios no fueron estadísticamente significativos. Los valores p obtenidos en las pruebas de T-Student para cada una de las variables fueron superiores al umbral de significancia comúnmente aceptado de 0.05.

IV. CONCLUSIONES

En conclusión, el análisis estadístico realizado sobre la implementación del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad en la empresa metalmecánica peruana, indican que, durante el período de implementación de 76 días no logró una reducción estadísticamente significativa en la frecuencia de fallas del equipo crítico. La prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov con un nivel de significancia de 0.2 confirma la distribución normal de los datos, permitiendo el uso de la prueba T-student para evaluar los efectos de la intervención. Sin embargo, el valor de p obtenido sugiere que la diferencia en las fallas entre el pre y post test no fue suficiente para considerar. A pesar de que las medidas adoptadas tuvieron efectos positivos, la variación no fue suficiente para rechazar la hipótesis nula.

En conclusión, el diagnóstico realizado empleando la matriz de criticidad y el diagrama de Pareto permitió identificar al Molino A10 como el equipo crítico dentro de Metal Work Solutions, dado su alto impacto en la producción y frecuencia de fallas, representando un 31% de la criticidad. total. El análisis del diagrama de Pareto, fundamentado en el principio 80/20, evidencia que la mayoría de las fallas en el Molino A10 provienen de problemas específicos, como el desajuste en el buje de polea y la desalineación de rodamientos, los cuales representan más del 50% de las fallas en este equipo.

En conclusión, el análisis de fallas del Molino A10 en julio de 2024 revela patrones clave en su rendimiento y la eficacia del mantenimiento. Aunque el equipo de mantenimiento mostró una mejora en la eficiencia de las reparaciones, reduciendo el Tiempo Medio Para Reparar de 57.29 horas a 39.23 horas, la disminución del tiempo medio entre fallas de 746.38 a 394.14 horas evidencia una recurrencia de fallas en períodos cortos. Este patrón sugiere problemas no resueltos en la causa raíz, lo que impacta la confiabilidad operativa del equipo. La alta frecuencia de fallas subraya la necesidad de implementar estrategias de mantenimiento preventivo, como el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, para optimizar la estabilidad del Molino A10, anticipar fallas críticas y minimizar las interrupciones.

El diseño de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para el Molino A10 en la empresa metalmecánica peruana ha permitido establecer una estrategia sólida para mejorar su rendimiento y reducir tiempos de inactividad no programados. Al identificar las fallas críticas mediante el análisis de Modos y Efectos de Falla y priorizar los componentes de acuerdo con su Número de Prioridad de Riesgo (RPN), se pudieron definir acciones preventivas específicas. Las áreas de intervención prioritarias incluyen la limpieza y el ajuste de los ejes, la lubricación de los rodamientos y la capacitación del personal para asegurar el ajuste adecuado de los pernos en la canastilla, aspectos clave para la estabilidad y eficiencia del molino. La herramienta del árbol de decisión y el uso de un contador de horas proporcionan al equipo de mantenimiento una guía clara para programar las intervenciones en función del uso, permitiendo realizar un mantenimiento preventivo más oportuno.

En conclusión, la implementación de herramientas de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad en el molino A10 resultado en una notable mejora en su rendimiento y confiabilidad. La reducción de fallas durante septiembre, octubre y diciembre de 2024, con sólo ocho interrupciones puntuales y un incremento del Tiempo Medio Entre Fallas a 83,34 horas, evidencia el impacto positivo de las estrategias preventivas, especialmente el análisis de Modos y Efectos de Falla. Además, su aplicación hace que la Media evidencie la mejoría en cuanto a la frecuencia de fallas tanto en el pre test y post test, debido a que antes de la aplicación se presentaba 1 falla cada 5 días y luego de ella 1 cada 11 días. Estas herramientas permitieron una identificación precisa de los componentes críticos y una planificación de mantenimiento más efectiva, reduciendo significativamente las paradas no programadas y optimizando los recursos. A pesar de ligeras variaciones en el Tiempo Medio Para Reparar, con valores aceptables dentro del rango de operaciones, los resultados subrayan la importancia de continuar perfeccionando los procesos de reparación para reducir aún más los tiempos de inactividad.

