



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA

Sistema de gestión basado en el A.C.R. y disponibilidad de grupo de bombas en planta de agua de una empresa industrial

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Mecánico Electricista

AUTORES:

Cueva Padilla, John Henry (ORCID: 0000-0002-5034-2223)

Rosado Chang, Oscar Humberto (ORCID: 0000-0002-4958-0347)

ASESOR:

Dr. Lujan López, Jorge Eduardo (ORCID 0000-0003-1208-1242)

Mg. Walter Miguel Castro Anticona (ORCID: 0000-0002-8127-4040)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Sistemas y Planes de Mantenimiento.

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

TRUJILLO – PERÚ

2022

DEDICATORIA

A Dios por darme las fuerzas necesarias y no dejarme caer en los momentos difíciles y poder lograr un objetivo más en la vida, a mi familia que siempre confió en mí y para mis gemelitas que son mi razón de superación

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, a Dios por brindarme sabiduría y perseverancia en poder terminar mis estudios, a toda mi familia por estar conmigo en este trayecto y siempre apoyarme con cada decisión y brindarme su apoyo necesario en los momentos más complicados ya que este camino no ha sido sencillo.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	iv
ÍNDICE DE TABLAS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
RESUMEN	vii
ABSTRACT	viii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO	4
III. METODOLOGÍA.....	23
3.1 Tipo y Diseño de Investigación.....	23
3.2 Variables y operacionalización	23
3.3 Población, muestra y muestreo	23
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	23
3.5 Procedimientos.....	24
3.6 Método de análisis de datos	24
3.7 Aspectos éticos	25
IV. RESULTADOS	26
V. DISCUSIÓN.....	57
VI. CONCLUSIONES	61
VII. RECOMENDACIONES.....	63
REFERENCIAS	64
ANEXOS.....	68

Índice de tablas

Tabla 1. Priorización de soluciones	21
Tabla 2: Técnicas e instrumentos de estudio	24
Tabla 3. Fallas de activos fijos	26
Tabla 4: Determinación de indicadores de mantenimiento, bomba centrífuga 11.050...	27
Tabla 5: Tabla resumen del cálculo de los indicadores de mantenimiento	28
Tabla 6: Estudio de criticidad.....	29
Tabla 7: Resumen de Criticidad de la bomba 11-050.....	30
Tabla 8: Resumen de Criticidad de la bomba 11-053.....	30
Tabla 9: Resumen de Criticidad de la bomba 11-055.....	30
Tabla 10: Resumen de Criticidad de la bomba 11-057.....	31
Tabla 11: Resumen de Criticidad de la bomba 11-059.....	31
Tabla 12: Resumen de Criticidad de la bomba 13-060.....	31
Tabla 13: Resumen de Criticidad de la bomba 13-062.....	31
Tabla 14: Resumen de Criticidad de la bomba 13-064.....	32
Tabla 15: Resumen de Criticidad de la bomba 13-066.....	32
Tabla 16: Resumen de Criticidad de la bomba 13-068.....	32
Tabla 17: Resumen de Criticidad de la Bomba. De pozo profundo Byron Jackson	33
Tabla 18: Hoja de información de la Bomba centrífuga de agua cruda 11-050	34
Tabla 19: Hoja de información de la Bomba centrífuga de agua cruda 11-053	35
Tabla 20: Hoja de información de la Bomba centrífuga de agua cruda 11-055	36
Tabla 21: Hoja de información de la Bomba centrífuga de agua cruda 11-057	37
Tabla 22: Hoja de información de la Bomba centrífuga de agua cruda 11-059	38
Tabla 23: Hoja de información de la Bomba centrífuga de agua cruda 13-060	39
Tabla 24: Hoja de información de la Bomba centrífuga de agua cruda 13-062	40
Tabla 25: Hoja de información de la Bomba centrífuga de agua cruda 13-064	41
Tabla 26: Hoja de información de la Bomba centrífuga de agua cruda 13-066	42
Tabla 27: Hoja de información de la Bomba centrífuga de agua cruda 13-068	43
Tabla 28: Hoja de información de la Bomba de Pozo Profundo Byron Jackson	44
Tabla 29: Ponderación NPR	46
Tabla 30: Definiciones por tipos de mantenimiento de la norma ISO 14224	48
Tabla 31: Programa de Mantenimiento para el grupo de bombas.....	51
Tabla 32: Tabla resumen del cálculo de los indicadores de mantenimiento en mejora .	52
Tabla 33: Beneficio económico en reducción de horas perdidas	53
Tabla 34: Tabla de costos en mantenimiento predictivo en equipos de bombeo.....	54

Tabla 35: Tabla de costos en mantenimiento preventivo en equipos de bombeo.....	55
Tabla 36: Tabla resumen de los costos en mantenimiento	55
Tabla 37: Tabla de inversión en activos fijos.....	56

Índice de figuras

Figura 1: Intersección de la falla según la frecuencia y la consecuencia	10
Figura 2: Etapas durante la ejecución del A.C.R.....	16
Figura 3: Formato de registro de soluciones	19
Figura 4: Diagrama de jerarquización de soluciones.....	20
Figura 5: Instalaciones distribución	21
Figura 6: Taxonomía de la estructura de jerarquización.....	47
Figura 7: Diagrama de Ishikawa de causas críticas	50

RESUMEN

En la investigación, materia de la presente tesis, se ha realizado el análisis de mejora de la disponibilidad de un grupo de bombas de la planta de agua en una empresa industrial manufacturera de la región.

Se inició el estudio realizando una evaluación al sistema actual de operatividad y funcionamiento de los equipos de dicha planta, determinando indicadores de mantenimiento de confiabilidad y disponibilidad, los mismos que fueron calculados en 98.29% y 74.53%, respectivamente. A continuación, se ha realizado un estudio de criticidad, determinando como 8 equipos en estado crítico, 3 medio críticos y 1 no crítico. Luego, a partir de la identificación de los equipos críticos se consideró un análisis de modo y efecto de fallas y se realizó la ponderación de puntajes de gravedad, ocurrencia y detección de las fallas características, mediante el número de prioridad de riesgos, determinándose que 5 de 8 fallas son indeseables (62.5%), 2 fallas son reducibles a deseables (25%) y 1 falla es considerada como aceptable (12.5%) y concluyendo que las fallas reducibles a deseables y aceptables en conjunto, representan el 37.5% del total.

A partir de los datos indicados anteriormente, se realizó el estudio del sistema de gestión de mantenimiento basado en un análisis de causa raíz, donde predominantemente se presentaron un diagrama de Ishikawa y la Taxonomía de estructuración de jerarquía, como punto de apoyo para el programa de mantenimiento realizado y en la visualización de la mejora de la confiabilidad y disponibilidad del sistema de bombas en la planta de tratamiento de agua, que luego de su proyección alcanzaron los valores porcentuales de 98.90% y 90.48%, respectivamente.

Asimismo, se ha realizado el estudio de costos por implementación del plan de mantenimiento, además del beneficio que éste otorgaría en el proceso de determinar el retorno de la inversión, considerado en 8 meses; lo cual representó una estimación aceptable y propicia para su desarrollo.

Palabras clave: Disponibilidad, Confiabilidad, Análisis de modo y efecto de fallas, Análisis de causa raíz, Sistema de gestión de mantenimiento

ABSTRACT

In the investigation, subject of the present thesis, the analysis of improvement of the availability of a group of pumps of the water plant in an industrial manufacturing company of the region has been carried out.

The study began with an evaluation of the current system of operability and operation of the equipment of said plant, determining reliability and availability maintenance indicators, which were calculated at 98.29% and 74.53%, respectively. Next, a criticality study has been carried out, determining as 8 equipment in critical condition, 3 medium critical and 1 non-critical. Then, from the identification of the critical equipment, an analysis of the mode and effect of failures was considered and the weighting of severity scores, occurrence and detection of the characteristic failures was carried out, by means of the risk priority number, determining that 5 of 8 failures are undesirable (62.5%), 2 failures are reducible to desirable (25%) and 1 failure is considered acceptable (12.5%) and concluding that the failures reducible to desirable and acceptable together represent 37.5% of the total .

Based on the data indicated above, the study of the maintenance management system was carried out based on a root cause analysis, where an Ishikawa diagram and the Hierarchy Structuring Taxonomy were predominantly presented, as a support point for the maintenance program. maintenance carried out and in the visualization of the improvement of the reliability and availability of the pump system in the water treatment plant, which after their projection reached the percentage values of 98.90% and 90.48%, respectively.

Likewise, the study of costs for implementation of the maintenance plan has been carried out, in addition to the benefit that it would grant in the process of determining the return on investment, considered in 8 months; which represented an acceptable estimate and conducive to its development.

Keywords: Availability, Reliability, Failure Mode and Effect Analysis, Root Cause Analysis, Maintenance Management System

I. INTRODUCCIÓN

A través los años de historia, preocupación constante de la pequeña, mediana y gran empresa ha sido el de reducir costos de producción; sin embargo esto no solamente significa realizar un buen análisis económico ni un estudio FODA (evaluación de fortalezas y debilidades), sino que es más complejo puesto que involucra a la evaluación y determinación de eficiencia de los activos de una empresa y su prevalecencia en función al tiempo, sin incurrir en gastos innecesarios debido a toma de deficientes decisiones u operaciones. Consecuentemente, desde hace algún tiempo, el hombre ha avanzado hacia nuevas tendencias tecnológicas tratando de mejorar el impacto que producen los activos en mal estado y que, en muchas ocasiones, de acuerdo a la severidad, ocasionan gran pérdida de dinero, por lo tanto, esto da lugar a priorizar la importancia de mantener los activos en óptimas condiciones a fin de que éstos puedan realizar sus funciones con el mejor impacto posible y así no se generen fallos imprevistos. También debemos resaltar la importancia del buen cuidado de ellos para poder, lo cual involucra un apropiado sistema de gestión de mantenimiento y así garantizar un proceso productivo eficiente y económicamente rentable.

De acuerdo a la literatura especializada, es requerimiento de un sistema de gestión de mantenimiento, “Determinar una disponibilidad top en las producciones industriales, de acuerdo a estándares de calidad, a costo reducido y dentro de los procedimientos de seguridad y medio ambiente” (Boero, 2016). Consecuentemente, el requerimiento de los sistemas de gestión de mantenimiento se fundamenta en considerar atención permanente a toda máquina o equipo que sufre una serie de fallas o desgaste prematuro. De no evitarse, minimizarse o eliminarse, el objetivo para el que fueron creados fracasará plenamente, el rendimiento será deficiente y la vida útil reducida (Dixon, 2012)

En tal sentido, la industria manufacturera a fin de tener siempre como función relevante la de mantenerse como rubro líder en el mercado nacional respecto a la fabricación y comercialización de productos agrícolas y derivados, busca nuevas estrategias en el mercado comercial y ha decidido establecer un formato nuevo

para la venta nacional en el cual se requiere de un excesivo consumo de agua, alrededor de los 950 gal/min y de estimar el suministro desde la línea principal de abastecimiento. Por lo tanto, bajo un esquema tradicional, se estuvo incurriendo en elevados costos de producción, así como en un negativo impacto en el consumo del preciado recurso hídrico. Para ello, la empresa manufacturera ha decidido instalar su planta de tratamiento de agua y así evitar dependencia y establecer su propio suministro en el proceso productivo (Benavides, 2018)

Otro aspecto relevante en el tratamiento de los 950 gal/min que corresponden a los efluentes del proceso, es el contenido de sólidos disueltos, los cuales ocasionan desgaste acelerado y erosión de las partes componentes de las bombas del proceso; en tal sentido, se producen fallas continuas debido a la exigencia del proceso, que generalmente se presentan en los accesorios como o'rings, acoplamientos de electro bombas, impulsores, volutas o carcasas y como consecuencia, muchas veces la ruptura de ejes.

Las bombas durante proceso, trabajaron regularmente 16 horas/día haciendo un total tentativo de operación de 2880 horas/año de operación para el segundo semestre del 2019, a partir de ello, en el mismo periodo, se registraron un total de 220 horas de paralizaciones debido a fallas en los equipos, lo cual derivó en la aplicación de mayor porcentaje de mantenimiento reactivo o correctivo. Por lo expuesto y de acuerdo a esta problemática se ha planteado desarrollar un sistema, cuya gestión de mantenimiento preventivo basado en análisis de causa-raíz sea efectivo y así poder mejorar los índices del indicador de disponibilidad del grupo de bombas de la planta de agua de la empresa industrial manufacturera en estudio y evitar incurrir en costos innecesarios (Galeano, 2016).

Definido el problema, se procedió a formular la pregunta siguiente: ¿De qué manera un Plan de mantenimiento preventivo orientado en el análisis causa – raíz, mejora la confiabilidad del sistema de bombas de la Planta de agua de una empresa manufacturera?

La justificación de este proyecto está fundamentada en el impacto técnico-económico en relación a la confiabilidad y disponibilidad del grupo de bombas de la planta de agua de la empresa industrial manufacturera, habida cuenta que una

buena gestión del mantenimiento genera evitar fallas que puedan afectar la producción de manera directa, disminuye el consumo de repuestos, evita la utilización de mano de obra en trabajos correctivos, no consume horas de trabajo no programados ni planificados, etc. Como justificación social, una buena gestión de mantenimiento genera un impulso de confianza entre la empresa y el cliente; y, en el aspecto tecnológico, se implementará una metodología moderna para minimizar fallas espontáneas, así como aumentar la vida útil de los activos; por ende, una prestación de servicio eficiente y de acuerdo a las exigencias de la productividad de la empresa.

En tal sentido, se ha establecido como objetivo general evaluar la implementación de un programa de Mantenimiento, para mejorar la disponibilidad y confiabilidad de un sistema de bombeo de la planta de una empresa industrial manufacturera y para llegar a ello, se tuvieron en cuenta como objetivos específicos siguientes : i) Diagnosticar el estado actual del sistema de bombas de la planta de tratamiento para determinar los indicadores iniciales de mantenimiento de confiabilidad y disponibilidad. ii) Elaborar un análisis de criticidad para priorizar los equipos según su condición de críticos , semi – críticos y no críticos iii) realizar el análisis de modo y efecto de fallas (AMEF) y calcular el numero prioritario de riesgo (NPR) iv) Elaborar un programa de mantenimiento, en base a los efectos de análisis causa raíz y el número de prioridad de riesgos previamente evaluados v) Determinar los indicadores de mantenimiento, de confiabilidad y disponibilidad proyectadas post mejora vi) Evaluar el costo beneficio de la implementación del programa de mantenimiento

II. MARCO TEÓRICO

La investigación se ha respaldado por el sustento teórico de los siguientes antecedentes:

(Benavides, 2018) en su estudio de condiciones operativas a equipos de una línea industrial, obtuvo un 9% de equipos con criticidad A, un 82% con criticidad B y un 9% con criticidad C. También se efectuó un estudio de confiabilidad de los equipos en estudio para poder realizar las actividades de mantenimiento con frecuencias adecuadas y por último se diseñaron planes de mantenimiento para los equipos más críticos y se dejaron colocados en el programa SAP, el cual es un sistema computarizado para realizar la gestión empresarial para su aplicación.

En forma similar, (Martínez, 2018) aplicó un análisis causa raíz al sistema de bombeo de una caldera, donde se presentaron un total de 68 fallas del orden prioritario de mantenimiento, siendo el más preponderante el correspondiente a los defectos en ejes, cojinetes y filtros; también se registraron fallas en sellos mecánicos de prensa estopas de las bombas; Por lo tanto se concluye, que los valores mínimos y máximos de confiabilidad están entre 64,83% y 86,1%, lo que muestra que se encuentra por debajo de los 90% proyectada por la empresa, de ello se propuso el diseño de un estilo de rutinas de inspecciones del personal de mantenimiento, en lapsos de 4 meses para poder controlar los riesgos y consecuentes costos por defectos y fallas.

También (Bolaños, 2019) a través de una investigación acerca de bombas hidráulicas presentaron un estudio basado en causa-raíz en el que se identifica como piezas críticas a los sellos mecánicos y rodamientos, siendo preponderante la atención a éstos trazando un plan específico de mantenimiento también en un lapso de 4 meses y así poder subsanar eventos históricos que traían consigo altos costos y bajos rendimientos que se traducían en disponibilidades bajas de los activos (bombas).

En forma similar, (Goti, 2018), mediante una encuesta inició su proyecto y concluyó diciendo: “La necesidad de contar con bases fundamentales de sistemas de gestión de mantenimiento, está en la recopilación, análisis y estudio de trabajos

realizados, para su total desarrollo”, siendo un aporte significativo la concepción misma de gestión, a través de la cual se verá mejora en los indicadores y costos industriales. Asimismo, es importante dar énfasis al papel que desempeñan la organización de la compañía y cultura empresarial, pues son la base del desarrollo de gestión de la información para medir capacidades de adquisición, procesamiento de datos y soluciones contables, así como de operaciones de mantenimiento (Goti, 2018).

(*) Artículo tomado de publicación de Ingeniería Industrial “Principios de Gestión de Mantenimiento” - España – Autor: Goti, 2016.

Por otra parte, (Moncada, 2018), en un tratado acerca de análisis vibracional como base del mantenimiento predictivo, determina que la gravedad de fallas prematuras aparentemente diagnosticadas en los rodamientos de un equipo, sobre todo en los rígidos de bolas de una hilera, son en realidad transmisión de un defecto del activo fijo y no del rodamiento, el cual sencillamente es un transmisor del defecto. Como complemento a estas evaluaciones para llegar a un diagnóstico certero, se consideraron técnicas de estudio de tiempos y movimientos, frecuencias de fallas, método de Hibert o de la evolvente y simulaciones de solución. Sin embargo, el análisis vibracional ha sido considerado como el método top o de excelencia para diagnosticar fallas y defectos en potencia y así poder controlarlos, ya que las tendencias o espectros registrados en el software correspondiente ayudaron a la rápida reacción de programar el mantenimiento correspondiente ya que la identificación de los defectos se realizó con procesos de modulación BPF, BSF Y FTF.

De igual manera, (Chiroque, 2019), ha desarrollado mediante el método de elementos finitos, un procedimiento válido para el diagnóstico de defectos y fallas en la gama de máquinas rotativas, en base al estudio de engranajes como piezas elementales donde se pudieron aplicar algoritmos que ayuden a la determinación de frecuencias y vibraciones graficadas mediante la onda característica sinusoidal y poder medir la longitud de onda para frecuencia y amplitud de la misma, para vibraciones. Los resultados esperados se confirmaron cuando se realizaron mediciones de la capacidad de transmisión de potencia o torque de estas ruedas dentadas pues mientras la amplitud medida en el engranaje

conducido disminuye hasta niveles menores que la amplitud de fuerza impulsiva, se incrementa la relación de transmisión y los demás parámetros se mantienen constantes. Concluye el autor especificando que es de mucha importancia la realización de mediciones y control progresivo y sistemático de las vibraciones torsionales en todo programa de mantenimiento.

