

Universidad Técnica Nacional

Sede Central

Escuela de Ingeniería Electromecánica

Trabajo final de graduación para optar por el título de Licenciado en Ingeniería

Electromecánica

Propuesta de desarrollo y aplicación práctica de un modelo de gestión del mantenimiento
para la planta potabilizadora del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados

(AyA) ubicada en Guadalupe, San José

Estudiante:

Víctor Julio Esquivel Castro

207820874

I cuatrimestre 2022

Universidad Técnica Nacional
Sede Central



Acta de Aprobación 06-2022

En la ciudad de Alajuela, a los 06 días del mes de mayo del año 2022 y participando de forma remota, el Tribunal evaluador conformado por las personas: Ing. Marvin Segura Trejos, Ing. Mauricio Brenes Jiménez, Ing. Luis Varela González, Ing. Farid Herrera Corrales, Ing. Jacobo Montenegro Ríos, procedieron a evaluar la presentación del proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciado en Ingeniería Electromecánica del estudiante **Víctor Julio Esquivel Castro**, identificación **207820874**, titulado: “ **Propuesta de desarrollo y aplicación práctica de un modelo de gestión del mantenimiento para la planta potabilizadora del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) ubicada en Guadalupe, San José** “, modalidad proyecto de graduación.

El Tribunal Evaluador apegado a las regulaciones y requisitos establecidos en el Reglamento de Trabajos Finales de Graduación de la Universidad Técnica Nacional, realizó la revisión del proyecto del estudiante otorgando una calificación de **9.9** , dando como resultado **APROBADO** con mención Honorífica por la calificación obtenida.

MARVIN
GERARDO
SEGURA
TREJOS
(FIRMA)

Firmado digitalmente por
MARVIN GERARDO
SEGURA TREJOS
(FIRMA)
Fecha: 2022.05.06
19:31:09 -06'00'

Ing. Marvin Segura Trejos

Director Licenciatura Electromecánica

UNIVERSIDAD TÉCNICA NACIONAL
LICENCIATURA EN INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

CARTA DE APROBACIÓN POR PARTE DEL TUTOR
DEL DOCUMENTO DEL TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

Fecha: 17 de marzo del 2022

Ing. Marvin Segura Trejos

Director Carrera Licenciatura en Ingeniería Electromecánica

Estimado señor:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, denominado:

“Propuesta de desarrollo y aplicación práctica de un modelo de gestión del mantenimiento para la planta potabilizadora del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) ubicada en Guadalupe, San José.” elaborado por el estudiante: Victor Julio Esquivel Castro, como requisito para que el citado estudiante pueda optar por el grado académico de Licenciado en Ingeniería Electromecánica.

Considero que dicho trabajo cumple con los requisitos formales y de contenido exigidos por la Universidad, y por tanto recomiendo que realice la exposición oral del mismo ante el Tribunal Evaluador.

Suscribe cordialmente,

FARID HERRERA CORRALES
(FIRMA)

FARID HERRERA
CORRALES (FIRMA)
2022.03.17 20:47:51
-06'00'



Ing. Farid Herrera Corrales (Tutor)

UNIVERSIDAD TÉCNICA NACIONAL
LICENCIATURA EN INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

CARTA DE APROBACIÓN POR PARTE DEL LECTOR
DEL DOCUMENTO DEL TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

Fecha: 16 de marzo 2022

Ing. Marvin Segura Trejos

Director Carrera Licenciatura en Ingeniería Electromecánica

Estimado señor:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, denominado:

“Propuesta de desarrollo y aplicación práctica de un modelo de gestión del mantenimiento para la planta potabilizadora del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) ubicada en Guadalupe, San José.” elaborado por el estudiante: Victor Julio Esquivel Castro, como requisito para que el citado estudiante pueda optar por el grado académico de Licenciado en Ingeniería Electromecánica.

Considero que dicho trabajo cumple con los requisitos formales y de contenido exigidos por la Universidad, y por tanto recomiendo que realice la exposición oral del mismo ante el Tribunal Evaluador.

Suscribe cordialmente,



Ing. Luis Enrique Varela González (Lector)

UNIVERSIDAD TÉCNICA NACIONAL
LICENCIATURA EN INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

CARTA DE APROBACIÓN POR PARTE DEL LECTOR
DEL DOCUMENTO DEL TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

Fecha: 30.03.2022

Ing. Marvin Segura Trejos

Director Carrera Licenciatura en Ingeniería Electromecánica

Estimado señor:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, denominado:

“Propuesta de desarrollo y aplicación práctica de un modelo de gestión del mantenimiento para la planta potabilizadora del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) ubicada en Guadalupe, San José.” elaborado por el estudiante: Victor Julio Esquivel Castro, como requisito para que el citado estudiante pueda optar por el grado académico de Licenciado en Ingeniería Electromecánica.

Considero que dicho trabajo cumple con los requisitos formales y de contenido exigidos por la Universidad, y por tanto recomiendo que realice la exposición oral del mismo ante el Tribunal Evaluador.

Suscribe cordialmente,

MAURICIO
JOSE BRENES
JIMENEZ
(FIRMA)

Firmado digitalmente
por MAURICIO JOSE
BRENES JIMENEZ
(FIRMA)
Fecha: 2022.03.30
13:39:59 -05'00'

Ing. Mauricio Brenes Jiménez (Lector)

Carta de aprobación del filólogo

Cartago, 12 de mayo de 2022

Los suscritos, Elena Redondo Camacho, mayor, casada, filóloga, incorporada a la Asociación Costarricense de Filólogos con el número de carné 0247, portadora de la cédula de identidad número 3-0447-0799 y, Daniel González Monge, mayor, casado, filólogo, incorporado a la Asociación Costarricense de Filólogos con el número de carné 0245, portador de la cédula de identidad número 1-1345-0416, ambos vecinos de Quebradilla de Cartago, revisamos el trabajo final de graduación que se titula: *Propuesta de desarrollo y aplicación práctica de un modelo de gestión del mantenimiento para la planta potabilizadora del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) ubicada en Guadalupe, San José*, sustentado por Víctor Julio Esquivel Castro.

Hacemos constar que se corrigieron aspectos de ortografía, redacción, estilo y otros vicios del lenguaje que se pudieron trasladar al texto. A pesar de esto, la originalidad y la validez del contenido son responsabilidad directa de la persona autora.

Esperamos que nuestra participación satisfaga los requerimientos de la Universidad Técnica Nacional.

X

Elena Redondo Camacho
Filóloga - Carné ACFIL n.º 0247

X

Daniel González Monge
Filólogo - Carné ACFIL n.º 0245

DECLARACIÓN JURADA

El suscrito, **Victor Julio Esquivel Castro** con cédula de identidad número 2 - 0782 - 0874, declaro bajo fe de juramento, conociendo las consecuencias penales que conlleva el delito de perjurio: Que soy el autor (a) del presente trabajo final de graduación, modalidad proyecto de graduación; para optar por el grado académico de Licenciado en Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica Nacional y que el contenido de dicho trabajo es obra original del suscrito.

Fecha: 25 de marzo del 2022

Victor Esquivel Castro

Victor Julio Esquivel Castro

Dedicatoria

Le dedico este trabajo a mis padres, Marco Tulio Esquivel Soto y Lourdes Castro Ugalde, por su apoyo, su confianza y por las enseñanzas que me dieron y que me han permitido alcanzar esta meta, de ellos me siento orgulloso. Además, dedico este trabajo a mi hermana, Jazmín Esquivel Castro, por apoyarme y creer en mí siempre.

Agradecimientos

A mis padres y a mi hermana, por motivarme y estar siempre a mi lado.

A mis compañeros y compañeras, por todo lo que aprendí junto a ellos.

A mi profesor tutor, Ing. Farid Herrera Corrales, y a mi profesor lector, Ing. Luis Enrique Varela, por sus constantes contribuciones.

Al lector externo, Ing. Mauricio Brenes Jiménez, por su compromiso y ayuda durante la elaboración de la tesis.

A las personas docentes que me prepararon como profesional.

Al Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados por permitirme realizar el proyecto en la planta potabilizadora de Guadalupe, San José.

Índice de contenido

Capítulo I. Introducción.....	1
Delimitación del problema.....	1
Justificación.....	4
Alcance.....	5
Limitaciones.....	6
Situación actual del conocimiento del tema.....	6
Objetivos	9
Objetivo general	9
Objetivos específicos.....	9
Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA)	10
Mapa estratégico del AyA.....	10
Capítulo II. Marco teórico	12
Metodologías de gestión del mantenimiento.....	12
Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM)	12
Mantenimiento productivo total (TPM)	13

Metodología de mantenimiento 5S.....	13
Modelo de organización y gestión integral del mantenimiento	14
Ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicada en la gestión de activos (aplicación práctica de un modelo de gestión del mantenimiento).....	15
Modelo de gestión elegido	16
Determinación del estado actual	17
Normativa Covenin 2500-93	18
Principio Básico	18
Deméritos	18
Método de cálculo	19
Cuadro de mando integral (CMI).....	19
Indicadores clave (KPI).....	20
Norma INTE G43:2020.....	21
Jerarquización de equipos según su criticidad	22
Técnica de análisis causa-raíz (ACR).....	22
Tipos de mantenimiento.....	25
Modelos de mantenimiento	26

Elaboración de planes de mantenimiento	27
Análisis de modos y efectos de fallos (FMEA).....	27
Herramientas de evaluación y control de la ejecución del mantenimiento	29
Órdenes de trabajo.....	29
Análisis del ciclo de vida	30
Mejora continua	31
Lecciones de un punto (One Point Lessons-OPL)	31
Capítulo III. Marco metodológico	33
Descripción de la metodología.....	33
Enfoque	35
Tipo de investigación	35
Preguntas generadoras.....	36
Definición de variables	36
Población (muestra o censo)	37
Capítulo IV. Presentación y análisis de los resultados	39
Evaluación de la gestión del mantenimiento aplicado en la planta, mediante el uso de la normativa Covenin 2500-93.....	40

Desarrollo del cuadro de mando integral (CMI).....	44
Levantamiento de los equipos.....	46
Jerarquización de los activos de la planta.....	46
Análisis causa-raíz (ACR) de los equipos categorizados como críticos.....	52
Desarrollo del análisis de modos y efectos de fallos (FMEA).....	62
Desarrollo de planes de mantenimiento de equipos medianamente críticos y equipos no críticos.....	77
Desarrollo de plan piloto.....	77
Utilización de una herramienta tecnológica que permita el registro y monitoreo del mantenimiento.....	83
Análisis del costo de ciclo de vida (ACCV) mediante el método de Woodward.....	84
Desarrollo de lecciones de un punto (One Point Lessons-OPL).....	89
Capítulo V. Conclusiones.....	95
Capítulo VI. Recomendaciones.....	97
Capítulo VII. Bibliografía.....	98
Anexos.....	102
Anexo A. Descripción del proceso productivo y organigrama de la planta.....	102

Anexo B. Desglose y puntajes que se obtienen en los principios y deméritos de las áreas de estudio de la normativa Covenin 2500-93.....	104
Anexo C. Desglose de las ecuaciones de los indicadores del cuadro de mando integral	110
Anexo D. Levantamiento de los equipos electromecánicos de la planta potabilizadora de Guadalupe	114
Anexo E. Factores ponderados y matriz empleada en el proceso de análisis de criticidad	122
Anexo F. Figuras de referencia de los planes de mantenimiento de equipos críticos....	124
Anexo G. Evidencia de planes de mantenimiento realizado para equipos medianamente críticos y no críticos	132
Anexo H. Interfaz del documento desarrollado para la gestión del mantenimiento	134
Anexo I. Cotizaciones de bombas dosificadoras que se utilizan en el desarrollo del ACCV mediante el método de Woodward	135
Anexo J. Carta de autorización para uso y manejo de los trabajos finales de graduación.	138

Índice de tablas

Tabla 1 Información que se recopiló durante el 2018 por la unidad de control electromecánico de la planta potabilizadora de Guadalupe, San José.....	3
Tabla 2 Análisis de la viabilidad de las metodologías de mantenimiento en la planta potabilizadora de Guadalupe, San José.....	16
Tabla 3 Modelo de criticidad semicuantitativo CTR (criticidad total por riesgo).....	22
Tabla 4 Descripción práctica del modelo de ACCV de Woodward en fases de adquisición, soporte y mantenimiento.....	30
Tabla 5 Resumen de variables e indicadores por cada objetivo del proyecto	37
Tabla 6 Plantas potabilizadoras de la GAM atendidas por la unidad de control electromecánico del AyA.....	38
Tabla 7 Evaluación de la gestión del mantenimiento de la planta potabilizadora de Guadalupe, San José, mediante el uso de la normativa Covenin 2500-93	40
Tabla 8 Cuadro de mando integral propuesto para la planta potabilizadora de Guadalupe, San José.....	45
Tabla 9 Aplicación del modelo de criticidad semicuantitativo CTR (criticidad total por riesgo) en la planta potabilizadora de Guadalupe, San José	48
Tabla 10 Datos de la planta de emergencia y sus modos de fallo	53
Tabla 11 Análisis causa-raíz de los modos de fallos de la planta de emergencia.....	54
Tabla 12 Datos del tablero principal y sus modos de fallo	55

Tabla 13 Análisis causa-raíz de los modos de fallos del tablero principal	56
Tabla 14 Datos de las bombas de pre y poscloración y sus modos de fallo	57
Tabla 15 Análisis causa-raíz de los modos de fallos de las bombas de pre y poscloración .	58
Tabla 16 Datos de los actuadores neumáticos y sus modos de fallo	59
Tabla 17 Análisis causa-raíz de los modos de fallos de los actuadores neumáticos	60
Tabla 18 Análisis FMEA de la planta generadora	62
Tabla 19 Plan de mantenimiento de la planta generadora	63
Tabla 20 Análisis FMEA del tablero principal	67
Tabla 21 Plan de mantenimiento del tablero principal	68
Tabla 22 Análisis FMEA de las bombas de cloración	69
Tabla 23 Plan de mantenimiento de las bombas de pre y poscloración	71
Tabla 24 Análisis FMEA de los actuadores neumáticos	73
Tabla 25 Plan de mantenimiento de actuadores neumáticos	74
Tabla 26 Plan piloto propuesto en el sistema de lavado de filtros	78
Tabla 27 Plan piloto ejecutado en el sistema de lavado de filtros	79
Tabla 28 Información referente a los fallos que se recopiló durante el desarrollo del análisis causa-raíz de los actuadores neumáticos	80
Tabla 29 Mantenimientos correctivos realizados en el sistema de lavado de filtros durante el desarrollo del plan piloto	80

Tabla 30 Resumen de órdenes de trabajo y horas de atención de mantenimiento durante el desarrollo del plan piloto	81
Tabla 31 Cálculo de indicadores con la información que se recopiló durante el plan piloto	82
Tabla 32 Desglose de los costos anuales de horas-hombre, lubricantes y consumo eléctrico de las bombas dosificadoras	86
Tabla 33 Cálculo de los costos de ciclo de vida de las bombas dosificadoras	88
Tabla 34 Resumen y puntajes que se obtienen en las distintas áreas de estudio de la normativa Covenin 2500-93	104
Tabla 35 Indicador económico E15, INTE G43: 2020	110
Tabla 36 Indicador económico E18, INTE G43: 2020	110
Tabla 37 Indicador de tiempo promedio operativo hasta el fallo (MTTF)	110
Tabla 38 Indicador de frecuencia de fallos (FF)	111
Tabla 39 Indicador de tiempo promedio fuera de servicio (MDT)	111
Tabla 40 Indicador técnico T18, INTE G43: 2020	111
Tabla 41 Indicador de disponibilidad (D)	112
Tabla 42 Indicador organizacional O11, INTE G43: 2020	112
Tabla 43 Indicador organizacional O16, INTE G43: 2020	112
Tabla 44 Indicador organizacional O20, INTE G43: 2020	113
Tabla 45 Indicador organizacional O22, INTE G43: 2020	113

Tabla 46 Levantamiento de los equipos que se encontraron en la Planta potabilizadora de Guadalupe, San José	114
Tabla 47 Factores ponderados para el proceso de jerarquización	122
Tabla 48 Matriz de criticidad propuesta en el modelo CTR.....	123
Tabla 49 Plan de mantenimiento del transformador de distribución tipo seco.....	132
Tabla 50 Plan de mantenimiento del motor de preparación de carbón.....	133

Índice de figuras

Figura 1 Diagrama causa-efecto de las oportunidades de mejora de la planta	4
Figura 2 Resumen de los objetivos estratégicos del AyA	11
Figura 3 Esquema lógico del análisis causa-raíz (ACR)	24
Figura 4 Esquema lógico del análisis de modos y efectos de falla (FMEA)	28
Figura 5 Modelo de gestión de mantenimiento propuesto.....	33
Figura 6 Formato de lección de un punto (OPL – One Point Lesson) desarrollada para el área de preparación de sulfatos	91
Figura 7 Formato de lección de un punto (OPL – One Point Lesson) desarrollada para el área de dosificación de sulfatos	92
Figura 8 Formato de lección de un punto (OPL – One Point Lesson) desarrollada para el área de pre y poscloración	93
Figura 9 Formato de lección de un punto (OPL – One Point Lesson) desarrollada para las luminarias de emergencia	94
Figura 10 Descripción del proceso de producción de agua potable	102
Figura 11 Organigrama de la planta potabilizadora de Guadalupe AyA.....	103
Figura 12 Cuadro de mando de la planta generadora	124
Figura 13 Presentación de los indicadores luminosos	125
Figura 14 Presentación de pictogramas	126

Figura 15 Filtro de aire de la planta generadora	127
Figura 16 Vista derecha del motor.....	128
Figura 17 Vista izquierda del motor	129
Figura 18 Despiece de actuador Bray Controls serie 92/93.....	130
Figura 19 Despiece de válvula Bray Controls serie 30/31.....	131
Figura 20 Interfaz de inicio del documento Microsoft Excel para gestionar la información	134
Figura 21 Cotización de bomba dosificadora marca MILTON ROY ofrecida por INTEROP	135
Figura 22 Cotización de bomba dosificadora marca JESCO ofrecida por LABS DE COSTA RICA.....	136
Figura 23 Cotización de bomba dosificadora marca ProMinent ofrecida por Innovagua ..	137

Resumen

El presente proyecto consistió en el desarrollo de un modelo de gestión del mantenimiento en la planta potabilizadora de Guadalupe, San José. La cual pertenece al Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, de ahora en adelante denominado como AyA.

El modelo abarcó las etapas de:

Evaluación inicial de la planta donde se determinó cuáles eran los factores de gestión que poseen las mayores oportunidades de mejora para el posterior desarrollo de una estrategia.

Jerarquización de equipos según su criticidad, esto para brindar una atención correcta a los activos según su importancia en el proceso de producción.

Análisis causa-raíz y análisis de modos y efectos de fallos de los equipos críticos para generar planes de mantenimiento que contemplen las necesidades de los activos y permitan reducir los mantenimientos correctivos.

Creación de un sistema de gestión de la información que permite un manejo fácil y óptimo de los recursos disponibles.

Ejecución de un plan piloto para determinar la eficacia de los planes de mantenimiento elaborados.

Desarrollo de un análisis de costos de ciclo de vida en el área de dosificación de polímeros para establecer un método que permita justificar la adquisición de activos. Por último, una propuesta de mantenimiento autónomo, con el fin de promover una cultura colaborativa entre los departamentos de producción y mantenimiento.

Capítulo I. Introducción

La gestión del mantenimiento cumple un papel importante en mejorar la eficiencia general de una organización lo que ayuda a mantener la continuidad prolongar la vida útil de los equipos y evitar los costosos tiempos de inactividad. (Ardila *et al.*, 2016).

Este proyecto consiste en una breve investigación de diversas metodologías de gestión del mantenimiento. Esta debe aportar los criterios suficientes para seleccionar y desarrollar el modelo que mejor se adapte a las condiciones de la planta potabilizadora del AyA ubicada en Guadalupe, San José para lograr los beneficios citados. El motivo por el cual se necesita actuar y proponer cambios en la gestión actual del mantenimiento no es únicamente la obtención de los beneficios mencionados, sino también solucionar el problema del exceso de mantenimiento correctivo que se describe en la delimitación del problema.

La Unidad de Control Electromecánico (UCE) es el departamento encargado del mantenimiento de los equipos de la planta potabilizadora de Guadalupe, San José. Este departamento debe atender una gran variedad de equipos, entre los cuales figuran las bombas para dosificación de químicos, compresores, válvulas, actuadores neumáticos, sopladores, bombas para cloración, generador eléctrico, teclé, entre otros. El proyecto debe comprender el análisis de todos los equipos mencionados.

Delimitación del problema

¿Cómo gestionar los recursos de mantenimiento que posee la Unidad de Control Electromecánico de la planta potabilizadora de Guadalupe, San José, para minimizar los

contratiempos (exceso de mantenimiento correctivo respecto al mantenimiento programado ejecutado)?

La planta potabilizadora presenta problemas en algunos aspectos relevantes en la gestión del mantenimiento, como el registro de la información y el análisis individual de cada equipo. Es por esta razón que se propone el desarrollo de un modelo de gestión del mantenimiento que contemple estos aspectos y que, además, contribuya con la reducción del exceso de mantenimiento correctivo mencionado. La unidad de control de electromecánico dispone de dos técnicos de mantenimiento que visitan la planta una vez a la semana, por lo que es necesario solucionar los problemas para priorizar la atención que se les brinda a los equipos.

Como se mencionó, existen problemas con el manejo de la información, como se evidencia en la Tabla 1. En esta tabla se aprecia que las labores de mantenimiento no son específicas y no existe una categorización de los equipos. Además, existe una gran acumulación de mantenimientos correctivos en los meses de agosto y septiembre, lo que sugiere que los problemas se acumularon, ya que esta unidad de control electromecánico reconoce que la aparición de los fallos se distribuye uniformemente a lo largo del año. Tampoco se cuenta con objetivos ni estrategias específicas para el desarrollo del mantenimiento ni procedimientos de mantenimiento definidos por escrito, por lo que se puede afirmar que el problema no solo radica en la forma en la que se gestiona la información, sino directamente en la gestión global del mantenimiento.

Por último, es importante destacar que la última actualización de la Tabla 1 de control y seguimiento se llevó a cabo en el año 2018, como lo indica el título de esta. Por esto, actualmente (2022) no se lleva registro de las actividades de mantenimiento.

Tabla 1

Información que se recopiló durante el 2018 por la unidad de control electromecánico de la planta potabilizadora de Guadalupe, San José

Labores de mantenimiento realizadas en la planta potabilizadora de Guadalupe, San José año 2018.													
Mantenimiento Preventivo			Mantenimiento Correctivo										
Mes	Mto Preventivo Programado	Mto Preventivo ejecutado	UCC	Aire comprimido	Sistemas iluminación	Sistemas control	Sistemas eléctricos	Bombas Muestreo	Limpieza del área	Trabajos mecánicos	Otros	Fecha realizada	Correctivo mensual
Ene	1) 09/01/2018 2) 23/01/2018	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	//	0
Feb	1) 05/02/2018 2) 19/02/2018	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	20/2/2018	3
Mar	1) 05/03/2018 2) 19/03/2018	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	//	0
Abr	1) 02/04/2018 2) 16/04/2018 3) 30/04/2018	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	13/4/2018	2
May	1) 14/05/2018 2) 28/05/2018	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	//	0
Jun	1) 11/06/2018 2) 25/06/2018	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	//	0
Ju	1) 09/07/2018 2) 23/07/2018	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	//	0
Ago	1) 06/08/2018 2) 20/08/2018	0	1	0	0	1	0	1	1	1	1	09/08/2018 23/08/2018	12
Sep	1) 03/09/2018 2) 17/09/2018	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	04/09/2018 09/09/2018 13/09/2018	12
Oct	1) 01/10/2018 2) 15/10/2018 3) 29/10/2018	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	//	0
Nov	1) 12/11/2018 2) 26/11/2018	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	//	0
Dic	1) 10/12/2018 2) 24/14/2019	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	//	0

Fuente: Unidad de Control Electromecánico AyA, 2021.

Los aspectos mencionados y que se pretende abarcar para reducir el exceso de mantenimiento correctivo se agrupan y ejemplifican mediante la Figura 1.

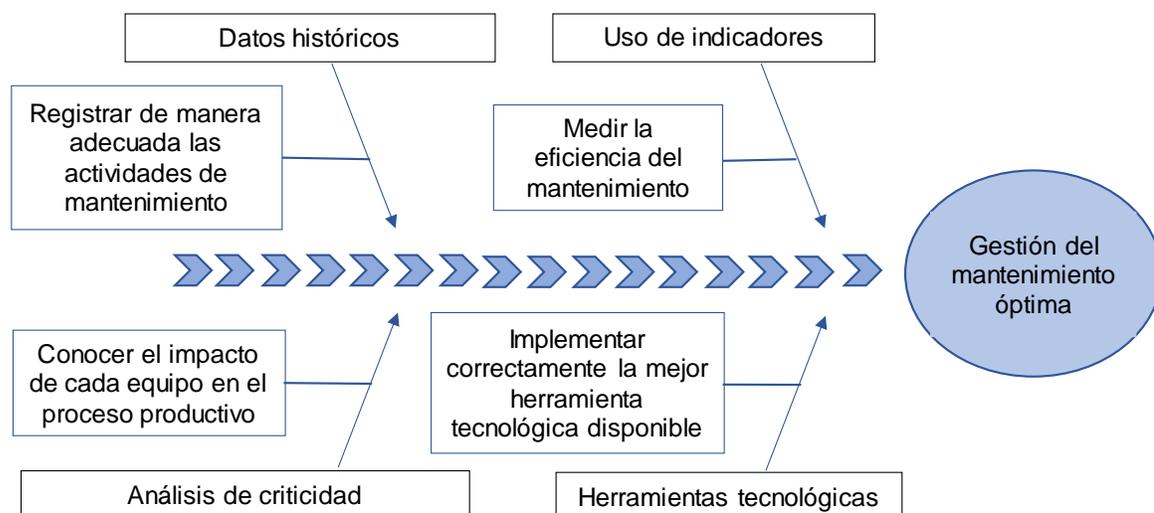


Figura 1

Diagrama causa-efecto de las oportunidades de mejora de la planta

Justificación

En cuanto al tema del acceso al agua potable y el saneamiento, se tiene que: “Este se relaciona con todas y cada una de las actividades y las necesidades del ser humano, un elemento vital sin el cual simplemente no se puede sobrevivir, menos vivir dignamente” (Becerra y Salas, 2016, p. 129). Desde la perspectiva de los autores citados, este proyecto tiene gran relevancia, pues la gestión adecuada del mantenimiento contribuye con garantizar este derecho a la población.

Respecto a la relevancia de este proyecto en el entorno en el que se desarrolla (planta potabilizadora ubicada en la GAM costarricense). El proyecto tiene un alto impacto social, pues la planta abastece los siguientes cantones Goicoechea, Montes de Oca, Moravia y Tibás (70 220 habitantes).

La Política Regulatoria sobre el Acceso al Agua Potable y Saneamiento de Aguas Residuales establece en su segunda consideración lo siguiente:

Uno de los pilares esenciales para garantizar este acceso al agua es la regulación de los servicios públicos relacionados con el agua, función que está a cargo de la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos, según lo establece la Ley 7593, concretamente para los servicios de acueducto y alcantarillado tipificados en el artículo 5, inciso (c) de esta Ley (Ley n.º 7593, 1996).