AGRADECIMIENTO/RECONOCIMIENTO

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento en primer lugar a Dios, por brindarnos salud, fortaleza y sabiduría a lo largo de este proceso de investigación y estudio, permitiéndonos superar cada reto y avanzar hacia la culminación de este proyecto.

Asimismo, extendemos nuestro agradecimiento a todas las personas que, de alguna u otra forma, contribuyeron al proceso de realizar este trabajo. A nuestra familia, por su apoyo incondicional, comprensión y motivación a lo largo de este proceso. Por estar a nuestro lado y brindarnos la fuerza necesaria en los momentos difíciles. A nuestros amigos y compañeros de estudio, quienes nos acompañaron durante este recorrido académico. Sus palabras de motivación hicieron más llevadero este camino.

Agradecemos especialmente a la empresa metalmecánica, por permitirnos acceder a su información, realizar pruebas y utilizar sus instalaciones para llevar a cabo esta investigación. Su colaboración y apoyo fueron fundamentales para el éxito de este proyecto.

Finalmente, agradecemos a la Universidad Privada del Norte por brindarnos los recursos necesarios para llevar a cabo esta investigación, así como a todos los docentes que, a lo largo de nuestra formación, compartieron su conocimiento y pasión por el aprendizaje. Este logro es tanto de nosotras como de todos ustedes.

REFERENCIAS

[1] Moubray, J. (1997). Reliability-Centered Maintenance. Industrial Press. https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=bNCVF0B7vpIC&oi=fnd&pg=PR11&dq=Moubray,+J.+(1997).+Reliability-centered+maintenance+(2nd+ed.).+Industrial+Press.&ots=2cQnwFdg7u&sig=Pgg3wt2eqnWOEum0wBnJpdAPST8#v=onepage&q=Moubray%2C%20J.%20(1997).%20Reliability centered%20maintenance%20(2nd%20ed.).%20Industrial%20Press.&f=false

[2] Campos, O., Tolentino, G., Toledo, M., y Tolentino, R. (2019). Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, base de datos y criticidad de efectos. Científica, 23(1), 51- 59. https://www.redalyc.org/journal/614/61458265006/61458265006.pdf

[3] Gordillo, E., y Sierra, A. (2022). Propuesta de mejora al plan de mantenimiento para los equipos de mayor criticidad en la empresa OSG aplicando la metodología RCM. https://repositorio.ecci.edu.co/handle/001/2992

[4] Pacheco, L. (2018). Propuesta de implementación de un sistema de gestión de mantenimiento preventivo basado en RCM para la reducción de fallas de la maquinaria de la empresa Hydro Patapo SAC [Tesis de licenciatura, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo]. Repositorio USAT. https://tesis.usat.edu.pe/handle/20.500.12423/1353

[5] Briones, J., y Baygorrea, M. Modelo de mejora para la confiabilidad de las máquinas perforadoras utilizando la herramienta del RCM en una minera subterránea del centro del Perú. https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/671563/Briones_CM.pdf?sequence=1&isAllowed=y

[6] Cueva, C. A., & Villena, K. (2022). Propuesta de gestión de mantenimiento basado en la confiabilidad para reducir fallas de maquinaria de línea de pollo de empresa avícola, La Libertad 2021 [Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte]. Repositorio de la Universidad Privada del Norte. https://hdl.handle.net/11537/31710

[7] Mobley, K. (2008). Maintenance engineering handbook (7th ed.). McGraw-Hill https://www.academia.edu/45367386/MAINTENANCE_ENGINEERING_HANDBOOK_R_Keith_Mobley_Editor_in_Chief_Seventh_Edition