En forma similar (Rojas, 2018), realizó estudios de determinación de fallas en equipos de bombeo utilizando análisis vibracional y alineamiento láser, metodologías que sirven fehacientemente para el diagnóstico de fallas, sobre todo en elementos rotativos, y ejercer un veredicto en la comprobación de diseños para estos equipos componentes del sistema de bombeo. Este trabajo fue realizado en el pool de bombas centrifugas a cargo de la empresa Gold Mill – Minera Yanacocha.

Dado ello, sería menester tomar en cuenta diversas teorías afines al tema de la investigación:

El primer concepto relevante es referente al *mantenimiento preventivo*, definido como el evolucionado a través del tiempo, cuyo principal objetivo es prevenir fallas y tener a los equipos en condiciones de operación específicas, el mayor tiempo posible. Es secuencial y obedece a frecuencias programadas, en base a recomendaciones del proveedor, bitácoras de historias de equipos y condiciones de operación de los equipos (Avila Espinoza, 2012).

Se debe tener en cuenta, de la misma manera, inmerso en el concepto de Mantenimiento, a los principios siguientes: Las tareas destinadas a mantener o repotenciar un sistema para tenerlo en condiciones idóneas de operatividad y bajo costo económico; Desarrollar acciones para que los activos físicos tengan la operatividad que los usuarios desean a condiciones seguras. (Moubray, 2014); Lograr efectividad y reducir costos generales en todos los sistemas y equipos.

Otra definición a tener en cuenta es la concerniente a *mantenimiento correctivo o reactivo*, el cual en la línea de tiempo es el primero y ahora fuera de contexto, ya que se aplicaba para subsanar un error o avería dados por el constante trabajo de los activos. Este tipo de mantenimiento determina la

paralización intempestiva de la producción, aumento de tiempo perdido, elevación de costos y muchas veces compromiso hacia otros equipos inherentes al proceso.

Tiene por características principales: Atención rápida, luego de producirse la falla o avería; Repercute en la continuidad del proceso y costos logísticos; Determina directamente en la elevación de costos de mantenimiento por tiempo perdido asignado a este rubro como lucro cesante de producción (Améndola F. , Criterios de Mantenimiento, 2012)

Por lo tanto, comparativamente, es largamente más conveniente aplicar el mantenimiento preventivo frente al correctivo, habida cuenta que con el primero se logra minimizar deterioros lapidarios de activos, reducción de tiempos de reparación y mayor aprovechamiento de piezas y accesorios de equipos por su mejor conservación.

Visto como estrategia, el mantenimiento preventivo se implementa mediante programas periódicos de intervenciones luego de una faceta de inspecciones, reparaciones y retroalimentaciones correspondientes. Estas intervenciones usualmente deben ser realizadas siempre, aun cuando los equipos estén operando en forma satisfactoria.

Se caracteriza por utilizar los indicadores principales del mantenimiento como son *confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad* (Améndola F. , Criterios de Mantenimiento, 2012), los cuales bien se pueden emplear para la toma de decisiones.

Un indicador importante dentro del mantenimiento preventivo es establecer la *confiabilidad*, pues significa ganar el nivel de “confianza” de los equipos para el desempeño de funciones en el tiempo programado. También se lo define como la probabilidad de que un sistema cumpla con seguridad, el tiempo necesario y establecido de operaciones antes de su intervención de mantenimiento.

El cálculo físico-matemático de la confiabilidad se expresa mediante la siguiente expresión (Améndola F. , Criterios de Mantenimiento, 2012)

$$R(t) = e^{-\lambda * ttp/100} \dots \dots \dots (1.1)$$

Dónde:

R (t): Confiabilidad de un sistema o activo fijo.

ttp: Tiempo total de producción

e: constante Neperiana (e=2. 303..)

λ : Tasa de fallas (número total de fallas por período de operación)

Tomando como premisa el concepto moderno de mantenimiento, se puede enfatizar que éste tiene como misión “garantizar” la *disponibilidad*, de manera que sea posible la atención del proceso de producción o servicio con la calidad necesaria, confianza y seguridad al menor costo.

La disponibilidad, como objetivo principal del mantenimiento, es considerada como estrategia de garantía de operatividad de un activo o sistema y generalmente se expresa de manera porcentual considerando el tiempo de operatividad vs. el tiempo de paralización programada.

De acuerdo a la naturaleza de operaciones y continuidad de los sistemas, es lícito considerar por parte del diseñador la utilización de los indicadores aludidos, para conseguir mejores ciclos de vida y costos acorde con la programación del mantenimiento.

La disponibilidad D(t), obedece a la relación existente del tiempo de operación entre fallas MTBF y el tiempo medio de reparaciones MTTR:

$$D(t) = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad \dots \dots \dots (1.2)$$

El MTTR, depende de la facilidad para efectuar el mantenimiento del activo, la capacidad profesional y/o técnica del personal que realiza la intervención, las aptitudes de planificación del mantenimiento y capacidades de la organización para ello (Améndola F. , Criterios de Mantenimiento, 2012).

Otro indicador importante en el mantenimiento es *La mantenibilidad*, definido como la expectativa de volver a la operatividad de un sistema luego de una secuencia de mantenimiento. Estadísticamente, la mantenibilidad es definida como “la probabilidad de retornar a condiciones específicas de operatividad de equipos,

tiempo programado”; o sencillamente “la probabilidad de que un sistema que tenga una falla sea reparado en un tiempo determinado” (Améndola F. , Criterios de Mantenimiento, 2012).

$$M(t) = 1 - e^{-\mu*ttp/100} \dots \dots \dots (1.3)$$

Para incrementar la producción, es deseable que los 3 indicadores estén relacionados entre sí, de manera que, para aumentar la disponibilidad es necesario también incrementar la confiabilidad y reducir el tiempo de reparaciones, que significa aumentar el MTBF y reducir el MTTR en forma simultánea.

Cabe resalta que los superíndices de los indicadores de confiabilidad y mantenibilidad, denominados tasa de fallas y tasa de reparaciones, se pueden expresar en función inversa al MTBF y MTTR, respectivamente; así:

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} \dots \dots \dots (1.4); \text{ y,}$$

$$\mu = \frac{\text{Nmero de reparaciones indicadas}}{\text{tiempo total de reepraciones de la unidad}} \dots \dots \dots (1.5)$$

$$MTTR = \frac{1}{\mu} \dots \dots \dots (1.6)$$

Entonces, el MTTR se expresa también como el inverso de la tasa de reparaciones.

Por otra parte, dentro del contexto del estudio general de los indicadores, también ha sido necesario establecer un procedimiento que derive en relacionar posibilidades que encaminen a relacionar causas y efectos, de tal manera que se pueda determinar la raíz del problema. Consecuentemente a ello, fue de gran importancia poder clasificar a las *fallas* en función de la criticidad que presentaron para determinar las valoraciones de frecuencia y consecuencia de acuerdo a la matriz correspondiente (Anexo 3).

Así, el *Análisis de Criticidad*, definido como una metodología que permite establecer la jerarquía o prioridades de procesos, sistemas y componentes, creando una estructura que facilita la toma de decisiones acertadas y efectivas, direccionando el esfuerzo y los recursos en áreas donde sea más importante y/o

necesario mejorar la Confiabilidad Operacional, basado en la realidad actual (Díaz, 2012), permite identificar utilizando un código de colores la menor o mayor intensidad de riesgo relacionado con el Valor de Criticidad de la instalación, sistema o equipo bajo análisis. En un eje se representa la frecuencia de fallas y en otro los impactos o consecuencias en los cuales incurrirá la unidad o equipo en estudio si le ocurre una falla (Carranza, 2016).

En la siguiente Gráfica, “Matriz de Criticidad” se muestra la intersección de la consecuencia y la frecuencia de falla ponderada dando como resultado una falla media crítica para el elemento.

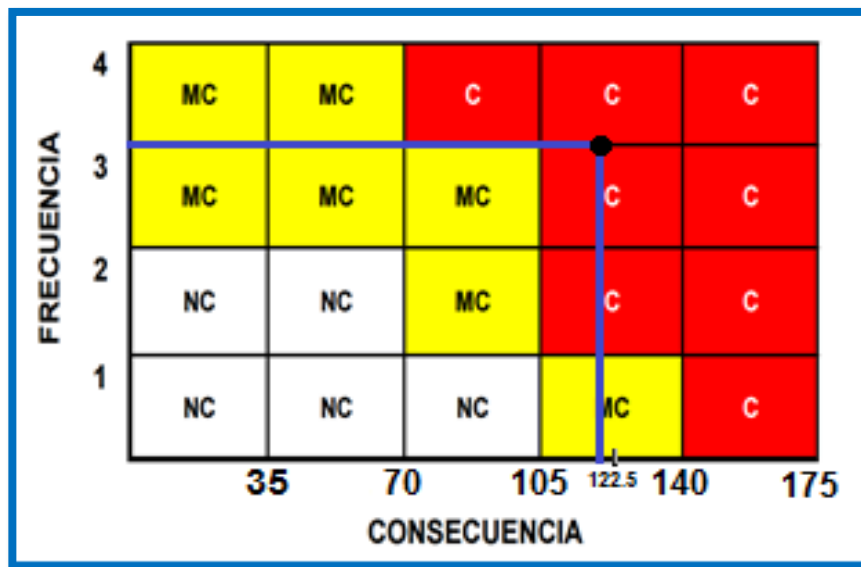


Figura 01 - Intersección de la falla según la frecuencia y la consecuencia.
Fuente: Carlos Parra & Adolfo Márquez, 2012

La criticidad se determina cuantitativamente, multiplicando la probabilidad o frecuencia de ocurrencia de una falla por el producto de consecuencias de la misma, estableciendo rasgos de valores para homologar los criterios de evaluación. (Anexo 3)

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

La consecuencia se determina por los siguientes criterios (ver anexo N° 5):

$$C = (I.O) * (F.O) * (C.M) * (ISMA) \dots\dots\dots (1.7)$$

Dónde:

C : Consecuencia.

I.O : Impacto operacional.

F. O : Flexibilidad operacional.

C.M : Costo de mantenimiento.

ISMA : Impacto de seguridad y medio ambiente.

Complementariamente al análisis de criticidad, se estructura el *Análisis de modos y efectos de falla*: (Design Failure Mode and Effects Analysis), también llamado AMEF de producto. El análisis está dirigido a identificar los riesgos en un diseño nuevo o modificación de un producto o servicio. Examina cada etapa de un proceso para identificar los riesgos y fallos desde diferentes fuentes, las más comunes, las famosas M (Mano de obra, materiales, maquinaria, medición, medio ambiente). El análisis del modo y efecto de fallas se define como un procedimiento para la detección de riesgos a partir del análisis de fallas potenciales, lo que permite la implementación de acciones que eviten que las fallas se presenten y se mejore la calidad; responde a la pregunta: ¿Cómo puede fallar el sistema, producto o proceso? (Améndola, 2012). Para determinar el correcto procedimiento y comprobación de resultados del análisis de criticidad, en el AMEF, se ha incluido el cálculo del Número de Perioridad de Riesgos (NPR), que obedece a la relación:

$$\mathbf{N.P.R. = G * O * D} \quad \text{..... (1.8)}$$

Donde: G = Gravedad

O = Ocurrencia

D = Detección

Cuyas ponderaciones se establecen de acuerdo a la matriz NPR (Anexo N° 5)

A consecuencia del conocimiento de indicadores de mantenimiento se puede establecer algunas conclusiones:

- ✓ El mantenimiento tiene como objetivo garantizar el funcionamiento de activos, sin eliminar necesariamente todas las fallas.
- ✓ Los componentes de la producción son el mantenimiento e Ingeniería.
- ✓ No todos los equipos iguales son susceptibles de tener el mismo mantenimiento, sino que depende de sus fases de vida.

- ✓ Cada tipo de mantenimiento (correctivo y preventivo) tienen sus fortalezas y debilidades, no se puede estandarizar uno de ellos para todos los equipos.
- ✓ Los operadores son los inmediatos conocedores de la confiabilidad; los colaboradores de mantenimiento son los conocedores de las reparaciones.
- ✓ Se llega al top de mantenimiento, cuando no se haga mantenimiento.
- ✓ No es bueno hacer reparaciones sin antes haber analizado la causa raíz u origen de las fallas. (Améndola F. , Criterios de Mantenimiento, 2012).

De acuerdo a las conclusiones precedentes, el ACR es la metodología aparente para este tipo de análisis; pues con la secuencia establecida por éste, se pueden realizar las gráficas respectivas de las relaciones de causa-efecto para determinar la raíz del evento indeseable. (Altmann, 2007).

En ACR se emplean técnicas para identificar factores casuales de las fallas, o sea el origen del problema, haciendo relación con los colaboradores, los procesos, tecnología y organización, a fin de mostrar soluciones en la identificación de actividades o recursos capaces de eliminar los defectos. (Altmann, 2007).

Como acciones previas al conocimiento de ACR, se deben conocer algunas definiciones puntuales:

1. Acción: Efecto que causa una tendencia física, química o humana, debido a la culminación de trabajos o labores específicas.
2. Activo: Denominación contable para definir recursos que poseen un valor, ciclo de vida y determinan un flujo de caja. Ejemplo: Equipos, plantas industriales, fábricas, personal, etc.
3. Análisis Causa-Efecto; Herramienta propia de ACR para establecer ordenamientos gráficos del análisis de manera secuencial.
4. Análisis Costo-Beneficio (AC-B): Determina el beneficio económico al producirse cambio, modificación o reparación mayor. Como resultado a esto, se considera el Valor Presente Neto (VPN).

5. Causa de Falla (Causa Raíz): Aquellas que se derivan de deterioro por diversas causas, como físicas, químicas, diseño, mala operación, baja calidad de piezas o materiales y organizacionales.
6. Causas Raíces Físicas: En los ACR, se consideran a los derivados de fallas de componentes y/o materiales. Ejemplo: material de empaquetaduras inadecuado.
7. Causas Raíces Humanas: En los ACR, se consideran a acciones de errores humanos que traen consecuencia de falla. Ejemplo: mala selección de la empaquetadura, instalación inadecuada de sellos
8. Causa Raíces Latentes: En los ACR, se consideran a las acciones de procesos organizacionales relacionadas con las causas raíces humanas. Se refiere a que el origen de los problemas son las malas decisiones u omisiones a nivel de todo el sistema.
9. Confiabilidad: Probabilidad de funcionamiento sin fallas de un equipo o sus partes y accesorios, en un tiempo considerado a través de un contexto operacional.
10. Confiabilidad Operacional: Denominado por algunos autores como la disponibilidad. Es la capacidad de un activo para realizar satisfactoriamente sus funciones en el marco normal o establecido en el contexto operacional determinado.
11. Consecuencia: Resultado de un proceso, que se puede expresar en forma cualitativa o cuantitativa. Consecuentemente guarda íntima relación con la Seguridad, producción, costos e imagen institucional.
12. Consecuencia de una Falla: Definido como los aspectos o anomalías propias del diagnóstico del operador.
13. Defecto: Falla en potencia. Ejemplo: desbalance, desalineamiento, ajustes equivocados, sistemas de seguridad, etc.
14. Efecto de falla: Acontecimiento de cada modo de las anomalías presentadas a través de una evaluación.

15. Falla: Defecto imprevisto o previsto que repercute en la conservación o vida de un activo.

16. Fallas Crónicas: Son las fallas que se presentan con una frecuencia determinada, a veces llegar a ser aceptadas o se sobrevive con ellas y en etapas posteriores se realiza la reparación.

17. Fallas Catastróficas: Aquellas que determinan la pérdida total de un equipo o parte integrante de éste.

18. Falla funcional: La considerada como consecuencia de que un activo no cubra las expectativas de su funcionamiento.

19. Hipótesis: Es una proyección de hechos como si ya estuvieran admitidos, para luego tratar de demostrar como válidos los hechos supuestos inicialmente.

20. Histograma: Gráfico que agrupa datos orientados a una variable aleatoria, de tal suerte que puedan visualizarse. Considera valores con alta probabilidad de ocurrencia.

21. Impacto Económico: Concepto financiero determinativo de incremento en costos de mantenimiento y/o pérdidas de producción.

22. Ítem: Forma de denominar a cualquier equipo mantenible, como accesorios, partes, materiales, ensambles, etc.

23. Jerarquización: Priorización en el ordenamiento de tareas.

24. Lista Jerarquizada de Problemas: Instrumento para enumerar las fallas y tendencias en forma ordenada y de acuerdo a una importancia o criticidad definida; involucra también el impacto económico para las correcciones pertinentes.

25. Metodología: Procedimientos estructurados para llegar a resultados eficientes cifrados desde la confección de objetivos.

26. Mecanismo de falla: Procesos que han denotado avance significativo hasta llegar a la producción del defecto o falla.

27. Modo de falla: Forma como una falla es observada, como ocurre y cuál es el impacto en la operación del activo.

28. Probabilidad: Es la posibilidad de producirse un evento, cuya frecuencia es el indicador principal de probabilidad.

29. Riesgo: Representa la naturaleza probable de falla o pérdida. Se expresa como: $R(t) = P(t) \times C$, donde $R(t)$ es el riesgo en función del tiempo; Pf es la probabilidad de ocurrencia de un evento en función del tiempo, y C sus consecuencias.

30. Tipificación de Fallas: Obedecen a la combinación de tipo y el nivel de proceso. Se relacionan como:

- ✚ Fallas en equipos, componentes y sistemas.
- ✚ Desviaciones operacionales y/o/pérdida de eficiencia.
- ✚ Problemas administrativos/médicos/otros.

31. Valor Presente Neto (VPN): Representado por la suma de los flujos de efectivo anuales descontados al valor presente. La metodología sugiere descontar estos flujos, lo cual originaría diferenciar la importancia del valor más valioso de hoy que en mañana.

En la figura 02, se aprecian las etapas durante la ejecución del ACR donde se identifican acciones que tienden a eliminar las causas de fallas para tener mejor ingreso económico.