La Ley n.º 7593 (1996) establece en el artículo 5, inciso (c) lo siguiente:

Suministro del servicio de acueducto y alcantarillado, incluso el agua potable, la recolección, el tratamiento y la evacuación de las aguas negras, las aguas residuales y pluviales, así como la instalación, la operación y el mantenimiento del servicio de hidrantes.

El objetivo descrito en el artículo 4, inciso (d) de esta ley afirma lo siguiente: “Formular y velar porque se cumplan los requisitos de calidad, cantidad, oportunidad, continuidad y confiabilidad necesarios para prestar en forma óptima, los servicios públicos sujetos a su autoridad” (Ley n.º 7593, 1996). El objetivo citado de la Ley n.º 7593 (1996) es el más claro ejemplo de por qué este proyecto es justificable, debido a que la confiabilidad se ve impactada, de forma positiva, con la implementación de un modelo de gestión del mantenimiento, además esto ayuda a gestionar recursos y preservar la continuidad del servicio.

Alcance

El alcance de este proyecto consiste en la creación de un modelo que permita gestionar adecuadamente el mantenimiento aplicado en la planta potabilizadora de Guadalupe, San

José. Esto con el fin de solventar los problemas de mantenimiento presentes, sin embargo, el proyecto no abarca la solución de estos problemas, solo la creación de la herramienta.

El modelo de mantenimiento debe aportar las técnicas y herramientas necesarias para registrar adecuadamente la información de las actividades de mantenimiento, además de los análisis y planes que detallen las rutas de mantenimiento por realizar. Asimismo, debe aportar un método que permita medir la eficiencia del mantenimiento mediante el uso de indicadores una vez que la información se empiece a registrar para elaborar planes de acción que permitan la búsqueda de la mejora continua.

Limitaciones

El proyecto se ve limitado en diversos aspectos, los cuales se mencionan a continuación:

- No se registran todas las actividades de mantenimiento y las que se conservan no se registran adecuadamente, lo que imposibilita el análisis de enfoque cuantitativo.
- Se desconoce la calidad y eficacia del actual manejo del mantenimiento, por lo que el proyecto debe iniciar con una evaluación del estado actual.
- Debido a que el alcance no abarca la puesta en marcha del modelo de gestión, no es posible controlar y supervisar las operaciones en mantenimiento.
- Debido a la pandemia provocada por el virus COVID-19 que afecta al país desde el año 2020 las visitas a la planta pueden verse reducidas e incluso suspendidas.

Situación actual del conocimiento del tema

La importancia del recurso hídrico, así como los factores que deterioran el recurso han sido ampliamente estudiados. Por lo tanto, este tema aporta una gran cantidad de información

que permite justificar y ejemplificar la importancia de una gestión adecuada del mantenimiento en una planta potabilizadora.

La presión sobre los recursos hídricos es un problema que, aunado a los crecientes niveles de contaminación, ha conducido en los últimos tiempos a la sobreexplotación y a un incremento de la demanda por agua, con sus consecuencias en la calidad. La expansión de las redes de abastecimiento, el crecimiento de las zonas urbanas y rurales, el incremento de la superficie de riego, el aumento en la producción agropecuaria, la expansión industrial, la mala gestión pública y los bajos costos del agua son factores que explican el deterioro del recurso hídrico (Delgado, 2015, p. 279).

La gestión del mantenimiento, en general, ha producido grandes cambios y avances en las industrias. En el área de las plantas potabilizadoras o zonas de tratamiento del recurso hídrico existen ejemplos de modelos de gestión del mantenimiento que han tenido éxito, algunos de los cuales se mencionan a continuación:

1 - Diseño de un Modelo Integrado de Gestión de Mantenimiento y Riesgo aplicado al mantenimiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) Los Tajos en el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, AyA (Vega, 2019).

Este proyecto, finalizado en agosto de 2019, generó un análisis de criticidad de los equipos y aportó una serie de rutinas de mantenimiento que se implementan en un *software*.

2 - Diseño del plan de mantenimiento preventivo y correctivo para la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Muzo, Boyacá (Peña, 2017).

Entre los principales entregables de este proyecto se destaca la creación de flujogramas de mantenimiento preventivo para cada etapa de producción de agua potable, además de un formato de órdenes de trabajo.

3 - Elaboración del sistema de gestión de mantenimiento para la planta de tratamiento de agua potable Casigana de la EP-EMAPA-A (Robayo, 2017).

Este proyecto le otorgó a la planta de tratamiento de agua potable un organigrama funcional del Departamento de Mantenimiento, un Gantt anual que abarca las actividades, frecuencias y condiciones de los equipos y un formato de documento para registrar los fallos y labores de mantenimiento aplicadas.

4 - Propuesta de mejora del plan de mantenimiento de la planta de producción de agua potable de Guayaquil identificando la criticidad de los equipos del proceso productivo y enfocado en la técnica T.P.M. (Mallía, 2019).

El análisis FODA junto con el organigrama de la planta fueron algunas de las principales herramientas que se generaron en este proyecto. Además, se desarrolló un cronograma de mantenimiento 5S, indicadores de eficiencia global y una serie de pilares para mejorar la gestión del mantenimiento.

Asimismo, existen revistas y sitios *web* que corroboran la importancia del uso de herramientas en el área de la gestión del mantenimiento en plantas potabilizadoras.

1 - Según Teresa Martín, especialista en operaciones en Idrica, el sector del agua ha logrado mantener su actividad durante la crisis del coronavirus, proveyendo un servicio esencial. Durante el 2020 parte de los trabajos de mantenimiento y operación tuvieron que hacerse sobre el terreno, pero muchas otras tareas pudieron hacerse en remoto. Por lo anterior,

los gestores comprobaron en primera persona los beneficios de la transformación digital (Idrica, 2021).

Objetivos

Objetivo general

Investigar los principales modelos que se utilizan en la gestión del mantenimiento para que se elija y desarrolle un modelo de gestión que reduzca el mantenimiento no programado y que se ajuste a las condiciones de la planta potabilizadora del AyA ubicada en Guadalupe, San José, para el primer cuatrimestre del 2022.

Objetivos específicos

1. Determinar la calidad de la gestión del mantenimiento actual aplicado en la planta potabilizadora mediante el uso de un método semicuantitativo, para la determinación del punto de partida del modelo de gestión.
2. Jerarquizar los equipos electromecánicos que se encontraron en la planta potabilizadora mediante el uso de una matriz de criticidad semicuantitativa, para una selección correcta de los modelos de mantenimiento que se deben aplicar.
3. Proponer un cuadro de mando integral para una medición adecuada del desempeño del mantenimiento y el cumplimiento de objetivos de la planta potabilizadora.
4. Desarrollar las rutas y planes de mantenimiento para cada equipo crítico, así como las órdenes de trabajo y de recopilación de datos, para la generación de un entregable final que sea de utilidad para la planta potabilizadora.

Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA)

El AyA fue la solución que propuso la Asamblea Legislativa como respuesta al problema del agua, imponiendo regulaciones a los organismos administradores para fijar tarifas adecuadas que permitan la operación correcta de los sistemas. Esto con el fin de garantizar la potabilidad del agua en resguardo de la salud pública. El objetivo del AyA es garantizar la potabilidad del agua y su acceso universal y, para esto, cuenta con diversas plantas potabilizadoras, entre las cuales se encuentra la planta potabilizadora de Guadalupe, San José.

Para cumplir con su objetivo, la planta potabilizadora de Guadalupe, San José, requiere de una serie de procesos donde intervienen diversos equipos electromecánicos y es ahí donde esta investigación contribuye con la planta, aportando un modelo de gestión que aproveche las oportunidades de mejora y proponga soluciones para las deficiencias del mantenimiento. El proceso productivo que se lleva a cabo en la planta potabilizadora, así como el organigrama de esta se aprecia en el Anexo A.

Mapa estratégico del AyA

Debido a que la estrategia del modelo de gestión de mantenimiento debe ir en paralelo con la estrategia del AyA, se incluyen las partes del mapa estratégico del AyA que son relevantes para este proyecto. Esto con el fin de utilizarlo como referencia durante la determinación de los objetivos del cuadro de mando integral.

Financiero	1. Lograr equilibrio y sostenibilidad financiera para agua potable.	5. Lograr un gasto operativo controlado.	
	2. Lograr equilibrio y sostenibilidad financiera para alcantarillados.	6. Aumentar la ejecución presupuestaria en inversiones.	
	3. Operar con un nivel de endeudamiento que sea social y económicamente viable.	7. Facilitar el acceso a los servicios de abastecimiento de agua potable de la población en condiciones de vulnerabilidad.	
	4. Mantener equilibrado el costo del recurso humano ajustado a la demanda.	8. Facilitar el acceso a los servicios de saneamiento de la población en condiciones de vulnerabilidad.	
Sociedad y Usuarios	1. Brindar a la población servicios de excelencia.	5. Cumplir con las metas establecidas por el gobierno de Costa Rica, para el desarrollo económico y social del país.	
	2. Lograr que las ASADAS acepten la rectoría de AyA.	6. Respetar la igualdad y equidad de género, brindando a sus funcionarios y funcionarias los conocimientos necesarios para que los apliquen en sus lugares de trabajo.	
	3. Lograr que las municipalidades y ESPH acepten la rectoría de AyA.	7. Brindar las condiciones necesarias a sus funciones y usuarios, con alguna discapacidad, cumpliendo con los lineamientos dados en las leyes 7600 y 8862, en cuanto a capacitación, infraestructura, mobiliario, equipo y condiciones laborales especiales, que garanticen la igualdad de acceso a las personas con discapacidad.	
	4. Obtener una excelente calificación de los entes reguladores y fiscalizadores (ARESEP y CGR).		
Procesos Internos	Aqua Potable		
	13. Suministrar agua de calidad potable a la población que atiende directamente el AyA.	16. Realizar con oportunidad y calidad las actividades requeridas para la detección y eliminación de fugas en las redes de distribución.	
	14. Proporcionar a la población servicios de agua potable con continuidad, en los sistemas atendidos por AyA.	17. Ejecutar los proyectos de inversión en tiempo, alcance y costo.	
	15. Suministrar a la población que sirve AyA, agua de calidad con la presión según normativa.	18. Reducir el agua no contabilizada. 19. Disminuir el tiempo de respuesta en la instalación de nuevos servicios de agua potable.	
Capacidad Organizacional	Capital Humano	Capital Organizacional	Capital Informático
	1. Contar con personal con las competencias necesarias.	4. Tener un buen clima organizacional.	5. Contar con soluciones Informáticas innovadoras e integradas.
	2. Tener personal con buen desempeño. 3. Lograr el relevo y continuidad de puestos claves de la institución.		6. Lograr sistemas que le faciliten a los usuarios el trámite de servicios institucionales por medios electrónicos.

Figura 2

Resumen de los objetivos estratégicos del AyA

Fuente: Informe de gestión AyA, 2018.

Capítulo II. Marco teórico

Metodologías de gestión del mantenimiento

El mantenimiento se define habitualmente como: “El conjunto de técnicas destinadas a conservar equipos e instalaciones en servicio durante el mayor tiempo posible, buscando la más alta disponibilidad y con el máximo rendimiento” (García, 2004, p. 1). Existen diferentes metodologías de gestión del mantenimiento para atender los diferentes problemas, circunstancias y condiciones que se pueden presentar en una planta, a continuación, se mencionan las principales metodologías de gestión del mantenimiento.

Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM)

Esta metodología de mantenimiento implica una continua búsqueda y utilización de la información y el conocimiento para mejorar la fiabilidad de los activos. Esto mediante el desarrollo de herramientas como planes de mantenimiento programado y eliminación de causas de fallas sobre la base del conocimiento del estado del equipo. La base del modelo RCM consiste en las siguientes preguntas:

¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional?

1. ¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones?
2. ¿Cuál es la causa de cada falla funcional?
3. ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?
4. ¿En qué sentido es importante cada falla?
5. ¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir cada falla?

6. ¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva? (Moubray, 2004, p. 7).

Este modelo de gestión del mantenimiento pretende mejorar la seguridad e integridad ambiental, el funcionamiento operacional, la calidad del producto y servicio al cliente, la relación de costo-eficacia del funcionamiento, la vida útil de componentes costosos, entre muchos otros.

Mantenimiento productivo total (TPM)

De acuerdo con Suzuki (1995):

El enfoque del TPM involucra a todos los empleados, esta metodología de gestión de activos responsabiliza al operario de la calidad del producto y de la fiabilidad operativa. El TPM se aplica abarcando toda la empresa, desde los departamentos de desarrollo del producto hasta los administrativos y de logística. La implementación de un modelo de gestión del mantenimiento TPM permite maximizar la eficacia global de la vida entera de un equipo, involucrar a todos los departamentos y colaboradores en la planificación mediante el mantenimiento autónomo, crear un entorno de trabajo grato y seguro, reducir accidentes y polución, entre otros (p. 7).

Metodología de mantenimiento 5S

“La metodología 5S tiene como objetivos la limpieza y el orden del puesto de trabajo, estandarizando el área mediante la delimitación de zonas, el uso de tarjetas la utilización de rutinas básicas de mantenimiento, entre otros” (Manzano y Gisbert, 2016, p. 20). La metodología 5S consiste en los siguientes pasos:

1-Seiri (eliminar lo innecesario o lo que no aporta valor al producto final).

2-Seiton (ordenar las herramientas empleadas y el puesto de trabajo en general).

3-Seiso (limpieza e inspección para identificar los defectos y eliminarlos).

4-Seiketsu (estandarizar la forma en la que se llevan a cabo las tres S anteriores).

5-Shitsuke (disciplina para convertir en hábito los estándares establecidos).

Un modelo de mantenimiento 5S motiva a los empleados al ver cambios positivos en su entorno laboral, mejora la eficiencia de los procesos, minimiza los fallos o problemas con la calidad, entre otros beneficios.

Modelo de organización y gestión integral del mantenimiento

Algunas de las áreas que abarca este modelo son las siguientes:

1-Desarrollo de planes de mantenimiento después de haber clasificado los equipos según su importancia.

2-Gestión de los repuestos y materiales que se emplean en las labores de mantenimiento.

3-Gestión de los recursos humanos (proceso de selección, motivación y formación de personal).

4-Gestión de la seguridad del personal y gestión del uso y registro de la información, entre otros.

Indudablemente, este modelo aporta muchas ventajas y herramientas de gran utilidad, por ejemplo, una distribución de las tareas de mantenimiento a lo largo de un periodo, mejoras en la calidad del producto y mejoras en la disponibilidad de los equipos, optimización del tiempo, entre otros (García, 2004).

Ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicada en la gestión de activos (aplicación práctica de un modelo de gestión del mantenimiento)

Este modelo consiste en un ciclo que contiene los siguientes pasos:

- 1-Determinación del estado actual y definición de objetivos y estrategias.
- 2-Jerarquización de equipos según su criticidad.
- 3-Análisis de puntos débiles.
- 4-Revisión de equipos críticos y desarrollo de planes de mantenimiento.
- 5-Asignación y optimización del mantenimiento.
- 6-Evaluación y control mediante el uso y manejo de indicadores.
- 7-Análisis del ciclo de vida.
- 8-Proceso de mejora continua.

Este modelo mezcla técnicas de las metodologías mencionadas, como el análisis causa-raíz (ACR) y el análisis de modos y efectos de fallos (FMEA) que son herramientas del mantenimiento centrado en confiabilidad, o las lecciones de un punto, que es una herramienta de la metodología de mantenimiento productivo total. Por lo tanto, permite obtener beneficios similares a los descritos en los modelos anteriores, además de aportar otros beneficios como el desarrollo de una estrategia y la propuesta de un cuadro de mando integral.

Modelo de gestión elegido

El modelo de gestión que sustenta este proyecto se seleccionó tomando en cuenta las metodologías de gestión del mantenimiento descritas. La Tabla 2 describe los motivos por los que se descartaron las distintas metodologías hasta llegar al modelo elegido.

Tabla 2

Análisis de la viabilidad de las metodologías de mantenimiento en la planta potabilizadora de Guadalupe, San José

Viabilidad de uso de las metodologías de mantenimiento en la planta potabilizadora.	
Modelos	Viabilidad de uso en la planta potabilizadora
Mantenimiento centrado en confiabilidad. RCM	<p>Esta metodología posee características que la hacen inadecuada para la planta potabilizadora, tales como:</p> <ul style="list-style-type: none"> - La ausencia del proceso de desarrollo de una estrategia, lo que es de suma importancia debido a que actualmente la unidad no posee una. - Esta metodología utiliza técnicas de mantenimiento predictivas que requieren equipos y herramientas costosas (las cuales no posee la planta). - La colaboración y comunicación entre departamentos en la planta potabilizadora de Guadalupe no es la mas fluida. - La metodología también requiere de datos históricos de los equipos, de los cuales no dispone la planta potabilizadora. <p>Dado que la finalidad del modelo es lograr una adecuada gestión de los recursos disponibles, no tiene sentido desarrollar un modelo basado estrictamente en la metodología RCM si la planta no dispone de lo necesario para aplicarlo.</p>
Mantenimiento productivo total. TPM	<p>El problema de implementar este modelo radica en que, mas que requerir de gran cantidad de recursos, requiere de un cambio de paradigma respecto al mantenimiento, esto abarca cambios de: visión, actitud, pensamiento, disciplina y compromiso. Aclarado el punto anterior, no hay forma de garantizar que todos los departamentos de la planta potabilizadora se comprometan a colaborar con la unidad de control electromecánico, por esta razón es que un modelo basado en la metodología TPM no es el mas recomendable para ser utilizado en la planta potabilizadora de Guadalupe, San José.</p>

Metodología 5S	Equipos como los actuadores neumáticos del sistema de filtrado presentan constantes fallos a nivel interno que no pueden ser solucionados con rutinas básicas de mantenimiento y dichos fallos no son producidos por desorden o suciedad en el área de trabajo así que un modelo 5S no es la solución a los problemas de mantenimiento que posee la planta potabilizadora de Guadalupe, estos fallos requieren de un análisis más profundo y tareas de mantenimiento más específicas las cuales no encajan con una metodología 5S.
Modelo de organización y gestión integral del mantenimiento	Este modelo podría ser de utilidad para la planta potabilizadora de Guadalupe, pero presenta un inconveniente el cual es la omisión del desarrollo de una estrategia. Dado que la unidad de control electromecánico dispone de pocos recursos para gestionar el mantenimiento, estos deben orientarse cuidadosamente para lograr el cumplimiento de objetivos y este modelo no abarca este proceso.
Ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicada en la gestión de activos. (Aplicación práctica de un modelo de gestión del mantenimiento).	La planta potabilizadora de Guadalupe posee deficiencias en distintos aspectos como lo son el empleo de herramientas tecnológicas, la jerarquización de los activos, los objetivos o metas por cumplir, entre muchos otros, este modelo de Gestión de mantenimiento es el que mejor se adapta a las condiciones que presenta la planta dado que aborda dichas deficiencias y propone soluciones. Además, este modelo emplea herramientas semicuantitativas, lo que es especialmente útil en la planta potabilizadora de Guadalupe, San José dada la ausencia de registros históricos.

Determinación del estado actual

De acuerdo con el modelo elegido lo primero es determinar el estado actual de la gestión del mantenimiento de la planta potabilizadora. Teniendo en cuenta que no hay datos históricos por recopilar, el método para determinar el estado actual debe ser cualitativo o semicuantitativo. Tras analizar diversas herramientas como matriz cualitativa de excelencia en mantenimiento (MCEM), Maintenance Effectiveness Survey (MES), Maintenance World Class Survey (MWCS) y la normativa Covenin 2500-93, se optó por emplear esta última, debido a que es la herramienta que abarca el mayor número de aspectos que intervienen en una gestión adecuada, además del mayor número de interrogantes por cada

uno de estos aspectos. Por lo tanto, los resultados que evidencia esta herramienta están apegados a la realidad de la planta.

Normativa Covenin 2500-93

De acuerdo con Covenin 2500-93 (1993):

Esta norma venezolana contempla un método semicuantitativo, para la evaluación de los sistemas de mantenimiento en empresas manufactureras, para determinar la capacidad de gestión de la empresa en lo que respecta al *mantenimiento mediante el análisis y calificación* de factores como la organización de la empresa, planificación, programación y control de las actividades de mantenimiento y competencia del personal (p. 1).

Esta normativa clasifica los aspectos que componen las áreas por evaluar en principios básicos y sus deméritos, estos conceptos se describen a continuación.

Principio básico

“Un principio básico es un concepto que refleja las normas de organización y funcionamiento, sistemas y equipos que deben existir para lograr los objetivos del mantenimiento” (Covenin 2500-93, 1993, p. 1).

Deméritos

“Es aquel aspecto parcial referido a un principio básico, que por omisión o su incidencia negativa genera ineficiencias, disminuyendo en consecuencia la puntuación total de dicho principio” (Covenin 2500-93, 1993, p. 1).

Método de cálculo

Cada área de estudio está compuesta por principios básicos (entre tres y cinco principios según área de estudio) que, a la vez, están compuestos por diversos deméritos, a los cuales se les debe asignar un puntaje según el intervalo del propio demérito. En la primera columna de datos se debe anotar el puntaje máximo obtenible en cada principio básico, en la segunda columna se anota el puntaje real obtenido en cada demérito, la tercera debe contener la sumatoria de los deméritos de cada principio básico, esto para conocer el puntaje real obtenido en cada uno, en la cuarta columna se debe indicar el valor que resulta de restar el puntaje real obtenido al puntaje máximo obtenible (primera columna menos la tercera columna). La quinta y última columna es una representación porcentual del desempeño de cada principio básico, es el porcentaje que representa el puntaje obtenido respecto al puntaje obtenible.

La normativa Covenin 2500-93 evalúa la organización de la empresa, entidad del mantenimiento, planificación del mantenimiento, mantenimiento rutinario, mantenimiento programado, mantenimiento circunstancial, mantenimiento correctivo, mantenimiento preventivo, mantenimiento por avería, personal de mantenimiento, apoyo logístico y recursos. De las áreas de estudio mencionadas en el párrafo anterior, las que son relevantes para el desarrollo del proyecto se aprecian en el Anexo B.

Cuadro de mando integral (CMI)

El cuadro de mando integral es una herramienta que traduce la misión de una unidad de negocio y la estrategia en un conjunto de objetivos y medidas cuantificables en torno a cuatro perspectivas:

1. Financiera (el punto de vista del supervisor).
2. Cliente (los atributos de rendimiento valorados por los clientes).
3. Los procesos internos (los procedimientos y medios existentes a corto y largo plazo para alcanzar los objetivos financieros y de clientes).
4. El aprendizaje y el crecimiento (capacidad para mejorar y crear valor) (Parra y Crespo, 2015, p. 23).

Para cada perspectiva (financiera, cliente, procesos internos y aprendizaje y crecimiento) se deben desarrollar objetivos estratégicos, indicadores o medidas (KPI), metas y planes de acción.

Indicadores clave (KPI)

Indicador de Fiabilidad: TPO (Tiempo Promedio Operativo hasta el fallo) = MTTF. “El tiempo promedio operativo hasta el fallo (en inglés Mean Time To Failure) es un indicador técnico que mide el tiempo promedio que es capaz de operar un equipo sin interrupciones” (Parra y Crespo, 2015, p. 31).

Indicador de Fiabilidad: FF (Frecuencia de Fallo). “La frecuencia de fallo es igualmente un indicador técnico de fiabilidad que mide el número de fallos que aparecen en el período de evaluación considerado” (Parra y Crespo, 2015, p. 31).

Indicador de Mantenibilidad: TPFS (Tiempo Promedio Fuera de Servicio) = MDT. “El tiempo promedio fuera de servicio (en inglés Mean Down Time) es un indicador técnico que mide el tiempo promedio que se tarda en restituir a un componente a unas condiciones adecuadas de operación después de un fallo” (Parra y Crespo, 2015, p. 32).

Norma INTE G43:2020

Esta norma proporciona un conjunto de indicadores claves de desempeño para medir la gestión del mantenimiento en el marco de los factores más influyentes, como los aspectos económicos, técnicos y organizativos. Esto permite evaluar y mejorar la eficiencia y la eficacia del proceso de gestión.

- Indicador económico INTE G43:2020, E15: determina qué porcentaje del dinero total empleado en mantenimiento corresponde a labores de mantenimiento correctivo.
- Indicador económico INTE G43:2020, E18: muestra qué porcentaje del dinero total empleado en mantenimiento se utilizó en labores de mantenimiento programado.
- Indicador técnico INTE G43:2020, T18: relaciona los sistemas totales que se encontraron en la planta potabilizadora respecto a los sistemas que son cubiertos por un análisis de criticidad.
- Indicador organizacional INTE G43:2020, O11: determina qué porcentaje del tiempo total de indisponibilidad ligado al mantenimiento fue provocado por mantenimientos correctivos.
- Indicador organizacional INTE G43:2020, O16: determina qué porcentaje del tiempo total que se utiliza en mantenimiento corresponde a tiempo para mantenimientos correctivos.
- Indicador organizacional INTE G43:2020, O20: determina qué porcentaje del tiempo total que se utiliza en mantenimiento corresponde a mantenimientos programados.

- Indicador organizacional INTE G43:2020, O22: expresa porcentualmente el número de órdenes de trabajo realizadas según programación respecto al número de órdenes de trabajo programadas.

Jerarquización de equipos según su criticidad

El objetivo de un análisis de criticidad es establecer un método que sirva para determinar la jerarquía de procesos, sistemas y equipos de un proceso de producción complejo.

Tabla 3

Modelo de criticidad semicuantitativo CTR (criticidad total por riesgo)

Modelo de Criticidad Semicuantitativo CTR (Criticidad Total por Riesgo)	
$CTR = FF * C$	
Donde:	
CTR = Criticidad total por riesgo	
FF = Frecuencia de fallos (rango de fallos en un tiempo determinado)	
C = Consecuencias de los eventos de fallo	
Consecuencias (C)	
$C = (IO * FO) + CM + SHA$	
Donde:	
IO = Factor de impacto en la producción	
FO = Factor de flexibilidad operacional	
CM = Factor de costes de mantenimiento	
SHA = Factor de impacto en seguridad, higiene y ambiente	
Expresión Final:	$CTR = FF * ((IO * FO) + CM + SHA)$

Fuente: Ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicada en la gestión de activos, 2015.

Técnica de análisis causa-raíz (ACR)

La técnica de análisis causa-raíz permite resolver los problemas enfocándose en las causas que los originan y se caracteriza por concluir con la solución más eficiente. El uso o aplicación constante de este método provoca un cambio de pensamiento en los involucrados,

por lo que el equipo de trabajo aprende a afrontar y solucionar los problemas de una manera más eficiente. La técnica de análisis causa-raíz contiene los siguientes pasos:

- 1-Definición y jerarquización de problemas.
- 2-Definición y priorización de los modos de fallos.
- 3-Definición y validación de hipótesis.
- 4-Definición y validación de causas (físicas, humanas y latentes).
- 5-Definición y evaluación de la eficacia de las soluciones propuestas.

La forma de abordar los pasos de la técnica de análisis causa-raíz se describe en la Figura 3.

