

Propuesta de un sistema de mantenimiento para una bomba centrífuga HACOC HK 210

Proposal of a maintenance system for a HACOC HK 210 centrifugal pump

Saray Sablón Leyva ssleyva@geologia.ismm.edu.cu ⁽¹⁾

Uberlandi Torrell Quinta utorrel@ismm.edu.cu ⁽¹⁾

Jesús Manuel Viera Callar jviera@ecg.minem.cu ⁽²⁾

Adrián Borges Borges adrianbotges@gmail.com ⁽³⁾

Fabián Castillo Delgado fcdelgado@mecanica.ismm.edu.cu ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Universidad de Moa, Moa, Cuba ⁽²⁾ Empresa Niquelífera Ernesto Che Guevara, Moa, Cuba

⁽³⁾ Empresa Puerto Moa, Moa, Cuba

Resumen: Se estableció un sistema de mantenimiento efectivo para garantizar la durabilidad de la bomba centrífuga HACOC HK 210/200r12cbTB2 debido a la existencia de frecuentes fallas y minimizar los costos de reparación y reemplazo. Para ello se realizó un análisis del equipo para comprender su funcionamiento, principales componentes y fallas comunes. Se desarrolla un plan de mantenimiento que incluyó los procedimientos, herramientas y técnicas necesarias para llevar a cabo el mantenimiento del equipo. El nuevo plan o ciclo de mantenimiento presenta una duración de 7 300 horas-máquinas con 25 revisiones, 20 reparaciones pequeñas, 4 reparaciones medianas y una reparación general. Con un tiempo entre reparaciones medianas de ($t_{rm} = 1\ 460$) horas-máquinas, el periodo entre reparaciones pequeñas ($t_r = 292$) horas-máquinas y el período entre intervenciones ($t_o = 146$) horas-máquinas.

Palabras claves: bombeo de fluido, transferencia de fluidos, prevención de fallas mecánicas

Abstract: An effective maintenance system was established to ensure the durability of the HACOC HK 210/200r12cbTB2 centrifugal pump due to frequent failures and minimize repairing and replacement costs. For this purpose, an analysis of the equipment was carried out to understand its operation, main components and common failures. A

maintenance plan was developed including procedures, tools and necessary techniques to carry out maintenance of the equipment. The new cycle or plan for maintenance has a duration of 7,300 machine-hours with 25 overhauls, 20 small repairs, 4 medium repairs and a general repair. With a time between medium repairs of ($t_{rm} = 1\ 460$) machine-hours, a period of ($t_r = 292$) between small repairs machine-hours and period between interventions ($t_o = 146$) machine-hours.

Keywords: fluid pumping, fluid transfer, mechanical failure prevention

Introducción

Las bombas centrífugas son esenciales para diversas aplicaciones, desde el suministro de agua hasta la transferencia de productos químicos en procesos industriales. Estas máquinas transforman la energía mecánica en energía hidráulica, permitiendo el movimiento eficiente de grandes volúmenes de líquido (Rojas, Aguirre & Botterón, 2021; Costa dos Santos, Bovério & Pereira da Silva, 2023).

El fallo de las bombas centrífugas ocurre como resultado de problemas que surgen en el fluido o por cuestiones operativas o mecánicas. Las fallas de una bomba centrífuga trascienden en cambios en la etapa de explotación que reducen la eficiencia y ocasionan un fallo funcional de la misma (Audisio, 2023).

Para garantizar su rendimiento óptimo, es clave una gestión de mantenimiento efectiva que combine estrategias preventivas y correctivas. Esto incluye lubricación adecuada, alineación de ejes, monitoreo de vibraciones e inspección de componentes críticos. La importancia de la implementación de mantenimiento preventivo en las plantas de producción para optimizar procesos evita los fallos del equipo previniendo las incidencias antes de que ocurran y es de suma importancia para los procesos industriales (Castillo-Serpa, Brito-Ballina & Fraga-Guerra, 2009; Espinosa-Martínez *et al.*, 2020; Arroyo & Obando, 2022; Pulido de León *et al.*, 2024).

Según Pérez (2018), el análisis de máquinas es fundamental para garantizar su funcionamiento, optimizar su rendimiento y prevenir fallos. Este se realiza mediante técnicas como análisis de vibraciones, termografía y ultrasonido, para detectar problemas mecánicos, eléctricos o estructurales.