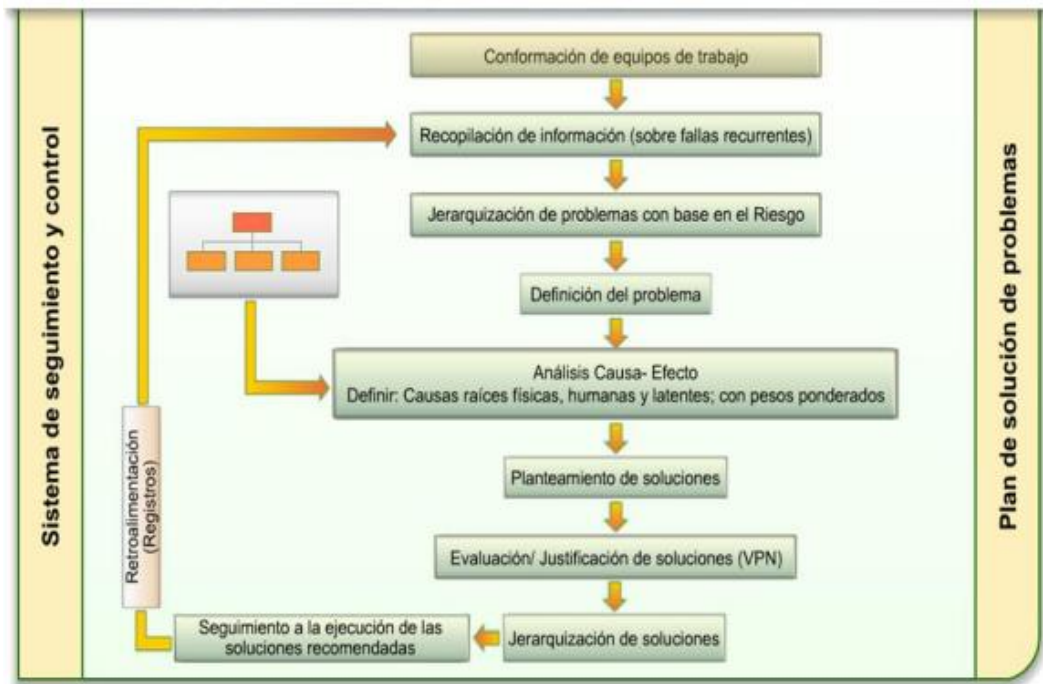


Figura 02: Etapas durante la ejecución del A.C.R.
 Fuente: (I.S.O., 2016)

1. Conformación del Equipos de trabajo.

seleccionar el personal idóneo de acuerdo a los criterios establecidos en la Guía para la Conformación y Operación de los Equipos de Trabajo de Confiabilidad, cuya dirección electrónica es:

<http://sdc.dpep.pep.pemex.com/default.aspx>

2. Recopilación y Tratamiento de Datos.

Se inicia con la recopilación de datos de fallas de equipos y sus impactos a fin de jerarquizar defectos haciendo uso de histogramas para realizar un tratamiento a los datos, los mismos que se trasladarán a sistema computacional.

3. Jerarquización de problemas.

La jerarquización se basa en el requerimiento del impacto por cada modo de falla. Se calcula sumando costos de reparación y costos de pérdida de

oportunidad por la producción diferida; o también frecuencia de fallas por la consecuencia de cada una de ellas.

4. Definición del problema

Se inicia el proceso mediante un análisis breve, donde se describen pautas acerca del inicio del problema y, de ser necesario, hacer un diagrama.

A fin de tener identificados todos los factores intervinientes en la productividad, es necesario establecer una “lluvia de ideas” previa a cargo de un equipo definido denominado ETN (Equipo natural de trabajo), encargados de realizar el ACR.

Se puede realizar con la inclusión de algunas preguntas como:

- ¿Qué problema se tiene?
- ¿De qué manera ha ocurrido el problema?
- ¿En qué lugar ocurrió el problema?
- ¿Hubo antecedentes a la ocurrencia del problema?
- ¿Se pudo prevenir o controlar anticipadamente el problema y no se hizo?
- ¿En materia de Seguridad y medio ambiente, hubo algún impacto?

5. Análisis Causa-Efecto.

Este análisis se efectúa mediante un estudio de **Causa Raíz**, cuyo método deslinda de que una falla siempre se debe a una causa, dos causas, y así sucesivamente que generan una “cadena” de causas y efectos para llegar a determinar la causa principal del problema.

Cada una de las causas se verá como una hipótesis a cargo del equipo de estudio, la misma que será confirmada si se concluye en válida. La validez se logrará en función de una valoración de parámetros como:

- Análisis primario de falla.
- Comprobación estadística de datos
- Diálogo con especialistas y operadores
- Experimentación en campo.

Es particular el concepto de que las hipótesis analizadas, deben ser validadas o rechazadas, antes de continuar. Si son rechazadas, éstas deberán ser anuladas, pero no descartadas de tenerlas en cuenta en la trazabilidad del análisis.

También es importante el papel de la ponderación de los impactos de modo y efecto de falla, traducidos en el denominado “Peso” a tener en cuenta en la comprobación de y causas. Es lícito asimismo tener la opción de opinión de expertos.

Del estudio de causa raíz se pueden desprender algunos tipos de ellas como, por ejemplo: Causas Raíces Físicas, relacionadas con los componentes físicos de equipos; Causas Raíces Humanas, relacionadas con la intervención de la mano del hombre u omisión por errores o descuido; Causas Raíces Latentes, relacionadas como inicio de las causas raíces humanas y su implicancia por falta de utilización de los procedimientos correctos.

6. Planteamiento de soluciones.

Luego de haberse establecido el Análisis Causa-Efecto, el paso siguiente es la determinación de soluciones para resolver el problema de manera sustentable que imposibilite la repetición del mismo. Ello se concretará aplicando acciones correctivas de todas las causas raíces y registrarlas en el formato correspondiente donde especifiquen el carácter de cada una de ellas, sean físicas, humanas o latentes; así como costos derivados de estas acciones.

Ejemplo:

Causas	Pérdidas	Acciones	Costo (\$)	Tiempo de ejecución de la acción			Responsable
(Físicas, humanas y latentes)	(\$)			C	M	L	
CL CH CF							
CL CH CF							
CL CH CF							

C: Corto plazo; M: mediano plazo; L: largo plazo.

Fig. 03: Formato de registro de soluciones.
Fuente: (I.S.O., 2016)

7. Evaluación de soluciones.

Para evaluar las soluciones, se recurre al Análisis Costo-Riesgo-Beneficio, el cual es un indicador comparativo del costo por ejecución de actividades preventivas del riesgo vs. el costo de sus consecuencias si no se hiciera alguna prevención. El método más aparente para esta acción es el denominado V.P.N (Valor Presente Neto)-

La expresión característica para el cálculo del VPN es:

$$VPN = C_0 + \frac{C_1}{(1+r)} + \frac{C_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{C_n}{(1+r)^n} = \sum_{i=0}^n \frac{FC_i}{(1+r)^i} \quad \dots\dots\dots (1.9)$$

Donde:

- VPN: Valor presente neto de los flujos de la caja.
- C_0 : Monto de la inversión inicial.
- C_i : Flujo de caja, que es positivo si es un ingreso y negativo si es un egreso.
- r: tasa de descuento.

8. Jerarquización de soluciones.

En el ACR es necesario realizar ponderaciones de acuerdo a las limitaciones encontradas y dar jerarquía a las soluciones más relevantes para los problemas involucrados en proyectos planteados. Esta jerarquización obedece generalmente a priorizar la “Eficiencia de la inversión” que es igual al cociente de VPN/Costo de solución, priorizado a los de mayor índice.

En la jerarquización se tiene en cuenta las soluciones de impacto mayor y menor esfuerzo , de acuerdo al grafico siguiente.

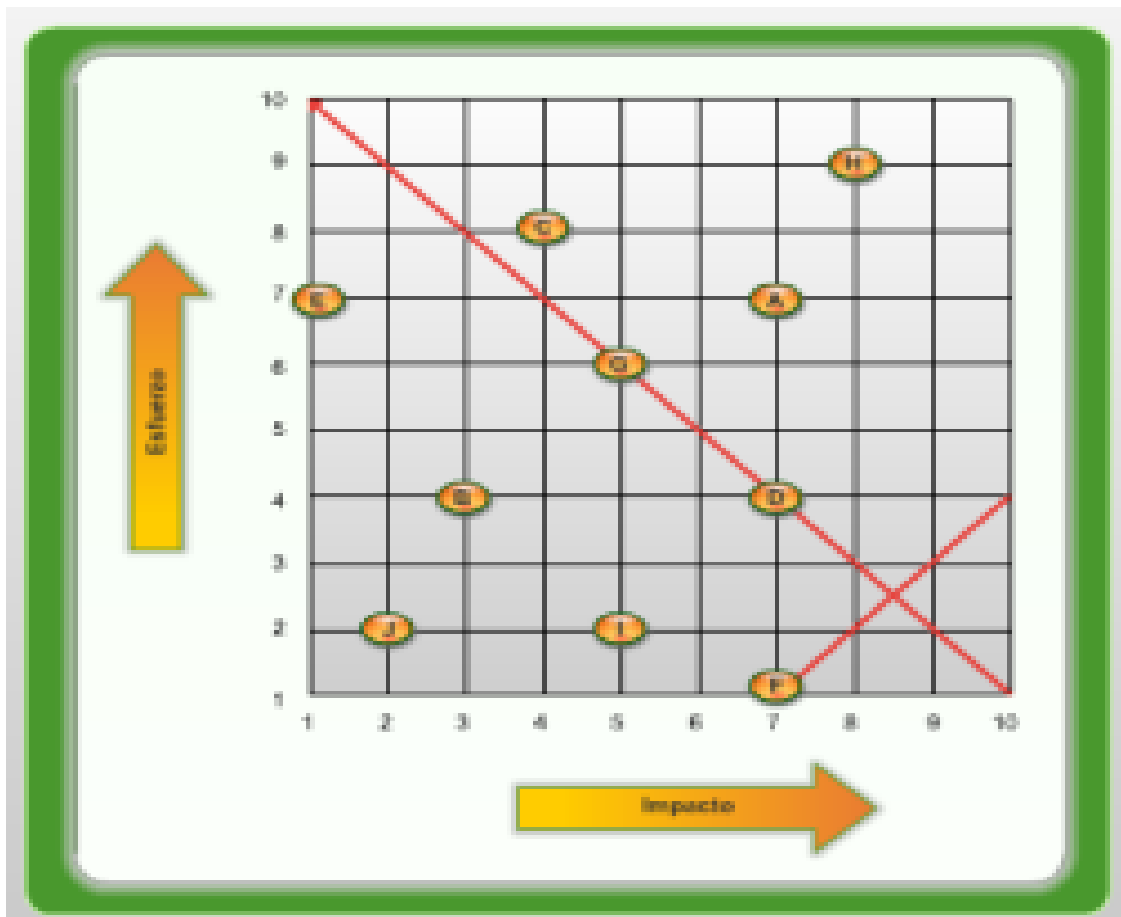


Fig. 04: Diagrama de jerarquización de soluciones
Fuente: (I.S.O., 2016)

La correspondiente priorización de soluciones del gráfico precedente, se muestran en la tabla siguiente:

Tabla N° 1:
Priorización de soluciones

Prioridad	Solución	Impacto (I)	Esfuerzo (e)	I - E
1	F	7	1	6
2	D	7	4	3
3	I	5	2	3
4	A	7	7	0
5	J	2	2	0
6	H	8	9	-1
7	G	5	6	-1
8	B	3	4	-1
9	C	4	8	-4
10	E	1	7	6

Fuente: (I.S.O., 2016)

9. Seguimiento a la determinación de soluciones.

Mediante informes sucintos, claros y concisos, se realizará el reporte de las soluciones ejecutadas y autorizadas, periódicamente a las jefaturas correspondientes, así como el seguimiento de la implementación. Asimismo, se trazará un PSP (Plan de Solución de Problemas) para las actividades.

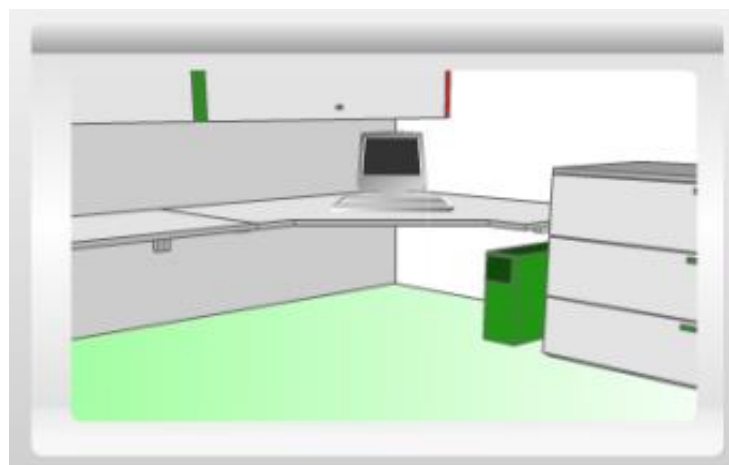


Fig. 05: Instalaciones distribución
Fuente: I.S.O. 2016

10. Registros.

Finalmente, todo debe quedar registrado y documentado respecto a los resultados obtenidos en la implementación de la metodología de “Análisis Causa Raíz” y conservado a través de la vida útil de los equipos; material referente para consulta y revisiones periódicas posteriores.

Cabe resaltar que actualmente existen programas informáticos para apoyo del ACR que facilitan el proceso e implementación en diversos equipos, plantas e industrias.

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y Diseño de Investigación: Aplicada

La Tesis está catalogada dentro del tipo de aplicada, pues se realizará una implementación y ejecución de un plan de mantenimiento que busca optimizar la funcionalidad de un grupo de bombas de la planta de agua de una empresa industrial manufacturera.

Diseño de investigación: Diseño no experimental

Dentro de los textos que se pueden tomar como referencia, respecto a la investigación cuantitativa, podemos encontrar el experimental y el no experimental; en lo que respecta al primero, puede subdividirse en pre experimentos, experimentos puros y cuasi experimentos (Stanley, 1996).

3.2. Variables y operacionalización

Variable Independiente:

- Plan de mantenimiento preventivo

Variable Dependiente:

- Confiabilidad

La tabla de operacionalización de variables se ubicará en el **Anexo N° 1**.

3.3. Población, muestra y muestreo

Población: Bombas de la planta de agua de una empresa industrial manufacturera.

Muestra: Bombas críticas de la planta de agua de una empresa industrial manufacturera **Muestreo:** La muestra fue seleccionada por conveniencia de los investigadores.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Se han tomado en cuenta en este rubro las estipuladas en el siguiente cuadro:

*Tabla 2:
Técnicas e instrumentos de estudio*

Técnicas	Instrumentos
Análisis documental	Registros

3.5. Procedimientos

La ejecución de la investigación se realizará de la siguiente manera:

Etapa 1: En esta etapa inicial, se ha decidido realizar una visita a la empresa manufacturera a fin de tomar conocimiento del estado original de conservación, data histórica del funcionamiento de las bombas de la Planta de Tratamiento de Agua y particularidades de diseño, repuestos y accesorios con los que se cuenta y estrategias de mantenimiento, con tiempos de operación y paralizaciones.

Etapa 2: Se ha realizado, de acuerdo a los conocimientos aprendidos en la Universidad, una evaluación de carácter técnico para evaluar la información alcanzada en el tema de Mantenimiento, así como los factores económicos desplegados para la funcionabilidad y buena conservación de los equipos de bombeo.

Etapa 3: De acuerdo a los antecedentes evaluados, se determinaron indicadores de disponibilidad y confiabilidad como precedente del estudio de mejora a realizar.

Etapa 4: Estructuración y elaboración del plan para realizar actividades de mantenimiento con el fin de establecer mejora de la performance o funcionabilidad de las bombas de la planta de tratamiento de agua y evitar pérdidas por paralizaciones prolongadas.

Por último, Etapa 5: Ejecución y obtención de resultados.

3.6. Método de análisis de datos

En este rubro se ha procedido a realizar cuadros informativos de acuerdo a los datos seleccionados de historia de equipos, sus fallas y se ha organizado con criterios pro-activos las recomendaciones de los operadores dejadas en las bitácoras de su turno. Asimismo, se explayará en los cálculos, utilizando las ecuaciones características de indicadores MTBF y MTTR como bases de la disponibilidad y confiabilidad

3.7. Aspectos éticos

Para la investigación, materia del presente proyecto, se ha considerado como referencia el Código de Ética en Investigación de la Universidad César Vallejo (UCV, 2017).

Código de Ética en Investigación de la Universidad César Vallejo (UCV). El código UCV pormenoriza los valores éticos para la aplicación de información referida a investigaciones, así como las políticas a seguir en aspectos de similitud de investigaciones.

Así mismo se solicita la honestidad de los investigadores en la data y recopilación de información de todo el tema evitando el plagio.

IV. RESULTADOS

4.1. Diagnosticar el estado actual del sistema de bombas de la planta de tratamiento para determinar los indicadores iniciales de mantenimiento de confiabilidad y disponibilidad

La evaluación actual del sistema de bombas, se basa en la determinación de las fallas de estos equipos, percibidas de acuerdo al proceso de muestreo reflejado en el siguiente cuadro y que muestra el escenario inicial y las acciones tomadas en un período referente de 6 meses de trabajo de estas máquinas en la planta de tratamiento de agua de una planta industrial manufacturera de la Región.

Tabla 3:

Fallas de activos fijos.