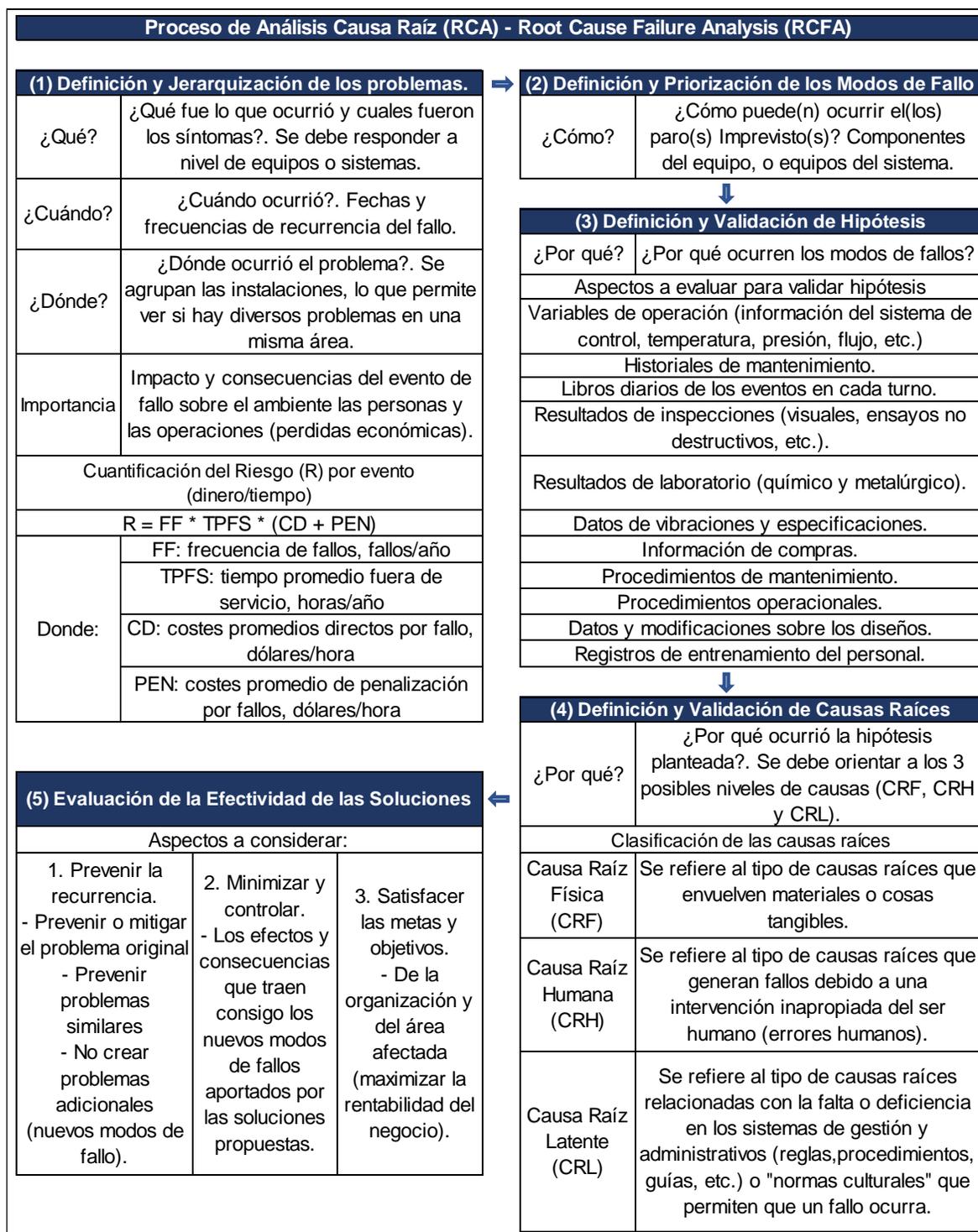


Figura 3

Esquema lógico del análisis causa-raíz (ACR)

Fuente: Ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicada en la gestión de activos, 2015.

Tipos de mantenimiento

Es necesario conocer los tipos de mantenimiento disponibles para construir planes de mantenimiento que sean efectivos. A continuación, se describen algunos de los tipos de mantenimiento que más se utilizan.

Mantenimiento correctivo: “Es el conjunto de tareas destinadas a corregir los defectos que se van presentando en los distintos equipos y que son comunicados al departamento de mantenimiento por los usuarios de estos” (García, 2004, p. 17).

Mantenimiento preventivo: “Es el mantenimiento que tiene por misión mantener un nivel de servicio determinado en los equipos, programando las correcciones de sus puntos vulnerables en el momento más oportuno” (García, 2004, p. 17).

Mantenimiento predictivo: De acuerdo con García (2004):

Es el que persigue conocer e informar permanentemente del estado y operatividad de las instalaciones. Para aplicar este mantenimiento es necesario identificar variables físicas (temperatura, vibración, consumo de energía, etc.) cuya variación sea indicativa de problemas que puedan estar apareciendo en el equipo. Es el tipo de mantenimiento más tecnológico, pues requiere de medios técnicos avanzados, y de fuertes conocimientos matemáticos, físicos y técnicos (p. 17).

Mantenimiento cero horas: Según García (2004):

Es el conjunto de tareas cuyo objetivo es revisar los equipos a intervalos programados bien antes de que aparezca ningún fallo, o bien cuando la fiabilidad del equipo ha disminuido apreciablemente, de manera que resulta arriesgado hacer previsiones sobre su

capacidad productiva. Dicha revisión consiste en dejar el equipo a cero horas de funcionamiento, es decir, como si el equipo fuera nuevo. En estas revisiones se sustituyen o se reparan todos los elementos sometidos a desgaste. Se pretende asegurar, con gran probabilidad, un tiempo de buen funcionamiento fijado de antemano (p. 18).

Mantenimiento en uso: Según García (2004):

Es el mantenimiento básico de un equipo realizado por los usuarios de este. Consiste en una serie de tareas elementales (tomas de datos, inspecciones visuales, limpieza, lubricación, reapriete de tornillos) para las que no es necesario una gran formación, sino tan solo un entrenamiento breve (p. 18).

Modelos de mantenimiento

Los distintos tipos de mantenimiento se pueden agrupar en modelos de mantenimiento, lo que facilita el diseño de los planes. En este apartado se proponen tres tipos de modelos aplicables a las tres criticidades distintas que se pueden obtener de la matriz de criticidad (crítico, medianamente crítico y no crítico).

Modelo correctivo: Como indica García (2004):

Este modelo es el más básico, incluye inspecciones visuales y la lubricación además de la reparación de averías que surjan. Es aplicable a equipos con el más bajo nivel de criticidad, cuyas averías no suponen ningún problema, ni económico ni técnico. En este tipo de equipos no es rentable dedicar mayores recursos ni esfuerzos (p. 19).

Modelo condicional: Según García (2004):

Incluye las actividades del modelo anterior además de la realización de una serie de

pruebas o ensayos que condicionarán una actuación posterior. Este modelo de mantenimiento es válido en aquellos equipos de poco uso, o equipos que a pesar de ser importantes en el sistema productivo su probabilidad de fallo es baja (p. 20).

Modelo sistemático: De acuerdo con García (2004):

Este modelo incluye un conjunto de tareas que realizaremos sin importarnos cuál es la condición del equipo; realizaremos, además, algunas mediciones y pruebas para decidir si realizamos otras tareas de mayor envergadura; y, por último, resolveremos las averías que surjan. Es un modelo de gran aplicación en equipos de disponibilidad media-alta, de cierta importancia en el sistema productivo y cuyas averías causan algunos trastornos (p. 20).

Elaboración de planes de mantenimiento

Teniendo una idea clara de los tipos y modelos de mantenimiento, se puede decidir cuáles de estos se pueden aplicar a cada equipo en específico. En el caso de los equipos caracterizados como no críticos, se deben desarrollar modelos de mantenimiento correctivos y, para los equipos caracterizados como medianamente críticos, se deben desarrollar modelos de mantenimiento condicionales. Para los equipos que resulten clasificados como críticos se debe desarrollar un modelo de mantenimiento sistemático, apoyado en los resultados de un análisis de modos y efectos de fallos, el cual se describe en la siguiente sección.

Análisis de modos y efectos de fallos (FMEA)

“El método FMEA permite identificar los problemas antes de que ocurran y puedan afectar a los procesos y productos en un área determinada, bajo un contexto operacional dado” (Parra y Crespo, 2015, p. 128). El método para desarrollar este tipo de análisis se describe en la Figura 4.

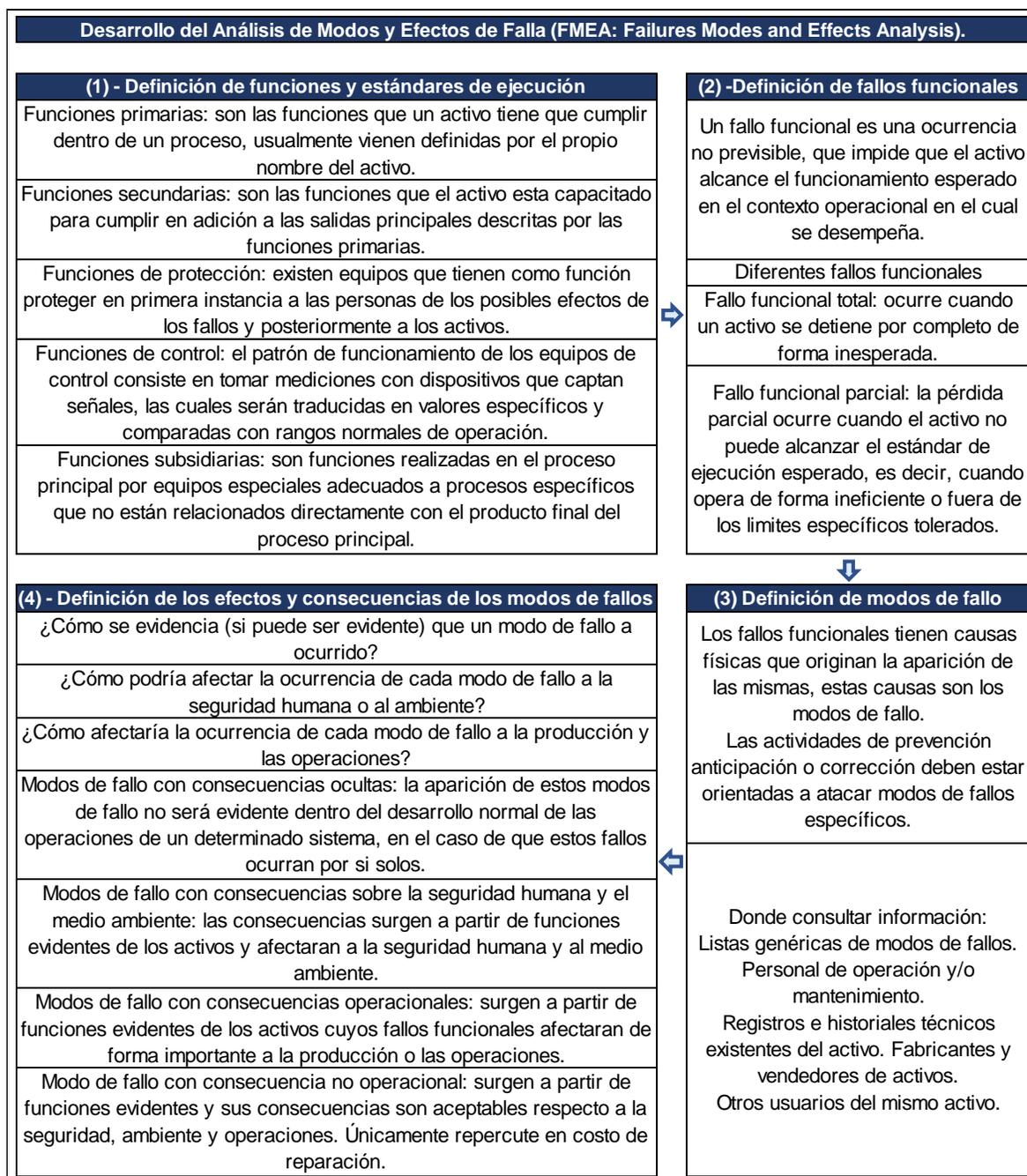


Figura 4

Esquema lógico del análisis de modos y efectos de falla (FMEA)

Fuente: Ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicada en la gestión de activos, 2015.

Herramientas de evaluación y control de la ejecución del mantenimiento

El propósito de esta etapa es aportar herramientas que le permitan a la unidad de control electromecánico la gestión adecuada del mantenimiento por lo que se propone el uso de órdenes de trabajo. Sin embargo, la principal herramienta para evaluar y controlar el mantenimiento es un sistema de registro y gestión de la información.

Órdenes de trabajo

De acuerdo con García (2004):

Una Orden de Trabajo es un documento en el que el mando de mantenimiento informa al operario o al técnico de mantenimiento sobre la tarea que tiene que realizar. Estas órdenes son una de las fuentes de información más importantes de mantenimiento, pues en ellas se recogen los datos más importantes de cada intervención (p. 250).

El contenido mínimo de una orden de trabajo es el siguiente:

- 1-Número de orden correlativo, que permite identificarla de forma única.
- 2-El equipo o instalación en el que debe intervenir.
- 3-El trabajo que debe realizar o el comportamiento de un equipo que funciona incorrectamente.
- 4-Las herramientas y materiales que se necesitarán, si se conocen.
- 5-Los riesgos del trabajo, las precauciones que deben tomarse y los equipos de protección necesarios.
- 6-La prioridad del trabajo.

7-La fecha y hora de emisión de la orden.

8-A quién le corresponde hacer la tarea.

Análisis del ciclo de vida

“La técnica de análisis de costes de ciclo de vida (ACCV) es una herramienta que propone evaluar de forma cuantitativa todos los costes asociados al periodo económico de vida útil esperado” (Parra y Crespo, 2015, p. 204). Los costos se dividen en costo de investigación y desarrollo inicial, costo de producción y construcción, costos de operación y soporte, costos de desincorporación y retirada. En el caso de este proyecto, los costos que deben analizarse son los costos de adquisición, operación y soporte. Para desarrollar este punto se propone el modelo de análisis de costos de ciclo de vida de Woodward, el cual se detalla en la Tabla 4.

Tabla 4

Descripción práctica del modelo de ACCV de Woodward en fases de adquisición, soporte y mantenimiento

Análisis del coste de ciclo de vida de Woodward en fases de adquisición, soporte y mantenimiento	
Etapa	Descripción del proceso
1	Definición de las especificaciones técnicas del equipo. En caso de sustitución se deben comprobar las características del equipo a sustituir, en caso de un diseño nuevo se deben definir las especificaciones técnicas mediante cálculos.
2	Determinación del coste inicial del equipo (CI). Este proceso se lleva a cabo mediante la solicitud de cotizaciones de equipos una vez que se definieron las especificaciones técnicas requeridas.
3	Definición de costes anuales operacionales (CO). Incluye los costos de horas-hombre de operarios que empleen el equipo, gastos en facturación energética para mantener al equipo funcionando (gas, electricidad, etc.) y cualquier otro que se considere relevante.

4	Definición de costes anuales de mantenimiento preventivo (CMP). Incluye los gastos de horas-hombre de técnicos, consumibles requeridos para dar mantenimiento (ej. lubricante) y repuestos requeridos para mantener la funcionalidad del equipo.		
5	Determinación de la tasa de descuento a utilizar y el periodo de vida útil de los equipos, esto para determinar los costes de las etapas 2 y 3 en valor presente mediante la siguiente ecuación.		
6	Cálculo de valor presente de los costes CO y CMP	$(CO \text{ o } CMP) * \frac{(1+i)^T - 1}{i * (1+i)^T}$	Donde: i = Tasa de descuento T = Periodo de vida útil
7	Sumatoria. Suma del coste inicial (CI), costes operacionales (CO) en valor presente y costes de mantenimiento preventivo (CMP) en valor presente.		

Fuente: Ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicada en la gestión de activos, 2015.

Mejora continua

Esta última fase del modelo de gestión se centra en proponer mejoras en la organización del mantenimiento y en su eficiencia en la gestión. La mejora que se propone es la incursión en el mantenimiento autónomo, esto mediante el uso de las lecciones de un punto.

Lecciones de un punto (One Point Lessons-OPL)

La colaboración del Departamento de Producción debe tener lineamientos para evitar errores humanos, es por esta razón que se propone el uso de OPL (lecciones de un punto). Las OPL son lecciones impartidas a pequeños grupos de trabajo, su objetivo es transmitir conocimiento, elevar el nivel de competencia de los grupos de trabajo y perfeccionar la capacidad práctica. Las OPL deben contener la siguiente información (detallada e ilustrada en un máximo de una hoja).

Datos de preparación para la instrucción:

- 1-Descripción de la ubicación técnica donde se lleva a cabo el mantenimiento.
- 2-Descripción del tipo de mantenimiento, su especialidad, periodicidad, nivel, etc.

3- Condiciones de seguridad para contemplar en el momento de realizar la operación.

4- Estado del equipo durante la actuación (parada/funcionamiento).

5- Riesgos asociados con el trabajo y medidas correctivas para evitar los mismos.

6- Medios necesarios para realizar la actividad.

7- Generalidades, objeto de la instrucción, campo de aplicación, etc.

Capítulo III. Marco metodológico

Descripción de la metodología

Este trabajo consiste en el análisis y desarrollo de cada una de las fases que componen el diagrama de la Figura 5.

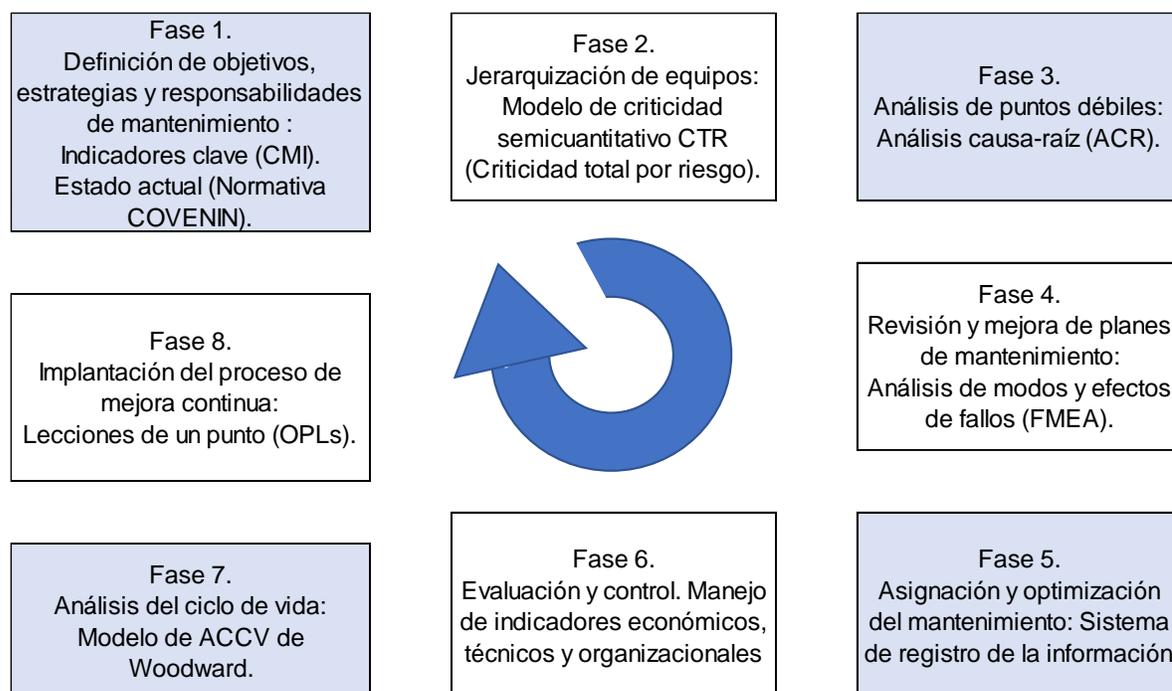


Figura 5

Modelo de gestión de mantenimiento propuesto

Fuente: Ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicada en la gestión de activos, 2015.

La primera fase consiste en la evaluación del sistema de gestión actual mediante el uso de la normativa Covenin 2500-93, esto para el posterior desarrollo de un cuadro de mando integral que contemple el mapa estratégico general del AyA. Este cuadro de mando integral

debe contener objetivos estratégicos, metas e indicadores para monitorear el avance y cumplimiento de metas.

En la segunda fase se desarrolla el levantamiento de los equipos de la planta para la posterior clasificación de estos según su criticidad, ya sean críticos, medianamente críticos o no críticos. El proceso de jerarquización se realiza mediante un análisis de criticidad semicuantitativo que toma en cuenta el impacto en la producción, flexibilidad operacional, costos de mantenimiento y seguridad, higiene y ambiente.

La tercera y cuarta fase (análisis causa-raíz y análisis de modos y efectos de fallos), se desarrolla únicamente en los equipos críticos (a excepción de los planes y rutas de mantenimiento que se realizan para todos los equipos).

La tercera fase consiste en el desarrollo del análisis causa-raíz, abarcando los siguientes pasos: jerarquización de problemas, definición de modos de fallo, definición de hipótesis, definición de causas-raíz y definición de soluciones.

La cuarta fase consiste en un proceso ordenado y lógico (desarrollo del análisis de modos y efectos de fallo. FMEA), el cual está compuesto por los siguientes pasos: seleccionar el sistema o equipo, analizar el contexto definir funciones, fallos funcionales y modos de fallo, así como sus efectos y consecuencias.

La quinta fase consiste en la optimización de los recursos destinados al mantenimiento preventivo, es decir, la construcción de planes de mantenimiento tomando en cuenta los resultados en las etapas anteriores.

La sexta fase abarca la puesta en marcha de un plan piloto, con el fin de determinar si los análisis y planes de mantenimiento realizados hasta el momento provocan una mejora en

cuanto a la reducción de mantenimientos correctivos. Esta etapa también comprende el desarrollo de un sistema de gestión de la información utilizando Microsoft Excel para crear un documento que permita el control y monitoreo del mantenimiento mediante indicadores.

La séptima fase consiste en el desarrollo de un análisis técnico-económico en el área de dosificación de polímeros. Se analiza el costo inicial, costo de producción, costos de operación y soporte empleando la técnica de análisis del costo del ciclo de vida.

La octava fase consiste en una propuesta de mantenimiento autónomo mediante el uso de la herramienta denominada OPL (One Point Lesson o lecciones de un punto), la cual resulta de gran utilidad en varios sistemas de la planta como área de preparación de sulfatos, área de dosificación de sulfatos y área de pre y poscloración.

Enfoque

El enfoque de esta investigación es semicuantitativo (también conocido como mixto), debido a que a lo largo de las distintas fases se emplean herramientas cualitativas, cuantitativas o semicuantitativas. La planta carece de información histórica para desarrollar un trabajo con enfoque cuantitativo, sin embargo, es posible ir más allá de un enfoque cualitativo con los recursos disponibles.

Tipo de investigación

Esta investigación es correlacional porque pretende aportar un modelo de gestión del mantenimiento que una vez puesto en marcha permita determinar si existen avances en cuanto a la reducción del mantenimiento correctivo. Esto mediante el análisis de las demás variables implicadas (estado del sistema de gestión, análisis de criticidad, análisis causa-raíz,

FMEA, entre otros). En resumen, un alcance correlacional pretende cuantificar y analizar variables para después determinar cómo se vinculan y esa es la finalidad de este trabajo.

Preguntas generadoras

¿Es posible que el modelo de gestión de mantenimiento propuesto contenga tareas de mantenimiento correctivo e incluso así sea efectivo?

¿Se puede proponer un modelo de gestión de mantenimiento útil y efectivo, aunque no se cuente con los datos necesarios para desarrollar un enfoque cuantitativo?

¿Cómo se pueden estimar variables como el tiempo de ejecución de una tarea de mantenimiento o la frecuencia con la que se deba realizar una actividad, si la planta no cuenta con un precedente?

¿De qué manera se puede desarrollar un entregable interactivo útil que permita concluir satisfactoriamente este proyecto?

Definición de variables

Cada objetivo de este proyecto puede monitorearse con diversos indicadores, los cuales tienen distintas variables. Estos indicadores y variables se resumen en la Tabla 5.

Tabla 5

Resumen de variables e indicadores por cada objetivo del proyecto

	Objetivos	Indicador(es)	Ecuación(es), herramienta(s) y variables
Objetivo General	Investigar los principales modelos utilizados en la gestión del mantenimiento para la posterior elección y desarrollo de un modelo de gestión que permita la reducción del mantenimiento no programado y que se ajuste a las condiciones de la planta potabilizadora del AyA ubicada en Guadalupe, San José; para el primer cuatrimestre del 2022.	Relación de indicadores de mantenimiento programado y no programado.	Mantenimiento preventivo. Mantenimiento correctivo.
	Determinar la calidad de la gestión del mantenimiento actual aplicado en la planta potabilizadora mediante el uso de un método semicuantitativo, para la determinación del punto de partida del modelo de gestión.	Porcentaje de rendimiento global.	Método de análisis de la Normativa COVENIN 2500-93.
Objetivos Específicos	Jerarquizar los equipos electromecánicos encontrados en la planta potabilizadora mediante el uso de una matriz de criticidad semicuantitativa, para una correcta selección de los modelos de mantenimiento que se deben aplicar.	Modelo de Criticidad Semicuantitativo CTR (Criticidad Total por Riesgo).	El desglose de las ecuaciones y variables se encuentra en el Marco teórico, específicamente en la sección 3.4.
	Proponer un cuadro de mando integral para una adecuada medición del desempeño del mantenimiento y el cumplimiento de objetivos de la planta potabilizadora.	Tiempo Promedio Operativo hasta el fallo. Frecuencia de Fallo. Tiempo Promedio Fuera de Servicio. Indicadores técnicos, económicos y organizacionales.	Ver anexo C.
	Desarrollar las rutas y planes de mantenimiento para cada equipo crítico, así como las órdenes de trabajo y de recopilación de información, para la generación de un entregable final que sea de utilidad para la planta potabilizadora.	Entregable final.	Contiene los resultados de la evaluación, levantamiento y criticidad de equipos, análisis causa raíz y planes de mantenimiento.

Población (muestra o censo)

La dirección de plantas potabilizadoras (DDP) de la Gran Área Metropolitana atiende 19 plantas, debido a que este proyecto se centra en la planta potabilizadora de Guadalupe, esta es la muestra para analizar (ver Tabla 6).

Tabla 6

Plantas potabilizadoras de la GAM atendidas por la unidad de control electromecánico del AyA

Dirección de Plantas Potabilizadoras GAM	
1	Planta Potabilizadora Alajuelita
2	Planta Potabilizadora Barrio España
3	Planta Potabilizadora Cartago
4	Planta Potabilizadora Coronado
5	Planta Potabilizadora El llano
6	Planta Potabilizadora Escazú
7	Planta Potabilizadora Guadalupe
8	Planta Potabilizadora Guatuso
9	Planta Potabilizadora Hacienda Vieja
10	Planta Potabilizadora Higuito
11	Planta Potabilizadora Las catalinas
12	Planta Potabilizadora Los cuadros
13	Planta Potabilizadora Los sitios
14	Planta Potabilizadora Mata de plátano
15	Planta Potabilizadora Quitirrisí
16	Planta Potabilizadora Salitral
17	Planta Potabilizadora San Jerónimo
18	Planta Potabilizadora San Juan de Dios
19	Planta Potabilizadora Tres ríos

Fuente: Unidad de Control Electromecánico AyA, 2021.

En la planta potabilizadora de Guadalupe, San José, no se tomó ninguna muestra ni se dejó fuera del análisis a ninguno de los sistemas o equipos por lo que el estudio abarca toda la población de la planta.