En este trabajo se establece un sistema de mantenimiento efectivo para garantizar la durabilidad de una bomba centrífuga HACOC HK 210/200r12cbTB2 para evitar fallas y minimizar los costos de reparación y reemplazo.

Materiales y métodos

Se analiza una bomba centrífuga HACOC HK 210/200r12cbTB2 (La figura 1). La tabla 1 presenta su ficha técnica.



Figura 1. Bomba centrífuga HACOC.

Tabla 1. Ficha técnica de la bomba centrífuga HACOC

Nombre de la bomba	HACOC
Marca	HK 210/200r12cbTB2
Modelo	N 28012
Caudal (Q)	151m ³ /h
Altura manométrica (H)	198 mH ₂ O
Número de revolucione (n)	2950 rev/min
Potencia (P)	50/50 Kg _f /cm ²
Año de fabricación	1989

La tabla 2 detalla el estado técnico de sus componentes, basado en una encuesta a técnicos y operarios.

Tabla 2. Estado técnico de las partes de la bomba centrífuga HACOC

Componentes de la bomba centrífuga	Estado técnico
Carcasa	Bueno
Impulsor	Regular
Eje	Regular
Sello mecánico	Malo
Rodamientos	Malo
Cámara de voluta	Bueno
Entrada de succión	Bueno
Salida de descarga	Bueno

Análisis de criticidad

El análisis de criticidad permite establecer estrategias para diseñar o mejorar los planes de mantenimiento, jerarquizando los procesos, sistemas y equipos del proceso productivo (Enriques-Gaspar *et al.*, 2020; Cedeño-Moreira & Gorozabel-Chata, 2021; Charcopa-Paz, Herrera-Suárez & Carrillo-Anchundia, 2024).

En este trabajo se empleará el modelo de criticidad de factores ponderados basado en la teoría de riesgo, desarrollado Woodhouse (1994). Este método semicuantitativo, práctico y sencillo, utiliza la fórmula:

$$\text{Criticidad} = \text{Frecuencia} \times \text{Consecuencia}$$

Frecuencia: Número de fallos del sistema o proceso.

Consecuencia: Impacto operacional y flexibilidad, costos de mantenimiento, seguridad y medio ambiente.

Consecuencia = (Impacto operacional x Flexibilidad) + Costos de mantenimiento + Impacto en seguridad y ambiente.

Tabla 3. Factores ponderados de la criticidad (Angelmendizabal, 2024)

Frecuencia de las fallas	Ponderación
Mayor o igual a 8 fallas/mes	4
De 5 a 8 fallas/mes	3
De 2 a 4 fallas/mes	2
Menor o igual a 1 fallas/mes	1
Impacto operacional (IO)	
Parada inmediata de toda la producción	10
Afecta más del 50 % de la producción	7
Afecta menos del 50 % de la producción	4
No afecta a la producción	1
Flexibilidad operacional (FO)	
No se dispone de otro equipo igual o similar	4
El sistema puede seguir funcionando	2
Se dispone de otro equipo igual o similar	1
Costo de Mantenimiento (CM)	
Más de 10 USD	3
De 5 USD a 10 USD	2
Menos de 5 USD	1
Impacto en seguridad ambiente higiene (ISAH)	
Afecta la seguridad humana	8
Afecta al medio ambiente produciendo daños reversibles	6
Afecta las instalaciones causando daños severos	4
Provoca daños menores	2
Provoca impacto ambiental cuyo efecto no viola las normas ambientales	1

Cálculo de la disponibilidad

Sánchez Aguilar (2016), propone determinar el cálculo de disponibilidad:

$$D_{ISP} = \frac{H \cdot T - H \cdot P \cdot M}{H \cdot T}$$

Donde:

H·T: horas de trabajo, h

H·P·M: horas de paradas por mantenimiento, h

Metodologías para la selección del tipo de mantenimiento

La elección del sistema más adecuado depende de factores como el tipo de máquina, la producción asociada y su relevancia en el proceso. Para determinar el ciclo de mantenimiento óptimo, se analizan diversas metodologías aplicadas específicamente a la máquina, utilizando el criterio propuesto por Morrow (1986).