Equipo	Falla	Descripción	Acción
Bomba centrífuga de agua cruda 11-050	Baja presión de la bomba. No succiona.	Ruptura de acople flexible Fuga de aceite	Revisión, desplazamiento, diagnóstico y toma de decisiones.
Bomba centrífuga de agua cruda 11-053	Disparo del sistema eléctrico. Se para la unidad completa.	Fuga de agua Cambio de unidad rotativa	Reemplazo de componentes averiados.
Bomba centrífuga de agua cruda 11-055	Baja presión de la bomba. No succiona.	Ruptura de acople flexible Fuga de agua	Revisión, desplazamiento, diagnóstico y toma de decisiones
Bomba autocebante de agua decantada 11-057	Bomba girando en vacío. Línea de drenaje, rota.	Fuga de agua Ruptura de eje	Reemplazo de componentes averiados.
Bomba autocebante de agua decantada 11.059	Baja presión de la bomba. No succiona.	Ruptura de acople flexible Fuga de aceite Fuga de agua	Revisión, desplazamiento, diagnóstico y toma de decisiones
Bomba centrífuga de agua tratada 13-060	Baja el nivel de aceite. Se paraliza la unidad.	Fuga de aceite Cambio de unidad rotativa	Reemplazo de componentes averiados.
Bomba centrífuga	Bomba girando en vacío por	Ruptura de acople flexible	Cambio de acoplamiento

De agua tratada 13-062	trabamiento del eje y rotura del acople.		
Bomba centrífuga de agua tratada 13-064	Baja presión de la bomba. No succiona.	Ruptura de acople flexible	Cambio de acoplamiento
Bomba centrífuga Hidrostral de agua desmineralizada 13-066	Baja presión de la bomba. No succiona.	Ruptura de acople flexible	Cambio de acoplamiento
Bomba centrífuga Hidrostral de agua desmineralizada 13-068	Trabamiento de bomba por rotura de impulsor. Sobrecarga el motor, se para la unidad.	Fuga de aceite Ruptura de acople flexible Ruptura de eje	Revisión, desplazamiento, diagnóstico y toma de decisiones.
Bomba de pozo profundo Byron Jackson 12GH-3	Por desgaste interno de la caja de impulsores, baja la presión de bomba. Requiere cambio.	Daño de cuerpo de impulsores, ejes, acoples y bocinas, fundas de conexión vertical.	Reemplazo de unidad averiada

Fuente: Elaboración propia

4.1.1. Análisis de fallas de las bombas, aplicando los indicadores de disponibilidad y confiabilidad.

Tabla 4:

Determinación de indicadores de mantenimiento, bomba centrífuga Worthington 11.050

	Tiempo promedio entre fallas (MTBF)	Tiempo standard	Tiempo promedio para reparar (MTTR)	Disponibilidad	Confiabilidad
Enero	235	720	485	32.64	96.98
Febrero	655	672	17	97.47	99.00
Marzo	240	744	504	32.26	96.90
Abril	685	720	35	95.14	99.00
Mayo	730	744	14	98.12	98.99
Junio	705	720	15	97.92	99.00
Total:	3250	4320	1070	75.23	98.338

Fuente: Elaboración propia.

Nota. Las tablas similares para las 10 bombas siguientes se encuentran en anexos (Anexo 2).

Tabla 05

Tabla resumen del cálculo de los indicadores de mantenimiento.

Bombas de la planta de tratamiento de agua	Tiempo promedio entre fallas (MTBF)	Tiempo promedio para reparar (MTTR)	Disponibilidad	Confiabilidad
Bomba centrífuga de agua cruda 11-050	3250	1070	75.23	98.338
Bomba centrífuga de agua cruda 11-053	3258	1062	75.42	98.31
Bomba centrífuga de agua cruda 11-055	3171	1149	73.40	98.26
Bomba auto cebante de agua decantada 11-057	3167	1153	73.31	98.22
Bomba auto cebante de agua decantada 11.059	3221	1099	74.56	98.31
Bomba centrífuga de agua tratada 13-060	3228	1092	74.72	98.31
Bomba centrífuga de agua tratada 13-062	3182	1138	73.66	98.27
Bomba centrífuga de agua tratada 13-064	3248	1072	75.19	98.30
Bomba centrífuga Hidrostal de agua desmineralizada 13-066	3234	1086	74.86	98.30
Bomba centrífuga Hidrostal de agua desmineralizada 13-068	3240	1080	75.00	98.31
Bomba de pozo profundo Byron Jackson 12GH-3	3350	1101	74.51	98.29
Total:	35549	12102	74.53	98.29

Fuente: Elaboración propia.

4.2. Elaborar un análisis de criticidad para priorizar los equipos según su condición de críticos , semi – críticos y no críticos

4.2.1. Estudio de Criticidad:

Tabla 06
Estudio de criticidad

N° Fallas	Falla	Características de la falla	Elemento en Falla	Frecuencia de fallas	I.O.	F.O.	C.M.	I.S. y M.A.	CONSECUENCIA IO*FO*CM*ISMA	NIVEL DE CRITICIDAD
F1	Ruptura de canastilla de acople flexible	Motor girando en vacío.- Bajo amperaje	Acopamiento	2	10	2	1	5	100	MC
F2	Fuga de aceite - Fallan o'rings.	Bajo nivel de aceite/disparo	Reductor	2	8	3	2	4	192	C
F3	Fuga de agua.- Fallan prensa-estopas	Disparo del sistema eléctrico.	Estopas /válvulas	3	7	3	1	2	42	MC
F4	Desgaste en unidad rotativa	Desgaste/rotura en impulsor	Impulsor	2	9	3	2	5	270	C
F5	Ruptura de eje	Bomba girando en vacío	Eje	1	10	4	2	5	400	C
F6	Fuga por carcasa o voluta de bomba	Rajadura en carcasa de bomba	Caja	1	10	3	2	4	240	C
F7	Bajo flujo de agua en bombeo	Desgaste de cajas e impulsores	Tazones/impulsores	1	10	4	2	3	240	C
F8	Vibración alta del equipo de bombeo	Desgaste de ejes/impulsores de la bomba.	roscado de ejes/desgaste de impulsores	1	10	4	2	3	240	C
F9	Desalineamiento bomba-motor	Soltura mecánica /vibración (lainas desechas)	Ejes motor-bomba/acople	1	8	2	1	2	32	NC
F10	Desalineamiento de ejes de bomba	Aflojamiento de ejes de bomba	bocinas y acoples	1	10	4	1	3	120	MC
F11	Corrosión alta en fundas	Inclusiones de óxido en el flujo de bombeo	tubos de 8" y 2"	1	10	4	2	3	240	C
F12	Desgaste interno de caja de salida de la bomba.	Erosión interna de linterna o caja	Linterna de bomba.	1	10	4	2	3	240	C

NIVEL DE CRITICIDAD	CANTIDAD
Críticos	8
Medio críticos	3
No Críticos	1

Tabla 7:
Resumen de Criticidad de la bomba 11-050

Nº	Falla	Clasificación	Tipo de mantenimiento	Valor de criticidad
1	Ruptura de canastillas-acople	SC	Predictivo	100
2	Desalineamiento bomba-motor	NC	Preventivo	32
3	Fuga de aceite	C	Predictivo	192

Elaboración propia

Tabla 8:
Resumen de Criticidad de la bomba 11-053

Nº	Falla	Clasificación	Tipo de mantenimiento	Valor de criticidad
1	Desgaste de la unidad rotativa	C	Preventivo	270
2	Fuga de agua	SC	Preventivo	42

Elaboración propia

Tabla 9:
Resumen de Criticidad de la bomba 11-055

Nº	Falla	Clasificación	Tipo de mantenimiento	Valor de criticidad
1	Ruptura de canastillas-acople	SC	Predictivo	100
2	Vibración alta de bomba-motor	C	Predictivo	240
3	Fuga de agua	SC	Preventivo	42

Elaboración propia

Tabla 10:
Resumen de Criticidad de la bomba 11-057

Nº	Falla	Clasificación	Tipo de mantenimiento	Valor de criticidad
1	Ruptura de canastillas-acople	SC	Predictivo	100
2	Desalineamiento bomba-motor	NC	Preventivo	32
3	Fuga de aceite	SC	Predictivo	192

Elaboración propia

Tabla 11
Resumen de Criticidad de la bomba 11-059

Nº	Falla	Clasificación	Tipo de mantenimiento	Valor de criticidad
1	Fuga de agua	SC	Preventivo	42
2	Vibración alta de bomba-motor	C	Predictivo	240
3	Ruptura de eje	C	Correctivo	400

Elaboración propia

Tabla 12:
Resumen de Criticidad de la bomba 13-060

Nº	Falla	Clasificación	Tipo de mantenimiento	Valor de criticidad
1	Desgaste de la unidad rotativa	C	Preventivo	270
2	Fuga de aceite	C	Predictivo	192

Elaboración propia

Tabla 13:
Resumen de Criticidad de la bomba 13-062

Nº	Falla	Clasificación	Tipo de mantenimiento	Valor de criticidad
1	Ruptura de canastillas-acople	SC	Predictivo	100

2	Vibración alta de bomba-motor	C	Predictivo	240
3	Ruptura de eje	C	Correctivo	400

Elaboración propia

Tabla 14:
Resumen de Criticidad de la bomba 13-064

N°	Falla	Clasificación	Tipo de mantenimiento	Valor de criticidad
1	Ruptura de canastillas-acople	SC	Predictivo	100
2	Desgaste de caja e impulsor	C	Preventivo	240

Elaboración propia

Tabla 15:
Resumen de Criticidad de la bomba 13-066

N°	Falla	Clasificación	Tipo de mantenimiento	Valor de criticidad
1	Ruptura de canastillas-acople	SC	Predictivo	100
2	Vibración alta de bomba-motor	C	predictivo	240
3	Fuga por carcasa o voluta de bomba	C	Preventivo	240

Elaboración propia

Tabla 16:
Resumen de Criticidad de la bomba 13-068

N°	Falla	Clasificación	Tipo de mantenimiento	Valor de criticidad
1	Ruptura de canastillas-acople	SC	Predictivo	100

2	Desalineamiento bomba-motor	NC	Predictivo	32
3	Fuga de aceite	C	Predictivo	192
4	Rotura de eje	C	Correctivo	400

Elaboración propia

Tabla 17:

Resumen de Criticidad de la Bomba. De pozo profundo Byron Jackson

N°	Falla	Clasificación	Tipo de mantenimiento	Valor de criticidad
1	Bajo flujo de agua en bombeo	C	Preventivo	240
2	Vibración alta del equipo de bombeo	C	Predictivo	240
3	Desalineamiento de ejes de bomba	SC	Preventivo	120
4	Corrosión alta en fundas	C	Preventivo	240
5	Desgaste interno de caja de salida de la bomba.	C	Preventivo	240

Elaboración propia

4.3.1 Realizar el análisis de modo y efecto de fallas (AMEF) y calcular el número prioritario de riesgos (NPR)

En las siguientes matrices se desarrollarán los Análisis de Modo y Efecto de las Fallas (AMEF) denominadas críticas, de acuerdo a las valoraciones de criticidad que anteceden, a través de las correspondientes hojas de información, análisis modal y decisiones de acuerdo al efecto de cada una.

Tabla 18: Hoja de información de la Bomba centrífuga de agua cruda 11-050

HOJA DE INFORMACION RCM	BOMBA CENTRÍFUGA DE AGUA CRUDA 11-050		INGENIERO SUPERVISOR	FECHA ABRIL 2021	Hoja 1/1
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA		
Trasmisión de potencia del motor a la bomba, para suministro del fluido necesario.	Debido a un torque elevado en transmisión, se produce trabamiento de la bomba.	Un cuerpo extraño en la succión de la bomba, ocasionó la <i>ruptura de canastilla del acoplamiento</i> , quedando el giro del motor en vacío y la bomba paralizada.	Presión nula en el flujo de agua, baja presión en el sistema de agua cruda, alarma de posible insuficiencia en el sistema. Bomba no succiona.		
Lubricar todo el sistema de transmisión y motor de la bomba.	Bajo nivel de lubricante en el motor por derrame debido a ruptura de cañería de ingreso.	Deterioro/desgaste de cañerías de lubricación ocasionan fuga de aceite que bloquea y paraliza la unidad.	Paralización de la unidad, activación del sistema automático de defensa del motor por bajo nivel de aceite. Transmisión de velocidad y potencia hacia la bomba, nulas.		

Tabla 19: Hoja de información de la Bomba centrífuga de agua cruda 11-053

HOJA DE INFORMACION RCM	<i>BOMBA CENTRÍFUGA DE AGUA CRUDA 11-053</i>		INGENIERO SUPERVISOR	FECHA ABRIL 2021	Hoja 1/1
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA		
Impulsar el fluido, como aportante para la operación de la Planta de Tratamiento de agua	Disminución apreciable de flujo de agua hacia el sistema, por defecto de la unidad rotativa (impulsor)	Por efecto de la presencia de elementos abrasivos en el fluido, se produce desgaste prematuro del diámetro del impulsor, lo que obliga a realizar el <i>CAMBIO DE UNIDAD ROTATIVA</i> para retomar caudales nominales.	Bajo caudal de aportación al sistema de tratamiento de agua residual de la empresa. Se paraliza la unidad, para el reemplazo de impulsor por uno de repuesto.		

Tabla 20: Hoja de información de la Bomba centrífuga de agua cruda 11-055

HOJA DE INFORMACION RCM	BOMBA CENTRÍFUGA DE AGUA CRUDA 11-055		INGENIERO SUPERVISOR	FECHA ABRIL 2021	Hoja 1/1
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA		
Trasmisión de potencia del motor a la bomba, para suministro del fluido necesario.	Debido a un torque elevado en transmisión, se produce trabamiento de la bomba.	Un cuerpo extraño en la succión de la bomba, ocasionó la <i>ruptura de canastilla del acoplamiento</i> , quedando el giro del motor en vacío y la bomba paralizada.	Presión nula en el flujo de agua, baja presión en el sistema de agua cruda, alarma de posible insuficiencia en el sistema. Bomba no succiona.		
Garantizar la operatividad y conservación de los equipos (motor y bomba) para obtener mejores rendimientos.	Por soldadura mecánica, desalineamiento o desbalance de impulsor-eje, se detecta alta vibración en el conjunto bomba-motor.	La falta control de ajustes, verificación y mantenimiento predictivo oportuno, incrementaron la <i>alta vibración de la bomba-Motor</i> .	Paralización de la unidad por orden de la Jefatura de Mantenimiento, continuar trabajando en esas condiciones perjudica la vida útil del conjunto bomba-motor.		

Tabla 21: Hoja de información de la Bomba centrífuga de agua cruda 11-057

HOJA DE INFORMACION RCM	<i>BOMBA CENTRÍFUGA DE AGUA CRUDA 11-057</i>		INGENIERO SUPERVISOR	FECHA ABRIL 2021	Hoja 1/1
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA		
Trasmisión de potencia del motor a la bomba, para suministro del fluido necesario.	Debido a un torque elevado en transmisión, se produce trabamiento de la bomba.	Un cuerpo extraño en la succión de la bomba, ocasionó la <i>ruptura de canastilla del acoplamiento</i> , quedando el giro del motor en vacío y la bomba paralizada.	Presión nula en el flujo de agua, baja presión en el sistema de agua cruda, alarma de posible insuficiencia en el sistema. Bomba no succiona.		
Lubricar todo el sistema de transmisión y motor de la bomba.	Bajo nivel de lubricante en el motor por derrame debido a ruptura de cañería de ingreso.	Deterioro/desgaste de cañerías de lubricación ocasionan <i>fuga de aceite</i> que bloquea y paraliza la unidad.	Paralización de la unidad, activación del sistema automático de defensa del motor por bajo nivel de aceite. Transmisión de velocidad y potencia hacia la bomba, nulas.		

Tabla 22: Hoja de información de la Bomba centrífuga de agua cruda 11-059

HOJA DE INFORMACION RCM	BOMBA CENTRÍFUGA DE AGUA CRUDA 11-059		INGENIERO SUPERVISOR	FECHA ABRIL 2021	Hoja 1/1
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA		
Garantizar la operatividad y conservación de los equipos (motor y bomba) para obtener mejores rendimientos.	Por soltura mecánica, desalineamiento o desbalance de impulsor-eje, se detecta alta vibración en el conjunto bomba-motor.	La falta control de ajustes, verificación y mantenimiento predictivo oportuno, incrementaron la <i>alta vibración de la bomba- Motor.</i>	Paralización de la unidad por orden de la Jefatura de Mantenimiento, continuar trabajando en esas condiciones perjudica la vida útil del conjunto bomba-motor.		
Trasmitir la potencia del motor hacia el impulsor de la bomba.	Se detecta baja significativa en el amperaje de motor, característico de trabajo sin carga.	Debido a fatiga del material por el constante giro a altas revoluciones, se produce <i>rotura del eje principal.</i>	Bajo caudal en el sistema de aporte de agua cruda. Se paraliza la unidad para proceder a la reparación, se lanza equipo stand by.		

Tabla 23: Hoja de información de la Bomba centrífuga de agua tratada 13-060

HOJA DE INFORMACION RCM	BOMBA CENTRÍFUGA DE AGUA TRATADA 13-060		INGENIERO SUPERVISOR	FECHA ABRIL 2021	Hoja 1/1
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA		
Impulsar el fluido, como aportante para la operación de la Planta de Tratamiento de agua	Disminución apreciable de flujo de agua hacia el sistema, por defecto de la unidad rotativa (impulsor)	Por efecto de la presencia de elementos abrasivos en el fluido, se produce desgaste prematuro del diámetro del impulsor, lo que obliga a realizar el <i>CAMBIO DE UNIDAD ROTATIVA</i> para retomar caudales nominales.	Bajo caudal de aportación al sistema de tratamiento de agua residual de la empresa. Se paraliza la unidad, para el reemplazo de impulsor por uno de repuesto.		
Lubricar todo el sistema de transmisión y motor de la bomba.	Bajo nivel de lubricante en el motor por derrame debido a ruptura de cañería de ingreso.	Deterioro/desgaste de cañerías de lubricación ocasionan <i>fuga de aceite</i> que bloquea y paraliza la unidad.	Paralización de la unidad, activación del sistema automático de defensa del motor por bajo nivel de aceite. Transmisión de velocidad y potencia hacia la bomba, nulas.		