Capítulo IV. Presentación y análisis de los resultados

Se desarrolló la evaluación de la gestión actual del mantenimiento para determinar cuáles son los puntos deficientes de la planta potabilizadora y orientar el desarrollo del modelo de gestión hacia la solución de estas deficiencias. Los resultados de esta evaluación se encuentran en la Tabla 7, la cual muestra los porcentajes de desempeño que se obtienen en cada área de estudio, además del porcentaje global de cada principio básico, lo que permite conocer cuáles son las áreas con las mayores oportunidades de mejora. Los puntajes asignados a cada demérito de la encuesta se encuentran en el Anexo B, última columna.

El significado de las abreviaturas de la Tabla 7 es el siguiente:

- C = Puntaje máximo obtenible en cada principio básico.
- E = Puntaje real obtenido en cada principio básico.
- F = Puntaje perdido en cada principio básico.
- G = Representación porcentual del desempeño de cada principio básico.

Evaluación de la gestión del mantenimiento aplicado en la planta, mediante el uso de la normativa Covenin 2500-93

Tabla 7

Evaluación de la gestión del mantenimiento de la planta potabilizadora de Guadalupe, San José, mediante el uso de la normativa Covenin 2500-93

Evaluación de la gestión del mantenimiento de la planta potabilizadora de Guadalupe.			
Institución:	Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados	Evalúador:	Victor Julio Esquivel Castro
Planta:	Planta potabilizadora de Guadalupe, San José	Evalúado:	Director de la unidad de control electromecánico
Fecha:	4 de mayo del 2021	Evaluación:	Nº1

Área	Principio Básico	C	Puntaje en cada Demérito										E	F	G	
1 - Organización de la Empresa	1-Funciones y Responsabilidades.	60	20	16	20									56	4	93,33%
	2-Autoridad y Autonomía.	40	10	10	8	10								38	2	95,00%
	3-Sistema de Información.	50	6	0	0	5	0	0						11	39	22,00%
Total Obtenible		150	Puntaje Perdido										45			
Desempeño global del área de estudio													70,00%			
2 - Organización del Mto	1-Funciones y Responsabilidades.	80	15	10	15	10	10	10						70	10	87,50%
	2-Autoridad y Autonomía.	50	15	15	10	8								48	2	96,00%
	3-Sistema de Información.	70	5	5	0	5	0	0						15	55	21,43%
Total Obtenible		200	Puntaje Perdido										67			
Desempeño global del área de estudio													66,50%			
3 - Planificación del Mto	1-Objetivos y Metas.	70	0	5	7	0								12	58	17,14%
	2-Políticas para la Planificación.	70	0	10	10	15								35	35	50,00%
	3-Control y Evaluación.	60	5	10	10	0	1	0	0	0				26	34	43,33%
Total Obtenible		200	Puntaje Perdido										127			
Desempeño global del área de estudio													36,50%			
4 - Mto Rutinario	1-Planificación.	100	0	0	10	20	8	0						38	62	38,00%
	2-Programación e Implantación.	80	0	0	5	10	0	10	8	0				33	47	41,25%
	3-Control y Evaluación.	70	10	0	2	0	0	5	0					17	53	24,29%
Total Obtenible		250	Puntaje Perdido										162			
Desempeño global del área de estudio													35,20%			
5 - Mto Preventivo	1-Determinación de Parámetros.	80	10	0	0	0	10							20	60	25,00%
	2-Planificación.	40	20	5										25	15	62,50%
	3-Programación e Implantación.	70	20	15	15	10	5							65	5	92,86%
	4-Control y Evaluación.	60	0	0	0	0								0	60	0,00%
Total Obtenible		250	Puntaje Perdido										140			
Desempeño global del área de estudio													44,00%			
6 - Mto por Avería	1-Atención a las Fallas.	100	18	0	15	0	5	15						53	47	53,00%
	2-Supervisión y ejecución.	80	0	0	0	10	0	2	4	8				24	56	30,00%
	3-Información sobre las Averías.	70	0	0	0	0								0	70	0,00%

Total Obtenible		250	Puntaje Perdido										173		
Desempeño global del área de estudio												30,80%			
7 - Personal de Mto	1- Necesidades de Personal	70	20	8	0								28	42	40,00%
	2-Selección y Formación.	80	10	10	10	2	10	10	10	5			67	13	83,75%
	3-Motivación e Incentivos.	50	20	10	0	0							30	20	60,00%
Total Obtenible		200	Puntaje Perdido										75		
Desempeño global del área de estudio												62,50%			
8 - Apoyo Logístico	1-Apoyo Administrativo.	40	7	8	8	0	5						28	12	70,00%
	2-Apoyo Gerencial.	40	10	8	10	5	5						38	2	95,00%
	3-Apoyo General.	20	10	10									20	0	100,00%
Total Obtenible		100	Puntaje Perdido										14		
Desempeño global del área de estudio												86,00%			
9 - Recursos	1-Equipos.	30	4	5	5	5	3	0					22	8	73,33%
	2-Herramientas.	30	9	4	4	5	0						22	8	73,33%
	3-Instrumentos.	30	4	5	5	3	5	0					22	8	73,33%
	4-Materiales.	30	2	3	3	0	2	3	0	3	2	0	18	12	60,00%
	5-Repuestos.	30	2	3	2	0	2	0	0	3	2	0	14	16	46,67%
Total Obtenible		150	Puntaje Perdido										52		
Desempeño global del área de estudio												65,33%			
Puntaje Total Obtenible		1750	Puntaje Total Perdido										855		
Porcentaje Global												51,14%			

La Tabla 7 muestra que el principio denominado como sistema de información (el cual se encuentra en las áreas de estudio 1 y 2) es uno de los que posee los puntajes más bajos en toda la evaluación, con un desempeño del 22 % en el área 1 y 21.43 % en el área 2. Esto se debe a que la unidad de control electromecánico no cuenta con un sistema de registro de información adecuado que permita el uso y procesamiento de esta para el cálculo de indicadores y la toma de decisiones, por lo que este principio básico presenta una de las mayores oportunidades de mejora.

El área de estudio 3, denominada planificación del mantenimiento es sumamente deficiente, ya que todos sus principios básicos obtuvieron un puntaje igual o menor al 50 %. Los motivos por los que el desempeño de esta área no es bueno son diversos, entre ellos están la falta de definición de objetivos estratégicos o metas que provoca que las labores realizadas no se orienten al cumplimiento de metas. Además, las atenciones realizadas no se registran correctamente por lo que no existe información histórica que ayude a determinar las necesidades de mantenimiento, tampoco se tienen priorizadas las atenciones de los equipos, ya que no existe una jerarquización de estos.

Las áreas de estudio 4 y 5 (mantenimiento rutinario y mantenimiento preventivo respectivamente) están compuestas por planificación, control y evaluación, programación e implantación. Como lo indica la delimitación del problema de esta investigación, uno de los mayores inconvenientes es la gestión de los recursos, ya que no se conoce la eficiencia de las medidas ejecutadas sobre los equipos, no existen procedimientos por escrito y de fácil acceso para la ejecución de las tareas de mantenimiento, tampoco se da seguimiento a los equipos mediante el uso de indicadores ni se registran los tiempos de parada, por estas razones se obtuvo un bajo desempeño en estas áreas.

El área de estudio 6 (mantenimiento por avería) nuevamente deja en evidencia la carencia de un sistema de información debido a que este principio básico obtuvo un porcentaje de desempeño del 0 %. Este resultado es consistente con la realidad de la planta, ya que no se registran los trabajos de mantenimiento correctivo realizados por los técnicos.

Al comparar el área de estudio 6 (mantenimiento por avería) y el área de estudio 2 (organización del mantenimiento) se aprecia que ambos presentan problemas en cuanto al

sistema de información. Esto indica que la ausencia de este afecta a la planta potabilizadora en distintos niveles por lo que la solución a este problema debe ser una prioridad.

En el área de estudio 7 destaca el principio básico de las necesidades de personal con un porcentaje de desempeño del 40 %. Este bajo desempeño se debe a que los técnicos de mantenimiento no disponen de procedimientos definidos por escrito para realizar sus labores.

Desarrollo del cuadro de mando integral (CMI)

Una vez que se encontraron los puntos débiles, que es donde se encuentran las oportunidades de mejora, se desarrolló un cuadro de mando integral en el cual se plasma la estrategia, objetivos, metas e indicadores. Esto para que la unidad de control electromecánico pueda concentrar sus esfuerzos para mejoras significativas en el proceso de gestión, además de monitorear el mantenimiento. Los objetivos propuestos tienen un horizonte de tiempo de 1 año después de haber puesto en marcha el modelo. La explicación de los indicadores se aprecia en la sección de indicadores clave (KPI) y la sección de la Norma INTE G43: 2020. El desglose de los indicadores se encuentra en el Anexo C.

Tabla 8

Cuadro de mando integral propuesto para la planta potabilizadora de Guadalupe, San

José

Cuadro de mando integral (CMI)				
Perspectiva	Objetivos Estratégicos	Medidas (KPI's)	Metas	Planes de Acción
Financiera	- Programar la atención de los diversos equipos de la planta potabilizadora, para la reducción de los gastos asociados a la sustitución de equipos o componentes por falta de mantenimiento.	- Indicador económico E15. INTE G43 2020. - Indicador económico E18. INTE **Revisar desglose de cálculo de los indicadores.	- Lograr que el costo asociado al mantenimiento correctivo este por debajo del 30% del costo total del mantenimiento.	- Desarrollar e implementar planes y rutas de mantenimiento adecuados para los equipos, según la criticidad y los resultados de los análisis ACR y FMEA. Todo esto para reducir los mantenimientos correctivos y desarrollar adecuadamente los mantenimientos preventivos.
Clientes	- Demostrar la responsabilidad que tiene la planta potabilizadora con los cantones Goicoechea, Montes de Oca, Moravia y Tibás implementando un sistema de gestión de activos, para la adecuada atención de los equipos según sus requerimientos de mantenimiento.	- Indicador de tiempo promedio operativo hasta el fallo (MTTF). - Indicador de frecuencia de fallos (FF). **Revisar desglose de cálculo de los indicadores.	- Corregir los fallos del actual plan de mantenimiento de los equipos. - Conocer los tiempos de parada de los equipos.	- Desarrollar e implementar un adecuado formato para el registro de la información que permita programar y distribuir adecuadamente las labores de mantenimiento. - Desarrollar planes de mantenimiento eficaces para los equipos.
Procesos Internos	- Aumentar la cantidad de mantenimientos programados realizados por la unidad de control electromecánico. - Tener pleno conocimiento de las necesidades de mantenimiento de los diversos equipos.	- Indicador técnico T18. - Indicador organizacional O22. Ambos de la norma INTE G43 2020. **Revisar desglose de cálculo de los indicadores.	- Realizar al menos el 80% de las órdenes de trabajo según la programación. - Conocer la criticidad y las necesidades de mantenimiento de todos los equipos.	- Registrar y utilizar la información para el desarrollo de cálculos de indicadores, mejoramiento y actualización del rendimiento en general de la planta.
Aprendizaje y crecimiento	- Mantener información actualizada respecto a los equipos y labores de mantenimiento realizadas. - Emplear el tiempo de atención en labores programadas, para la reducción de los mantenimientos correctivos.	- Indicador organizacional O11. - Indicador organizacional O16. - Indicador organizacional O20. Todos de la norma INTE G43 2020. **Revisar desglose de cálculo de los indicadores.	- Monitorear el 100% de las labores de mantenimiento realizadas, ya sean programadas o correctivas.	- Desarrollar un documento con un formato adecuado (que sea corto pero sustancial), con el fin de que sea fácilmente accesible a la información.

Levantamiento de los equipos

Una vez que se desarrolló la estrategia se llevó a cabo una visita guiada por la planta, en esta visita se clasificaron los equipos en sistemas y se recopiló la información de los equipos (marca, modelo, función y parámetros de funcionamiento), también se desarrolló una nomenclatura para identificar a cada equipo, lo que genera un primer registro histórico para utilizarlo en el desarrollo de las siguientes etapas del proyecto. El resultado del levantamiento se aprecia en el Anexo D.

Jerarquización de los activos de la planta

El levantamiento permitió conocer el total de los equipos que se encontraron en la planta, así como sus parámetros de funcionamiento, por lo que a partir de este punto se procedió a categorizar los equipos de la planta mediante el modelo de criticidad semicuantitativo CTR (criticidad total por riesgo). Este tiene la flexibilidad de permitir el análisis incluso sin datos históricos (este es el caso en la planta potabilizadora de Guadalupe, San José). Este modelo jerarquiza los equipos en tres categorías, críticos, medianamente críticos y no críticos. Los resultados se discuten al final de la Tabla 9 y los factores ponderados y la matriz de criticidad que se utiliza se encuentran en el Anexo E. El significado de las abreviaturas de la Tabla 9 es el siguiente:

- FF = Frecuencia de fallos.
- IO = Factor de impacto en la producción.
- FO = Factor de flexibilidad operacional.
- CM = Factor de costos de mantenimiento.

- SHA = Factor de seguridad, higiene y ambiente.

- C = Consecuencia.

- CTR = Criticidad.

Tabla 9

Aplicación del modelo de criticidad semicuantitativo CTR (criticidad total por riesgo) en la planta potabilizadora de Guadalupe, San José

Jerarquización de los equipos de la planta de Guadalupe según su criticidad										
N°	Sistema	Equipo	Nomenclatura	Factores asignados					C	CTR
				FF	IO	FO	CM	SHA		
1	Planta de emergencias	Planta de emergencia	05_01_PDE01_010	2	7	4	2	3	33	66
2	Lavado de estructuras	Bomba centrífuga	05_01_BLE01_020	2	5	2	1	1	12	24
3	Lavado de estructuras	Bomba centrífuga	05_01_BLE02_020	2	5	2	1	1	12	24
4	Tecele	Tecele	05_01_TEC01_030	1	7	4	1	3	32	32
5	Tanque hidroneumático	Bomba centrífuga	05_01_BTH01_040	1	1	4	1	1	6	6
6	Tanque hidroneumático	Tanque hidroneumático	05_01_THI01_040	1	1	4	1	1	6	6
7	Aire comprimido	Compresor dos etapas	05_01_COM01_050	3	10	1	2	3	15	45
8	Aire comprimido	Compresor dos etapas	05_01_COM02_050	3	10	1	2	3	15	45
9	Aire comprimido	Tanque aire comprimido	05_01_TAC01_050	1	5	1	2	3	10	10
10	Iluminación	Luminarias varias	05_01_LUM01_060	2	3	2	1	3	10	20
11	Sist. Electr. en casas plantas	Supresor de transientes	05_01_SDT01_070	2	5	4	1	3	24	48
12	Sist. Electr. en casas plantas	Banco de capacitores	05_01_BAC01_070	2	5	4	1	3	24	48
13	Sist. Electr. en casas plantas	Tablero principal	05_01_TAP01_070	2	7	4	1	3	32	64
14	Sist. Electr. en casas plantas	Transformador tipo seco	05_01_TTS01_070	1	7	4	1	3	32	32
15	Pre y post cloración	Bomba centrífuga	05_01_BCL01_080	4	7	2	2	5	21	84
16	Pre y post cloración	Bomba centrífuga	05_01_BCL02_080	4	7	2	2	5	21	84
17	Pre y post cloración	Bomba centrífuga	05_01_BCL03_080	4	7	2	2	5	21	84
18	Pre y post cloración	Detector de gas cloro	05_01_DDG01_080	1	4	4	1	8	25	25

19	Preparación de sulfatos	Motor agitador	05_01_MAG01_090	3	5	1	1	3	9	27
20	Preparación de sulfatos	Motor agitador	05_01_MAG02_090	3	5	1	1	3	9	27
21	Dosificación de sulfatos	Bomba de diafragma	05_01_BDS01_100	3	5	2	2	1	13	39
22	Dosificación de sulfatos	Bomba de diafragma	05_01_BDS02_100	3	5	2	2	1	13	39
23	Preparación de carbón	Motor monofásico	05_01_MAG03_110	1	5	4	1	3	24	24
24	Lavado de filtros	Soplador	05_01_SOP01_120	2	10	1	1	2	13	26
25	Lavado de filtros	Soplador	05_01_SOP02_120	2	10	1	1	2	13	26
26	Lavado de filtros	Bomba centrífuga	05_01_BLF01_120	2	10	2	1	3	24	48
27	Lavado de filtros	Bomba centrífuga	05_01_BLF02_120	2	10	2	1	3	24	48
28	Lavado de filtros	Actuador neumático	05_01_ACN01_120	3	7	4	1	3	32	96
29	Lavado de filtros	Actuador neumático	05_01_ACN02_120	3	7	4	1	3	32	96
30	Lavado de filtros	Actuador neumático	05_01_ACN03_120	3	7	4	1	3	32	96
31	Lavado de filtros	Actuador neumático	05_01_ACN04_120	3	7	4	1	3	32	96
32	Lavado de filtros	Actuador neumático	05_01_ACN05_120	3	7	4	1	3	32	96
33	Lavado de filtros	Actuador neumático	05_01_ACN06_120	3	7	4	1	3	32	96
34	Lavado de filtros	Actuador neumático	05_01_ACN07_120	3	7	4	1	3	32	96
35	Lavado de filtros	Actuador neumático	05_01_ACN08_120	3	7	4	1	3	32	96
36	Lavado de filtros	Actuador neumático	05_01_ACN09_120	3	7	4	1	3	32	96
37	Lavado de filtros	Actuador neumático	05_01_ACN10_120	3	7	4	1	3	32	96
38	Lavado de filtros	Actuador neumático	05_01_ACN11_120	3	7	4	1	3	32	96
39	Lavado de filtros	Actuador neumático	05_01_ACN12_120	3	7	4	1	3	32	96
40	Lavado de filtros	Actuador neumático	05_01_ACN13_120	3	7	4	1	3	32	96
41	Lavado de filtros	Actuador neumático	05_01_ACN14_120	3	7	4	1	3	32	96
42	Lavado de filtros	Actuador neumático	05_01_ACN15_120	3	7	4	1	3	32	96
43	Lavado de filtros	Actuador neumático	05_01_ACN16_120	3	7	4	1	3	32	96
44	Lavado de filtros	Actuador neumático	05_01_ACN17_120	3	7	4	1	3	32	96

45	Lavado de filtros	Actuador neumático	05_01_ACN18_120	3	7	4	1	3	32	96
46	Lavado de filtros	Actuador neumático	05_01_ACN19_120	3	7	4	1	3	32	96
47	Lavado de filtros	Actuador neumático	05_01_ACN20_120	3	7	4	1	3	32	96
48	Lavado de filtros	Actuador neumático	05_01_ACN21_120	3	7	4	1	3	32	96
49	Lavado de filtros	Actuador neumático	05_01_ACN22_120	3	7	4	1	3	32	96
50	Lavado de filtros	Actuador neumático	05_01_ACN23_120	3	7	4	1	3	32	96
51	Lavado de filtros	Actuador neumático	05_01_ACN24_120	3	7	4	1	3	32	96
52	Lavado de filtros	Actuador neumático	05_01_ACN25_120	3	7	4	1	3	32	96
53	Lavado de filtros	Actuador neumático	05_01_ACN26_120	3	7	4	1	3	32	96
54	Lavado de filtros	Actuador neumático	05_01_ACN27_120	3	7	4	1	3	32	96
55	Lavado de filtros	Actuador neumático	05_01_ACN28_120	3	7	4	1	3	32	96
56	Lavado de filtros	Actuador neumático	05_01_ACN29_120	3	7	4	1	3	32	96
57	Lavado de filtros	Actuador neumático	05_01_ACN30_120	3	7	4	1	3	32	96
58	Lavado de filtros	Actuador neumático	05_01_ACN31_120	3	7	4	1	3	32	96
59	Lavado de filtros	Actuador neumático	05_01_ACN32_120	3	7	4	1	3	32	96
60	Lavado de filtros	Variador de frecuencia	05_01_VFR01_120	2	10	2	1	1	22	44
61	Lavado de filtros	Variador de frecuencia	05_01_VFR02_120	2	10	2	1	1	22	44
62	Lavado de filtros	Arranque suave	05_01_ARS01_120	2	10	1	1	1	12	24
63	Lavado de filtros	Arranque suave	05_01_ARS02_120	2	10	1	1	1	12	24
64	Lavado de filtros	PLC	05_01_PLC01_120	1	9	4	1	1	38	38
65	Lavado de filtros	Pantalla (HMI)	05_01_HMI01_120	1	5	1	1	1	7	7

La criticidad de los equipos debe coincidir con las prioridades y condiciones de la planta potabilizadora y, en este caso, las condiciones más importantes son el exceso de labores de mantenimiento correctivo y los limitados recursos disponibles. Al tomar en cuenta lo anterior, los factores más relevantes e influyentes en la criticidad de los equipos de la planta

potabilizadora de Guadalupe, San José, son frecuencia de fallos (FF) debido al exceso de mantenimiento correctivo, el impacto en la producción (IO), ya que la producción no se puede ver afectada por tratarse de un servicio básico indispensable y la flexibilidad operacional (FO) debido a que la falta de redundancia puede detener la producción en caso de un fallo, por lo tanto, este también es un factor importante para la unidad de control electromecánico.

El equipo n.º 1 (planta generadora de emergencias) se caracterizó como crítico debido a su factor de flexibilidad operacional (FO) y su impacto en la producción (IO), ya que al tratarse de un sistema de emergencias no existe respaldo, es decir, su flexibilidad es nula y si llegara a fallar cuando se le necesite la producción se vería interrumpida por completo. El siguiente equipo en obtener una caracterización crítica fue el n.º 13 (tablero principal) y la razón por la que obtuvo esta caracterización es la misma, no existe un respaldo de este equipo y sin energía eléctrica no se puede producir agua potable.

Los equipos n.º 15, 16 y 17 (bombas de pre y poscloración) son críticos debido a las constantes fallas que se presentan en estos equipos. Además, se requieren dos de las tres bombas para mantener la producción así que su flexibilidad operacional es limitada y el impacto en la producción es muy serio, ya que sin la cloración el agua no es apta para consumo humano así que no se puede almacenar, lo que provocaría la detención de la producción.

Los equipos n.º 28 al 59, que corresponden a los actuadores neumáticos, combinan una serie de factores que los convierten en los equipos con la criticidad más alta en toda la planta. La flexibilidad operacional es nula debido a que no existen actuadores de repuesto o respaldo, su frecuencia de fallos es elevada, ya que constantemente se presentan fallos en la apertura y

cierre de los actuadores y su impacto en la producción es alto, pues sin los actuadores neumáticos los filtros de arena no pueden continuar operando y se interrumpe el proceso de producción (consultar Anexo A para comprender el proceso de producción).

Análisis causa-raíz (ACR) de los equipos categorizados como críticos

Después de la jerarquización de los activos se llevó a cabo un análisis causa-raíz en los equipos que obtuvieron la caracterización de críticos, lo que permite desarrollar posteriormente los planes de mantenimiento de estos. Los resultados del análisis causa-raíz se encuentran en las tablas 10 a la 17.

El significado de las abreviaturas es el siguiente:

- FF = Frecuencia de fallos (fallos/año).
- TPPR = Tiempo promedio para reparar (horas).
- R = Riesgo en forma de pérdida de producción anual ($m^3/año$).

Cabe destacar que la herramienta está diseñada para expresar el riesgo en términos monetarios, pero para esto se necesita información financiera a la cual no se obtuvo acceso, así que por recomendación del director de la unidad de control electromecánico se procedió a estimar el riesgo en términos de pérdidas de producción, ya que se cuenta con una estimación de los tiempos de reparación, la producción de la planta ($18 m^3/hora$) y un estimado del impacto en la producción (el cual se tomó del análisis de criticidad de los equipos), así que resulta viable analizar los equipos desde esta perspectiva. Posteriormente, se multiplicó la frecuencia de fallos al año, el tiempo promedio para reparar en horas y la

producción de metros cúbicos por hora, finalmente, se multiplicó por el factor de impacto en la producción.

Tabla 10

Datos de la planta de emergencia y sus modos de fallo

Datos recopilados sobre la planta generadora de emergencia.				
¿Cual es el equipo analizado?		¿Que fue lo que ocurrió y cuales fueron los síntomas?		
Planta de emergencia 05_01_PDE01_010		Fallos en el arranque y funcionamiento de la planta de emergencia SDMO J60U.		
¿Cuándo ocurrió el problema?		¿Donde ocurrió el problema?		
2021		Sistema 010. Planta de emergencia		
¿Cuales son los posibles modos de fallos?				
N°	Modos de fallo	FF (fallos/año)	TPPR (horas)	R (m³/año)
1	Fallo en el botón de parada.	0,33	0,25	1,12
2	Fallo de sensores.	1,00	2,00	27,00
3	Fallo en mangueras de combustible.	0,17	6,00	13,45
4	Fallo en la batería.	0,00	0,00	0,00
5	Fugas.	0,00	0,00	0,00
6	Fallo en alternador	0,00	0,00	0,00
7	Cableado	0,00	0,00	0,00
8	Toma corrientes	0,00	0,00	0,00
9	Controlador generador	0,00	0,00	0,00
10	Controlador transferencia	0,33	6,00	26,97
11	Tanque de combustible	0,00	0,00	0,00
12	Carburador	0,00	0,00	0,00
13	Purga de agua filtro combustible	0,00	0,00	0,00
14	Fusibles	0,00	0,00	0,00

Tabla 11*Análisis causa-raíz de los modos de fallos de la planta de emergencia*

N°	Modos de Fallo	Hipótesis Tipo-A. Probabilidad Alta Tipo-B. Probabilidad Media Tipo-C. Probabilidad Baja	Causas Raíces Físicas (F) Humanas (H) Latentes (L)	Recomendaciones. (Identificar responsables y tiempos de ejecución).
1	Fallo en el botón de parada.	1.1. Mal uso. (A).	1.1.1. Falta de capacitación de operarios. (L). 1.1.2. Ausencia de manuales de procedimiento (L).	- Diseño de manuales de operación del equipo, tomando como referencia el manual del equipo (Jefe unidad de mantenimiento, 1 día). - Difundir la información acerca del uso del equipo entre los operarios (Jefe unidad de mantenimiento, 1 hora).
		1.2. Defecto de fábrica. (C).	1.2.1. Componente con daños de fábrica. (F). 1.2.2. Descuido durante la instalación. (H).	- Revisión del adecuado funcionamiento de los componentes (Técnicos de mantenimiento, 1 hora). - Revisión y aceptación de condiciones por parte de los operarios, técnicos y Jefe unidad de mantenimiento.
		1.3. Inadecuado mantenimiento. (B).	1.3.1. Falta de un adecuado plan de mantenimiento (L). 1.3.2. Incumplimiento de las atenciones periódicas (H).	- Diseño y desarrollo de un adecuado plan de mantenimiento del equipo (Jefe unidad de mantenimiento, 4 semanas). - Ejecución de arranques semanales programados (Operarios, 30 min).
2	Fallo de sensores.	2.1. Falta de atención y mantenimiento. (A).	2.1.1. Equipo mal atendido. (H). 2.1.2. Componente fuera de los planes de mantenimiento (L).	- Incluir el componente dentro de los planes de mantenimiento (Jefe unidad de mantenimiento, 4 semanas). - Darle seguimiento al equipo con el fin de comprobar su adecuado funcionamiento (Técnicos de mantenimiento).
		2.2. Defecto de fábrica. (C).	2.2.1. Componente con daños de fábrica. (F). 2.2.2. Descuido durante la instalación. (H).	- Revisión del adecuado funcionamiento de los componentes (Técnicos de mantenimiento, 1 hora). - Revisión y aceptación de condiciones por parte de los operarios, técnicos y Jefe unidad de mantenimiento.
		2.3. Condiciones de funcionamiento inadecuadas. (B).	2.3.1. Temperatura ambiente inadecuada (F). 2.3.2. Suciedad acumulada (F).	- Determinar cuales son los parámetros de funcionamiento aceptables para el sensor (Jefe unidad de mantenimiento, 4 semanas). - Comprobar que el sensor funciona dentro de los parámetros definidos (Técnicos de mantenimiento, 30 min).