Criterio a nivel de máquina

La evaluación de la máquina se realiza considerando aspectos clave a través de coeficientes que cuantifican cada factor relevante. Estos son:

- C1: Costo elevado de adquisición
- C2: Alto costo por pérdidas de producción
- C3: Ausencia de máquina duplicada
- C4: Posibilidad de diagnóstico con instrumentación disponible
- C5: Medición de parámetros globales (vibración, temperatura, flujo).
- C6: Alto costo de mantenimiento (materiales y recursos humanos).
- C7: Pérdidas significativas de vida útil por desarme
- C8: Graves consecuencias económicas de una rotura.

A los coeficientes que cumplen las condiciones se asignan un valor de 1, mientras que los que no, reciben el valor de 0. A partir de estos se determinan coeficientes adicionales.

Coeficiente de mantenimiento predictivo

$$C_{PRED} = \frac{C_1 + C_2 + C_3 + C_6}{4}$$

Coeficiente de mantenimiento correctivo/preventivo

$$C_{CRR/PREV} = \frac{C_{PERDIDAS} + C_{FALLAS}}{5}$$

Siendo:

$$C_{PERDIDAS} = C_1 + C_2 + C_6$$

$$C_{FALLAS} = C_7 + C_8$$

En la tabla 4 se muestran los valores de los coeficientes según el sistema de mantenimiento conforme a la regla de selección.

Tabla 4. Reglas de selección

Valor de los coeficientes	Sistema de mantenimiento
$C_{CORR/PREV} = 0$	Correctivo
$C_{PRED} \leq 0,25 / C_7 = 1$	Preventivo según índices de fiabilidad
$C_{PRED} > 0,5 / C_4 = 4 / C_5 = 1$	Preventivo con medición de parámetros y síntomas
$0,25 \leq C_{PRED} \leq 0,5 / C_4 = 1 \text{ y/o } C_5 = 1$	Preventivo con medición de parámetros y síntomas
$C_{PRED} \geq 0,5 / C_4 = 1$	Predictivo

Determinación de estado técnico

El mantenimiento preventivo planificado utiliza un método sencillo y práctico para evaluar el estado técnico del equipo. Tras la inspección, se califica su condición como buena, regular, mala o muy mala. Esto requiere calcular su porcentaje de eficiencia, incluyendo pasos intermedios esenciales como son:

$$Z_i = e \cdot c$$

Donde:

Zi: Clasificación de los elementos con igual evaluación

e: Número de elementos con igual evaluación

c: Coeficiente que contempla el estado actual del elemento, adimensional

c= 1 Si el elemento evaluado es bueno.

c= 0,8 Si el elemento evaluado es regular.

c= 0,6 Si el elemento evaluado es malo.

c= 0,4 Si el elemento evaluado es muy malo.

Luego de multiplicar la cantidad de elementos según la evaluación obtenida se suman estos productos mediante la ecuación:

$$Z = \sum_{i=1}^n Z_i$$

Donde:

Z: Calificación total de los elementos evaluados.

Al fraccionar este resultado entre la cantidad de elementos evaluados y afectado por 100 se obtiene el grado de eficiencia del equipo respecto a su condición inicial, lo anteriormente expuesto se evalúa empleando la expresión siguiente:

$$\eta = \frac{Z}{n} \cdot 100$$

Donde:

η : Eficiencia obtenida al efectuar la definición; %

n: Número de elementos evaluados del equipo.

Para clasificar el estado técnico del equipo de acuerdo con la eficiencia que se obtuvo al efectuar la defectación es necesario tomar como referencia la analogía que muestra la tabla 5.

Tabla 5. Relación Eficiencia–Estado técnico

Eficiencia actual	Estado técnico
90-100 %	Bueno
75-89%	Regular
50-74%	Malo
Menos del 50%	Muy malo

Determinación del ciclo de mantenimiento

Según González (2005), el ciclo de mantenimiento define la secuencia de servicios entre reparaciones generales o desde la puesta en marcha hasta la primera reparación en equipos nuevos. Este ciclo es esencial en el mantenimiento preventivo, optimizando el uso del equipo, garantizando seguridad y reduciendo el consumo de recursos. La duración del ciclo depende del estado del equipo, su antigüedad y la experiencia de los operadores. Para bombas centrífugas que bombean petróleo Divona *et al.* (2001) recomiendan:

Ciclo estándar: 8 revisiones, 2 reparaciones pequeñas, 1 mediana (G-R-R-P-R-R-M-R-R-P-R-R-G).