Tabla 24: Hoja de información de la Bomba centrífuga de agua tratada 13-062

HOJA DE INFORMACION RCM	BOMBA CENTRÍFUGA DE AGUA TRATADA 13-062		INGENIERO SUPERVISOR	FECHA ABRIL 2021	Hoja 1/1
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA		
Trasmisión de potencia del motor a la bomba, para suministro del fluido necesario.	Debido a un torque elevado en transmisión, se produce trabamiento de la bomba.	Un cuerpo extraño en la succión de la bomba, ocasionó la <i>ruptura de canastilla del acoplamiento</i> , quedando el giro del motor en vacío y la bomba paralizada.	Presión nula en el flujo de agua, baja presión en el sistema de agua cruda, alarma de posible insuficiencia en el sistema. Bomba no succiona.		
Garantizar la operatividad y conservación de los equipos (motor y bomba) para obtener mejores rendimientos.	Por soltura mecánica, desalineamiento o desbalance de impulsor-eje, se detecta alta vibración en el conjunto bomba-motor.	La falta control de ajustes, verificación y mantenimiento predictivo oportuno, incrementaron la <i>alta vibración de la bomba-Motor</i> .	Paralización de la unidad por orden de la Jefatura de Mantenimiento, continuar trabajando en esas condiciones perjudica la vida útil del conjunto bomba-motor.		
Trasmitir la potencia del motor hacia el impulsor de la bomba.	Se detecta baja significativa en el amperaje de motor, característico de trabajo sin carga.	Debido a fatiga del material por el constante giro a altas revoluciones, se	Bajo caudal en el sistema de aporte de agua cruda. Se paraliza la unidad para proceder a la reparación, se lanza equipo stand by.		

		produce <i>rotura del eje principal</i> .	
--	--	---	--

Tabla 25: Hoja de información de la Bomba centrífuga de agua tratada 13-064

HOJA DE INFORMACION RCM	BOMBA CENTRÍFUGA DE AGUA TRATADA 13-064		INGENIERO SUPERVISOR	FECHA ABRIL 2021	Hoja 1/1
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA		
Trasmisión de potencia del motor a la bomba, para suministro del fluido necesario.	Debido a un torque elevado en transmisión, se produce trabamiento de la bomba.	Un cuerpo extraño en la succión de la bomba, ocasionó la <i>ruptura de canastilla del acoplamiento</i> , quedando el giro del motor en vacío y la bomba paralizada.	Presión nula en el flujo de agua, baja presión en el sistema de agua cruda, alarma de posible insuficiencia en el sistema. Bomba no succiona.		
Impulsar el fluido, como aportante para la operación de la Planta de Tratamiento de agua blanda.	Disminución apreciable de flujo de agua hacia el sistema, por defecto de caja e impulsor.	A causa de inclusiones calcáreas en el fluido, se produce desgaste prematuro del diámetro del <i>impulsor y caja o voluta</i> , lo que obliga a efectuar reparación	Bajo caudal de aportación al sistema de tratamiento de agua. Se paraliza la unidad, para el reemplazo de impulsor y enchaquetado de caja de la bomba.		

		general de la bomba para retomar caudales nominales.	
--	--	--	--

Tabla 26: Hoja de información de la Bomba centrífuga de agua tratada 13-066

HOJA DE INFORMACION RCM	BOMBA CENTRÍFUGA DE AGUA TRATADA 13-066		INGENIERO SUPERVISOR	FECHA ABRIL 2021	Hoja 1/1
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA		
Trasmisión de potencia del motor a la bomba, para suministro del fluido necesario.	Debido a un torque elevado en transmisión, se produce trabamiento de la bomba.	Un cuerpo extraño en la succión de la bomba, ocasionó la <i>ruptura de canastilla del acoplamiento</i> , quedando el giro del motor en vacío y la bomba paralizada.	Presión nula en el flujo de agua, baja presión en el sistema de agua cruda, alarma de posible insuficiencia en el sistema. Bomba no succiona.		

Garantizar la operatividad y conservación de los equipos (motor y bomba) para obtener mejores rendimientos.	Por soltura mecánica, desalineamiento o desbalance de impulsor-eje, se detecta alta vibración en el conjunto bomba-motor.	La falta control de ajustes, verificación y mantenimiento predictivo oportuno, incrementaron la <i>alta vibración de la bomba-Motor</i> .	Paralización de la unidad por orden de la Jefatura de Mantenimiento, continuar trabajando en esas condiciones perjudica la vida útil del conjunto bomba-motor.
Obturación hidráulica de la caja de la bomba y elevación de la presión en el cuerpo de impulsión de bombeo.	Disparo del sistema eléctrico -relé de baja presión- actúa debido a falta de fluido en la succión.	Desgaste prematuro de empaquetadura y/o elementos de sellado de la caja de la bomba, ocasiona <i>FUGA DE AGUA</i> crítica.	Disparo del sistema eléctrico por actuación del relé de baja presión de la bomba. Unidad queda fuera de servicio temporal.

Tabla 27: Hoja de información de la Bomba centrífuga de agua tratada 13-068

HOJA DE INFORMACION RCM	BOMBA CENTRÍFUGA DE AGUA TRATADA 13-068		INGENIERO SUPERVISOR	FECHA ABRIL 2021	Hoja 1/1
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFFECTO DE FALLA		

<p>Trasmisión de potencia del motor a la bomba, para suministro del fluido necesario.</p>	<p>Debido a un torque elevado en transmisión, se produce trabamieto de la bomba.</p>	<p>Un cuerpo extraño en la succión de la bomba, ocasionó la <i>ruptura de canastilla del acoplamiento</i>, quedando el giro del motor en vacío y la bomba paralizada.</p>	<p>Presión nula en el flujo de agua, baja presión en el sistema de agua cruda, alarma de posible insuficiencia en el sistema. Bomba no succiona.</p>
<p>Garantizar la operatividad y conservación de los equipos (motor y bomba) para obtener mejores rendimientos.</p>	<p>Por efecto de desalineamiento entre ejes de motor y bomba, se detecta alta vibración en el conjunto.</p>	<p>La falta control de ajustes, verificación y alineamiento, incrementaron la <i>alta vibración de la bomba-Motor</i>.</p>	<p>Paralización de la unidad por orden de la Jefatura de Mantenimiento, continuar trabajando en esas condiciones perjudica la vida útil del conjunto bomba-motor.</p>
<p>Lubricar todo el sistema de transmisión y motor de la bomba.</p>	<p>Bajo nivel de lubricante en el motor por derrame debido a ruptura de cañería de ingreso.</p>	<p>Deterioro/desgaste de cañerías de lubricación ocasionan <i>fuga de aceite</i> que bloquea y paraliza la unidad.</p>	<p>Paralización de la unidad, activación del sistema automático de defensa del motor por bajo nivel de aceite. Transmisión de velocidad y potencia hacia la bomba, nulas.</p>
<p>Trasmitir la potencia del motor hacia el impulsor de la bomba.</p>	<p>Se detecta baja significativa en el amperaje de motor, característico de trabajo sin carga.</p>	<p>Debido a fatiga del material por el constante giro a altas revoluciones, se produce <i>rotura del eje principal</i>.</p>	<p>Bajo caudal en el sistema de aporte de agua cruda. Se paraliza la unidad para proceder a la reparación, se lanza equipo stand by.</p>

Tabla 28: Hoja de información de la Bomba de Pozo Profundo Byron Jackson

HOJA DE INFORMACION RCM	BOMBA DE POZO PROFUNDO BYRON JACKSON		INGENIERO SUPERVISOR	FECHA ABRIL 2021	Hoja 1/1
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA		
Impulsar el fluido desde el subsuelo, para iniciar la aportación para la operación de la Planta de Tratamiento de agua	Disminución apreciable de flujo de agua hacia el sistema, por defecto del equipo de bombeo de pozo profundo.	Por efecto de la presencia de elementos abrasivos en el fluido, se produce desgaste prematuro del cuerpo de impulsores, lo que obliga a realizar <i>la reparación del equipo por bajo flujo</i> de agua bombeada.	Bajo caudal de aportación al sistema de tratamiento de agua residual de la empresa. Se paraliza la unidad, para el reemplazo de impulsor por uno de repuesto.		
Garantizar la operatividad y conservación de los equipos (motor y bomba) para obtener mejores rendimientos.	Por aflojamiento de ejes y acoples, se detecta alta vibración en el conjunto bomba-motor.	La falta control y mantenimiento predictivo oportuno, incrementaron la <i>alta vibración de la bomba-Motor</i> .	Paralización de la unidad por orden de la Jefatura de Mantenimiento, continuar trabajando en esas condiciones perjudica la vida útil del equipo de bombeo de pozo profundo.		
Trasmitir la potencia desde el motor exterior hasta el cuerpo de impulsores de la bomba de pozo profundo.	Debido a mal montaje o desgaste de sistema de trabamiento inverso de rotación del “ratchie” del motor, se aflojan los acoples de ejes de transmisión.	Al aflojarse los acoples de unión entre ejes de transmisión, éstos presentan <i>Desalineamiento pronunciado</i> y	Paralización de toda la planta de Osmosis Inversa, al quedarse sin líquido elemento para el tratamiento directo correspondiente. Se solicitará reparación emergente/cambio de todo el equipo de bombeo.		

		consecuente vibración en la unidad	
Proteger a los ejes del contacto con agua y establecer correcta lubricación hacia el cuerpo de impulsores.	Se produce erosión superficial de fundas debido al contacto permanente con agua de pozo.	En tiempos prolongados sin mantenimiento de los equipos de bombeo, se presenta <i>Corrosión alta en fundas</i> debido al contacto con agua dura de pozo profundo.	Contaminación de aceite hacia la parte interna de las fundas que llega a través de la superficie de ejes hasta el cuerpo de impulsores de la bomba, produciéndose desgaste inmediato de éstos y consecuente baja de producción de bombeo de agua hacia la planta de tratamiento.
Orientar flujo de descarga del equipo de bombeo, soporte del motor en transmisión de potencia a través de los ejes y sirve de cabezal soporte de todo el equipo de bombeo.	Debilitamiento de espesor de la caja de la “linterna” o caja de salida del equipo de bombeo de pozo profundo, por efecto de ataque medioambiental y humedad permanente.	Por el trabajo permanente del equipo de bombeo se descuida el pintado y conservación del elemento superficial y se observa un <i>Desgaste interno de caja de salida de la bomba</i> que trae como consecuencia falla o deterioro del resto del equipo.	Desestabilización de todo el conjunto del equipo de bombeo de pozo profundo, pues la caja de salida de la bomba o linterna cumple funciones de soporte y transmisión de todo el sistema de bombeo.

4.3.2. Número de Prioridad de Riesgos (NPR)

En la tabla correspondiente, se determinó el NPR mediante la selección de las fallas críticas los equipos de bombeo evaluados. Para establecer los valores respectivos para cada falla analizada en el AMEF, se ha efectuado una ponderación de acuerdo a la matriz correspondiente y calificadas las fallas como: Inaceptables, reducibles a deseables y aceptables. Así:

Puntajes del AMEF

- NPR >200 **Inaceptable (I)**
- 200 > NPR < 125 **reducción deseable (R)**
- 125 > NPR **Aceptable**

Tabla 29:
Ponderación NPR

Item	Descripción de la falla crítica	G	O	D	NPR
Falla 1	Fuga de aceite - Fallan o'rings.	8	6	5	240
Falla 2	Desgaste en unidad rotativa	10	5	7	350
Falla 3	Ruptura de eje	10	3	9	270
Falla 4	Fuga por carcasa o voluta de bomba	6	6	5	180
Falla 5	Bajo flujo de agua en bombeo	6	5	7	210
Falla 6	Vibración alta del equipo de bombeo	8	5	6	240
Falla 7	Corrosión alta en fundas	5	3	4	60
Falla 8	Desgaste interno de caja de salida de la bomba.	6	4	5	120

Elaboración propia

En la tabla N° 29 se utilizaron los criterios del NPR (Améndola, Matriz NPR, 2012) cuyo detalle se encuentra en el Anexo 5. En esta tabla, se analizaron puntajes de gravedad, ocurrencia y detección de las fallas características, determinándose que 5 de 8 fallas son indeseables (62.5%), 2 fallas son reducibles a deseables (25%) y 1 falla es considerada como aceptable (12.5%); concluyendo que las fallas reducibles a deseables y aceptables en conjunto, representan el 37.5% del total.

4.3.3. Jerarquización de problemas

De acuerdo a la metodología ACR, es importante realizar un ordenamiento estructural de la información respecto a los equipos de bombeo de la Planta con la finalidad de mejorar la planificación y ejecución de tareas. La forma piramidal es la más indicativa y guarda relación con lo tipificado en la Norma ISO 14224, respecto a la recolección de informaciones técnicas de los equipos:

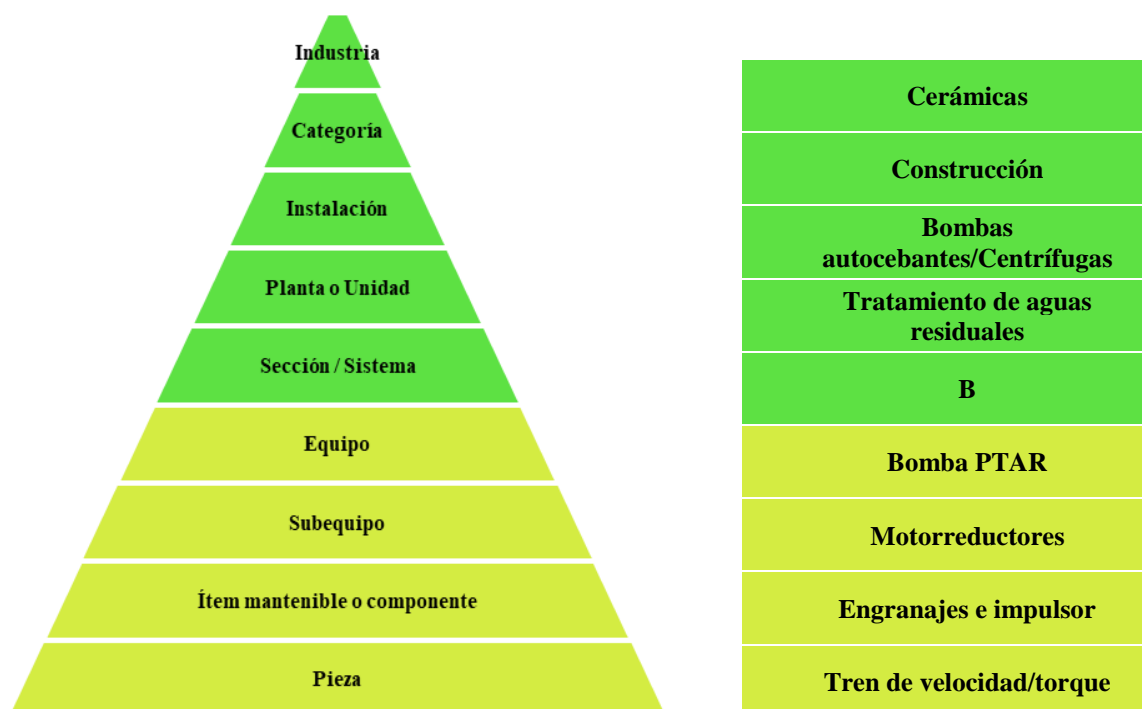


Figura 6: Taxonomía de la estructura de jerarquización
Fuente: (ISO, Taxonomía de estructura de jerarquización, 2018)

La información original ISO 14224 fue inicialmente desarrollada para el sector petrolero, sin embargo, en la actualidad es bien aplicada en el resto de disciplinas industriales, con bastante acierto. En el caso de la investigación, materia de la presente tesis, se la utilizó para determinar el alcance del AMEF en el sentido de definir las funciones presentadas en el desarrollo a nivel de equipo; mas no como análisis de componentes ya que no sería específica para la orientación del proceso.

También se ha realizado el análisis desde el punto de vista del elemento mantenible, pues la función principal de cada uno de ellos es tendiente a un contexto del proceso y los modos de falla se muestra a nivel de componente.

(ISO 1424), acerca de la Jerarquización también contempla definiciones de Mantenimiento y tipos, de acuerdo a categorías como se refiere en la siguiente tabla:

Tabla 30:
Definiciones por tipos de mantenimiento de la norma ISO 14224:

Categorías de Mantenimiento			
Mantenimiento preventivo: Mantenimiento para mitigar la degradación y reducir la probabilidad de falla.		Mantenimiento correctivo: Mantenimiento después de la falla con efectos de restablecimiento.	
Mantenimiento basado en la condición: Mantenimiento preventivo basado en la condición física.	Mantenimiento predeterminado: Mantenimiento preventivo de acuerdo a intervalos establecidos, sin saber la condición física.		
Prueba e inspección: Inspecciones de los equipos para verificar la condición y decidir si requiere mantenimiento preventivo.	Pruebas periódicas: Actividades ejecutadas en intervalos constantes de tiempo para detectar potenciales fallas ocultas.	Inmediato: Actividades correctivas para atender las emergencias.	Diferido: Actividades correctivas planificadas y programadas.
Monitoreo de la condición: Son actividades que corresponden al mantenimiento predictivo.	Reemplazos programados: Reemplazos de componentes en intervalos constantes.		
	Servicios programados: Actividades de servicios que prolongan la vida útil.		

Fuente: (ISO, Petroleum, petrochemical and natural gas industries - Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment, 2018)

4.4 Elaborar un programa de mantenimiento, en base a los efectos de análisis causa raíz y el número de prioridad de riesgos previamente evaluados.

4.4.1. Análisis causa-raíz.

Dentro del proceso ACR, toma bastante relevancia el análisis previo a un programa de mantenimiento, el cual propone en un diagrama de causa-efecto característico, las principales causas críticas a tomar en cuenta y sus posibles deslindes hacia la conclusión de baja disponibilidad antes de ejecutar el programa, como se ha considerado en el siguiente:

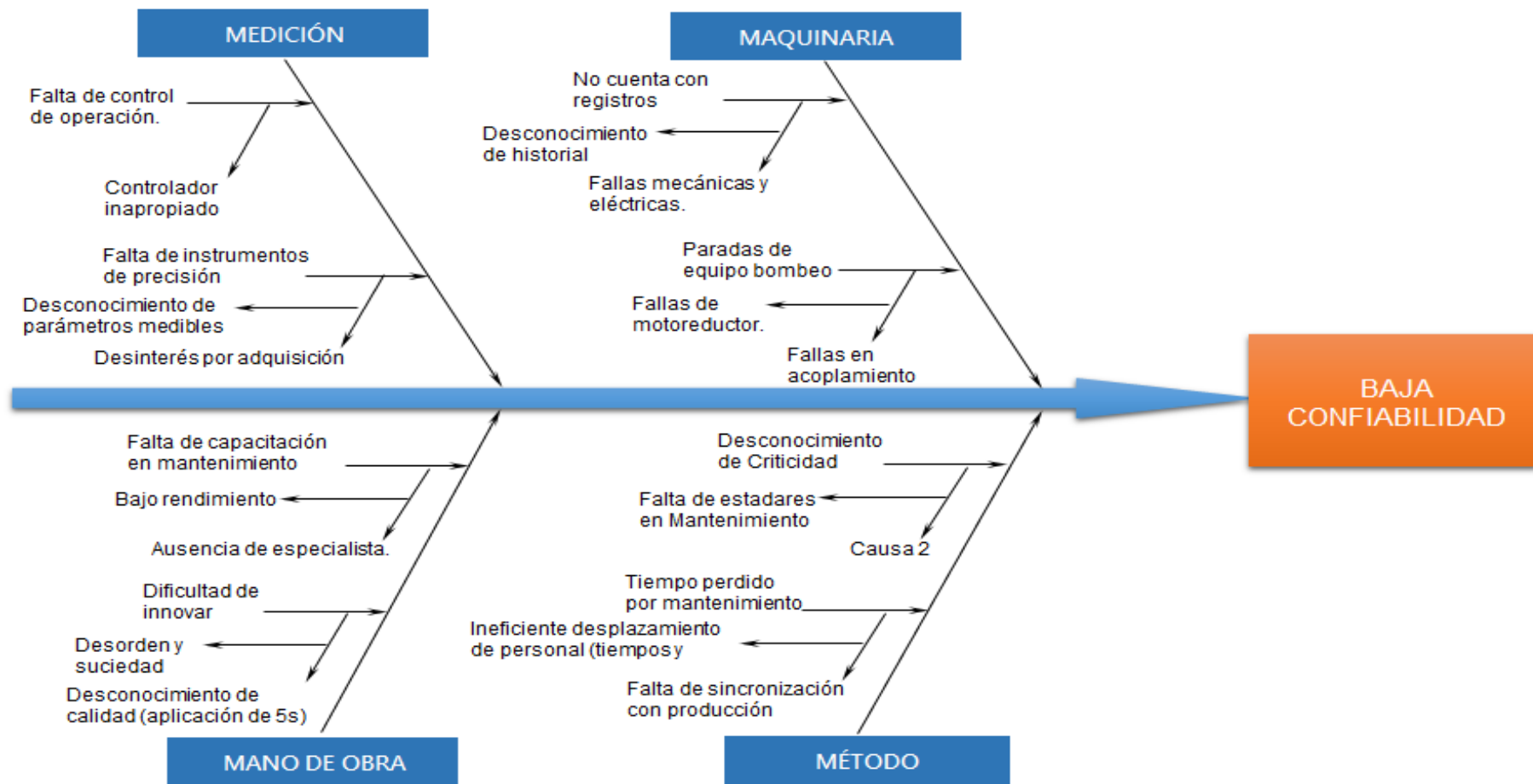


Figura 7: Diagrama de Ishikawa de causas críticas
 Fuente: Elaboración propia.