3	Fallo en mangueras de combustible.	3.1. Descuido y falta de atención. (A).	3.1.1. Equipo mal atendido. (H). 3.1.2. Componente fuera de los planes de mantenimiento (L).	- Incluir el componente dentro de los planes de mantenimiento (Jefe unidad de mantenimiento, 4 semanas). - Darle seguimiento al equipo con el fin de comprobar su adecuado funcionamiento (Técnicos de mantenimiento).
		3.2. Defecto de fábrica. (C).	3.2.1. Componente con daños de fábrica. (F). 3.2.2. Limite de vida útil. (F).	- Comprobar el avance del deterioro de las mangueras con el fin de programar la sustitución de las mismas. (Técnicos de mantenimiento, 2 horas).
10	Fallo en la transferencia	10.1. Inadecuado mantenimiento. (A).	10.1.1. Equipo excluido de los planes de mantenimiento. (H). 10.1.2. Condiciones de trabajo inadecuadas. (F).	- Comprobar que los contactores no tienen un acelerado deterioro por condiciones de humedad o suciedad. (Técnicos de mantenimiento, 2 horas). Incluir el componente en los planes de mantenimiento. (Jefe unidad de mantenimiento, 4 semanas).
		10.2. Defecto de fábrica. (C).	10.2.1. Componente con daños de fábrica. (F). 10.2.2. Limite de vida útil. (F).	- Comprobar que los contactores funcionan de manera adecuada mediante inspecciones de mantenimiento y puestas en marcha programadas. (Técnicos de mantenimiento, 2 horas).

Tabla 12

Datos del tablero principal y sus modos de fallo

Datos recopilados sobre el tablero principal.				
¿Cual es el equipo analizado?		¿Que fue lo que ocurrió y cuales fueron los síntomas?		
Tablero principal 05_01_TAP01_070		Fallo en uno de los disyuntores termomagnéticos.		
¿Cuándo ocurrió el problema?		¿Donde ocurrió el problema?		
2021		Sistema 070. Sistemas eléctricos en casas plantas		
¿Cuales son los posibles modos de fallos?				
N°	Modos de fallo	FF (fallos/año)	TPPR (horas)	R (m³/año)
1	Daño en disyuntor termomagnético	1,00	0,25	3,38
2	Problema de cableado	0,00	0,00	0,00
3	Puntos calientes	0,00	0,00	0,00

Tabla 13*Análisis causa-raíz de los modos de fallos del tablero principal*

N°	Modos de Fallo	Hipótesis Tipo-A. Probabilidad Alta Tipo-B. Probabilidad Media Tipo-C. Probabilidad Baja	Causas Raíces Físicas (F) Humanas (H) Latentes (L)	Recomendaciones. (Identificar responsables y tiempos de ejecución).
1	Fallo en disyuntor termomagnético.	1.1. Mala instalación. (C).	1.1.1. Descuido de los encargados de la instalación. (H). 1.1.2. Inexperiencia. (L).	- Comprobar las nuevas instalaciones o adquisiciones para aceptar las condiciones (Jefe unidad de mantenimiento, 1 día).
		1.2. Defecto de fábrica. (B).	1.2.1. Componente con daños de fábrica. (F). 1.2.2. Daños durante transporte o instalación. (H).	- Comprobar el adecuado funcionamiento de cada componente del tablero antes de aceptar las obras realizadas (Jefe unidad de mantenimiento, 1 día).
		1.3. Inadecuado mantenimiento. (B).	1.3.1. Falta de un adecuado plan de mantenimiento (L). 1.3.2. Incumplimiento de las atenciones periódicas (H).	- Desarrollar un adecuado plan de mantenimiento para el tablero principal (Jefe unidad de mantenimiento, 4 semanas). - Realizar las atenciones e inspecciones periódicas (Técnicos de mantenimiento, 1 hora).
2	Problemas de cableado.	2.1. Falta de atención y mantenimiento. (A).	2.1.1. Desajustes del cableado por desatención (H). 2.1.2. Oxidación por causa de la humedad (F).	- Comprobar si hay cables flojos o con hilos dañados por ajuste excesivo (Técnicos de mantenimiento, 15 min). - Comprobar que no existan falsos contactos por oxidación o sulfatación (Técnicos de mantenimiento, 10 min).
		2.2. Defecto de fábrica. (C).	2.2.1. Defectos en el aislante del cable (F).	- Comprobar que no existan porciones de aislante derretido o faltante (Técnicos de mantenimiento, 15 min).
3	Puntos calientes.	3.1. Descuido y falta de atención. (A)	3.1.1. Aumento de temperatura sin detectar, por falta de un análisis termográfico (L). 3.1.2. Aumento de temperatura por desatención del tablero (L).	- Proponer un plan de mantenimiento que incluya termografías periódicas en el tablero principal (Jefe unidad mantenimiento, 4 semanas). - Inspeccionar fusibles, terminales, disyuntores, contactores, entre otros (Técnicos de mantenimiento, 1 hora).
		3.2. Desconocimiento de las adecuadas temperaturas de trabajo. (C).	3.2.1. Falta de capacitación. (L)	- Investigar y anotar las temperaturas de terminales, disyuntores, barras, entre otros, con el fin de conocer los rangos de temperaturas aceptables (Jefe unidad de mantenimiento y técnicos de mantenimiento, 1 día).
		3.3. Diseño erróneo de la casa/planta. (C).	3.3.1. Fallos humanos durante el diseño, lo que impide la correcta circulación del aire (H)	- Comprobar que el espacio físico donde se ubica el tablero principal permite una adecuada circulación del aire. (Jefe unidad de mantenimiento, 1 día).

Tabla 14*Datos de las bombas de pre y poscloración y sus modos de fallo*

Datos recopilados sobre las bombas de cloración.				
¿Cual es el equipo analizado?		¿Que fue lo que ocurrió y cuales fueron los síntomas?		
Bombas de Pre y Post cloración 05_01_BCL02_080 05_01_BCL03_080		Fallos en el arranque de las bombas de pre y post cloración.		
¿Cuándo ocurrió el problema?		¿Donde ocurrió el problema?		
2021		Sistema 080. Pre y post cloración		
¿Cuales son los posibles modos de fallos?				
Nº	Modos de fallo	FF (fallos/año)	TPPR (horas)	R (m³/año)
1	Impulsor atascado	1,00	12,00	40,50
2	Fallos en el sistema de control	2,00	12,00	81,00
3	Daño en sellos	1,00	6,00	20,25
4	Daño en rodamientos	0,00	0,00	0,00
5	Fugas en línea de succión	0,00	0,00	0,00
6	Vibraciones excesivas	0,00	0,00	0,00
7	Temperaturas excesivas	0,00	0,00	0,00
8	Rotura de eje	0,00	0,00	0,00

Tabla 15*Análisis causa-raíz de los modos de fallos de las bombas de pre y poscloración*

N°	Modos de Fallo	Hipótesis Tipo-A. Probabilidad Alta Tipo-B. Probabilidad Media Tipo-C. Probabilidad Baja	Causas Raíces Físicas (F) Humanas (H) Latentes (L)	Recomendaciones. (Identificar responsables y tiempos de ejecución).
1	Impulsor atascado.	1.1. Uso inadecuado del equipo (A).	1.1.1. Descuido del operario. (H). 1.1.2. Ausencia de manuales de procedimiento. (L).	- Desarrollar un manual de uso, que evite el accionamiento de las bombas cuando el sistema sigue expuesto a la presión de la red. (Jefe unidad de mantenimiento, 4 semanas). - Capacitación de los operarios. (Jefe unidad de mantenimiento, 1 hora).
		1.2. Elementos indeseados dentro de la tubería. (B).	1.2.1. Succión de elementos sólidos. (F). 1.2.2. Acumulación de minerales. (F).	- Implementar filtros en la línea de succión de las bombas para evitar el ingreso de elementos sólidos. (Técnicos de mantenimiento).
2	Fallos en el sistema de control.	2.1. Ausencia de una programación de PLC adecuada (A).	2.1.1. Ausencia de un PLC con una programación que impida los accionamientos accidentales. (L).	- Implementar un sistema de control con PLC que impida la activación de las bombas cuando el sistema aun se encuentra expuesto a la presión de la red. (Jefe unidad de mantenimiento, 4 semanas).
		2.2. Ausencia de sensores de control de nivel (A).	2.2.1. Falta de desarrollo de una justificación de la necesidad de los sensores de nivel. (L).	- Determinar la necesidad de un sensor que determine el nivel del agua del tanque para evitar el ingreso de aire en la bomba. (Jefe unidad de mantenimiento, 4 semanas).
3	Daño en sellos.	3.1. Defecto de fabrica. (B).	3.1.1. Limite de vida útil. (F). 3.1.2. Componente con daños de fabrica. (F).	- Comprobar el adecuado funcionamiento de cada componente antes de aceptar los equipos o componentes. (Jefe unidad de mantenimiento, 1 día).
		3.2. Acumulación de minerales. (B).	3.2.1. Falta de uso de las bombas, lo que provoca acumulación de minerales. (L).	- Desarrollar un plan de mantenimiento que contenga puestas en marcha periódicas, esto para evitar que se acumulen minerales en el sello mecánico que provocan el fallo del sello. (Jefe unidad de mantenimiento, 4 semanas).

Tabla 16*Datos de los actuadores neumáticos y sus modos de fallo*

Datos recopilados sobre los actuadores neumáticos.				
¿Cual es el equipo analizado?		¿Que fue lo que ocurrió y cuales fueron los síntomas?		
Actuadores neumáticos 05_01_ACN01_120 hasta el 05_01_ACN32_120		Fallos de apertura y cierre de los actuadores neumáticos del sistema de filtros.		
¿Cuándo ocurrió el problema?		¿Donde ocurrió el problema?		
2021		Sistema 120. Lavado de filtros		
¿Cuales son los posibles modos de fallos?				
Nº	Modos de fallo	FF (fallos/año)	TPPR (horas)	R (m³/año)
1	Fallos de los actuadores	15,00	2,00	50,63
2	Fallo de sensores	10,00	1,00	16,88
3	Filtración de arena	5,00	2,00	16,88
4	Desgaste de componentes mecánicos	1,00	12,00	20,25
5	Fallo de la red de aire comprimido	3,00	2,00	81,00
6	Fallo del bloque de electroválvulas	10,00	4,00	67,50

Tabla 17

Análisis causa-raíz de los modos de fallos de los actuadores neumáticos

N°	Modos de Fallo	Hipótesis Tipo-A. Probabilidad Alta Tipo-B. Probabilidad Media Tipo-C. Probabilidad Baja	Causas Raíces Físicas (F) Humanas (H) Latentes (L)	Recomendaciones. (Identificar responsables y tiempos de ejecución).
1	Fallo de la válvula que esta en serie con las tuberías.	1.1. Defecto de fábrica. (C).	1.1.1. Limite de vida útil. (F). 1.1.2. Componente con daños de fabrica. (F).	- Comprobar el adecuado funcionamiento de cada componente antes de aceptar las obras realizadas (Jefe unidad de mantenimiento, 1 día).
		1.2. Condiciones de operación inadecuadas. (A).	1.2.1. Equipos inadecuados para las condiciones de trabajo. (F). 1.2.2. Presión incorrecta. (F).	- Comprobar las capacidades de los actuadores y comparar contra las condiciones de trabajo de la planta (Jefe unidad de mantenimiento, 1 día).
		1.3. Incorrecta selección del equipo. (A).	1.3.1. Errores de diseño del sistema. (H)	- Comprobar con el proveedor que los equipos cumplen con las especificaciones solicitadas ((Jefe unidad de mantenimiento, 1 hora).

2	Fallo de sensores.	2.1. Ajustes incorrectos del sensor. (C).	2.1.1. Falta de capacitación de los técnicos. (L). 2.1.2. Procedimientos incorrectos de los técnicos. (H).	- Desarrollar un plan de mantenimiento que incluya los sensores y su respectiva inspección así como procedimientos para el ajuste de los mismos ((Jefe unidad de mantenimiento, 4 semanas).
		2.2. Condiciones de operación inadecuadas. (A).	2.2.1. Excesivos golpes de presión. (F). 2.2.2. Acumulación de suciedad (F).	- Implementar sistemas que reduzcan el golpe de presión (Jefe unidad de mantenimiento y técnicos de mantenimiento).
3	Filtración de arena.	3.1. Incorrecto diseño de tuberías. (B).	3.1.1. Fallos por parte de los diseñadores del sistema de tuberías. (H).	- Comprobar el diseño de las tuberías para implementar cambios que eviten que la arena llegue hasta las válvulas (Jefe unidad de mantenimiento).
		3.2. Incorrecto diseño de los filtros de arena. (B).	3.2.1. Errores en el diseño de los filtros de arena, lo que permite que la arena llegue hasta las válvulas. (H).	- Comprobar el diseño de los filtros de arena para implementar cambios que eviten que la arena llegue hasta las válvulas (Jefe unidad de mantenimiento).
4	Desgaste de componentes mecánicos.	4.1. Defecto de fábrica. (C).	4.1.1. Limite de vida útil. (F). 4.1.2. Componente con daños de fabrica. (F).	- Comprobar el adecuado funcionamiento de cada componente antes de aceptar los equipos y los trabajos realizados (Jefe unidad de mantenimiento, 1 día).
		4.2. Condiciones de operación inadecuadas. (A).	4.2.1. Inadecuada selección de equipos. (H). 4.2.2. Condiciones como presión y suciedad excesivas. (F).	- Determinar las condiciones de trabajo para solicitar equipos que soporten dichas condiciones. (Jeje unidad de mantenimiento).
5	Fallo en la red de aire comprimido.	5.1. Inadecuado mantenimiento. (C).	5.1.1. Fugas en tuberías por falta de atención. (L). 5.1.2. Fallos de fajas y otros componentes de los compresores (F).	Desarrollar planes de mantenimiento para el sistema de aire comprimido que incluyan los compresores, filtros, líneas de distribución, entre otros (Jefe unidad de mantenimiento, 4 semanas).
		5.2. Defectos del sistema. (B).	5.2.1. Diseño erróneo del sistema de aire comprimido (L).	Comprobar que las condiciones de diseño del sistema, como la selección de compresores, líneas de distribución, presión, etc., sean las optimas (Jefe unidad de mantenimiento, 4 semanas).
6	Fallo del bloque de electroválvulas neumáticas.	5.1. Defectos mecánicos. (B).	6.1.1. Mecanismo interno dañado. (F). 6.1.2. Condiciones de trabajo inadecuadas. (L).	- Comprobar que las condiciones de trajo como la presión o la humedad ambiente no provoque daños en el vástago interno o en los mecanismos de encaje de mangueras (jefe unidad de mantenimiento y técnicos de mantenimiento).
		5.2. Defectos eléctricos. (A).	6.2.1. Daño en las bobinas de la electroválvula. (F).	- Comprobar que la alimentación eléctrica sea la adecuada para las características de las bobinas (Técnicos de mantenimiento, 15 min).

Desarrollo del análisis de modos y efectos de fallos (FMEA)

Una vez que se llevó a cabo el análisis causa-raíz de los equipos críticos, se profundizó el estudio de sus modos de fallo, con lo que se desarrolló un plan de mantenimiento específico para estos. Los resultados de los análisis de modos y efectos de fallos de los equipos críticos se aprecian en las Tablas 18 a la 25.

Tabla 18

Análisis FMEA de la planta generadora

Planta generadora KOHLER SDMO J60U. Nomenclatura: 05_01_PDE01_010		
Funciones	Fallo funcional / Modos de fallo	Consecuencia de los fallos
<p>1. Suministrar alimentación eléctrica a todos los equipos indispensables para el proceso de producción de agua potable en caso de un corte del servicio eléctrico.</p> <p>Parámetros: El equipo debe suministrar una potencia principal de 75 KVA a 220 Voltios conexión trifásica, con una frecuencia de 60 Hz, un factor de potencia de 0.8 y una velocidad de 1800 rpm.</p>	<p>1.a. La planta generadora no enciende.</p> <p>1.a.1. Problemas en la transferencia (enclavamientos desalineados o defectuosos, retención magnética, etc.).</p> <p>1.a.2. Problemas de la batería (dificultades de arranque, bornes fundidos, rápida descarga, etc.).</p> <p>1.a.3. Problemas con los sensores.</p> <p>1.a.4. Problemas en los cuadros de mando o botón de emergencia.</p> <p>1.a.5. Alarmas encendidas (presión de aceite, temperatura del agua, fallo de arranque, sobre velocidad (mín./máx.), bajo nivel de combustible, parada de emergencia).</p>	<p>1.a.1.a. Fallo evidente (No), Afecta la seguridad, higiene o ambiente (No), Efecto operacional (Pérdida total de la producción en caso de un corte del servicio eléctrico). Acciones: Revisión y activación de los contactores.</p> <p>1.a.2.a. Ídem 1.a.1.a. Acciones: Revisión de las conexiones eléctricas, niveles de ácido o sustitución de la batería en caso de avería.</p> <p>1.a.3.a. Ídem 1.a.1.a. Acciones: Comprobar en el cuadro de mando el funcionamiento de los sensores.</p> <p>1.a.4.a. Fallo evidente (Si), Afecta la seguridad, higiene o ambiente (No), Efecto operacional (Pérdida total de la producción en caso de un corte del servicio). Acciones: Revisar el estado del botón de emergencia, revisión y/o sustitución del fusible de protección de la tarjeta electrónica.</p> <p>1.a.5.a. Ídem 1.a.4.a. Acciones: Comprobar que la presión de aceite este entre 1 y 5 bares, comprobar que no haya fugas. Comprobar el nivel de refrigerante y su temperatura (no puede pasar de 94 °C). Suministrar combustible al grupo electrógeno.</p>
	<p>1.b. La planta no entrega los 75 KVA.</p> <p>1.b.1. Problemas con el motor Diesel (carburador, aceites, válvula de selección de la alimentación del carburante, mangueras de combustible, circuito de refrigeración, filtro de aceite, etc.).</p>	<p>1.b.1.a. Fallo evidente (No), Afecta la seguridad, higiene o ambiente (No), Efecto operacional (Pérdida total de la producción en caso de un corte del servicio). Acciones: Comprobar valores de temperatura, nivel de aceite, etc. Comprobar el estado de las mangueras de combustible y demás componentes.</p>

Tabla 19*Plan de mantenimiento de la planta generadora*

Plan de mantenimiento. Planta generadora SDMO, modelo J60U. Nomenclatura: 05_01_PDE01_010						
Mto	Mod fallo	Estrategias de mantenimiento	Tipo de tarea	Frecuencia	N° de técnicos	H-H de ejecución
Mantenimiento de la transferencia	1.a.1.	(1) Operar el interruptor de transferencia para verificar el funcionamiento del mismo (Se recomienda conectar una carga mientras se realiza la transferencia).	Preventivo	Mensual	1	0,25 horas (15 min)
	1.a.1.	(2) Apriete de los tornillos de fijación de las orejetas del contactor.	Preventivo	Semestral	2	0,25 horas (15 min)
	1.a.1.	(3) Des energizar para verificar el estado de los contactos principales portadores de corriente. Reemplazar el interruptor cuando los contactos estén picados o desgastados.	Preventivo	Anual	2	0,50 horas (30 min)
	1.a.1.	(4) Limpieza del interruptor de transferencia automática (cepillar y aspirar cualquier acumulación de polvo).	Limpieza	Anual	1	0,15 horas (10 min)
	1.a.1.	(5) Fallo de los contactores. Reemplazo de contactores en caso de pestillos y enclavamientos defectuosos, reemplazo de interruptores en caso de operador manual dañado.	Correctivo	-	2	-
Mantenimiento de la batería	1.a.2.	(6) Inspección del estado de la batería en busca de sulfatación, calentamiento del ácido, cortocircuitos, etc. Revisar cargadores de la batería.	Predictivo	Semestral	1	0,25 horas (15 min)
	1.a.2.	(7) Limpieza de los bornes de la batería. Apriete de las extremos de los cables de la batería o sustitución de los mismos.	Limpieza	Semestral	1	0,15 horas (10 min)
	1.a.2.	(8) Fallo de la batería. Sustitución de la batería en caso de sulfatación, formación de gas y defectos y fallos a nivel interno.	Correctivo	-	1	-

Mantenimiento cuadro de mando NEXYS	1.a.4.	<p>(9) Arranque del equipo. Antes de proceder con la revisión del mando de la planta generadora debe consultar las figuras 12, 13 y 14 para entender el funcionamiento de cada elemento así como su significado.</p> <p>(9.1) Encendido del mando. Asegúrese de que el disyuntor del grupo electrógeno este abierto, conecte la batería del grupo electrógeno, gire el conmutador de llave a la posición "ON" (sin forzarlo). Todos los indicadores luminosos se deben encender durante dos segundos (si no sucede así debe comprobar y sustituir el fusible de protección de la tarjeta electrónica). Después de los dos segundos solo el indicador luminoso "ON" debe permanecer encendido, si el indicador de parada de emergencia, el indicador de alarma o el indicador de fallo se enciende debe resolver el problema antes de continuar. (para solucionar vea la sección 10 de mantenimiento).</p> <p>(9.2) Revise la pantalla LCD y compruebe que la tensión de la batería sea de mínimo 12 voltios.</p> <p>(9.3) Arranque. Pulse (una única pulsación) el botón verde "START", si el motor esta equipado con un sistema de precalentamiento de aire transcurren 10 segundos antes de ponerse en marcha el motor, si el motor no tiene un sistema de precalentamiento o si ya finalizó el tiempo de precalentamiento el motor debe arrancar. El indicador luminoso número 3 (ver figura 10) parpadea desde que se pulsa el botón "START" hasta que se estabilicen la frecuencia y la tensión, una vez estabilizado el equipo el indicador luminoso número 3 se enciende de manera permanente. El número límite de intentos sucesivos y automáticos de arranque es de 3.</p> <p>(9.4) Parada. Abra el disyuntor situado en la parte inferior de la consola, permita que el motor gire en vacío 2 minutos para que pueda refrigerarse, pulse el botón "STOP" para detener el grupo electrógeno, desconecte el mando Nexys girando la llave a la posición "OFF" sin forzarla.</p>	Preventivo	Mensual	1	0,50 horas (30 min)
	1.a.3. 1.a.5.	<p>(10) Solución de alarmas y fallos. La aparición de un fallo o una alarma provoca la visualización de un pictograma o un código de fallo con mensaje SOS. Si el indicador luminoso de alarma y/o el indicador luminoso de fallo están encendidos debe ir desplazándose de pantalla a pantalla pulsando el botón de avance de pantallas (botón blanco) hasta encontrar el pictograma activo o el mensaje SOS.</p> <p>Nota: La pantalla de fallo o de alarma desaparece cuando ya no hay ningún fallo o alarma. En esta pantalla solo aparece un fallo (el que ha provocado la parada del grupo electrógeno). Si aparecen uno o mas fallos tras el primer fallo, no podrán visualizarse hasta que no se haya hecho reset del primer fallo.</p>	Correctivo	-	-	-

Mantenimiento cuadro de mando NEXYS	<p>(10.1) Listado de los fallos que provocan la parada del grupo electrógeno.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fallo de presión de aceite. Verifique el nivel de aceite y compruebe que no existan fugas (consulte la sección 10 de mantenimiento). También debe revisar que los cables del sensor estén firmes y sin daños. - Fallo de temperatura del motor. Compruebe que los cables del sensor estén firmes y sin daños. También puede consultar la sección de mantenimiento (12). - Fallo de arranque. Verifique el voltaje de la batería. También puede consultar la sección de mantenimiento (17). - Fallo de bajo nivel de carburante. Compruebe el nivel de carburante. Compruebe que los cables del sensor estén firmes y no presenten daños. <p>1.a.3. - Fallo del líquido de refrigerante. Verifique el nivel de refrigerante y compruebe que no existan fugas (consulte la sección de mantenimiento 12). También debe revisar que los cables del sensor estén firmes y sin daños.</p> <p>1.a.5. - Fallo de subvelocidad (ver celda con la letra K). Compruebe el estado del filtro de aire (consulte la sección 13 de mantenimiento).</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fallo de parada de emergencia. No coloque el equipo nuevamente en funcionamiento hasta verificar el motivo por el que se pulsó el botón de parada de emergencia. - Fallo "STOP". Este fallo aparece si se pulsa el botón STOP mientras el indicador luminoso "AUT" parpadea indicando que el equipo funciona en modo automático. Verifique porque se pulsó el botón antes de encender nuevamente. 	Correctivo	-	-	-
Mantenimiento del motor	<p>1.a.5. (11) Comprobar el nivel de aceite. Retire la varilla de nivel de aceite y limpie con un paño desechable, inserte la varilla en la guía y vuelva a extraerla para comprobar el nivel de aceite (la marca de aceite debe estar en medio de las marcas de nivel alto y nivel bajo de la varilla), cuando termine recolóque la tapa de la boca de llenado. Retire el polvo y la suciedad acumulada en las superficies y compruebe el estado de las mangueras del sistema en busca de fugas de aceite, también revise que no haya goteo de aceite en el piso de la unidad.</p>	Preventivo	Mensual	1	0,25 horas (15 min)

Mantenimiento del motor	1.a.5.	(12) Comprobar el nivel de refrigerante. Quite el tapón del radiador solo después de que el motor se haya enfriado a temperatura ambiente, si el nivel es bajo añada refrigerante hasta el nivel especificado (no añadir refrigerante inmediatamente después de una parada). Retire el polvo y la suciedad acumulada en las superficies y compruebe el estado de las mangueras y el circuito de refrigeración en busca de fugas de refrigerante.	Preventivo	Mensual	1	0,25 horas (15 min)
	1.b.1.	(13) Comprobar el indicador de obstrucción del filtro de aire, si el indicador esta en rojo, limpie o sustituya el filtro de aire. Limpiar con aire comprimido a una presión de 7 kg/cm ² a cierta distancia. (ver figura 15).	Preventivo	Mensual	1	0,50 horas (30 min)
	1.b.1.	(14) Depósito de combustible. Desechar en un recipiente de uno a dos litros de combustible por la llave de descarga para eliminar el agua y materias extrañas. Cierre la llave y deposite el combustible.	Rutinario	Mensual	1	0,15 horas (10 min)
	1.b.1.	(15) Sustitución de aceite. Una vez detenido el motor, vacíe el aceite por la boca de descarga, asegure el apriete del tapón de descarga, quite la tapa y llene el cárter hasta el nivel indicado en la varilla de nivel. (ver figura 16 y 17).	Sustitución	Bimensual	1	0,50 horas (30 min)
	1.b.1.	(16) Inspección y ajuste de la correa. Retire la cubierta, afloje los pernos de retención del alternador, accione el alternador para ajustar la correa, apriete los pernos de retención del alternador, coloque la cubierta.	Preventivo	Bimensual	2	0,50 horas (30 min)
	1.b.1.	(17) Inspección del arrancador. Comprobar si el arrancador presenta daños, eliminar polvo y suciedad con aire comprimido.	Inspección	Semestral	1	0,15 horas (10 min)
	1.b.1.	(18) Inspección del alternador. Comprobar que no presente daños, eliminar suciedad con aire comprimido, retirar la correa y comprobar la suavidad del movimiento al hacer girar la polea con la mano.	Inspección	Semestral	1	0,25 horas (15 min)
	1.b.1.	(19) Reapriete de pernos y tuercas del motor.	Preventivo	Semestral	2	0,50 horas
	1.b.1.	(20) Sustitución del refrigerante. Vacíe el refrigerante del radiador, cierre la llave y tapón de descarga, quite el tapón del radiador, agregue la concentración de refrigerante, agregue agua lentamente hasta la línea de nivel, compruebe si hay fugas de refrigerante en el radiador, coloque el tapón, ponga en marcha el motor durante 10 segundos mientras tira a la vez de la palanca de parada. Detenga el funcionamiento durante 1 minuto y luego repita la operación dos o tres veces para purgar el sistema de refrigeración.(ver figura 16 y 17).	Sustitución	2 años	1	0,50 horas (30 min)