Ciclo para equipos con problemas frecuentes: 25 revisiones, 20 reparaciones pequeñas, 4 medianas (G-R-P-R-P-R-P.... repetido con frecuencia).

Períodos del ciclo de reparación

Una vez definido la estructura del ciclo de mantenimiento y su duración se podrá conocer el tiempo entre dos servicios consecutivos y entre dos reparaciones:

Período entre reparaciones medianas: se denomina al tiempo de trabajo del equipo expresado en horas máquina, entre dos reparaciones medianas consecutivas planificadas.

$$t_{rm} = \frac{T}{NM+1}$$

Período entre reparaciones. Se denomina al tiempo de trabajo del equipo expresado en horas máquina entre dos reparaciones pequeñas planificadas.

$$t_r = \frac{T}{NM+NP+1}$$

Período entre intervenciones: se denomina al tiempo de trabajo del equipo entre dos intervenciones; o sea, entre dos revisiones inmediatas o entre una reparación y una revisión.

$$t_o = \frac{T}{NM+NP+NR+1}$$

Dónde:

t_{rm} : Período que transcurre entre dos reparaciones medianas, horas-máquina

t_r : Período que transcurre entre dos reparaciones consecutivas, horas-máquina

t_o : Período que transcurre entre dos servicios de mantenimiento, horas-máquina.

T: Duración del ciclo de reparación; horas-máquina

NR: Cantidad de revisiones, adimensional

NP: Cantidad de reparaciones pequeñas, adimensional

NM: Cantidad de reparaciones medianas, adimensional

Resultados y discusión

Análisis de criticidad

El análisis de criticidad permite identificar y evaluar los modos de fallo potenciales de las bombas centrífugas HACOC, lo que facilita la priorización de acciones correctivas y preventivas. Al comprender los riesgos y consecuencias de cada modo de fallo, se reduce la probabilidad de fallos inesperados, minimizando los tiempos de inactividad, costos de reparación e impactos en la producción.

Asimismo, este análisis optimiza los programas de mantenimiento preventivo y predictivo. Al identificar los componentes más críticos, como se muestra en la gráfica de la figura 2, los equipos pueden concentrar sus esfuerzos en las áreas más vulnerables, mejorando la confiabilidad y prolongando la vida útil de los equipos

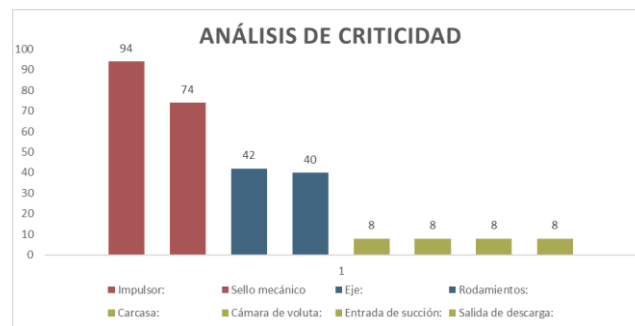


Figura 2. Análisis de criticidad.

En la figura 2, se identifican los niveles de criticidad de los componentes de la bomba centrífuga HACOC. Los elementos en rojo tienen alta criticidad, indicando una mayor probabilidad de fallo con consecuencias significativas para la operación, seguridad y producción. Los componentes en azul presentan criticidad media, mientras que los amarillos reflejan baja criticidad. Esta clasificación es esencial para priorizar las acciones correctivas y preventivas, reduciendo tiempos de inactividad, costos de reparación e impactos en la productividad.

Análisis de disponibilidad de la bomba

La bomba centrífuga HACOC opera bajo un régimen rotacional de 18 horas diarias, sumando 6,570 horas al año. Las paradas por mantenimiento suman 120 horas anuales, lo que da una disponibilidad del 77.78%. Este resultado indica que la bomba no opera a

su máxima capacidad, reflejando que las averías y mantenimientos de componentes clave como rodamientos, ejes, impulsor y sellos requieren paradas forzadas, generando pérdidas en producción y aumentando los costos operativos y de mantenimiento, especialmente por la escasez de repuestos.