4.4.2. Programa de Mantenimiento para el grupo de bombas - planta de agua de una empresa industrial manufacturera.

Tabla 31: Programa:

Componentes	Diario	Semanal	Mensual	Semestral	Anual
Acoplamiento Flexibles		Verificar desgaste - Cambiar.			
Aceite de Motorreductor	Verificar el nivel (completar)				
Sistema de Refrigeración		Revisar cañerías y nivel.			
Unidad rotativa de la bomba			Verificar medidas, ajustar (Si fuera necesario)		
Transmisión de la bomba.			Verificar/corregir el alineamiento.		
Voluta de la bomba.				Revisar / reparar (Si fuera necesario)	
Lubricación de Chumaceras		Verificar nivel y engrasar.			
Análisis Vibraciones de unidad.			Verificar en chumaceras de bomba, motor y reductor.		
Motor principal de la bomba					Mantenimiento General.
Anclaje del sistema bomba-motor		Verificar soldadura mecánica.			
Sistema eléctrico y Motor			Verificar caja de conexiones y megado de motor y líneas		
Sensores de tiempo y termostáticos				Inspeccionar su funcionamiento.	

4.5. Determinar los indicadores de mantenimiento, de confiabilidad y disponibilidad proyectados post mejora.

De acuerdo al resultado NPR, que se resolverán el 62.5% de todas las fallas existentes de las bombas de la Planta de Agua de la empresa, persistiendo aún el 37.5% de fallas entre deseables y aceptables.

Tabla 32:

Tabla resumen del cálculo de los indicadores de mantenimiento en mejora.

Bombas de la planta de tratamiento de agua	Tiempo promedio entre fallas (MTBF)	Tiempo promedio para reparar (MTTR)	Disponibilidad	Confiabilidad
Bomba centrífuga de agua cruda 11-050	3918.75	401.25	90.71181	98.9
Bomba centrífuga de agua cruda 11-053	3921.75	398.25	90.78125	98.9
Bomba centrífuga de agua cruda 11-055	3889.125	430.875	90.02604	98.895
Bomba auto cebante de agua decantada 11-057	3887.625	432.375	89.99132	98.89
Bomba auto cebante de agua decantada 11.059	3907.875	412.125	90.46007	98.9
Bomba centrífuga de agua tratada 13-060	3910.5	409.5	90.52083	98.9
Bomba centrífuga de agua tratada 13-062	3893.25	426.75	90.12153	98.896
Bomba centrifuga de agua tratada 13-064	3918	402	90.69444	98.9
Bomba centrífuga Hidrostral de agua desmineralizada 13-066	3912.75	407.25	90.57292	98.9
Bomba centrífuga Hidrostral de agua desmineralizada 13-068	3915	405	90.625	98.9
Bomba de pozo profundo Byron Jackson 12GH-3	4038.125	412.875	90.72399	98.94
Total:	43112.75	4538.25	90.48	98.902

Fuente: Elaboración propia.

Comentario: Para ilustrar el desarrollo de la tabla precedente, mostramos la metodología de obtención del primer resultado: MTTR (en mejora) = 1070*0.375 = 401.25, que representa el cálculo realizado de MTTR inicial multiplicado por el 37.5% de fallas no consideradas (deseables y aceptables) horas/año; MTBF = (1070 – 401.25) + 3250 = 3918.75 horas/año, que representa el cálculo realizado de MTTR inicial – MTTR en mejora, lo cual se suma al MTBF inicial; para el cálculo de la confiabilidad, se ha tenido en cuenta la expresión $C(t) = e^{\left(\frac{-\gamma*tpf}{100}\right)*100}$ que es la fórmula idónea para dicho indicador. Bajo esta metodología se determinó cada MTTR; MTBF y C(t) de cada bomba.

4.6. Evaluar el costo beneficio de la implementación del programa de mantenimiento

4.6.1. Beneficio Económico debido a reducción de horas perdidas:

Tabla 33:
Beneficio económico en reducción de horas perdidas

Equipo	MTTR inicial (hrs/año)	MTTR mejora (hrs/año)	Ahorro en horas perdidas (hrs/año)	Costos de operación (USD/hr)	Ahorro (USD/año)
Bomba centrífuga de agua cruda 11-050	1070	401.25	668.75	15	10031.25
Bomba centrífuga de agua cruda 11-053	1062	398.25	663.75	15	9956.25
Bomba centrífuga de agua cruda 11-055	1149	430.875	718.125	15	10771.875
Bomba auto cebante de agua decantada 11-057	1153	432.375	720.625	15	10809.375
Bomba auto cebante de agua decantada 11.059	1099	412.125	686.875	15	10303.125
Bomba centrífuga de agua tratada 13-060	1092	409.5	682.5	15	10237.5
Bomba centrífuga de agua tratada 13-062	1138	426.75	711.25	15	10668.75
Bomba centrífuga de agua tratada 13-064	1072	402	670	15	10050

Bomba centrífuga Hidrostral de agua desmineralizada 13-066	1086	407.25	678.75	15	10181.25
Bomba centrífuga Hidrostral de agua desmineralizada 13-068	1080	405	675	15	10125
Bomba de pozo profundo Byron Jackson 12GH-3	1101	412.875	688.125	15	10321.875
Total	12102	4538.25	7563.75	15	113456.25

Fuente: Elaboración propia

Mediante el detalle de la tabla precedente, se ha determinado que el beneficio económico/ahorro por disminución de fallas es:

$$B_{\text{ahorro fallos}} = 113\,456.25 \frac{\text{USD}}{\text{año}}$$

4.6.2. Costos para la implementación del mantenimiento

Tabla 34:

Tabla de costos en mantenimiento predictivo en equipos de bombeo.

Acción	Frecuencia	Costo unitario (USD)	Costo total (USD/año)
Trabajos de alineamiento laser	12 veces/año	35.00	420
Análisis vibracional a los rodamientos	24 veces/año	40.00	960
Análisis termo gráfico	24 veces/año	35.00	840
Total			2 220.00

Fuente: Elaboración propia.

Costo total en mantenimiento predictivo: 20220.00 X 11 unidades = 24 420.00 USD

4.6.3 Evaluar el costo beneficio de la implementación del programa de mantenimiento

Para la implementación del mantenimiento preventivo, se ha tenido en cuenta la ejecución de los trabajos de orden eléctrico y mecánico de todos los sistemas de las unidades de bombeo en la Planta de Tratamiento de Agua de la empresa:

Tabla 35:

Tabla de costos en mantenimiento preventivo en equipos de bombeo.

Descripción	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Motor			
Mantenimiento de estator	1	130.00	130.00
Mantenimiento de rotor	1	120.00	120.00
Rodamientos	2	35.00	70.00
Colector	1	25.00	25.00
Mantenimiento caja de conexiones	1	80.00	80.00
Linealidad de eje	1	55.00	55.00
Limpieza y pintura	1	25.00	25.00
Transmisión de potencia			
Aceite para bomba de pozo profundo			
Mobil DTE oil médium (bidón de 20 l)	12 l	54.40	652.80
Mantenimiento de sistemas de acople.	1	50.00	50.00
Rodamientos / cojinetes	2	180.00	360.00
Sellos mecánicos	2	55.00	110.00
Sistema hidráulico			
Tuberías	2	85.00	170.00
Válvulas	2	25.00	50.00
Drenajes	1	40.00	40.00
Elemento de control (manómetros)	1	35.00	35.00
Total:		994.40	1 972.80

Fuente: Elaboración propia.

Costo total en mantenimiento preventivo: 1 972.80 x 11 unidades = 21 700.80 USD

4.6.4. Beneficio útil:

Tabla 36:

Tabla resumen de los costos en mantenimiento.

Ahorro en horas pérdidas	+ 113 456.25 USD/año
Costos predictivos	- 24 420.00 USD/año
Costos preventivos	- 21 700.80 USD/año
Beneficio útil	67 335.45 USD/año

Fuente: Elaboración propia.

4.6.5. Inversión en activos fijos y tecnología para la implementación del ACR basado en el AMEF

Activos fijos	Cantidad	Valor unitario (USD)	Valor total (USD)
Carcasa para bombas centrífugas	2	1500	3000
Impulsor para bombas centrífugas	2	350	700
Eje para bombas centrífugas	2	320	640
Acoplamiento Falk para bombas centrífugas	3	80	240
Prensa-estopas para bombas centrífugas	4	180	720
Carcasa para bombas autocebantes	2	1500	3000
Impulsor para bombas autocebantes	2	350	700
Eje para bombas autocebantes	2	320	640
Acoplamiento Falk para bombas autocebantes	3	80	240
Prensa estopas para bombas autocebantes	4	180	720
Linterna de salida para Bomba. De pozo profundo	1	1225	1225
Tazones porta impulsores de Bomba. De pozo profundo	3	830	2490
Juego de impulsores para Bomba. Hidrostal 12GH	3	750	2250
Ejes para bombas de para bombas de pozo profundo	10	350	3500
Fundas para ejes de bombas de pozo profundo	10	160	1600
Acoples para ejes de bombas de pozo profundo	20	60	1200
Columnas para bombas de pozo profundo	10	73	730
Empaquetaduras cuadradas de ½" Multilón 1727 (Caja)	3	185	555
Empaquetaduras para asiento de tapas en caja de Bombas.	3	90	270
Vibró metro PCE-VD 3	1	7500	7500
Cámara termográfica PCE-TC 31.	1	4500	4500
Equipo de alineamiento láser	1	2500	2500
Horno para secado de rotores y estatores	1	2050	2050
Instrucción al personal	5	180	900
Costo Total			41870

Fuente: Elaboración propia.

4.6.6. Retorno operacional de la inversión

$$R. O. I = \frac{\text{Inversión inicial}}{\text{Beneficio útil}}$$

$$R. O. I = \frac{41\,870.00 \text{ USD}}{67\,335.45 \text{ USD/año}}$$

$$R. O. I = 0.62 \text{ años} \approx 8 \text{ mese}$$

V. DISCUSIÓN

La investigación se ha realizado en el marco del desarrollo de un Sistema de Gestión de Mantenimiento basado en el Análisis Causa Raíz (A.C.R.), pudiéndose identificar como fortalezas principales la aplicación de técnicas causales de fallas, los procesos propios del tratamiento de agua con Ósmosis Inversa y mostrar soluciones mediante aplicación de recursos para eliminar los defectos, principalmente con metodologías propias del AMEF y NPR que redundan en la obtención de un Plan de Mantenimiento propio para este rubro de procesos industriales. Como debilidad del tratado se ha podido percibir el inconveniente de realizar una experimentación más amplia, pues debido a la coyuntura temporal por efectos de la pandemia covid 19 se restringieron visitas a la Planta y la comprobación de resultados in situ fue limitada.

Como hallazgos principales en la tesis, se han podido identificar nuevos indicadores de disponibilidad y confiabilidad en mejora desde rangos del 74.53% y 98.29%, a los porcentajes de 90.48 y 98.902%, respectivamente; ello debido a la identificación de fallas críticas en las bombas en estudio, evaluación de modo y efecto de las fallas, ponderación de los riesgos presentados, jerarquización de problemas y Análisis de causa raíz derivado en un Programa de Mantenimiento. Asimismo, en base al estudio mencionado, se ha proyectado el beneficio económico útil para la realización del Sistema de Gestión, así como la inversión de costo, lo cual redundará en un período de recuperación o retorno de la inversión aproximadamente en 8 meses.

Los resultados han sido comparados, en buen sentido del debate, con los antecedentes considerados previamente y cuya contrastación se ha realizado de la siguiente manera:

Respecto a la investigación de (Benavides, 2018), en la cual mediante un estudio de condiciones operativas determina rangos de criticidad de 9%, 82% y 9% para estándares A, B y C respectivamente; en la tesis, materia del presente estudio se ha establecido un análisis de criticidad que permite establecer la

jerarquía o prioridades de proceso, sistemas y componentes, cuantificando la frecuencia y consecuencia para establecer niveles de criticidad de 8 fallas críticas, 3 medio críticas y 1 falla no crítica dentro del conglomerado de defectos del universo de bombas de la planta de tratamiento de agua.

Contrastando con el estudio de (Martínez, 2018), en el que se ha tratado de un análisis de causa raíz para sistemas de bombeo de una caldera donde presentó un total de 68 fallas prioritarias y determinó mejora en la confiabilidad desde el 64.83% al 86.1% luego de aplicar su plan. Estos resultados no son eficientes ya que no superan el 90% establecidos como mínimos para la confiabilidad en los estándares industriales; mientras que en el estudio, materia de esta tesis, se ha demostrado una mejora de la confiabilidad hasta el 98.902%, que reflejan en eficiencia de proyección debido a la metodología más completa que el antecedente, ya que se han realizado también estudios de factibilidad mediante la ponderación del NPR.

En comparación con la investigación de (Bolaños, 2019), en la que realizan un estudio basado en causa-raíz de bombas hidráulicas, muy similar a la presente investigación, determinan la identificación de 2 componentes críticos como son los sellos mecánicos y rodamientos, siendo en nuestra opinión muy ligeros en sus apreciaciones porque descuidan efectos operacionales como desgaste de impulsores, cajas de bombas, acoplamientos y sistemas de potencia que afectan principalmente en efectos torsionales a los ejes de bombas; igualmente sólo realizan estudio sólo en un período de 4 meses que no es representativo para una determinación eficiente, es por ello que sus conclusiones arrojan resultados muy generales y solamente predicen mejoras en rendimiento y disponibilidad, sin calcular estos indicadores ni costos reales. En cambio, en la investigación materia de la presente tesis, se han cuantificado resultados analíticos antes y después del sistema de gestión basado en el RCM, especificando grado de fallas características de bombas, criticidad de las mismas, efectos específicos de las deficiencias y determinación de los principales indicadores porcentuales que reflejan ahorro y beneficio económico en términos recuperables en 8 meses.

En referencia al artículo de Principios de Gestión de Mantenimiento, tomado en cuenta en la actividad desarrollada por (Goti, 2018), es relevante la conclusión a la que se llegó a determinar como fortaleza de los sistemas de gestión, la necesidad de recopilar información y analizar trabajos previos como aporte significativo a través del cual se obtendrá mejora en los indicadores y costos industriales para medir capacidades, fundamentalmente en el aspecto de operaciones del mantenimiento. La concepción antes indicada, es la que se ha tomado en cuenta para la ejecución de la presente tesis, pues se han contemplado todos los rubros significativos del artículo considerado en los antecedentes y se los ha tomado como horizonte del desarrollo de la misma.

De acuerdo a lo vertido por el antecedente de (Moncada, 2018), en el que refiere como una de las principales razones de fallas en equipos a las vibraciones, éstas pueden ser diagnosticadas y evitarse oportunamente, mediante la metodología predictiva del análisis vibracional en cuyo estudio se analizan tendencias, avances y desarrollo hacia la gravedad de parámetros de velocidad, aceleración, frecuencia y amplitud de longitudes de onda reflejadas en los diagramas de espectro referidos a alteraciones de frecuencia de rotación fundamental del eje, picos síncronos (armónicos) basados en componentes adicionales como álabes de ventilador, impulsores, engranajes, etc. (Centro de formación técnica para la industria, 2019), es válida la apreciación; pues bien dice que es la metodología top de diagnóstico de fallas y en la presente investigación se ha tenido en cuenta con bastante énfasis, incluso en costos, el aporte de instrumentos predictivos o vibrómetros para el ejercicio de esta actividad.

El antecedente considerado por (Chiroque, 2019) en el cual se ha desarrollado un método de elementos finitos como procedimiento de diagnóstico de defectos, resulta bastante útil para complementar el análisis vibracional que por ejemplo se ha hecho mención en el anterior párrafo; pues, se trata de llevar hacia la temática de algoritmos las mediciones de longitud de onda y amplitud de la misma para identificar el grado de las vibraciones en un elemento rotativo, tal como bien se puede aplicar para impulsores y ejes de bombas de la planta de tratamiento de agua que se analiza en la tesis.

Finalmente, en contrastación con la investigación de (Rojas, 2018) referente a estudios de determinación de fallas de bombas utilizando análisis vibracional y alineamiento láser, se ha podido observar que no solamente se determinan fallas en bombas por esta metodología; sino que, en la presente investigación se han tenido también en cuenta, factores determinantes de criticidad en base a falta de lubricación, desgaste prematuro, soldadura mecánica, falla en acoplamientos, aflojamiento de acoples y ejes verticales en bomba de pozo profundo, etc. que constituyen acciones a determinar mediante la aplicación de un sistema de gestión, como se ha desarrollado en la tesis.

VI. CONCLUSIONES

- Se ha realizado la evaluación del escenario inicial del sistema de bombas de la planta de tratamiento de agua de una empresa industrial

manufacturera, describiendo las fallas características de los equipos de acuerdo a la información obtenida de bitácoras de operación y se han determinado los indicadores de disponibilidad y confiabilidad en un lapso anual, los mismos que reflejaron un promedio total de 74.53% y 98.29%, respectivamente.