Tabla 20*Análisis FMEA del tablero principal*

Tablero principal EATON. Nomenclatura: 05_01_TAP01_070		
Funciones	Fallo funcional / Modos fallo	Consecuencia de los fallos
<p>1. Proteger a los equipos y a los funcionarios de la planta mediante los disyuntores termomagnéticos, los cuales a su vez cumplen con una doble función que es la de aportar un medio de desconexión eléctrica.</p>	<p>1.a. Desprotección de los tableros secundarios y/o equipos.</p>	<p>1.a.1.a. Fallo evidente (No), Afecta la seguridad, higiene o ambiente (Si), Efecto operacional (Pérdida total de la producción en caso de un corte del servicio). Acciones: Sustitución de los disyuntores dañados.</p> <p>1.a.2.a. Ídem 1.a.1.a. Acciones: Comprobar, mediante software si es posible, que la activación de los disyuntores funcione en cascada (disparo de la protección mas cercana).</p>
	<p>1.a.1. Problemas con disyuntores termomagnéticos.</p> <p>1.a.2. Problemas de diseño del sistema (no dispara la protección mas cercana).</p>	
<p>2. Aportar un medio de conexión seguro y eficiente a las tres fases (debido a que es un sistema trifásico) y un medio de conexión a tierra.</p>	<p>2.a. Conexiones no seguras y/o ineficientes.</p>	<p>2.a.1.a. Fallo evidente (No), Afecta la seguridad, higiene o ambiente (Si), Efecto operacional (Pérdida total de la producción en caso de un corte del servicio). Acciones: Comprobar la distribución de las cargas, objetos ajenos al sistema en contacto con las barras y cualquier otra condición que provoque calentamiento.</p> <p>2.a.2.a. Ídem 2.a.1.a. Acciones: Solucionar falsos contactos debidos a desajustes, suciedad o sulfatos en el cable.</p>
	<p>2.a.1. Problemas de excesivo calentamiento en las barras de conexión.</p> <p>2.a.2. Problemas de cableado.</p>	

Tabla 21*Plan de mantenimiento del tablero principal*

Plan de mantenimiento. Tablero EATON, serie Pow R - Line. Nomenclatura: 05_01_TAP01_070						
Mto.	Modo fallo	Estrategias de mantenimiento	Tipo de tarea	Frecuencia	N° de técnicos	H-H de ejecución
Mantenimiento del tablero y resolución de problemas	1.a.1. 2.a.1. 2.a.2.	(1). Limpieza. Eliminar el polvo y la suciedad, preferiblemente con una aspiradora. Si utiliza paños o trapos asegúrese de que estos no desprendan pelusas y nunca utilice disolventes para limpiar el equipo. Tampoco se recomienda el uso de aire comprimido.	Limpieza	Trimestral	1	0,15 horas (10 min)
	2.a.1.	(2). Ventilación. Asegúrese de que las rejillas y puertos de ventilación no estén obstruidos por la acumulación de suciedad.	Preventivo	Trimestral	1	0,15 horas (10 min)
	1.a.1.	(3). Inspección de disyuntores y fusibles. Inspeccione visualmente los disyuntores en busca de signos de decoloración, agrietamiento, partes quemadas, sobrecalentadas o rotas. Compruebe el funcionamiento del mecanismo de martillo (interruptor), asegúrese de que abra y cierre y de que se mantiene sostenido en cualquier posición, si no es así, reemplácelo. En el caso de los fusibles, inspeccione visualmente el mecanismo de conmutación y las conexiones. Si presenta signos de agrietamiento, decoloración o quemaduras sustitúyalos.	Sustitución	Anual	1	0,50 horas (30 min)
	2.a.2.	(4). Inspección general. Inspeccione la barra colectora y los cables en busca de daños visibles, verifique el par de apriete de las conexiones. Inspeccione si hay hilos de alambre rotos, pellizcados o dañados. Compruebe la integridad del aislamiento de las conexiones, el aislamiento de las barras y demás estructuras en el cuadro de distribución. Compruebe que no hay acumulación de agua o humedad en cualquier parte del tablero. No intente limpiar o reparar el equipo dañado por el agua.	Inspección	Anual	1	0,50 horas (30 min)
	2.a.1.	(5). Ventilación. Asegúrese de que las rejillas y puertos de ventilación no estén obstruidos por la acumulación de suciedad.	Preventivo	Trimestral	1	0,25 horas (15 min)
	2.a.2.	(6). Corto circuitos, fallas a tierra y sobre cargas. Realizar una evaluación exhaustiva para identificar y corregir el evento de origen. Inspeccionar todos los conductores, materiales aislante y dispositivos de protección para reemplazar los que estén dañados. No energice de nuevo hasta corregir el evento de origen.	Correctivo	-	2	-

Tabla 22

Análisis FMEA de las bombas de cloración

Bombas de cloración G y L Pumps. Nomenclatura: 05_01_BCL01_080 // BCL 01 a BCL 03		
Funciones	Fallo funcional / Modos fallo	Consecuencia de los fallos
<p>1. Suministrar un flujo de agua a través de los eyectores para producir una mezcla de agua y cloro que posteriormente es inyectada en el agua procedente de los filtros, con el fin de desinfectar dicha agua.</p> <p>Los parámetros son los siguientes: Caudal de 8,4 lts/s a una presión de 2,76 Bar.</p>	<p>1.a. La bomba no transfiere nada de agua.</p>	
	1.a.1. Problemas con el suministro eléctrico.	<p>1.a.1.a. Fallo evidente (No), Afecta la seguridad, higiene o ambiente (No), Efecto operacional (Afectación en el proceso de producción mientras la línea de la red externa del AyA no provea el agua). Acciones: Comprobar la alimentación eléctrica de las bombas.</p>
	1.a.2. Motor dañado (cortocircuito).	<p>1.a.2.a. Fallo evidente (Si), Afecta la seguridad, higiene o ambiente (Si), Efecto operacional (Afectación en el proceso de producción mientras la línea de la red externa del AyA no provea el agua). Acciones: Sustituir el equipo dañado.</p>
	1.a.3. Eje del impulsor quebrado.	<p>1.a.3.a. Fallo evidente (Si), Afecta la seguridad, higiene o ambiente (No), Efecto operacional (Afectación en el proceso de producción mientras la línea de la red externa del AyA no provea el agua). Acciones: Desmontar la bomba y reparar o sustituir el equipo en caso de ser irreparable.</p>
	1.a.4. Impulsor atascado.	<p>1.a.4.a. Fallo evidente (No), Afecta la seguridad, higiene o ambiente (Si), Efecto operacional (Pérdida total de la producción en caso de un corte del servicio). Acciones: Desmontar el equipo y liberar el impulsor del objeto que provoca el atasco.</p>
	1.a.5. Tubería de succión bloqueada por completo.	<p>1.a.5.a. Ídem 1.a.4.a. Acciones: Despejar el o los objetos que bloquean la tubería.</p>
	<p>1.b. La bomba no provee el caudal y/o la presión requeridas.</p>	
	1.b.1. Impulsor desgastado.	<p>1.b.1.a. Fallo evidente (No), Afecta la seguridad, higiene o ambiente (No), Efecto operacional (Afectación media en el proceso de producción mientras la línea de la red externa del AyA no provea el agua). Acciones: Sustituir el componente desgastado.</p>
	1.b.2. Fugas en la tuberías de succión.	<p>1.b.2.a. Fallo evidente (Si), Afecta la seguridad, higiene o ambiente (No), Efecto operacional (Afectación media en el proceso de producción mientras la línea de la red externa del AyA no provea el agua). Acciones: Reparar las fugas de la tubería.</p>
	1.b.3. Daños en los sellos o elementos mecánicos.	<p>1.b.3.a. Ídem 1.b.1.a. Acciones: Inspección y/o sustitución de los sellos dañados, u otros elementos.</p>

	<p>1.c. Problemas en el sistema de control.</p> <p>1.c.1. Ausencia de un sistema que evite los accionamientos accidentales.</p> <p>1.c.2. Problemas con los sensores.</p>	<p>1.c.1.a. Fallo evidente (Si), Afecta la seguridad, higiene o ambiente (No), Efecto operacional (Afectación media en el proceso de producción mientras la línea de la red externa del AyA no provea el agua). Acciones: Implementación de un método que evite los arranques accidentales o imprevistos mediante control eléctrico (PLC).</p> <p>1.c.2.a. Fallo evidente (No), Afecta la seguridad, higiene o ambiente (No), Efecto operacional (Afectación media en el proceso de producción mientras la línea de la red externa del AyA no provea el agua). Acciones: Comprobar los valores de ajuste del sensor.</p>
<p>2. Contención del agua que va a ser mezclada con el cloro para posteriormente suministrar esta mezcla al tanque de almacenamiento o donde está el agua procedente del proceso de filtrado.</p>	<p>2.a. Problemas en la carcaza.</p> <p>2.a.1. Roturas parciales en la carcaza.</p> <p>2.a.2. Deterioro de los anillos de desgaste.</p>	<p>2.a.1.a Fallo evidente (Si), Afecta la seguridad, higiene o ambiente (Si), Efecto operacional (Afectación en el proceso de producción mientras la línea de la red externa del AyA no provea el agua). Acciones: Desmontaje y reparación de las fisuras.</p> <p>2.a.2.a Fallo evidente (No), Afecta la seguridad, higiene o ambiente (No), Efecto operacional (Afectación en el proceso de producción mientras la línea de la red externa del AyA no provea el agua). Acciones: Desmontaje y reemplazo de los anillos de desgaste.</p>

Tabla 23

Plan de mantenimiento de las bombas de pre y poscloración

Plan de mantenimiento. Bombas de cloración. Nomenclatura: 05_01_BCL01_080 // BCL 01 a BCL 03						
Mto	Modo fallo	Estrategias de mantenimiento	Tipo de tarea	Frecuencia	N° de técnicos	H-H de ejecución
Mantenimiento del motor.	1.a.4. 1.b.3.	(1). Arrancar periódicamente el equipo para evitar la limitación de la vida útil por falta de uso.	Preventivo	Mensual	2	0,25 horas (15 min)
	1.a.1.	(2). Comprobar el estado de los cables de alimentación eléctrica (que no se encuentren sueltos, con porciones sin aislamiento o aislamiento derretido).	Predictivo	Trimestral	2	0,50 horas (30 min)
	1.a.3.	(3). Comprobar el apriete de todos los pernos de sujeción y la alineación entre el motor y la bomba. En caso de estar desalineados (ya sea desalineación paralela o angular), alinéelos moviendo siempre el motor hasta que los ejes sean concéntricos.	Preventivo	Trimestral	2	0,50 horas (30 min)
	1.b.3.	(4) Lubricación rodamiento 6309. Des energice el motor, retire el tapón de drenaje, inspeccione el drenaje con una sonda mecánica y elimine cualquier obstrucción (tenga cuidado de no dañar el rodamiento con la sonda). Agregue la grasa nueva (utilice 0,4 oz de grasa grado NLGI No.2). Haga funcionar el motor durante 15 minutos con el tapón retirado para permitir la purga del exceso de grasa, apague y recoloque el tapón de drenaje. Asegurese de no sobre engrasar.	Lubricación	Anual	2	0,50 horas (30 min)
	1.b.3.	(5) Lubricación rodamiento 6206. Des energice el motor, retire el tapón de drenaje, inspeccione el drenaje con una sonda mecánica y elimine cualquier obstrucción (tenga cuidado de no dañar el rodamiento con la sonda). Agregue la grasa nueva (utilice 0,2 oz de grasa grado NLGI No.2). Haga funcionar el motor durante 15 minutos con el tapón retirado para permitir la purga del exceso de grasa, apague y recoloque el tapón de drenaje. Tenga cuidado de no sobre engrasar los rodamientos.	Lubricación	2 años	2	0,50 horas (30 min)
	1.a.2. 1.a.4.	(6). Si el motor no arranca pero genera ruido y vibraciones se deben revisar los siguientes aspectos: (6.1). Comprobar que el motor este cableado tal y como indica el diagrama. (6.2). Comprobar que no existan obstrucciones mecánicas que bloqueen el eje del motor o la bomba. (6.3). Comprobar que no haya baja tensión o una pérdida de fase en alimentación trifásica y comprobar que los contactos no estén defectuosos.	Correctivo	-	2	-
	1.a.2.	(7). Si la protección se dispara cuando se arranca el equipo se debe comprobar que no existan conexiones eléctricas sueltas o rotas, además, comprobar si existe una pérdida de fase de alimentación trifásica o contactos defectuosos.	Correctivo	-	2	-

Mantenimiento y solución de problemas de la bomba.	1.b.1.	<p>(8) Comprobar el estado de sellos, cojinetes, impulsor, carcasa y otros componentes (buscar daños físicos como picaduras, rebabas, desgaste, entre otros). Quite los pernos de sujeción del motor, los pernos de la carcasa y los pernos de sujeción de la bomba, quite el motor y el elemento giratorio de la carcasa, destornille el perno del impulsor con una llave de casquillo (no inserte un destornillador entre los álabes del impulsor para impedir la rotación). Quite la arandela del impulsor, inserte dos barras de hacer palanca (espaciadas 180°) entre el impulsor y el alojamiento del sello y haga palanca sacando el impulsor, quite el resorte del sello, la arandela acopada y la chaveta del impulsor, quite el alojamiento del sello, quitando con él las partes del sello rotatorio.</p> <p>2.a.1. Coloque el alojamiento del sello en una superficie plana y presione fuera las partes del sello estacionario, quite el deflector del eje, quite los pernos que sujetan la tapa del cojinete al marco y quite la tapa del cojinete, luego quite los sellos de reborde del marco del cojinete y la tapa del cojinete, quite el eje y los cojinetes del marco, quite el anillo de retención de los cojinetes. Use un extractor de cojinete o prensa para quitar cojinetes de bolas, quite la camisa del eje si está muy rayada, la camisa del eje está adherida al eje y debe calentarse a unos 120 °C para facilitar quitarla, quite el anillo de desgaste si está excesivamente dañado. Use una barra de hacer palanca y/o prensas de mordazas. Reengrase los cojinetes con grasa de base de litio o sodio #2.</p>	Preventivo	Trimestral	2	1,00 hora (60 min)
	1.b.3.					
	2.a.2.					
1.a.5.	<p>(9) Si la bomba no ofrece la capacidad nominal, se debe verificar lo siguiente:</p> <p>(9.1). Comprobar que la bomba este llena y cebada.</p> <p>(9.2). Comprobar que no existan fugas u obstrucciones en la línea de succión.</p> <p>(9.3). Comprobar que el sentido de giro del equipo sea el correcto.</p>	Correctivo	-	2	-	
1.b.2.	<p>(9.4). Comprobar si la cabeza dinámica requerida es mas alta que la especificada originalmente.</p> <p>(9.5). Comprobar que la altura de succión no sea demasiado alta y comprobar que el diámetro de la tubería de succión sea el correcto.</p>					
1.b.2.	<p>(10) Si la bomba provoca ruidos, vibraciones y caudal desigual se debe verificar:</p> <p>(10.1). Se debe verificar que la bomba no este funcionando mas allá de su capacidad nominal.</p> <p>(10.2). Verificar que la bomba y/o tuberías estén bien aseguradas.</p> <p>(10.3). Verificar que no haya cavitación causada por un suministro de agua insuficiente.</p>	Correctivo	-	2	-	

-	(11). Si al momento de detener la unidad, esta gira lentamente en sentido inverso:				
-	(11.1). Verificar que no existan fugas en las esclusas de aire del tubo de aspiración.	Correctivo	-	2	-
-	(11.2). Verificar que no exista un bloqueo parcial en la válvula de retención.				

Tabla 24*Análisis FMEA de los actuadores neumáticos*

Actuadores neumáticos Bray Controls. Nomenclatura: 05_01_ACN01_120 // ACN 01 a ACN 32		
Funciones	Fallo funcional / Modos fallo	Consecuencia de los fallos
<p>1. (Actuadores y válvulas de la línea de aire) Permitir el flujo del aire ascendente para limpiar los filtros de arena. Parámetros actuador 1: Torque: 34 N-m Presión: 5,52 Bar</p> <p>(Actuadores y válvulas de la línea de agua) Permitir el flujo del agua ascendente para limpiar los filtros de arena. Parámetros actuador 2: Torque: 115 N-m Presión: 5,52 Bar</p> <p>Parámetros actuador 3: Torque: 245 N-m Presión: 5,52 Bar</p> <p>Parámetros actuador 4: Torque: 327 N-m Presión: 5,52 Bar</p>	<p>1.a. El actuador no bloquea y/o desbloquea la válvula.</p>	
	1.a.1. Problemas con el suministro eléctrico.	1.a.1.a. Fallo evidente (No), Afecta la seguridad, higiene o ambiente (No), Efecto operacional (Saturación de filtros, lo que impide continuar con el proceso de producción). Acciones: Comprobar la alimentación eléctrica de las electroválvulas y el compresor.
	1.a.2. Problemas con el suministro de aire.	1.a.2.a. Fallo evidente (Si), Afecta la seguridad, higiene o ambiente (No), Efecto operacional (Saturación de filtros, lo que impide continuar con el proceso de producción). Acciones: Comprobar el correcto funcionamiento del compresor.
	1.a.3. Bobinas del bloque de electroválvulas dañadas.	1.a.3.a. Ídem 1.a.1.a. Acciones: Realizar pruebas eléctricas en cada bobina del bloque de electroválvulas.
	1.a.4. Problemas y daños en las electroválvulas.	1.a.4.a. Ídem 1.a.1.a. Acciones: Comprobar el cambio de posición de cada electroválvula cuando se activan las bobinas.
	1.a.5. Problemas con los sensores.	1.a.5.a. Ídem 1.a.1.a. Acciones: Inspeccionar el sensor en busca de desajustes en el seteo de la presión.
	<p>1.b. El actuador bloquea o desbloquea parcialmente la válvula.</p>	
	1.b.1. Agarrotamiento entre la válvula y el actuador.	1.b.1.a. Fallo evidente (Si), Afecta la seguridad, higiene o ambiente (No), Efecto operacional (Saturación de filtros, lo que impide continuar con el proceso de producción). Acciones: Realinear acoplamiento.

	<p>1.b.2. Residuos de arena que bloquean la válvula.</p> <p>1.b.3. Desgaste de los componentes mecánicos.</p> <p>1.b.4. Equipos incapaces de realizar la función debido a sus parámetros de funcionamiento.</p>	<p>1.b.2.a. Fallo evidente (No), Afecta la seguridad, higiene o ambiente (No), Efecto operacional (Saturación de filtros, lo que impide continuar con el proceso de producción). Acciones: Desmontaje de la válvula para eliminar la arena que provoca el atasque.</p> <p>1.b.3.a. Ídem 1.b.2.a. Acciones: Desmontaje del actuador para sustituir el componente desgastado.</p> <p>1.b.4.a. Ídem 1.b.2.a. Acciones: Comprobar la presión y caudal del sistema.</p>
--	---	--

Tabla 25*Plan de mantenimiento de actuadores neumáticos*

Plan de mantenimiento. Actuadores neumáticos . Nomenclatura: 05_01_ACN01_120 // ACN 01 a ACN 32						
Mto.	Modo fallo	Estrategias de mantenimiento	Tipo de tarea	Frecuencia	N° de técnicos	H-H de ejecución
Mantenimiento de las electroválvulas.	1.a.3.	(1) . Comprobar la presión del aire (no puede superar los 10 Bar para evitar daños en las bobinas). Eliminar cualquier rastro de humedad condensada y verificar que exista una buena ventilación.	Inspección	Mensual	2	0,50 horas (30 min)
	1.a.1.	(2) . Inspección del componente en busca de cables o aislamiento dañados o desgaste excesivo. Si existe ralentizamiento y la presión del aire es correcta, se debe hacer una limpieza del componente.	Inspección	Trimestral	2	0,25 horas (15 min)
	1.a.4.	(3) . Comprobar que los tornillos que fijan los componentes en su lugar estén ajustados.	Preventivo	Semestral	2	0,50 horas (30 min)
	1.a.4.	(4) . Accionar las electroválvulas para comprobar que el movimiento de las mismas sea suave y constante, en caso contrario, inspeccionar los vástagos de las electroválvulas.	Preventivo	Anual	2	0,50 horas (30 min)
	1.a.1.	(5) . Fallo de cambio de posición. Si no existe ningún fallo en el mecanismo de la válvula, y aun así no realiza el cambio de posición, compruebe la alimentación eléctrica y el funcionamiento de la bobina, sustitúyala si esta quemada.	Correctivo	-	-	-

Mto de la unidad de mantenimiento.	1.b.3.	<p>(6). Inspección visual. Observe y escuche el lubricador de neblina, si encuentra evidencia de fugas o daño visible se debe sustituir el componente. Elimine la suciedad acumulada para evitar omisiones de fallos que puedan ser encubiertos por la suciedad, (no utilice detergentes, hidrocarburos clorados, ésteres o alcoholes en el cuenco de policarbonato). Si el aceite tiene un color lechoso, debe sustituirlo. Por último, asegúrese de que las mangueras no estén dobladas, torcidas, aplastadas o dañadas.</p> <p>(6.1). Si debe sustituir algún componente desgastado o dañado siga los siguientes pasos: Desconecte el suministro eléctrico (si es necesario). Desconecte el suministro de aire y despresurice todas las líneas de aire comprimido conectadas al sistema o al componente. Luego de haber realizado la tarea, restablezca el suministro eléctrico y de aire, compruebe que todo funciona de forma adecuada y segura antes de volver a operar.</p>	Preventivo	Mensual	2	0,75 horas (45 min)
	1.b.3.	<p>(7). Lubricación. Despresurice el sistema, retire el tazón de policarbonato, llene de aceite hasta la marca, (utilice aceite a base de petróleo de 100 a 200 SSU de viscosidad a 38°C) se recomienda usar aceite Parker F442. No utilice aceites con aditivos, aceites compuestos que contengan disolventes, grafito o detergentes. Vuelva a colocar el recipiente y restablezca el suministro de aire.</p>	Lubricación	Mensual	2	0,50 horas (30 min)
	1.b.3.	<p>(8). Limpieza del filtro. El filtro debe ser limpiado o reemplazado cuando la caída de presión supere los 10 Psi, (0,689 Bar). Proceda cortando el suministro de aire, despresurice, desenrosque el recipiente y el elemento filtrante (límpielo o reemplácelo. Coloque la nueva junta tórica sobre el extremo de la tapa roscada superior, gire el elemento y asegúrese de que quede bien ajustado.</p>	Preventivo	Semestral	2	0,50 horas (30 min)
Mantenimiento del actuador.	1.b.1.	<p>(9). Desensamblar y limpiar los componentes del actuador (juntas tóricas, anillos de acetil, cojinetes, piñón, leva, pistones, cuerpo y tapas) para comprobar que no hayan daños o desgaste. Lubricar los cojinetes y sellos con una grasa de petróleo para presiones altas o extremas, con base de litio y que satisfaga el grado 2 del NLGI (preferiblemente Mobilux ® EP 2). Volver a ensamblar. Ver figura 18.</p>	Inspección	Semestral	2	4,00 horas (240 min)
	1.a.2.	<p>(10) Comprobar la presión y el suministro de aire (presión de 80 psi), de no ser la presión y suministro adecuados, compruebe que no existan pérdidas en la línea de distribución y/o cambie las juntas tóricas.</p>	Preventivo	Semestral	2	0,25 horas (15 min)

Mantenimiento del actuador.	1.a.5.	<p>(11) Fallo de sensores. Comprobar manualmente que los sensores (finales de carrera) funcionen correctamente y que estén en la posición adecuada, de no ser así, corregir cualquier desajuste provocado por los golpes de presión.</p> <p>(12). Inspección de la apertura de la válvula. Comprobar que el actuador es capaz de abrir la válvula de forma suave y constante. En caso contrario se sugieren la siguientes medidas: (12.1). Incorporar reguladores en la entrada y la salida de aire del regulador. Lo que permitirá controlar de mejor manera la apertura y el cierre del actuador. (12.2). Sustituir el actuador por uno de la serie 93 (con cartuchos de resorte), con este tipo de actuador se puede: 1 - Girar 90° grados el actuador, debe quedar perpendicular a la tubería (funciona solo con válvulas de discos concéntricos o válvulas que permitan que el disco pase por el asiento). 2 - Quite las tapas de los extremos, los cartuchos de resorte y los pistones del actuador. Quite el piñón, gírelo 90° y reinstálelo en el actuador. (funciona solo si es una válvula con discos concéntricos o válvulas que permitan que el disco pase por el asiento).</p>	Correctivo	-	2	-
	1.b.4.	<p>(13). Comprobar que la base del actuador se encuentre completamente plano contra la brida de montaje de la válvula (correcta alineación). De no ser así, desajuste y vuelva a ajustar las tuercas en un patrón diagonal para asegurar la carga pareja.</p>	Correctivo	-	2	-
	1.b.3.	<p>(14) Fallo de compatibilidad entre el actuador y la válvula. Comprobar que la válvula no se salga del asiento y se abra bruscamente. En caso de ser así sustituya el actuador por uno de un tamaño adecuado y aumente el caudal de aire en las líneas de suministro.</p>	Preventivo	Trimestral	2	0,50 horas (30 min)
	1.b.4.	<p>(15). Desensamblar la válvula y comprobar el estado del anillo de retención, arandela de empuje, retenedor, buje y sello del vástago, disco, asiento elastómero de la válvula y vástago. Elimine la arena acumulada en la válvula. Sustituya cualquier componente que evidencie daños o desgaste. Recuerde colocar una capa ligera de silicona 350 S grado F en la cara interna del cuerpo de la válvula y del asiento. Ver figura 19.</p>	Correctivo	-	2	-
Mantenimiento de la válvula	1.b.2.	<p>(16). Comprobar el par de torsión de los pernos de las bridas, siempre que se deban ajustar o se vuelvan a instalar después de una revisión, recordar que se deben ajustar de forma diagonal.</p>	Preventivo	Anual	2	2,50 horas (150 min)
	1.b.2.		Preventivo	Anual	2	1,00 hora (60 min)

	1.b.2.	(17). Mal funcionamiento de la válvula. Si existen problemas de acumulación de lodos, residuos u otros sedimentos, se puede girar 90° grados la válvula, de forma que el vástago quede en posición horizontal.	Correctivo	-	2	-
--	--------	--	------------	---	---	---

Desarrollo de planes de mantenimiento de equipos medianamente críticos y equipos no críticos

Una vez finalizados los análisis de los equipos críticos, así como sus planes de mantenimiento, se desarrollaron los planes de mantenimiento para los equipos medianamente críticos y no críticos. Estos planes están caracterizados por ser más cortos, ya que el análisis de criticidad se llevó a cabo para brindar mayor atención a los equipos más influyentes.