La ingeniería de mantenimiento muestra indicadores de disponibilidad y confiabilidad por debajo del rango óptimo (90-94%), lo que evidencia la ineficiencia del esquema actual. Los indicadores deben ser simples, adecuados, válidos en el tiempo, útiles y oportunos, según Mora (2009).

Estado técnico

La tabla 6 presenta el estado técnico de los componentes de la bomba centrífuga HACOC, basado en una encuesta a mecánicos, operarios y técnicos que interactúan directamente con ella.

La opinión de los operarios es una fuente valiosa, ya que su perspectiva complementa los datos técnicos y las evaluaciones de ingeniería. Al considerar su experiencia, se obtiene una visión más completa del estado de los componentes, lo que permite tomar decisiones más informadas sobre el mantenimiento y la mejora de la bomba.

Tabla 6. Estado técnico de la bomba centrífuga HACOC

Componentes de la bomba centrífuga	Estado técnico	
Carcasa	Bueno	1
Impulsor	Regular	0.8
Eje	Regular	0.8
Sello mecánico	Malo	0.6
Rodamientos	Malo	0.6
Cámara de voluta	Bueno	1
Entrada de succión	Bueno	1
Salida de descarga	Bueno	1

De los componentes de la bomba centrífuga evaluados, cuatro fueron clasificados como buenos, dos como regulares y dos como malos. Al sumar los valores de las clasificaciones, se obtiene un total de 6.8. Al dividir este valor entre el número total de componentes evaluados (8), se obtiene un índice de 0.85, lo que equivale a una eficiencia del 85%. Según datos mostrados en la tabla 6 el estado técnico de la bomba es regular.

Selección del tipo de mantenimiento

Un plan adecuado debe considerar varios aspectos clave, entre ellos, el conocimiento detallado de las características y especificaciones técnicas de la bomba, tales como capacidad de bombeo, presión de operación y materiales de construcción. La tabla 7 muestra los resultados obtenidos a partir de los coeficientes de evaluación basados en el criterio a nivel de máquina.

Tabla 7. Coeficientes de evaluación según el criterio a nivel de máquina

Coeficiente	Comprende	Valor
C1	Elevado costo de adquisición de la máquina	1
C2	Alto costo por concepto de pérdidas de producción	0
C3	No existencia de duplicados de la máquina	1
C4	Posibilidad de efectuar un diagnóstico de la máquina con la instrumentación disponible	0
C5	Posibilidad de efectuar mediciones de control de parámetros globales tales como: vibraciones, temperatura y flujo	1
C6	Elevado costo de mantenimiento de la máquina	1
C7	Elevadas pérdidas de vida útil debido al desarme	0
C8	Graves consecuencias económicas de una rotura para la máquina	1

Aunque los costos de mantenimiento son elevados, el desarme y armado del equipo no afectan significativamente su vida útil, aunque las fallas de ciertos componentes pueden tener repercusiones económicas importantes.

Según los coeficientes de evaluación presentados en la tabla 7 y calculados mediante las ecuaciones, el mantenimiento predictivo y el mantenimiento correctivo/preventivo tienen valores de 0,7 y 0,6 respectivamente, considerando las pérdidas ($C_{pérdidas}$) y las fallas (C_{fallas}) con valores de 2 y 1. Estos índices sugieren la aplicación de un mantenimiento preventivo que incluya medición de parámetros como temperatura, lubricantes y vibraciones.

Para reducir fallas por lubricación, se recomienda realizar análisis iniciales del aceite tras las reparaciones y ajustes en la selección del producto, teniendo en cuenta las condiciones operativas cambiantes. Además, es necesario llevar a cabo análisis rutinarios, considerando que la bomba, al ser un equipo crítico y no nuevo, requiere atención continua.

En cuanto a las vibraciones mecánicas, el mantenimiento preventivo y predictivo debe enfocarse en identificar las amplitudes predominantes de vibración, determinar sus causas y corregir los problemas asociados (Thielsen, 1970; Fajardo *et al.*, 2024).

Desarrollo del plan de mantenimiento

El ciclo de mantenimiento de cada equipo debe definirse según el análisis individual de la máquina, considerando la experiencia y los datos disponibles. Su duración, en horas máquina, depende de las características del equipo, condiciones de explotación y tipo de producción. Según González (2005) la bomba centrífuga se clasifica en los grupos 17 y 3 de equipos industriales. Para este caso, se establece un ciclo de mantenimiento de 7,300 horas máquina, dentro del rango de 7,200 a 88,640 horas máquina para reparaciones generales según la referencia consultada.