- Mediante la aplicación de la metodología establecida en la matriz de criterios de Amendola, se establecieron índices de frecuencia y consecuencia de las fallas, para obtener calificaciones de criticidad, las mismas que han sido trabajadas en el AMEF y NPR para determinar los modos y efecto de las fallas críticas, así como la ponderación correspondiente que arroja resultados de 62.5% de fallas consideradas como indeseables, 25% como fallas reducibles a deseables y 12.5% como fallas aceptables. Asimismo, se ha definido un ordenamiento estructural de acuerdo a la pirámide ACR y a las definiciones de tipo de mantenimiento de la norma ISO 14224.
- Se estableció un programa de mantenimiento en base a los efectos de análisis causa raíz y número de prioridad de riesgos evaluados, donde incluyendo un diagrama de Ishikawa (causa-efecto), se establecieron tareas diarias, semanales, mensuales, semestrales y anuales para realizar verificaciones y revisiones progresivas que constituyan el control eficiente del mantenimiento preventivo.
- Se determinaron los nuevos indicadores en situación de mejora, habiendo proyectado la corrección de tiempos de reparación y de tiempos entre fallas, gracias al resultado del NPR, llegando a establecer como nueva disponibilidad el 90.48% y nueva confiabilidad de 98.902% en promedio total, superiores a los iniciales y dentro de los estándares válidos.
- La evaluación de costos para establecer el sistema requerido en base a la implementación de un plan de mantenimiento basado en el ACR para

el grupo de bombas de la planta de tratamiento de agua de una empresa manufacturera, arrojaron como beneficio económico útil por reducción de horas perdidas y costos de implementación de mantenimiento, la suma de 67 335.45 US\$/año que, contrastando con la inversión proyectada en activos fijos y tecnología para la implementación del ACR basado en el AMEF ascendente a 41 870.00 US\$, arrojan un Retorno Operacional de la Inversión de 0.62 años \approx 8 meses.

VII. RECOMENDACIONES

Se recomienda como primera acción, sincerar la data en forma más ordenada y utilizando medios informáticos, ya que se percibieron reportes a mano alzada y con deficiencias de precisión en algunos tiempos de paralizaciones esporádicas.

Se solicita un mejor control de horas-hombre asignadas a los técnicos y colaboradores encargados de las actividades de mantenimiento, pues las órdenes de trabajo no reflejan fehacientemente el tiempo descargado ni real de utilización en las reparaciones.

Se recomienda actualizaciones de instrucción y concientización del personal en materia de identificación de fallas críticas en las diferentes bombas de la planta de tratamiento de agua y cumplimiento de lo establecido en las hojas de AMEF correspondientes.

Se recomienda, asimismo, realizar el constante seguimiento e inspecciones de los equipos utilizando herramientas de mantenimiento predictivo de última generación, que permitan involucrar el estudio de gravedad y riesgos de los equipos para poder establecer gráficas e indicadores informáticos.

Finalmente, se recomienda para otras investigaciones futuras, utilizar adicionalmente un software especializado para la comprobación de resultados de proyección como los realizados en la presente investigación.

REFERENCIAS.

(s.f.).

- Almada, J. (15 de Mayo de 2013). *Propuestas de mejora aplicando la metodología análisis causa raíz en una empresa de procesadora de celulosa de la Región del Mayo*. (Instituto Tecnológico de Sonora) Recuperado el 15 de Abril de 2016, de http://biblioteca.itson.mx/dac_new/tesis/648_almada_juan.pdf
- Altmann. (2007). *Análisis de causa efecto para conocer la raíz del evento*.
- Améndola , F. (s.f.). *AMEF en Criticidad*.
- Améndola. (2012). *Criterios para evaluación del NPR*.
- Améndola. (2012). *Criterios para evaluar el NPR*.
- Améndola. (2012). *El A.M.E.F. como criterios de la criticidad*.
- Améndola. (2012). *Matriz de Criterios para evaluación de análisis de criticidad*.
- Améndola. (2012). *Matriz NPR*.
- Améndola, F. (2012). *Criterios de Mantenimiento*.
- Asing. (1 de Enero de 2016). *Mantenimiento Centrales Hidroelectricas*. Recuperado el 5 de Julio de 2016, de http://www.asing.es/mantenimiento_centrales_hidroelectricas.php
- Avila Espinoza, R. (2012). *Fundamentos del mantenimiento - Guías económicas, técnicas y administrativas*.
- Benavides, E. (2018). *Gestión de mantenimiento en plantas de tratamiento de agua*.
- Boero. (2016). *Nivelesw de disponibilidad y calidad*.
- Bolaños, A. y. (2019). *Diseño de un plan de mantenimiento preventivo en bombas hidráulicas*.
- Botero, D. (2013). *Plan de implementación del pilar mantenimiento planificado bajo mantenimiento productivo total en una empresa productora del sector cerámico*. Antioquia: EIA.
- BRAND, P. W. (2009). *MANUAL DE REPARACION Y MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ*. España: Publicaciones Madrid.
- Burgos, A., & Lobelo, L. (22 de Noviembre de 2009). *Estudio de confiabilidad de los equipos críticos* . Recuperado el 10 de Mayo de 2016, de <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/7878/2/129520.pdf>
- calderas electricas* . (20 de enero de 2010). Recuperado el 13 de mayo de 2013, de <http://www.tallereslosandes.com.ar>
- Calloni, J. C. (2007). *Mantenimiento Preventivo Para Maquinas, Equipos E* (Primera ed.). España: Librerías y Editorial Alsina.
- Carranza. (2016). *Matriz de criticidad*.
- Castaño, J. (7 de Mayo de 2013). *Central Hidroeléctrica con turbina Francis*. Recuperado el 28 de Abril de 2016, de <https://prezi.com/4mc3dnermqgh/mantenimiento-turbina-francis/>

- Chavimochic. (1 de Marzo de 2012). *Mini Central Hidroeléctrica San Jose*. Recuperado el 5 de Abril de 2016, de Gobierno Regional de La Libertad:
<http://www.chavimochic.gob.pe/portal/ftp/informacion/folletos/2012/sh.pdf>
- Chiroque, L. (2019). Mantenimiento preventivo utilizando método de elementos finitos. *conocimientos comunes de calderas y quemadores* . (10 de mayo de 2011). Recuperado el 1 de junio de 2013, de <http://www.Xuletas.es>
- Díaz. (2012). *Análisis de Criticidad*.
- Díez, P. F. (1996). *Termodinámica técnica*. España: Universidad de Cantabria.
- Dixon, D. R. (2012). *Sistema de gestión de mantenimiento*.
- eficiente, E. (10 de enero de 2010). *sistemas de recuperacion de calor* . Recuperado el 3 de mayo de 2013, de <http://www.empresa eficiente.com>
- Fernández Díez, P. (1992). *Ingeniería Térmica*. España: Universidad de Cantabria. Escuela Politécnica Superior de Ingeniería.
- Fernández Díez, P. (1995). *Ingeniería Térmica II*. España: Universidad de Cantabria. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.
- Freddy Luis, V. c. (1 de Noviembre de 2009). *Ánàlisis de Pareto* . (Producciones Freddy)
 Recuperado el 20 de Febreo de 2013, de <http://www.slideshare.net/freddy1953/5-analisis-de-pareto>
- Galeano, F. (2016). *Indicadores de gestión de mantenimiento en bombas*.
- Gallejos, P. (1 de Septiembre de 2014). *Indices del plan de mantenimiento* . Recuperado el JUNIO de 2016, de Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad .
- Gallejos, P. (1 de Septiembre de 2014). *Indices del plan de mantenimiento* . Recuperado el 3 de Junio de 2016, de Confiabilidad, Mantenibilidad y disponibilidad :
<http://es.slideshare.net/JuanPedroGallegosCuenca/weibull>
- Gonzales, D. (12 de Septiembre de 2012). *Mantenimiento Industrial* . Recuperado el 2 de Junio de 2016, de Parámetros de mantenimiento:
<https://denygonzalez.files.wordpress.com/2012/09/guia-parametros-del-mantenimiento.pdf>
- Goti. (2018). *Bases de un sistema de gestión de mantenimiento*.
- I.S.O. (2016).
- ISO. (2018). Petroleum, petrochemical and natural gas industries - Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment. *ISO 14224:2016*, 272. USA, USA: International Organization for Standardization.
- ISO. (2018). *Taxonomía de estructura de jerarquización*.
- J., R. P. (2002). *Gestión Moderna de Mantenimiento* . Santiago.Chile.

- Jimeno., M. V. (2011). *Asignatura Carguio y transporte 2011*. Recuperado el 25 de Febrero de 2013, de Manual de arranque y transporte.:
<http://neumaticos.wikispaces.com/Neum%C3%A1tico>
- Jose., A. L. (2002). *Modelos mixtos de Confiabilidad*. (Tercera ed.). Valencia - España: Universidad Politécnica de Valencia España.
- Juan Carlos, O. B. (19 de Agosto de 2008). *Ánalysis de Criticidad* . (Mantenimiento En Latinoamerica) Recuperado el 5 de Febrero de 2013, de
<http://www.slideshare.net/mantonline/anlisis-de-criticidad-presentation>
- kristellel., A. (30 de Marzo de 2010). *Tipos de Metodos de Investigación*. (SlideShare) Recuperado el 15 de Enero de 2013, de <http://www.slideshare.net/kriiss2505/tipos-de-metodos-de-investigacion>
- Martínez, J. (2018). *Propuesta para el incremento de la confiañbilidad ede los equipos críticos basado en el ACR*.
- Michel, M. J. (2004). *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM II*. USA-Lillington, North Carolina: Universitat.
- Moncada, J. (2018). *Análisis de vibraciones en el ambito de mantenimiento predictivo*.
- Moubray, J. M. (2014). *Conservación de activos físicos en mantenimiento*.
- Murillo, W. (15 de Marzo de 2015). *RCM Ingenieria* . Recuperado el 25 de Mayo de 2016, de Visión general del analisis Weibull:
<http://www.rcmingeneria.com/sites/default/files/4.14%20Weibull%20Analisis%20para%20prediccion%20de%20fallas%20Ver1.pdf>
- Paredes, C. (2008). *Eficiencia en tiempo de vida de neumatico con relacion a rotacion de posiciones uno y dos en volquetes komatsu E-3*. Univercidad Nacional de Ingenieria, Lima.
- Poder calorifico superior - inferior* . (15 de diciembre de 2011). Recuperado el 10 de junio de 2013, de <http://www.petromercado.com>
- Renovetec. (10 de Enero de 2009). *Ingenieria del Mantenimiento*. (Renove Tecnología S.L) Recuperado el 5 de Junio de 2016, de Plan de mantenimiento basado en el RCM :
<http://ingenieriadelmantenimiento.com/index.php/26-articulos-destacados/17-plan-de-mantenimiento-basado-en-rcm>
- Rodrigo, P. J. (2002). *Gestión Moderna de Mantenimiento* (Segunda ed.). Santiago - Chile: Macmillan.
- Rojas, C. (2018). *Detección de fallas para bombas centrífugas, basado en el método del análisis vibracional*.
- Salud, M. d. (27 de Julio de 2005). *Resolución Ministerial* . (Republica del Perú) Recuperado el 27 de Julio de 2016, de Equipos Biomédicos Básicos :
<http://www.minsa.gob.pe/dgiem/equipamiento/WEB-EQUIPAMIENTO/NORMAS%20TECNICAS%20REFERENTES%20A%20EQUIPAMIENTO%20HOSPITALARIO/RM588-%20PRIMERA%20PARTE->

LISTADO%20DE%20EQUIPOS%20BIOMEDICOS%20BASICOS%20PARA%20ESTABLECIMIENTOS%20DE%20SALUD.pdf

- Salud, M. D. (25 de Junio de 2006). *Normas Legales*. (El Peruano) Recuperado el 10 de Febrero de 2016, de Reglamento de Establecimientos de Salud y Servicios Médicos de Apoyo : http://www.ins.gob.pe/repositorioaps/0/7/jer/censi_med_norm/D_S_%20N%C2%BA%20013_2006_SA%20Serv_%20Med_%20Apoyo.pdf
- Salud, M. d. (01 de Marzo de 2007). *Instituto de Desarrollo De Recursos Humanos*. Recuperado el Febrero de 05 de 2016, de Los Campos Clínicos en el Perú : [http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/7F68F5ED8C875D7105257BC900778DAC/\\$FILE/ARROYO-Juan_Situaci%C3%B3ndelosCamposCl%C3%ADnicosenelPer%C3%BA_2007.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/7F68F5ED8C875D7105257BC900778DAC/$FILE/ARROYO-Juan_Situaci%C3%B3ndelosCamposCl%C3%ADnicosenelPer%C3%BA_2007.pdf)
- Silva, E. (2005). *Implementación del TPM en la zona de enderezadoras de aceros Arequipa*. Piura: Universidad de Piura.
- Smith, D. (1 de Enero de 2001). *Reliability, Maintainability and Risk*. Recuperado el 28 de Mayo de 2016, de Indicadores de Confiabilidad Propulsores en la Gestion del Mantenimiento: <http://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/indicadores-de-confiabilidad-propulsores-en-la-gestion-del-mantenimiento>
- Stanley, C. y. (1966).
- Stanley, C. y. (1996).
- Tamborero, J. (15 de Febero de 2013). *La distribución de Weibull*. Recuperado el 2 de Junio de 2016, de INSHT: http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/301a400/ntp_331.pdf
- Tirado, S. (1 de Junio de 2009). *Método gráfico de Weibull*. Recuperado el 1 de Junio de 2016, de Planificación y mantenimiento : <http://plusformacion.com/Recursos/r/Disenar-un-plan-mantenimiento-preventivo-una-maquina-compactadora-bloques-para-optimizar-e>
- Torres. (1 de Enero de 2015). *Mantenimiento Mundial*. Recuperado el 20 de Mayo de 2016, de Mantenimiento - Su Implementación y Gestión: <http://www.mantenimientomundial.com/sites/libro/torres/parte1.pdf>
- UCV. (2017).
- Udep. (20 de Abril de 2010). *Mantenimiento Productivo Total*. Recuperado el 1 de Junio de 2016, de Beneficios TPM: http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1_44_176_10_295.pdf
- Zubicaray, M. V. (2010). *Energías eléctricas y renovables*. Madrid: Limusa-Wiley.

ANEXOS.

ANEXO 1:

Operacionalización de variables independientes y dependientes

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Indicador	Escala de medición
Plan de mantenimiento preventivo	Es un mantenimiento que ayuda a prevenir averías o fallas, cuyo objetivo es mantener los equipos bajo condiciones específicas de operación (Ávila, 1992).	Plan elaborado estratégicamente con la finalidad de mantener los activos de una empresa en buen estado de operación.	ACR	Razón
Confiabilidad	Probabilidad de que un activo cumpla con un tiempo específico de trabajo bajo condiciones establecidas (UTP, 2006).	Que tan confiable es un equipo luego de haber sufrido mantenimiento y que este pueda trabajar en condiciones normales.	Confiabilidad	Razón
	Confianza que se le tiene a un activo físico o sistema que después que ha sufrido mantenimiento esté dispuesto a operar en condiciones óptimas ejerciendo su trabajo en un determinado periodo de tiempo (UTP, 2006).	Lo disponible que pueda ser un activo para que al momento de ser requerido este pueda operar con normalidad.	Disponibilidad	Razón

ANEXO 2: Tablas para determinación de indicadores actuales de mantenimiento

CUADRO N° 1: Bomba centrífuga de agua cruda 11-050
DETERMINACIÓN DE INDICADORES DE MANTENIMIENTO

	TIEMPO PROMEDIO ENTRE FALLAS MTBF	TIEMPO STANDARD	TIEMPO PROMEDIO PARA REPARAR MTTR	DISPONIBILIDAD	CONFIABILIDAD
ENERO	248	720	472	34.44	97.14
FEBRERO	672	672	0	100.00	99
MARZO	236	744	508	31.72	96.9
ABRIL	720	720	0	100.00	99
MAYO	733	744	11	98.52	98.99
JUNIO	720	720	0	100.00	99
TOTAL :	3329	4320	991	77.06	98.34

CUADRO N° 2: Bomba centrífuga de agua cruda 11-053
DETERMINACIÓN DE INDICADORES DE MANTENIMIENTO

B-2

	TIEMPO PROMEDIO ENTRE FALLAS MTBF	TIEMPO STANDARD	TIEMPO PROMEDIO PARA REPARAR MTTR	DISPONIBILIDAD	CONFIABILIDAD
ENERO	248	720	472	34.44	97.14
FEBRERO	669	672	3	99.55	99
MARZO	248	744	496	33.33	97.04
ABRIL	720	720	0	100.00	99
MAYO	739	744	5	99.33	98.99
JUNIO	712	720	8	98.89	98.99
TOTAL	3336	4320	984	77.22	98.36

CUADRO N° 3: Bomba centrífuga de agua cruda 11-055
DETERMINACIÓN DE INDICADORES DE MANTENIMIENTO

B-3

	TIEMPO PROMEDIO ENTRE FALLAS MTBF	TIEMPO STANDARD	TIEMPO PROMEDIO PARA REPARAR MTTR	DISPONIBILIDAD	CONFIABILIDAD
ENERO	248	720	472	34.44	97.14
FEBRERO	672	672	0	100.00	99
MARZO	248	744	496	33.33	97.04
ABRIL	713	720	7	99.03	98.99
MAYO	740	744	4	99.46	98.99
JUNIO	720	720	0	100.00	99
	3341	4320	979	77.34	98.36

CUADRO N° 4: Bomba auto cebante de agua decantada 11.057
DETERMINACIÓN DE INDICADORES DE MANTENIMIENTO

B-4

	TIEMPO PROMEDIO ENTRE FALLAS MTBF	TIEMPO STANDARD	TIEMPO PROMEDIO PARA REPARAR MTTR	DISPONIBILIDAD	CONFIABILIDAD
ENERO	248	720	472	34.44	97.14
FEBRERO	668	672	4	99.40	98.99
MARZO	248	744	496	33.33	97.04
ABRIL	672	720	48	93.33	98.93
MAYO	744	744	0	100.00	99
JUNIO	720	720	0	100.00	99
	3300	4320	1020	76.39	98.35

CUADRO N°5: Bomba auto cebante de agua decantada 11.059
DETERMINACIÓN DE INDICADORES DE MANTENIMIENTO