[8] Mobley, R. (2002). An Introduction to Predictive Maintenance. Butterworth-Heinemann. https://www.sciencedirect.com/book/9780750675314/an-introduction-to-predictive-maintenance#book-info

[9]] Smith, A. (2004). Reliability-centered maintenance: A practical guide for the real world. McGraw-Hill. https://www.google.com.pe/books/edition/RCM_Gateway_to_World_Class_Maintenance/BnQN2ODPHNAC?hl=es&gbpv=1&dq=Smith,+A.+M.+(2004).+Reliability-centered+maintenance:+A+practical+guide+for+the+real+world.+McGraw-Hill.&printsec=frontcover

[10] Smith, D, (2013). Reliability, Maintainability and Risk: Practical Methods for Engineers. Butterworth-Heinemann. Recuperado de: https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=mBs-

[11] Perry, J. (2007). Industrial Maintenance and Mechanical Engineering. McGraw-Hill Education. https://www.google.com.pe/books/edition/Perry_s_Chemical_Engineers_Handbook_Eigh/tH7IVcA-MX0C?hl=es&gbpv=0&bsq=Perry,%20J.%20(2007).%20Industrial%20Maintenance%20and%20Mechanical%20Engineering.%20McGraw-Hill%20Education.

[12] Juran, J., y Gryna, F. (1993). Juran's Quality Handbook (4th ed.). McGraw-Hill. https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/38161019/juran.pdf?1436648995=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DJuran.pdf&Expires=1734895384&Signature=FgUVQi77eqbob2M3ckvk672nF2qGxQIJ2O~ci99ZQ0RzP2Pw12zk5254PszSzx~NGaM3BIiqgii-JPtmoD6cCwvJdPow5vnNZbh~aYX0MwhqhqqaXXJUKjb~bdKAzuVJLBN4inXQnyID92hJ2ry4Vsg9qptAerKq6Qs7N8uHyhRT8BGN40nkOMcAm6N0iePrdLMqqkefytC8kwHByZHoYhhEHrjQb45EnJPBA2eg0WRw-tkkDDaoJRPUAxXxrkgmpO8veUH7Gmx~w2NjqpVsokFWtryUAtKtts7SLUVM-5S-zxJI630uyGMobDJtm~phLd1l5C-SKhhlwr5wL~CPUg&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA

[13] Smith, D. (2005). Reliability, Maintainability and Risk: Practical Methods for Engineers. Butterworth-Heinemann. https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=mBs-EAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Smith,+D.+J.+(2005).+Reliability,+Maintainability+and+Risk:+Practical+Methods+for+Engineers.+Butterworth-Heinemann&ots=vTrFHEwHq2&sig=a-7W-GbEgZtbREpUMN2dmu91UWY#v=onepage&q&f=false

[14] Stamatis, D. H. (2003). Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from Theory to Execution. ASQ Quality Press. https://books.google.com.pe/books/about/Failure_Mode_and_Effect_Analysis.html?id=T9TxNHWJZmIC&redir_es c=y

[15] Moubray, J. (1997). Reliability-Centered Maintenance. Industrial Press. https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=bNCVF0B7vpIC&oi=fnd&pg=PR11&dq=Moubray,+J.+(1997).+Reliability-centered+maintenance+(2nd+ed.).+Industrial+Press.&ots=2cQnwFdg7u&sig=Pgg3wt2eqnWOEum0wBnJpdAPST8#v=onepge&q=Moubray%2C%20J.%20(1997).%20Reliability-centeed%20maintenance%20(2nd%20ed.).%20Industrial%20Press.f=false

[16] Wireman, T. (2005). Developing Performance Indicators for Managing Maintenance. Industrial Press. https://cholar.google.com.pe/scholar?q=Wireman,+T.+(2005).+Developing+Performance+Indicators+for+Managing+Maintenance.+Industrial+Press.&hl=es&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholart

[17] Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P. (2014). Metodología de la investigación (6ª ed.). McGraw-Hill. https://apiperiodico.jalisco.gob.mx/api/sites/periodicoficial.jalisco.gob.mx/files/metodologia_de_la_investigacion_-_roberto_hernandez_sampieri.pdf

[18] Kerlinger N., y Lee B. (2002). Fundamentos de la investigación conductual (4ª ed.). Harcourt College Publishers. . https://padron.entretemas.com.ve/INICC2018-2/lecturas/u2/kerlinger-investigacion.pdf

[19] Bowen, A. (2009). Document analysis as a qualitative research method. Qualitative Research Journal, 9(2), 27-40. https://doi.org/10.3316/QRJ0902027

[20] Gubrium, J., y Holstein, J. (2002). Handbook of Interview Research: Context & Method. Sage Publications. https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=uQMUMQJZU4gC&oi=fnd&pg=PP11&dq=Gubrium,+J.+F.,+%26+Holstein,+J.+A.+(2002).+Handbook+of+Interview+Research:+Context+%26+Method.+Sage+Publications.&ots=V091aC008L&sig=cD8Sawu3WJFhHLcmh0LwtIbCo#v=onepage&q=Gubrium%2C%20J.%20F.%2C%20%26%20Holstein%2C%20J.%20A.%20(2002).%20Handbook%20of%20Interview%20Research%3A%20Context%20%26%20Method.%20Sage%20Publications.&f=false

[21] Cisterna, P. (2007). Guías para la recolección de datos en investigación documental. Editorial Académica Española. https://www.calameo.com/read/0062362652fce39c39b92

[22] Creswell, J. (2014). Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches (4th ed.). Sage Publications https://spada.uns.ac.id/pluginfile.php/510378/mod_resource/content/1/creswell.pdf

[23] Yin, R. (2009). Case Study Research: Design and Methods (4th ed.). SAGE Publications. https://doi.org/10.33524/cjar.v14i1.73

[24] Razali, N., y Wah, Y. (2011). Comparaciones de potencia de las pruebas de Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors y Anderson-Darling. Journal of Statistical Modeling and Analytics 2 https://www.scirp.org/reference/ReferencesPapers?ReferenceID=2050949

[25] Ruxton, G. (2006). La prueba t de varianza desigual es una alternativa poco utilizada a la prueba t de Student y a la prueba U de Mann-Whitney. Behavioral Ecology , 17(4), 688-690. https://www.researchgate.net/publication/31272913_The_Unequal_Variance_T-Test_is_an_Underused_Alternative_to_Student's_T-Test_and_the_Mann-Whitney_U_Test

[26] Triola, M. F. (2019). Elementary Statistics (13th ed.). Pearson. https://www.uv.mx/rmipe/files/2015/09/Estadistica.pdf

[27] Beauchamp, L., y Childress, F. (2013). Principles of Biomedical Ethics (7th ed.). Oxford University Press. https://doi.org/10.1142/q0014

[28] Siegfried, J. (2015). The Ethics of Research: Principles and Cases (2nd ed.). Pearson. https://doi.org/10.4324/9781003122388

[29] Resnik, D. (2018). The Ethics of Science: An Introduction (2nd ed.). https://scholar.google.com.pe/scholar?q=Resnik,+D.+B.+(2018).+The+Ethics+of+Science:+An+Introduction+(2nd+ed.).&hl=es&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholart

[30] American Psychological Association. (2020). Publication Manual of the American Psychological Association (7th ed.). APA.https://apastyle.apa.org/products/publication-manual-7th-edition

[31] Colegio de Ingenieros del Perú. (2024). Código de Ética del Colegio de Ingenieros del Perú. https://www.cip.org.pe/publicaciones/reglamentosCNCD2018/codigo_de_etica_del_cip.pdfha