La propuesta de ciclo de mantenimiento incluye 25 revisiones, 20 reparaciones pequeñas y 4 medianas. El período entre reparaciones generales se establece en 1,460 horas-máquina. Las reparaciones pequeñas se programan cada 292 horas-máquina, mientras que el intervalo entre intervenciones de mantenimiento es de 146 horas-máquina. Esta estructura asegura un ciclo de mantenimiento confiable, anticipándose a fallos prematuros y garantizando la fiabilidad del sistema.

Procedimiento de mantenimiento preventivo planificado para un ciclo de mantenimiento con 25 revisiones, 20 reparaciones pequeñas, 4 reparación mediana y 1 reparación general según Bloch (1998).

Resumen de actividades de mantenimiento

Revisiones (cada 15 días): Inspección visual, medición de vibraciones y temperaturas, verificación de alineamiento y sistema de lubricación, pruebas de rendimiento.

Reparaciones pequeñas (cada 15 días): Reemplazo de sellos, ajuste de cojinetes, limpieza de impulsores, y ajuste de válvulas de alivio.

Reparación mediana (cada 3 meses): Desmontaje completo de la bomba, reemplazo de rodamientos, reacondicionamiento de partes desgastadas y ajustes mecánicos.

Reparación general (cada 1 año y 3 meses): Desmontaje exhaustivo, reemplazo de partes críticas, reacondicionamiento y pruebas de rendimiento.

Herramientas y técnicas: Herramientas manuales, equipo de medición (vibrómetro, termómetro, alineador láser), grúa o polipasto, y procedimientos de seguridad.

Estas actividades garantizan el rendimiento y la confiabilidad de la bomba, manteniendo su operatividad y reduciendo el riesgo de fallos.

Conclusiones

Se establecieron los fundamentos teóricos del mantenimiento, proporcionando una base para el desarrollo de los objetivos y el respaldo de trabajos previos.

Se definió una metodología para calcular la disponibilidad y seleccionar un sistema de mantenimiento, basado en un análisis detallado a nivel de máquina de los componentes críticos de la bomba centrífuga.

El nuevo ciclo de mantenimiento tiene una duración de 7,300 horas-máquina, con 25 revisiones, 20 reparaciones pequeñas, 4 medianas y 1 reparación general. Los intervalos son: 1,460 horas-máquina entre reparaciones medianas, 292 horas-máquina entre reparaciones pequeñas y 146 horas-máquina entre intervenciones.

Referencias bibliográficas

Angelmendizabal.com. (27 de mayo de 2024). *Ejemplo práctico para realizar un análisis de criticidad*. <https://angelmendizabal.com/mantenimiento/ejemplo-practico-para-realizar-un-analisis-de-criticidad>

Arroyo, C. S. & Obando, R. F. (2022). Importancia de la implementación de mantenimiento preventivo en las plantas de producción para optimizar procesos. *E-IDEA Journal of Engineering Science*, 4(10), 59-69. <https://doi.org/10.53734/esci.vol4.id240>

Audisio, O. A. (2023). Turbomáquinas hidráulicas: modos de falla y su incidencia en el mantenimiento. *JIDeTEV*, (13). <https://autoresjidetev.fio.unam.edu.ar/index.php/jidetev/article/view/313>

Bloch, H. P. (1998). *Practical Machinery Management for Process Plants. Volume 1. Improving Machinery Reliability*. Gulf Professional Publishing.