B-5

	TIEMPO PROMEDIO ENTRE FALLAS MTBF	TIEMPO STANDARD	TIEMPO PROMEDIO PARA REPARAR MTTR	DISPONIBILIDAD	CONFIABILIDAD
ENERO	248	720	472	34.44	97.14
FEBRERO	672	672	0	100.00	99
MARZO	243	744	501	32.66	96.98
ABRIL	716	720	4	99.44	98.99
MAYO	740	744	4	99.46	98.99
JUNIO	720	720	0	100.00	99
	3339	4320	981	77.29	98.35

CUADRO N° 6: Bomba centrífuga de agua tratada 13-060
DETERMINACIÓN DE INDICADORES DE MANTENIMIENTO

B-6

	TIEMPO PROMEDIO ENTRE FALLAS MTBF	TIEMPO STANDARD	TIEMPO PROMEDIO PARA REPARAR MTTR	DISPONIBILIDAD	CONFIABILIDAD
ENERO	248	720	472	34.44	97.14
FEBRERO	664	672	8	98.81	98.99
MARZO	248	744	496	33.33	97.04
ABRIL	720	720	0	100.00	99
MAYO	744	744	0	100.00	99
JUNIO	714	720	6	99.17	98.99
	3338	4320	982	77.27	98.36

CUADRO N°7: Bomba centrífuga de agua tratada 13-062
DETERMINACIÓN DE INDICADORES DE MANTENIMIENTO

B-7

	TIEMPO PROMEDIO ENTRE FALLAS MTBF	TIEMPO STANDARD	TIEMPO PROMEDIO PARA REPARAR MTTR	DISPONIBILIDAD	CONFIABILIDAD
ENERO	244	720	476	33.89	97.09
FEBRERO	672	672	0	100.00	99
MARZO	248	744	496	33.33	97.14
ABRIL	720	720	0	100.00	99
MAYO	744	744	0	100.00	99
JUNIO	720	720	0	100.00	99
	3348	4320	972	77.50	98.37

CUADRO N° 8: Bomba centrífuga de agua tratada 13-064
DETERMINACIÓN DE INDICADORES DE MANTENIMIENTO

B-8

	TIEMPO PROMEDIO ENTRE FALLAS MTBF	TIEMPO STANDARD	TIEMPO PROMEDIO PARA REPARAR MTTR	DISPONIBILIDAD	CONFIABILIDAD
ENERO	244	720	476	33.89	97.09
FEBRERO	672	672	0	100.00	99
MARZO	244	744	500	32.80	98.99
ABRIL	720	720	0	100.00	99
MAYO	744	744	0	100.00	99
JUNIO	720	720	0	100.00	99
	3344	4320	976	77.41	98.68

CUADRO N°9: Bomba centrífuga Hidrostal de agua desmineralizada 13-066
DETERMINACIÓN DE INDICADORES DE MANTENIMIENTO

B-9

	TIEMPO PROMEDIO ENTRE FALLAS MTBF	TIEMPO STANDARD	TIEMPO PROMEDIO PARA REPARAR MTTR	DISPONIBILIDAD	CONFIABILIDAD
ENERO	248	720	472	34.44	97.14
FEBRERO	672	672	0	100.00	99
MARZO	248	744	496	33.33	97.14
ABRIL	716	720	4	99.44	98.99
MAYO	744	744	0	100.00	99
JUNIO	720	720	0	100.00	99
	3348	4320	972	77.50	98.38

CUADRO N° 10: Bomba centrífuga Hidrostral de agua desmineralizada 13-068
DETERMINACIÓN DE INDICADORES DE MANTENIMIENTO

B-10

	TIEMPO PROMEDIO ENTRE FALLAS MTBF	TIEMPO STANDARD	TIEMPO PROMEDIO PARA REPARAR MTTR	DISPONIBILIDAD	CONFIABILIDAD
ENERO	237	720	483	32.92	97.01
FEBRERO	672	672	0	100.00	99
MARZO	248	744	496	33.33	97.14
ABRIL	720	720	0	100.00	99
MAYO	708	744	36	95.16	98.95
JUNIO	720	720	0	100.00	99
	3305	4320	1015	76.50	98.35

CUADRO N° 11: Bomba de pozo profundo Byron Jackson 12GH-3
DETERMINACIÓN DE INDICADORES DE MANTENIMIENTO

B-11

	TIEMPO PROMEDIO ENTRE FALLAS MTBF	TIEMPO STANDARD	TIEMPO PROMEDIO PARA REPARAR MTTR	DISPONIBILIDAD	CONFIABILIDAD
ENERO	248	720	472	34.44	97.14
FEBRERO	672	672	0	100.00	99
MARZO	248	744	496	33.33	97.14
ABRIL	720	720	0	100.00	99
MAYO	744	744	0	100.00	99
JUNIO	712	720	8	98.89	98.99
	3344	4320	976	77.41	98.38

ANEXO 3: Criterios para evaluación de análisis de criticidad (Améndola, Matriz de Criterios para evaluación de análisis de criticidad, 2012).

En la siguiente tabla se especifican los valores correspondientes a los índices de Frecuencia de fallas y Consecuencia. Para la consecuencia, los números valorativos son de acuerdo a 4 parámetros de Impacto Operacional, Flexibilidad Operacional, Costos de Mantenimiento e Impacto a Seguridad, Ambiente e Higiene :

Frecuencia de fallas	
Elevado mayor a 40 fallas/año	4
Promedio 20-40 fallas/año	3
Buena 10-20 fallas/año	2
Excelente menos de 10 fallas/año	1

Impacto Operacional	
Parada total del equipo	10
Parada parcial del equipo y repercute a otro equipo o subsistema	7-9
Impacta a niveles de producción o calidad	5-6
Repercute en costos operacionales asociado a disponibilidad	2-4
No genera ningún efecto significativo	1

Flexibilidad Operacional	
No existe opción igual o equipo similar de repuesto	4
El equipo puede seguir funcionando	2-3
Existe otro igual o disponible fuera del sistema (stand by)	1

Costo de mantenimiento	
Mayor o igual a US\$ 400 (incluye repuestos)	2
Inferior a US\$ 400 (incluye repuestos)	1

Impacto a Seguridad Ambiente e Higiene	
Accidente catastrófico	8
Accidente mayor serio	6-7
Accidente menor e incidente menor	4-5
Cuasiaccidente o incidente menor	2-3
Desvío	1
No provoca ningún tipo de riesgo	0

En la siguiente Gráfica, “Matriz de Criticidad” se muestra la intersección de la consecuencia y la frecuencia de falla ponderada dando como resultado una falla media crítica para el elemento.

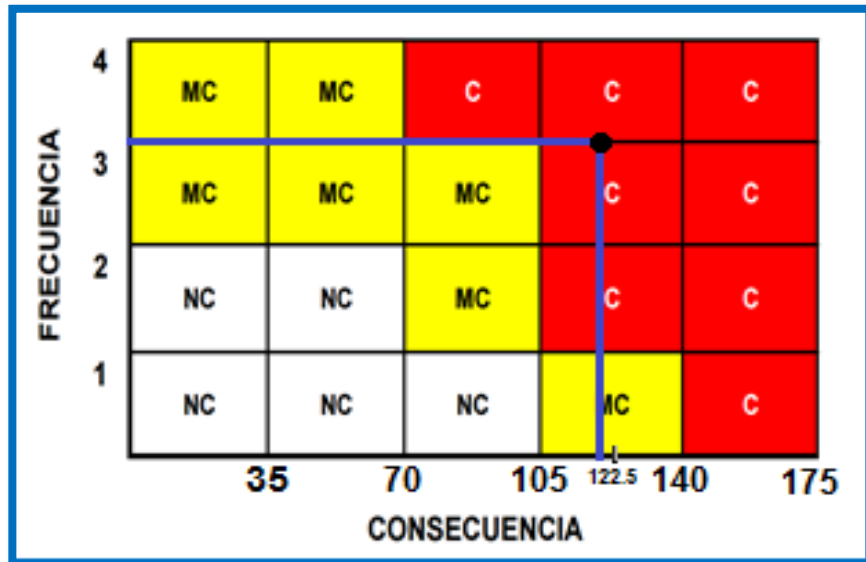


Figura - Intersección de la falla según la frecuencia y la consecuencia.
Fuente: Carlos Parra & Adolfo Márquez, 2012

ANEXO 4: Análisis de Criticidad.

N° Fallas	Falla	Características de la falla	Elemento en Falla	Frecuencia de fallas	I.O.	F.O.	C.M.	I.S. y M.A.	CONSECUENCIA IO*FO*CM*ISMA	NIVEL DE CRITICIDAD
F1	Ruptura de canastilla de acople flexible	Motor girando en vacío. - Bajo amperaje	Acopamiento	2	10	2	1	5	100	MC
F2	Fuga de aceite - Fallan o'rings.	Bajo nivel de aceite/disparo	Reductor	2	8	3	2	4	192	C
F3	Fuga de agua. - Fallan prensa-estopas	Disparo del sistema eléctrico.	Estopas /válvulas	3	7	3	1	2	42	MC
F4	Desgaste en unidad rotativa	Desgaste/rotura en impulsor	Impulsor	2	9	3	2	5	270	C
F5	Ruptura de eje	Bomba girando en vacío	Eje	1	10	4	2	5	400	C
F6	Fuga por carcasa o voluta de bomba	Rajadura en carcasa de bomba	Caja	1	10	3	2	4	240	C
F7	Bajo flujo de agua en bombeo	Desgaste de cajas e impulsores	Tazones/impulsores	1	10	4	2	3	240	C
F8	Vibración alta del equipo de bombeo	Desgaste de ejes/impulsores de la bomba.	roscado de ejes/desgaste de impulsores	1	10	4	2	3	240	C
F9	Desalineamiento bomba-motor	Soltura mecánica /vibración (laminas desechas)	Ejes motor-bomba/acople	1	8	2	1	2	32	NC
F10	Desalineamiento de ejes de bomba	Aflojamiento de ejes de bomba	bocinas y acoples	1	10	4	1	3	120	MC
F11	Corrosión alta en fundas	Inclusiones de óxido en el flujo de bombeo	tubos de 8" y 2"	1	10	4	2	3	240	C
F12	Desgaste interno de caja de salida de la bomba.	Erosión interna de Linterna o caja	Linterna de bomba.	1	10	4	2	3	240	C

NIVEL DE CRITICIDAD	CANTIDAD
Críticos	8
Medio críticos	3
No Críticos	1

ANEXO 5: Criterios para evaluar el N.P.R. (Améndola, Criterios para evaluar el NPR, 2012)

Gravedad	
Descripción	Puntaje
Imperceptible	1
Escasa, falla menor	2-3
Baja, fallo inminente	4-5
Media, fallo pero no para el sistema	6-7
Elevada, falla crítica	8-9
Muy elevada, con problemas de seguridad, no conformidad	10

Ocurrencia	
Descripción	Puntaje
1 falla en más de 2 años	1
1 falla cada 2 años	2-3
1 falla cada 1 año	4-5
1 falla entre 6 meses y 1 año	6-7
1 falla entre 1 a 6 meses	8-9
1 falla al mes	10

Detección	
Descripción	Puntaje
Obvia	1
Escasa	2-3
Moderada	4-5
Frecuente	6-7
Elevada	8-9
Muy elevada	10

Las características de análisis del NPR (Número de Prioridad de Riesgo):

NPR > 200 Fallas Inaceptables (I).

125 < NPR ≤ 200 Fallas reducibles deseables (R).

NPR ≤ 125 Fallas Aceptables (A).

FICHA DE VALIDACIÓN DE JUICIO DE EXPERTO

Nombre del instrumento	Fichas de datos de grupo de bombas de planta de agua de una empresa industrial.
Objetivo del instrumento	Medir disponibilidad y confiabilidad del grupo de bombas.
Nombres y apellidos del experto	Rolman Smith Rodríguez Vásquez.
Documento de identidad	40528816
Años de experiencia en el área	4 años.
Máximo Grado Académico	Ingeniero Industrial. - CIP 225715
Nacionalidad	Peruano.
Institución	Empresa Coingema Industrial SAC.
Cargo	Ingeniero de Planificación.
Número telefónico	920225600
Firma	
Fecha	09 /04 / 2022

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA
TABLA DE EVALUACIÓN DE EXPERTOS**

Trujillo, 23 de abril del 2022

Apellido y nombres del experto: Rodríguez Vásquez Rolman Smith.

DNI: 40528816

Teléfono: 920225600

Título/grados: Ingeniero Industrial. – CIP 225715

Cargo e institución en que labora: Ingeniero de Planificación. – Empresa Coingema Industrial SAC.

Mediante la tabla de evaluación de expertos, usted tiene la facultad de evaluar cada una de las preguntas marcando con “x” en las columnas de SÍ o NO.

	ITEM	APRECIA		OBSERVACIONES
		SÍ	NO	
1	¿El instrumento de recolección de datos está formulado con lenguaje apropiado y comprensible?	x		
2	¿El instrumento de recolección de datos guarda relación con el título de la investigación?	x		
3	¿El instrumento de recolección de datos facilitará el logro de los objetivos de la investigación?	x		
4	¿El instrumento de recolección de datos se relaciona con la(s) variable(s) de estudio?	x		
5	¿Las preguntas del instrumento de recolección de datos se desprenden con cada uno de los indicadores?	x		
6	¿Las preguntas del instrumento de recolección de datos se sostienen en antecedentes relacionados con el tema y en un marco teórico?	x		
7	¿el diseño del instrumento de recolección de datos facilitará el análisis y el procesamiento de los datos?	x		
8	¿El instrumento de recolección de datos tiene una presentación ordenada?	x		
9	¿El instrumento guarda relación con el avance de la ciencia, la tecnología y la sociedad?	x		

SUGERENCIAS:

No se tomaron datos del 2020 por ser un año atípico por pandemia.



FIRMA DEL EXPERTO

FICHA DE VALIDACIÓN DE JUICIO DE EXPERTO

Nombre del instrumento	Fichas de datos de grupo de bombas de planta de agua de una empresa industrial.
Objetivo del instrumento	Medir disponibilidad y confiabilidad del grupo de bombas.
Nombres y apellidos del experto	José Luis García Jiménez
Documento de identidad	43889608
Años de experiencia en el área	4 años 7 mes
Máximo Grado Académico	Ing. Mecánico
Nacionalidad	Peruana
Institución	Tecnomina
Cargo	Planner de Mantenimiento
Número telefónico	969778563
Firma	 JOSE LUIS GARCIA JIMENEZ INGENIERO MECANICO REG. CIP. 207371

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA
TABLA DE EVALUACIÓN DE EXPERTOS**

Trujillo, 23 de abril del 2022

Apellido y nombres del experto: García Jiménez José Luis

DNI: 43889608

Teléfono: 969778563

Título/grados: Ingeniero Mecánico


Cargo e institución en que labora: Planner de Mantenimiento / Tecnomina

Mediante la tabla de evaluación de expertos, usted tiene la facultad de evaluar cada una de las preguntas marcando con "x" en las columnas de SÍ o NO.

	ITEM	APRECIA		OBSERVACIONES
		SÍ	NO	
1	¿El instrumento de recolección de datos está formulado con lenguaje apropiado y comprensible?	x		
2	¿El instrumento de recolección de datos guarda relación con el título de la investigación?	x		
3	¿El instrumento de recolección de datos facilitará el logro de los objetivos de la investigación?	x		
4	¿El instrumento de recolección de datos se relaciona con la(s) variable(s) de estudio?	x		
5	¿Las preguntas del instrumento de recolección de datos se desprenden con cada uno de los indicadores?	x		
6	¿Las preguntas del instrumento de recolección de datos se sostienen en antecedentes relacionados con el tema y en un marco teórico?	x		
7	¿el diseño del instrumento de recolección de datos facilitará el análisis y el procesamiento de los datos?	x		
8	¿El instrumento de recolección de datos tiene una presentación ordenada?	x		
9	¿El instrumento guarda relación con el avance de la ciencia, la tecnología y la sociedad?	x		

SUGERENCIAS: _____

No se tomaron datos del 2020 por ser un año atípico por pandemia.


JOSE LUIS GARCIA JIMENEZ
INGENIERO MECANICO
REG. CIP. 207371

FIRMA DEL EXPERTO

**FICHA DE VALIDACIÓN DE JUICIO DE
EXPERTO**

Nombre del instrumento	Filches de datos de grupo de bombas de plantade agua de una empresa industrial.
Objetivo del instrumento	Medir disponibilidad y confiabilidad del grupo de bombas.
Nombres y apellidos del experto	Juan Carlos Bengoa Seminario
Documento de identidad	41908170
Años de experiencia en el área	12
Máximo Grado Académico	Magister
Nacionalidad	Peruana
Institución	Universidad Cesar Vallejo
Cargo	Docente
Número telefónico	949738469
Firma	
Fecha	09 /04 / 2022

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA
MECÁNICA ELÉCTRICA TABLA DE EVALUACIÓN DE EXPERTOS

Trujillo, 23 de abril del 2022

Apellido y nombres del experto: Bengoa Seminario Juan Carlos

DNI: 41908170

Teléfono: 949738469

Título/grados: Ingeniero Mecánico

Cargo e institución en que labora: Docente / Universidad Cesar Vallejo

Mediante la tabla de evaluación de expertos, usted tiene la facultad de evaluar cada una de las preguntas marcando con "x" en las columnas de SÍ o NO.

	ITEM	APRECIA		OBSERVACIONES
		SÍ	NO	
1	¿El instrumento de recolección de datos está formulado con lenguaje apropiado y comprensible?	x		
2	¿El instrumento de recolección de datos guarda relación con el título de la investigación?	x		
3	¿El instrumento de recolección de datos facilitará el logro de los objetivos de la investigación?	x		
4	¿El instrumento de recolección de datos se relaciona con la(s) variable(s) de estudio?	x		
5	¿Las preguntas del instrumento de recolección de datos se desprenden con cada uno de los indicadores?	x		
6	¿Las preguntas del instrumento de recolección de datos se sostienen en antecedentes relacionados con el tema y en un marco teórico?	x		
7	¿El diseño del instrumento de recolección de datos facilitará el análisis y el procesamiento de los datos?	x		
8	¿El instrumento de recolección de datos tiene una presentación ordenada?	x		
9	¿El instrumento guarda relación con el avance de la ciencia, la tecnología y la sociedad?	x		

SUGERENCIAS: _____

No se tomaron datos del 2020 por ser un año atípico por pandemia.



Juan C. Bengoa Seminario
ING. MECÁNICO
R. C. P. 121818

FIRMA DEL EXPERTO