Los planes de mantenimiento de los equipos medianamente críticos y no críticos se incluyen en su totalidad en el entregable de utilidad para la planta. Sin embargo, debido a lo poco que difieren en cuanto a construcción y formato respecto a los planes de mantenimiento de los equipos críticos solo se incluye un plan de mantenimiento de cada tipo (medianamente crítico y no crítico) como se evidencia en el Anexo G.

Desarrollo de plan piloto

Con el fin de determinar si los planes de mantenimiento realizado son capaces de reducir los mantenimientos correctivos, se procedió con la ejecución de un plan piloto con una duración de 3 meses en el sistema de lavado de filtros, específicamente en los actuadores neumáticos, ya que estos equipos están categorizados como críticos y la planta cuenta con 32 de ellos, por lo que son ideales para demostrar que el trabajo realizado funciona. El plan piloto se aprecia en la Tabla 26.

Tabla 26

Plan piloto propuesto en el sistema de lavado de filtros

Características de las estrategias de mantenimiento.					Distribución de las tareas de mantenimiento														
Mto	Frecuencia	Estrategia (Tarea) de mto.	Inicio	Final	29/7/2021	5/8/2021	12/8/2021	19/8/2021	26/8/2021	2/9/2021	9/9/2021	16/9/2021	23/9/2021	30/9/2021	7/10/2021	14/10/2021	21/10/2021	28/10/2021	
Mto de las electroválvulas	Mensual	(1)	29/7/2021	29/7/2021	■														
		(1)	26/8/2021	26/8/2021					■										
		(1)	30/9/2021	30/9/2021										■					
	Trimestral	(2)	29/7/2021	29/7/2021	■														
	Semestral	(3)	12/8/2021	12/8/2021			■												
Anual	(4)	19/8/2021	19/8/2021				■	■											
Unidad de mantenimiento	Mensual	(6)	19/8/2021	19/8/2021															
		(6)	16/9/2021	16/9/2021							■								
		(6)	14/10/2021	14/10/2021												■			
	Mensual	(7)	26/8/2021	26/8/2021					■										
		(7)	23/9/2021	23/9/2021								■							
		(7)	21/10/2021	21/10/2021														■	
Semestral	(8)	14/10/2021	14/10/2021												■				
Mto del actuador	Trimestral	(13)	2/9/2021	2/9/2021						■									
	Anual	(9)	9/9/2021	9/9/2021							■								
	Semestral	(10)	2/9/2021	2/9/2021						■									
Mto de válvulas	Anual	(15)	30/9/2021	30/9/2021										■					
	Anual	(16)	7/10/2021	7/10/2021											■				

Las estrategias de mantenimiento indicadas con números entre paréntesis corresponden a las labores diseñadas para los actuadores neumáticos (Tabla 25). Cabe destacar que el plan piloto propuesto no pudo ejecutarse como se planteó. Se eliminó la tarea de mantenimiento n.º 9 (desarme del actuador) debido a que requiere inspeccionar juntas tóricas y *kits* de acetato y no se cuenta con repuestos de estos componentes, por lo que si se dañan no se puede volver a poner en funcionamiento el actuador.

La tarea de mantenimiento n.º 15 (desarme de la válvula) se eliminó por motivos similares, ya que la unidad de control electromecánico tampoco cuenta con repuestos de los componentes internos de las válvulas. Otro inconveniente fueron las complicaciones de mantenimiento que se le presentaron a la unidad de control electromecánico, ya que también

deben atender otras plantas potabilizadoras, debido a esto se tuvo que realizar un ajuste en la programación de las tareas. El plan piloto ejecutado se aprecia en la Tabla 27.

Tabla 27

Plan piloto ejecutado en el sistema de lavado de filtros

Características de las estrategias de mantenimiento.					Distribución de las tareas de mantenimiento														
Mto	Frecuencia	Estrategia (Tarea) de mto.	Inicio	Final	29/7/2021	5/8/2021	12/8/2021	19/8/2021	26/8/2021	2/9/2021	9/9/2021	16/9/2021	23/9/2021	30/9/2021	7/10/2021	14/10/2021	21/10/2021	28/10/2021	
Mto de las electroválvulas	Mensual	(1).	29/7/2021	29/7/2021	■														
		(1).	26/8/2021	26/8/2021					■										
		(1).	14/10/2021	14/10/2021													■		
	Trimestral	(2).	29/7/2021	29/7/2021	■														
	Semestral	(3).	12/8/2021	12/8/2021			■												
	Anual	(4).	19/8/2021	19/8/2021				■											
Unidad de mto	Mensual	(6).	21/10/2021	21/10/2021													■		
		(6).	30/9/2021	30/9/2021										■					
		(6).	12/8/2021	12/8/2021			■												
	Mensual	(7).	26/8/2021	26/8/2021					■										
		(7).	30/9/2021	30/9/2021										■					
		(7).	21/10/2021	21/10/2021													■		
Semestral	(8).	7/10/2021	7/10/2021											■					
Mto del actuador	Trimestral	(13).	2/9/2021	2/9/2021						■									
	Semestral	(10).	2/9/2021	2/9/2021						■									
Mto de válvulas	Anual	(16).	14/10/2021	14/10/2021												■			

Para evaluar los resultados del plan piloto se elaboró la Tabla 28, esta tabla contiene la información sobre las frecuencias de fallos que se recopiló durante el desarrollo del análisis causa-raíz de los actuadores neumáticos (ver Tabla 16). De acuerdo con el ingeniero y los técnicos de la planta, la distribución de los fallos es uniforme a lo largo del año, por lo que no existe inconveniente en realizar una comparación entre la información de la Tabla 28 y la información que se recopiló durante el plan piloto.

Tabla 28

Información referente a los fallos que se recopiló durante el desarrollo del análisis causa-raíz de los actuadores neumáticos

N°	Modos de fallo	FF (fallos/año)	FF (fallos/mes)
1	Fallos de los actuadores	15,00	1,25
2	Fallo de sensores	10,00	0,83
3	Filtración de arena	5,00	0,42
4	Desgaste de componentes mecánicos	1,00	0,08
5	Fallo de la red de aire comprimido	3,00	0,25
6	Fallo del bloque de electroválvulas	10,00	0,83

Los mantenimientos realizados durante el desarrollo del plan piloto se encuentran en la Tabla 29 (mantenimiento correctivo) y Tabla 30 (mantenimiento correctivo y programado), esta información se utilizó posteriormente para desarrollar el cálculo de indicadores.

Tabla 29

Mantenimientos correctivos realizados en el sistema de lavado de filtros durante el desarrollo del plan piloto

	Mantenimientos correctivos realizados	Fecha:	Hora de informe	Tiempo reparación (horas)
1	Fallo en la apertura del actuador neumático 05_01_ACN03_120	26/8/2021	12:00 m.d.	2 horas
2	Fallo en cierre y apertura del actuador neumático 05_01_ACN03_120	7/10/2021	1:00 p.m	2 horas

Tabla 30

Resumen de órdenes de trabajo y horas de atención de mantenimiento durante el desarrollo del plan piloto

Clasificación de las horas de mantenimiento
Tarea de mantenimiento 1 = 0,50 horas * 3 = 1,50 horas
Tarea de mantenimiento 2 = 0,25 horas
Tarea de mantenimiento 3 = 0,50 horas
Tarea de mantenimiento 4 = 0,50 horas
Tarea de mantenimiento 6 = 0,75 horas * 3 = 2,25 horas
Tarea de mantenimiento 7 = 0,50 horas * 3 = 1,50 horas
Tarea de mantenimiento 8 = 0,50 horas
Tarea de mantenimiento 13 = 0,50 horas
Tarea de mantenimiento 10 = 0,25 horas
Tarea de mantenimiento 16 = 1,00 hora
Horas - hombre de mantenimiento programado= 8,75 horas
Horas - hombre de mantenimiento correctivo = 4 horas
Horas - hombre de mantenimiento totales = 12,75 horas
Periodo operativo hasta el fallo 1 = De las 8:00 am del 29/7/2021 hasta las 12:00 md del 26/8/2021 = 676,00 horas
Periodo operativo hasta el fallo 2 = de las 2:00 pm del 26/8/2021 hasta la 1:00 pm del 7/10/2021 = 1007,00 horas
Resumen de órdenes de trabajo
Número total de órdenes de trabajo programadas = 18
Número total de órdenes de trabajo realizadas = 16

Utilizando los datos de la Tabla 29 y la Tabla 30 se realizó el cálculo de indicadores, con el fin de determinar si el plan piloto fue efectivo. Los resultados del cálculo de indicadores se aprecian en la Tabla 31.

Tabla 31

Cálculo de indicadores con la información que se recopiló durante el plan piloto

Indicador Organizacional: O16 (%)		
O16 =	$\frac{4}{12,75}$	$\times 100 = 31,37\%$
Indicador Organizacional: O20 (%)		
O20 =	$\frac{8,75}{12,75}$	$\times 100 = 68,63\%$
Indicador Organizacional: O22 (%)		
O22 =	$\frac{16}{18}$	$\times 100 = 88,89\%$
Indicador de Fiabilidad MTTF (horas)		
MTTF =	$\frac{676 + 1007}{2}$	$= 841,50$
Indicador de Fiabilidad FF (fallos/mes)		
FF =	$\frac{1}{841,5} \times (31 \text{ días} \times 24 \text{ horas})$	$= 0,88$
Indicador de Fiabilidad MDT (horas)		
MDT =	$\frac{4}{2}$	$= 2,00$
Indicador Operacional D (%)		
D =	$\frac{841,5}{841,5 + 2}$	$\times 100 = 99,76\%$

El indicador organizacional O16 relaciona las horas-hombre de mantenimiento que se utilizan en labores correctivas respecto a las horas hombre totales, lo que quiere decir que el 31.37 % del tiempo se empleó en mantenimientos correctivos. Este alto porcentaje se debe a que la estrategia de mantenimiento n.º 9 (desarme del actuador) se eliminó del plan piloto por complicaciones en la planta y esta tarea representaba la mayor intervención en los actuadores neumáticos. El actuador se tuvo que desarmar de igual manera, pero bajo la condición de fallo, así que este alto porcentaje de tiempo usado en mantenimiento correctivo se puede haber evitado con la ejecución de la estrategia de mantenimiento n.º 9, ya que esta incluye una revisión completa del actuador neumático.

El indicador organizacional O22 relaciona las órdenes de trabajo realizadas según programación, respecto a las órdenes programadas, como se mencionó las tareas 9 y 15 se eliminaron por lo que se obtuvo un porcentaje del 88.89 %. Este porcentaje está por encima del propuesto en el cuadro de mando integral (se fijó como meta ejecutar un 80 % de las tareas programadas), por lo que el resultado es aceptable.

El indicador FF (frecuencia de fallos), el cual corresponde al inverso del indicador MTTF (tiempo promedio operativo hasta el fallo) muestra que los actuadores presentaron un valor de 0,88 fallos/mes. Al comparar el resultado obtenido con los datos de la Tabla 28 se aprecia una mejoría, ya que en esta tabla la frecuencia de fallos es de 1,25 fallos al mes en los actuadores neumáticos. En cuanto a todos los demás modos de fallos que se presentan en la Tabla 28, ninguno de ellos se presentó durante el plan piloto, esto comprueba que el plan de mantenimiento es efectivo, ya que permitió la reducción de fallos y, por consiguiente, de mantenimientos correctivos.

Utilización de una herramienta tecnológica que permita el registro y monitoreo del mantenimiento

Este punto consistió en el uso de la herramienta Microsoft Excel para crear un documento que permita registrar y controlar la información referente al mantenimiento. Este documento es el primer registro histórico de la planta potabilizadora de Guadalupe, San José, por lo que contiene toda la información generada durante el desarrollo de este proyecto. La interfaz del entregable se aprecia en el Anexo H.

Análisis del costo de ciclo de vida (ACCV) mediante el método de Woodward

Se desarrolló este método de análisis para seleccionar la mejor opción técnico-económica entre las bombas dosificadoras de membrana que ofrecen los diferentes proveedores, debido a que el área de dosificación de polímeros de la planta potabilizadora de Guadalupe, San José, posee un equipo dañado y en condiciones que imposibilitan su reparación. Este análisis, además, permite aportar al modelo de gestión del mantenimiento un método adecuado para justificar la adquisición de activos.

Requerimientos de la bomba:

- 1-Dosificar un caudal de 19 gph = 73,43 l/h.
- 2-Dosificar a una presión de 100 Psi = 6,9 Bar.
- 3-Soportar el químico por dosificar, el cual es una mezcla de agua y polímero magnafloc.

Se obtuvieron las siguientes respuestas:

- 1-Bomba dosificadora de químicos marca Milton Roy, modelo MEA11F15A4CPPNNNY con capacidad de 19,4 gph a 100 Psi (cotización Interop).
- 2-Bomba dosificadora de químicos marca JESCO, modelo MEMDOS LB60 con capacidad de 20 gph a 145 Psi (cotización Labs de Costa Rica).
- 3-Bomba dosificadora de químicos marca ProMinent, modelo sigma/2 control con capacidad de 28,8 gph a 145 Psi (cotización Innovagua).

Se elaboró la Tabla 32 con los datos suministrados por los proveedores sobre los planes de mantenimiento de los equipos, adicionalmente se consultó el índice salarial del AyA para determinar el costo de las horas-hombre de operarios y técnicos.

- Salario base, operario jornal = ₡371.100,00.
- Salario base, técnico especialista en sistemas de agua potable = ₡446.350,00.
- Los costos de los lubricantes se consultaron con distribuidores nacionales, obteniendo los siguientes datos:
 - Precio de lubricante Havoline 85 W-140 (ACELUB Aceites y Lubricantes, S. A.) = ₡59.250, 00.
 - Precio del lubricante Xtreme ISO 220 EP 5 galones (Importadora Quigo, S. A.) = ₡109.950, 00 (el gasto anual es de un galón).
 - El costo del kWh se tomó de la tarifa preferencial social T-CS de la Compañía Nacional de Fuerza y Luz. Consumo menor o igual a 3.000 kWh, cada kWh = ₡83,82.
 - El valor del dólar en el momento que se llevó a cabo el cálculo (18 de febrero de 2022) fue de ₡641,03 según el Banco Central de Costa Rica.

El periodo de vida útil de las bombas se consultó con los mismos proveedores de los equipos. La tasa de descuento usada en el análisis se tomó de Blank y Tarquin (2012), específicamente del Capítulo 9.

Tabla 32

Desglose de los costos anuales de horas-hombre, lubricantes y consumo eléctrico de las bombas dosificadoras

Mantenimiento Bomba A. Milton Roy	Frecuencia	Tiempo (min)	Mantenimiento Bomba B. JESCO	Frecuencia	Tiempo (min)	Mantenimiento Bomba C. Prominent	Frecuencia	Tiempo (min)
Limpieza de la bomba.	Semanal	15	Comprobación del nivel de aceite y la firmeza de la tubería.	Semanal	15	Comprobación del nivel de aceite.	Mensual	15
Comprobación de fugas.	Semanal	15	Limpieza de válvulas de succión y presión. Comprobación de firmeza.	Mensual	30	Comprobación de la sujeción de los tubos de dosificación.	Mensual	30
Verificación del nivel de aceite.	Semanal	10	Comprobación de conexiones eléctricas.	Mensual	15	Comprobación de las válvulas de aspiración e impulsión.	Mensual	30
Cambio de aceite.	Semestral	20	Apriete de pernos de la cabeza de dosificación.	Mensual	20	Ajuste de los tornillos del cabezal dosificador.	Trimestral	20
Reemplazo de válvulas de retención y diafragma.	Anual	180	Comprobación de ausencia de ruidos o temperaturas inusuales. Cambio de aceite.	Mensual	10	Comprobación del estado de la membrana. Revisión de las conexiones eléctricas.	Trimestral	180
				Anual	20		Trimestral	15

		Reemplazo de válvulas y diafragma.	Anual	180	Cambio de aceite.	Anual	20
Minutos totales al año	2300	Minutos totales al año	1880	Minutos totales al año	1780		
Horas-hombre técnico	38,33	Horas-hombre técnico	31,33	Horas-hombre técnico	29,67		

Atención brindada por operarios Bomba A			Atención brindada por operarios Bomba B			Atención brindada por operarios Bomba C		
Frecuencia	Tiempo (min)		Frecuencia	Tiempo (min)		Frecuencia	Tiempo (min)	
Limpieza y lavado del área.	Semanal	15	Limpieza y lavado del área.	Semanal	15	Limpieza y lavado del área.	Semanal	15
Revisión de funcionamiento de la bomba.	Semanal	10	Revisión de funcionamiento de la bomba.	Semanal	10	Revisión de funcionamiento de la bomba.	Semanal	10
Minutos totales al año		1300	Minutos totales al año		1300	Minutos totales al año		1300
Horas-hombre operario anuales		21,67	Horas-hombre operario anuales		21,67	Horas-hombre operario anuales		21,67

Salario base de operarios y técnicos (colones)		⇒	Coste de hora-hombre (colones)	
Operario	₡ 371 100		Operario	₡ 1 784
Técnico	₡ 446 350		Técnico	₡ 2 146

Coste H-H operario Bomba A (colones)			Coste H-H operario Bomba B (colones)			Coste H-H operario Bomba C (colones)		
Coste anual horas-hombre operario.	₡	38 656	Coste anual horas-hombre operario.	₡	38 656	Coste anual horas-hombre operario.	₡	38 656
Coste H-H técnico Bomba A (colones)			Coste H-H técnico Bomba B (colones)			Coste H-H técnico Bomba C (colones)		
Coste anual horas-hombre técnico.	₡	82 260	Coste anual horas-hombre técnico.	₡	67 239	Coste anual horas-hombre técnico.	₡	63 662
Lubricante bomba A	Xtreme ISO 220 EP	Lubricante bomba B	Havoline 85W-140	Lubricante bomba C	Havoline 85W-140			
Precio por unidad. (colones)	₡	21 990	Precio por unidad. (colones)	₡	59 250	Precio por unidad. (colones)	₡	59 250
Motor bomba A	1/4 HP = 0,19 KW	Motor bomba B	1/2 HP = 0,37 KW	Motor bomba C	1/2 HP = 0,37 KW			
Kilowatt consumo anual	408	Kilowatt consumo anual	816	Kilowatt consumo anual	816			
Coste anual (colones)	₡	34 217	Coste anual (colones)	₡	68 433	Coste anual (colones)	₡	68 433
Datos generales bomba A			Datos generales bomba B			Datos generales bomba C		
Tasa de descuento (%)	8%	Tasa de descuento (%)	8%	Tasa de descuento (%)	8%			
Periodo de vida útil esperado (años)	10	Periodo de vida útil esperado (años)	10	Periodo de vida útil esperado (años)	10			

Resultados	Opción A	Opción B	Opción C
CI	₡ 2 535 274	₡ 3 513 165	₡ 2 784 887
CO	₡ 488 983	₡ 718 580	₡ 718 580
CMP	₡ 3 567 245	₡ 4 785 787	₡ 5 309 571
Costes totales de ciclo de vida en valor presente	₡ 6 591 502	₡ 9 017 532	₡ 8 813 038

La Tabla 33 muestra que la opción A representa el menor costo a soportar por la planta durante los 10 años de vida útil del equipo, esta opción es ₡2.221.536 más económica que la competidora más cercana, la opción C.

Al analizar el costo inicial de los equipos se aprecia que la diferencia entre la opción A y la opción C es de apenas ₡249.613 por lo que se puede justificar la adquisición de la bomba C debido a que sus características técnicas son mejores (la bomba C es capaz de suplir mayor caudal y mayor presión que la bomba A). Sin embargo, el análisis de costo del ciclo de vida muestra que la diferencia económica asciende a poco más de ₡2.000.000 a lo largo del periodo de vida útil por lo que las ventajas técnicas de la bomba C pasan a segundo plano, ya que la bomba A cumple con los requerimientos técnicos, además, representa un costo a largo plazo mucho menor. Por este motivo la bomba A se considera la opción técnica y económica más atractiva.

Desarrollo de lecciones de un punto (One Point Lessons-OPL)

Se llevó a cabo una propuesta de mantenimiento autónomo mediante el uso de lecciones de un punto, con el fin de disminuir la carga de trabajo que recae sobre la unidad de control electromecánico, además de promover una actitud colaborativa entre los departamentos de producción y mantenimiento. Esta herramienta se implementó en las áreas de preparación de sulfatos, dosificación de sulfatos, bombas de cloración y luminarias de emergencia. El alcance de esta propuesta de mantenimiento autónomo es delegar las tareas de limpieza y de

verificación del deterioro a las personas colaboradoras del Departamento de Producción. El tipo de labores de mantenimiento que se asignaron a los operarios en estas lecciones de un punto no requieren de conocimiento técnico y no son peligrosas, siempre que se cumplan las medidas de seguridad indicadas.

Planta Potabilizadora de Guadalupe, San José		Lección N°1	Año: 2022
Equipos:		Nomenclatura:	Tipo de tarea:
Motor agitador Lesson		05_01_MAG01_90	Limpieza y verificación del deterioro
Motor agitador FHP		05_01_MAG02_90	
Ubicación: Sistema_090. Preparación de sulfatos.			
Periodicidad: Diario <input type="checkbox"/> Semanal <input type="checkbox"/> Mensual <input type="checkbox"/> Trimestral <input type="checkbox"/> Semestral <input type="checkbox"/> Anual <input type="checkbox"/>			
Medidas de seguridad para realizar la instrucción			
<ul style="list-style-type: none"> - Verifique que el equipo este detenido y que no se vaya a encender durante el mantenimiento. - Utilice equipo de protección personal (Guantes para manipulación de químicos, lentes, etc.). - Utilice calzado antideslizante. 			
Recursos:		Objetivo de la instrucción:	
- Escoba, cepillo de acero, trapo seco.		- Frenar el deterioro de los motores.	
Instrucción técnica			
<ul style="list-style-type: none"> - Utilice un cepillo de acero para retirar las formaciones de óxido y las acumulaciones de sulfato en la carcasa de los motores, utilice un trapo seco y limpie los restos de óxido y sulfato de la carcasa, también asegúrese de eliminar la humedad de la carcasa. Informe a la unidad de control electromecánico sobre vibraciones o ruidos extraños. - Utilice el trapo seco para eliminar la suciedad superficial del gabinete eléctrico. - Utilice una escoba y elimine los residuos de sulfato que caen sobre la plataforma metálica. 			
Ilustración de referencia			
			

Figura 6

Formato de lección de un punto (OPL – One Point Lesson) desarrollada para el área de preparación de sulfatos

Planta Potabilizadora de Guadalupe, San José		Lección N°2	Año: 2022
Equipos:		Nomenclatura:	Tipo de tarea:
Bomba dosificadora 1 ProMinent		05_01_BDS01_100	Limpieza.
Bomba dosificadora 2 ProMinent		05_01_BDS02_100	
Ubicación: Sistema_100. Dosificación de sulfatos.			
Periodicidad: Diario <input type="checkbox"/> Semanal <input type="checkbox"/> Mensual <input type="checkbox"/> Trimestral <input type="checkbox"/> Semestral <input type="checkbox"/> Anual <input type="checkbox"/>			
Medidas de seguridad para realizar la instrucción			
<ul style="list-style-type: none"> - No es necesario apagar los equipos, sin embargo, tenga cuidado con la parte móvil, no entre en contacto con el eje del equipo bajo ninguna circunstancia. - Utilice calzado antideslizante. 			
Recursos:		Objetivo de la instrucción:	
- Escoba, cepillo, trapo seco, detergente.		- Limpiar el área de dosificación de sulfatos.	
Instrucción técnica			
<ul style="list-style-type: none"> - Utilice el cepillo y/o el trapo seco para eliminar la suciedad acumulada en la carcasa y demás superficies de los equipos, incluidas las tuberías de succión e impulsión. Proceda a lavar el área y eliminar los residuos con una escoba cuando termine la limpieza. Informe a la unidad de control electromecánico sobre vibraciones o ruidos extraños. - Utilice el trapo seco para eliminar la suciedad superficial del gabinete eléctrico. 			
Ilustración de referencia			
			

Figura 7

Formato de lección de un punto (OPL – One Point Lesson) desarrollada para el área de dosificación de sulfatos

Planta Potabilizadora de Guadalupe, San José		Lección N°3	Año: 2022
Equipos:	Nomenclatura:		Tipo de tarea:
Bomba centrífuga 1 G y L pumps	05_01_BCL01_080		Limpieza.
Bomba centrífuga 2 G y L pumps	05_01_BCL02_080		
Bomba centrífuga 3 G y L pumps	05_01_BCL03_080		
Ubicación:		Sistema_080. Pre y post cloración.	
Periodicidad: Diario <input type="checkbox"/> Semanal <input type="checkbox"/> Mensual <input type="checkbox"/> Trimestral <input type="checkbox"/> Semestral <input type="checkbox"/> Anual <input type="checkbox"/>			
Medidas de seguridad para realizar la instrucción			
<ul style="list-style-type: none"> - No es necesario apagar los equipos, sin embargo, tenga cuidado de no acercarse a las partes móviles (eje) bajo ninguna circunstancia ya que el equipo puede arrancar de manera automática. - Utilice calzado antideslizante. 			
Recursos:		Objetivo de la instrucción:	
- Escoba, cepillo, trapo seco.		- Limpiar el área de pre y post cloración.	
Instrucción técnica			
<ul style="list-style-type: none"> - Utilice el cepillo y/o el trapo seco para eliminar la suciedad acumulada en la carcasa y demás superficies de los equipos, incluidas las tuberías de succión e impulsión. Informe a la unidad de control electromecánico sobre vibraciones o ruidos extraños. - Utilice el trapo seco para eliminar la suciedad superficial del gabinete eléctrico. 			
Ilustración de referencia			
			

Figura 8

Formato de lección de un punto (OPL – One Point Lesson) desarrollada para el área de pre y poscloración

Planta Potabilizadora de Guadalupe, San José		Lección N°4	Año: 2022
Equipos:	Nomenclatura:	Tipo de tarea:	
Luminarias	05_01_LUM01_060	Verificación de funcionamiento	
Ubicación:		Sistema_060. Iluminación.	
Periodicidad: Diario <input type="checkbox"/> Semanal <input type="checkbox"/> Mensual <input type="checkbox"/> Trimestral <input type="checkbox"/> Semestral <input type="checkbox"/> Anual <input type="checkbox"/>			
Medidas de seguridad para realizar la instrucción			
<ul style="list-style-type: none"> - Utilice una escalera de abrir y asegúrese de que este firmemente colocada. - Utilice calzado antideslizante. 			
Recursos:	Objetivo de la instrucción:		
- Escalera, trapo seco.	- Comprobar el funcionamiento de las luminarias.		
Instrucción técnica			
<ul style="list-style-type: none"> - Asegure la escalera. Presione el interruptor de prueba de las luminarias de emergencia para comprobar su correcto funcionamiento. Informe a la unidad de control electromecánico en caso de que alguna luminaria no haya encendido durante la prueba. - Utilice el trapo seco para eliminar la suciedad de la luminaria. 			
Ilustración de referencia			
			

Figura 9

Formato de lección de un punto (OPL – One Point Lesson) desarrollada para las luminarias de emergencia

Capítulo V. Conclusiones

1. La selección y desarrollo del modelo de gestión adecuado permitió abordar el problema descrito en este trabajo, obteniendo mejoras significativas, como se evidencia en los resultados del plan piloto.
2. El análisis de la calidad de la gestión del mantenimiento aplicado en la planta potabilizadora permitió identificar los factores de gestión con las mayores oportunidades de mejora, los cuales son el desarrollo de una estrategia específica para la unidad de control electromecánico y el desarrollo de un sistema de información.
3. La información que se recopiló condujo la investigación hacia los equipos con la mayor criticidad en la planta potabilizadora, lo que permitió concentrar los esfuerzos en el análisis de estos, para desarrollar planes de mantenimiento efectivos.
4. El cuadro de mando integral desarrollado en paralelo con el mapa estratégico del AyA le permite a la unidad de control electromecánico orientar sus labores hacia el cumplimiento de metas y objetivos.
5. Como consecuencia de la investigación y las consultas que se realizaron a los proveedores e ingenieros, se desarrollaron planes de mantenimiento detallados con frecuencias, tiempos de duración, medidas de seguridad y tareas de acuerdo con las necesidades de los equipos.
6. Ante la falta de una herramienta tecnológica de gestión, se generó una solución eficiente y económica mediante el uso de un documento de Microsoft Excel que indica las labores

de mantenimiento que se deben realizar, además de permitir el monitoreo del mantenimiento realizado, lo que sirve para futuras referencias y toma de decisiones.