Castillo-Serpa, A.M., Brito-Ballina, M.L. & Fraga-Guerra, E. (2009). Análisis de criticidad personalizados. *Ingeniería Mecánica*, 12(3), 1-12. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=225114976001>

- Cedeño-Moreira, W. J. & Gorozabel-Chata, F. B. (2021). Análisis de criticidad del equipamiento industrial de la línea de bovinos de un centro de faenamiento. *INGENIAR*, 4(8), 49-65. <https://doi.org/10.46296/ig.v4i8edespssep.0029>
- Charcopa-Paz, L.E., Herrera-Suárez, M. & Carrillo-Anchundia, B.J. (2024). Determinación de los factores que inciden en la confiabilidad de las bombas sumergibles de EPMAPSE. *Dominio de las Ciencias*, 10(2), 1196-1223. <https://doi.org/10.23857/dc.v10i2.3881>
- Costa dos Santos, A. F., Bovério, M. A., & Pereira da Silva, D. (2023). Análise técnica de intervenção corretiva em bomba centrífuga. *Sitefa*, 6(1), 1-11. <https://publicacoes.fatecsertaozinho.edu.br/sitefa/article/view/242>
- Divona, A.A., Dolan, A.J., Hendershot, J.R., Karassik, I.J., Messina, J.P., Cooper, P. & Heald, C. C. (2001). *Electric motors and motor controls*. Pump Handbook.
- Enriques-Gaspar, A., Díaz-Concepción, A., Villar-Ledo, L., Del Castillo-Serpa, A., Rodríguez-Piñero, A. & Alfonso-Álvarez, A. (2020). Tecnología para el análisis de criticidad de los sistemas tecnológicos en empresas biofarmacéuticas. *Ingeniería Mecánica*, 23(1), 1-11. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7337273>
- Espinosa-Martínez, J., Paz-Martínez, E., Pérez-Bermúdez, R. & Acosta-Pérez, I. (2020). Contribución del mantenimiento centrado en la confiabilidad para el estudio de fallos a equipos consumidores de energía eléctrica. *Centro Azúcar*, 47(1), 22-32. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2223-48612020000100022&script=sci_arttext
- Fajardo, G. A., Sandoval, J. C., Cabrera Castillo, K. V. & Quintal Vázquez, J. F. (2024). Evaluar el efecto de la máxima amplitud de vibración de un sistema con amortiguamiento viscoso, generada por cavitación en bombas centrífugas. *Ciencia Latina*, 8(5), 10246-10259. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i5.14407
- González, F. (2005). *Teoría y práctica del mantenimiento industrial avanzado*. Editorial Fundación Confemetal. [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=OzwXOAKv_QAC&oi=fnd&pg=PP11&dq=Gonz%C3%A1lez,+F.+\(2005\).+Teor%C3%ADa+y+pr%C3%A1ctica+del+mantenimiento+industrial+avanzado.+&ots=8Zp2HuK5ej&sig=eGs8su-sTV6kaV4ypWuFE3IfaAM](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=OzwXOAKv_QAC&oi=fnd&pg=PP11&dq=Gonz%C3%A1lez,+F.+(2005).+Teor%C3%ADa+y+pr%C3%A1ctica+del+mantenimiento+industrial+avanzado.+&ots=8Zp2HuK5ej&sig=eGs8su-sTV6kaV4ypWuFE3IfaAM)

- Mora, L.A. (2009). *Mantenimiento-planeación, ejecución y control*. Alfaomega Grupo Editor.
- Morrow, L. (1986). *Maintenance Engineering Handbook*. Editorial McGraw-Hill.
- Pérez, J. (2018). *Análisis de Máquinas: Métodos y Aplicaciones*. Editorial Tecno.
- Pulido-de León, L. A., García-Treviño, I. L. Medina-Álvarez, M. A. & De Los Santos-Méndez, F. (2024). Optimización del plan de mantenimiento preventivo para equipos de mecanizado por arranque de viruta mediante análisis de fiabilidad y costos. *Ciencia Latina*, 8(5), 4759-4780. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i5.13929
- Rojas, J.G., Aguirre, G.Y. & Botterón, F. (2021). Control de una bomba centrífuga monofásica comercial para irrigación de huertas rurales utilizando energía solar fotovoltaica. + *Ingenio. Revista de Ciencia, Tecnología e Innovación*, 3(2), 22-42. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/170438>
- Sánchez Aguilar, M. (2016). *Modelo de gestión de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de los equipos en una empresa de servicios*. (Tesis de Maestría, Universidad Privada del Norte, Perú). http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/bitstream/20.500.12744/1776/1/Sanchez_2016_TG.pdf
- Thielsen, A. (1970). *Mantenimiento predictivo y vibraciones mecánicas*. Editorial McGraw-Hill.
- Woodhouse, J. (1994). *Criticality Analysis Revisited*. The Woodhouse Partnership Limited.