Capítulo VI. Recomendaciones

1. Se recomienda incluir un nuevo puesto de trabajo en la unidad de control electromecánico de la planta potabilizadora de Guadalupe, San José, cuya labor sea la de encargarse de registrar y gestionar la información, además de ser el enlace de comunicación entre los técnicos de mantenimiento y el director de la unidad. Su ubicación en el organigrama es justo después del director de la unidad.
2. Se recomienda duplicar el número de técnicos de mantenimiento para brindarle atención a la planta potabilizadora al menos dos días por semana.
3. Se recomienda realizar la evaluación de la gestión del mantenimiento mediante el uso de la normativa Covenin 2500-93 al menos una vez al año, esto para saber si existe progreso en el aprovechamiento de las oportunidades de mejora.
4. Se aconseja evaluar el diseño del actual sistema de filtrado, ya que este ha sufrido cambios con el paso del tiempo para adaptarse a la demanda creciente de agua potable, pero estos cambios no se respaldaron con cálculos o investigaciones.
5. Se recomienda subcontratar una inspección completa del tecele, ya que el fabricante sugiere este tipo de revisiones cada 5 años y ya se superó este límite de tiempo desde el primer uso de este.
6. Se aconseja realizar una revisión del sistema de detección de gas cloro, ya que este sensor tiene una vida útil de un año y ya ha transcurrido más de un año desde su instalación.

Bibliografía

- Ardila, J. G.; Ardila, M. I.; Rodríguez, D. e Hincapié, D. A. (2016). La gerencia del mantenimiento: una revisión. *Dimensión Empresarial*, 14(2), 127-142.
- Banco Central de Costa Rica. (2022). *Tipo cambio de compra y de venta del dólar de los Estados Unidos de América*.
<https://gee.bccr.fi.cr/indicadoreseconomicos/Cuadros/fmVerCatCuadro.aspx?idioma=1&CodCuadro=%20400>
- Becerra, J. y Salas, I. (2016). El derecho humano al acceso al agua potable: aspectos filosóficos y constitucionales de su configuración y garantía en Latinoamérica. *Revista Prolegómenos-Derechos y Valores*, 125-146.
- Blank, L. y Tarquin, A. (2012). *Ingeniería Económica* (Séptima edición). McGraw-Hill.
- Bray Controls. (s. f.). *Manual de funcionamiento y mantenimiento, actuador neumático serie 92/93*. Bray Controls. <https://www.rackcdn.com>
- Bray Controls. (s. f.). *Manual de funcionamiento y mantenimiento, válvulas de mariposa con asiento resiliente*. Bray Controls. <https://www.valvtronic.com>
- Compañía Nacional de Fuerza y Luz. (2022). *Tarifas vigentes*. CNFL.
<https://www.cnfl.go.cr/servicios/electricos/inmuebles/tramites/tarifas>
- Covenin 2500-93. (1993). *Manual para evaluar los sistemas de mantenimiento en la industria*. Comisión Venezolana de Normas Industriales.

Delgado, W. (2015). Gestión y valor económico del recurso hídrico. *Finanz*, 279-298. DOI:

<http://dx.doi.org/10.14718/revfinanzpolitecon.2015.7.2.4>

García, S. (2004). *Organización y gestión integral de mantenimiento*. Ediciones Díaz de Santos.

Idrica. (2021, 16 de febrero). *La digitalización de la gestión del agua, hoja de ruta para el*

2021. <https://www.iagua.es/noticias/idrica/digitalizacion-gestion-agua-hoja-ruta-2021>

Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. (2018). *Informe de Gestión 2014-2018*. AyA.

<https://www.aya.go.cr/Noticias/Documents/Informe%20final%20de%20Gesti%C3%B3n%20AyA%202014%202018.pdf>.

Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. (2020). *Nuestra historia*. AyA.

<https://www.aya.go.cr/conozcanos/SitePages/Nuestra%20Historia.aspx>

Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. (2020). *Índice salarial*. AyA.

https://www.aya.go.cr/transparencialnst/acceso_informacion/Paginas/Salarios.aspx

Inteco. (2020, 30 de julio). *INTE G43:2020, Indicadores clave de desempeño del mantenimiento*.

Ley n.º 7593. (1996, 9 de agosto). *Ley de la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos (ARESEP)*.

Mallía, J. (2019, 22 de julio). *Repositorio Universidad de Guayaquil: Propuesta de mejora*

del plan de mantenimiento de la planta de producción de agua potable de Guayaquil identificando la criticidad de los equipos del proceso productivo y enfocado en la técnica T.P.M. Refworks.

<http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/41721>

Manzano, M. y Gisbert, V. (2016). Lean Manufacturing: Implantación 5S. *Revista 3C Tecnología*, 16-26.

Moubray, J. (2004). *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (Reliability-centred Maintenance)* (Segunda edición). Aladon LLC.

Parra, C. y Crespo, A. (2015). *Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad Aplicada en Gestión de Activos: Desarrollo y aplicación práctica de un modelo de Gestión del mantenimiento (MGM)* (Segunda edición). Ingeman.

Peña, A. (2017, 27 de junio). *Diseño del plan de mantenimiento preventivo y correctivo para la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Muzo (Boyacá)*. <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/16026>

Robayo, E. (2018, 9 de agosto). *Elaboración del sistema de gestión de mantenimiento para la planta de tratamiento de agua potable Casigana de la EP-EMAPA-A*. DSpace Universidad Indoamerica. <http://repositorio.uti.edu.ec/handle/123456789/841>

SDMO. (s. f.). *Manual de uso y funcionamiento de los grupos electrógenos*.

Suzuki, T. (1995). *TPM en industrias de procesos*. TGP Hoshin.

Vega, C. (2019, 7 de octubre). *Diseño de un Modelo Integrado de Gestión de*

Mantenimiento y Riesgo aplicado al mantenimiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) «Los Tajos», en Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, AyA. <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/10891>

Anexos

Anexo A. Descripción del proceso productivo y organigrama de la planta

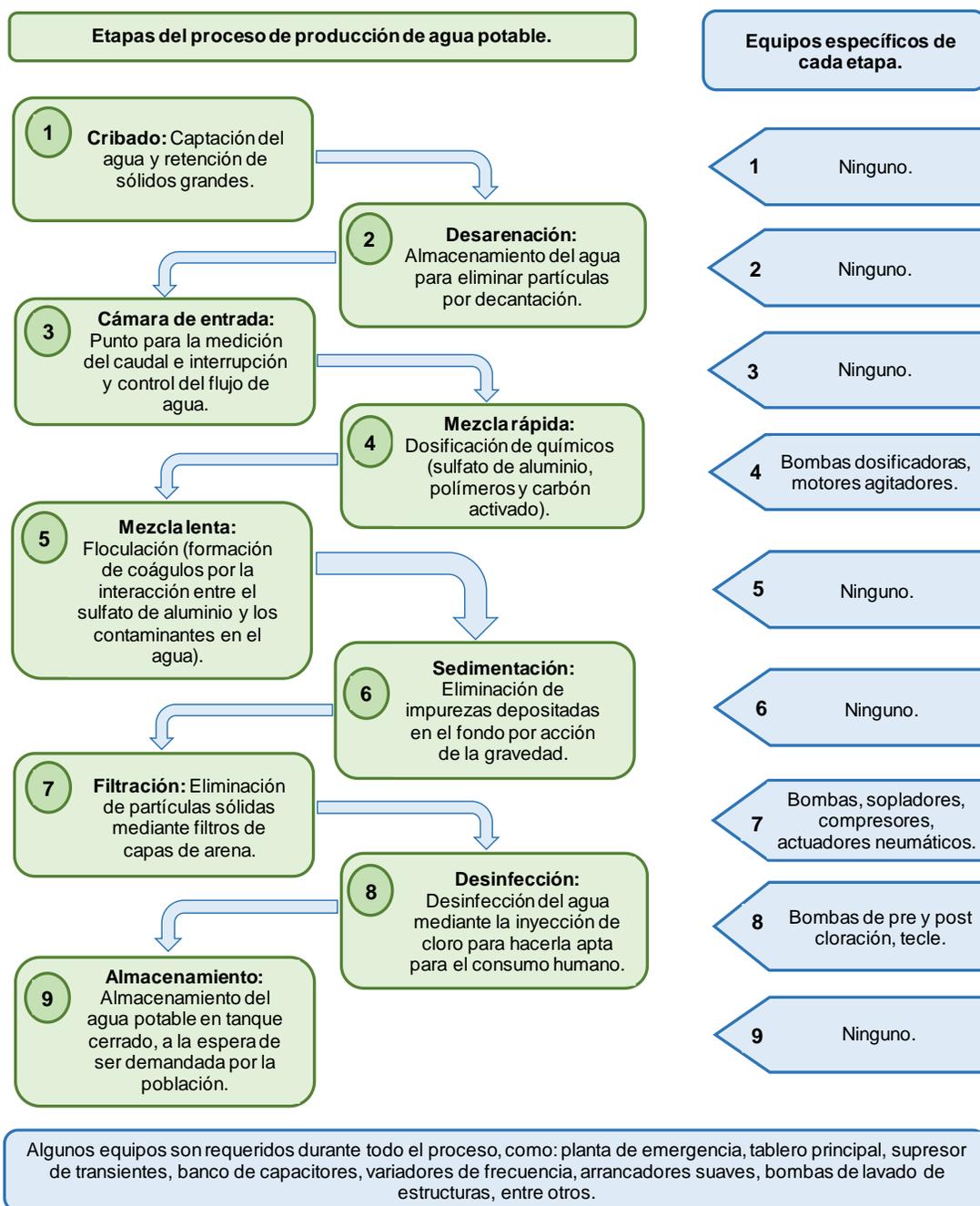


Figura 10

Descripción del proceso de producción de agua potable

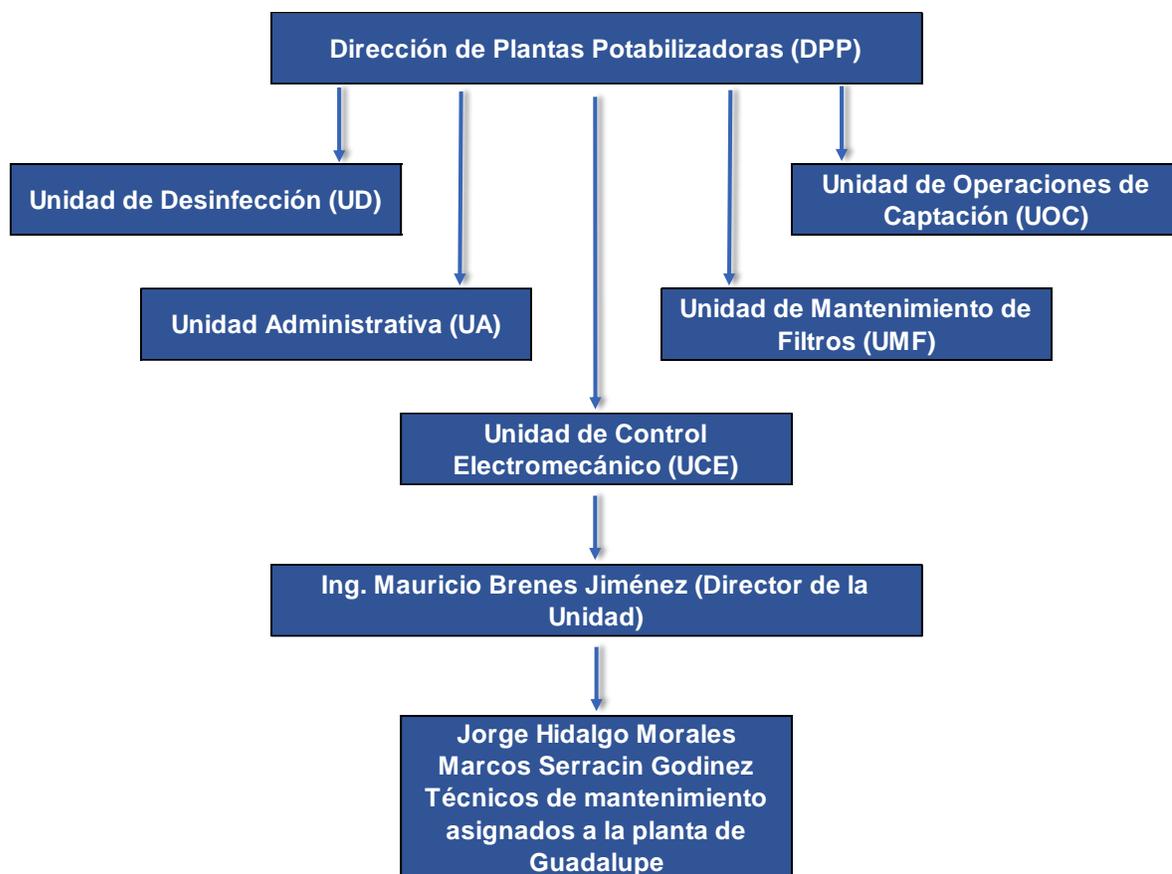


Figura 11

Organigrama de la planta potabilizadora de Guadalupe AyA

Anexo B. Desglose y puntajes que se obtienen en los principios y deméritos de las áreas de estudio de la normativa Covenin 2500-93

Tabla 34

Resumen y puntajes que se obtienen en las distintas áreas de estudio de la normativa

Covenin 2500-93

Área	Principio Básico	Deméritos	Pts.	Pts Ob.	
1 - Organización de la Empresa	1 - Funciones y Responsabilidades	1-La empresa posee organigramas.	20	20	
		2-Las funciones y responsabilidades estan especificadas.	20	16	
		3-La definición de funciones llega hasta el ultimo nivel supervisorio.	20	20	
	2 - Autoridad y Autonomía	1-La línea de autoridad esta claramente definida.	10	10	
		2-Las personas tienen pleno conocimiento de sus funciones.	10	10	
		3- Existe duplicidad de funciones.	10	8	
		4-La resolución de problemas rutinarios no se debe consultar a niveles superiores.	10	10	
	3 - Sistema de Información	1-Se cuenta con un diagrama de flujo para el sistema de información.	10	6	
		2-Se cuenta con mecanismos para evitar que se introduzca información errada.	5	0	
		3-La empresa cuenta con un archivo ordenado y jerarquizado.	5	0	
		4-Existen procedimientos para comunicar información entre secciones o unidades.	10	5	
		5-Se dispone de los medios para el procesamiento de la información.	10	0	
		6-Existen mecanismos para que la información llegue a quien la debe manejar.	10	0	
	2 - Organización de Mto	1 - Funciones y Responsabilidades	1-La empresa posee organigramas.	15	15
			2-La organización del mantenimiento esta acorde al tamaño de la planta.	15	10
3-La unidad de mantenimiento se presenta en el organigrama general.			15	15	
4-Las funciones y responsabilidades están definidas claramente.			10	10	
5-La asignación de funciones llega hasta el ultimo nivel supervisorio.			10	10	
6-La empresa cuenta con el personal suficiente.			15	10	
2 - Autoridad y Autonomía		1-La unidad de mantenimiento tiene definidas las líneas de autoridad.	15	15	
		2-El personal de mantenimiento tiene pleno conocimiento de sus funciones.	15	15	
		3-Se presenta duplicidad en las funciones asignadas.	10	10	
		4-Los problemas rutinarios no se pueden resolver sin consultar a los superiores.	10	8	
3 - Sistema de Información		1-La organización cuenta con un flujograma para su sistema de información.	15	5	
		2-Se dispone de medios para el procesamiento de la información entre secciones.	15	5	
		3-Se cuenta con mecanismos para evitar que se introduzca información errada.	10	0	
		4-La organización cuenta con un archivo ordenado y jerarquizado.	10	5	
		5-Existen procedimientos para comunicar información entre secciones.	10	0	
		6-Existen mecanismos para que la información llegue a quien la debe manejar.	10	0	

3 - Planificaci ón de Mto	1 - Objetivos y Metas	1-Se encuentran definidos los objetivos y metas que debe cumplir la organización.	20	0
		2-La organización posee un plan que detalle las necesidades de mantenimiento.	20	5
		3-La organización tiene orden de prioridades para la ejecución del mantenimiento.	15	7
		4-El mantenimiento que se ejecuta se orienta hacia el cumplimiento de objetivos.	15	0
	2 - Políticas para la planificación	1-La organización posee un estudio que detalle las necesidades de mantenimiento.	20	0
		2-La organización tiene orden de prioridades para la ejecución del mantenimiento.	20	10
		3-A los sistemas solo se les realiza mantenimiento cuando fallan.	15	10
		4-El equipo gerencial tiene coherencia en torno a las políticas de mantenimiento.	15	15
	3 - Control y Evaluación	1-Existen procedimientos para recabar y comunicar información.	10	5
		2-Existe una codificación que permita la ubicación de cada objeto en el proceso.	10	10
		3-La empresa posee inventario de manuales de mantenimiento y operación.	10	10
		4-Se dispone de un inventario técnico de objetos de mantenimiento.	10	0
		5-Se llevan registros de fallas y causas por escrito.	5	1
		6-Se llevan estadísticas de tiempos de parada y de tiempos de reparación.	5	0
		7-Se tiene archivada la información para la elaboración de planes de mantenimiento.	5	0
		8-La información es procesada y analizada para la futura toma de decisiones.	5	0
4 - Mto Rutinario	1 - Planificación	1-Están escritas en forma clara las instrucciones para aplicar mantenimiento rutinario.	20	0
		2-Falta documentación para la generación de acciones de mantenimiento rutinario.	20	0
		3-Los operarios están bien informados sobre el mantenimiento que deben realizar.	20	10
		4-Se coordina con la unidad de producción para ejecutar el mantenimiento rutinario.	20	20
		5-Las labores de mantenimiento rutinario son realizadas por personal adecuado.	10	8
		6-Se cuenta con stock de materiales para la ejecución de este mantenimiento.	10	0

4 - Mto Rutinario	2 - Programación e Implantación	1-Existe un sistema donde se identifique el programa de mantenimiento rutinario.	15	0
		2-La programación de mantenimiento rutinario esta definida de forma clara y detalla.	10	0
		3-Existe un programa de mantenimiento pero no se cumple con la frecuencia estipulada.	10	5
		4-Existe holgura para el ajuste de la programación del mantenimiento rutinario.	10	10
		5-La frecuencia del mantenimiento rutinario esta asignada a un momento especifico.	10	0
		6-Se cuenta con personal idóneo para la implantación del plan de mantenimiento.	10	10
		7-Se tienen identificados los sistemas que formaran parte del mantenimiento rutinario.	10	8
		8-La organización tiene supervisión para la ejecución del mantenimiento rutinario.	5	0
	3 - Control y Evaluación	1-Se dispone de una ficha para el control de los manuales de servicio y operación.	10	10
		2-Existe un seguimiento desde la generación hasta la ejecución del mantenimiento.	15	0
		3-Se llevan registro de las actividades de mantenimiento rutinario realizadas.	5	2
		4-Existen formatos de control que permitan verificar si se cumple el mantenimiento.	10	0
		5-Existen formatos de control para recopilar información de consumo de insumos.	5	0
		6-El personal de labores de acopio y archivo de información esta bien adiestrado.	5	5
		7-La recopilación de información permite la evaluación del mantenimiento rutinario.	20	0
5 - Mto Preventivo	1 - Determinación de Parámetros	1-La unidad cuenta con apoyo de planta para determinar parámetros de mantenimiento.	20	10
		2-La unidad cuenta con los datos de confiabilidad de los objetos de mantenimiento.	20	0
		3-Se tienen estadísticas de frecuencia de revisiones y sustituciones de piezas claves.	20	0
		4-Se llevan registros de tiempos de paradas y tiempos de fallas.	10	0
		5-El personal de la unidad esta capacitado para registrar tiempos de paradas y fallas.	10	10
	2 - Planificación	1-Existe delimitación entre sistemas que forman parte del programa de mantenimiento.	20	20
		2-La unidad cuenta con fichas de información técnica de los objetos de mantenimiento.	20	5

5 - Mto Preventivo	3 - Programación e Implantación	1-La frecuencia del mantenimiento preventivo esta asignada a un día específico.	20	20
		2-Las ordenes de trabajo se emiten con la suficiente antelación.	15	15
		3-Existe holgura para el ajuste de programación del mantenimiento preventivo.	15	15
		4-Existe apoyo que permita la implantación de programa de mantenimiento preventivo.	10	10
		5-Los planes para programar mantenimiento preventivo se ajustan a la empresa.	10	5
	4 - Control y Evaluación	1-Existe un seguimiento desde la generación hasta la ejecución del mantenimiento.	15	0
		2-Existen mecanismos idóneos para medir la eficiencia de los resultados.	15	0
		3-La unidad cuenta con fichas que recopilen información de cada equipo inventariado.	10	0
		4-La recopilación de información permite la evaluación del mantenimiento preventivo.	20	0
6 - Mto por Avería	1 - Atención a las Fallas	1-Cuando se presenta una falla, esta se ataca de inmediato para evitar que provoque daños.	20	18
		2-Se cuenta con registro de fallas que permitan el análisis de averías.	20	0
		3-La emisión de ordenes de trabajo para atacar una falla se hace de manera rápida.	15	15
		4-Existen procedimientos de ejecución que disminuyan el tiempo fuera de servicio.	15	0
		5-Los tiempos administrativos de espera por repuestos están presentes en alto grado.	15	5
		6-Se tiene establecido un orden de prioridades en cuanto a la atención de fallas.	15	15
	2 - Supervisión y Ejecución	1-Existe un seguimiento desde la generación hasta la ejecución del mantenimiento.	20	0
		2-La unidad cuenta por personal para inspeccionar equipos después de la falla.	15	0
		3-Existe supervisión en el transcurso de la reparación y puesta en marcha.	10	0
		4-El retardo de la ejecución del mantenimiento por avería ocasiona paradas prolongadas.	10	10
		5-Se llevan registros para analizar las fallas y determinar la corrección definitiva.	5	0
		6-Se lleva registro sobre el consumo de repuestos utilizados en la atención de averías.	5	2
		7-Se cuenta con las herramientas y equipos necesarios para la atención de averías.	5	4
		8-Existe personal calificado para la atención de cualquier tipo de falla.	10	8
	3 - Información sobre las Averías	1-Existen procedimientos para recopilar información sobre las fallas ocurridas.	20	0
		2-La unidad cuenta con personal calificado para analizar información sobre fallas.	10	0
		3-Existe un historial de fallas de cada objeto de mantenimiento.	20	0
		4-La recopilación de información permite la evaluación del mantenimiento por avería.	20	0

7 - Personal de Mto	1 - Cuantificaci n de las Necesidades del Personal	1-Se hace uso de los datos que proporciona el proceso de cuantificación de personal.	30	20	
		2-La cuantificación de personal esta ajustada a la realidad de la planta.	20	8	
		3-La unidad cuenta con formatos que especifiquen tipo y numero de mantenimiento.	10	0	
	2 - Selección y Formación	1-La selección se realiza de acuerdo a las características del trabajo a realizar.	10	10	
		2-Se tienen procedimientos para la selección de personal con alta calificación.	10	10	
		3-Se tienen establecidos los periodos de adaptación del personal.	10	10	
		4-Se cuenta con programas de formación que permitan mejorar sus capacidades.	10	2	
		5-Los cargos en la organización de mantenimiento se tienen por escrito.	10	10	
		6-La descripción del cargo es conocida plenamente por el personal.	10	10	
		7-La ocupación de cargos vacantes se da con promoción interna.	10	10	
		8-Para cargos se toma en cuenta necesidades de la cuantificación del personal.	10	5	
	3 - Motivación e Incentivos.	1-Se da importancia al efecto positivo del mantenimiento para el logro de metas.	20	20	
		2-Existe evaluación periódica del trabajo para fines de ascensos o aumentos.	10	10	
		3-La empresa otorga incentivos por puntualidad, calidad del trabajo, iniciativa.	10	0	
		4-Se estimula al personal con cursos que aumenten su capacidad.	10	0	
	8 - Apoyo Logístico	1 - Apoyo Administrativ o	1-Los recursos asignados a la unidad de mantenimiento son suficientes.	10	7
2-La administración tiene políticas definidas para apoyar la unidad de mantenimiento.			10	8	
3-La administración funciona en coordinación con la unidad de mantenimiento.			10	8	
4-Se deben desarrollar muchos tramites dentro de la empresa para otorgar recursos.			5	0	
5-Se posee políticas de financiamiento para mejorar objetos de mantenimiento.			5	5	
2 - Apoyo Gerencial		1-La unidad de mantenimiento tiene el nivel jerárquico adecuado dentro de la empresa.	10	10	
		2-Para la gerencia, mantenimiento es solo la reparación de los sistemas.	10	8	
		3-La gerencia considera que es primordial la existencia de la unidad de mantenimiento.	10	10	
		4-La gerencia delega autoridad en la toma de decisiones.	5	5	
		5-La gerencia muestra confianza en las decisiones tomadas por la unidad.	5	5	
3 - Apoyo General		1-Se cuenta con apoyo general de la organización para la ejecución del mantenimiento.	10	10	
		2-Se aceptan sugerencias de algún ente que no este relacionado con mantenimiento.	10	10	
9 - Recursos		1 - Equipos	1-Se cuenta con equipos necesarios para operar con efectividad.	5	4
			2-Se tienen los equipos necesarios y se les da el uso adecuado.	5	5
	3-El ente tiene acceso a alternativas económicas para la adquisición de equipos.		5	5	
	4-Los parámetros de operación y capacidad de equipos son plenamente conocidos.		5	5	
	5-Se lleva registro de entrada y salida de equipos.		5	3	
	6-Se cuenta con controles de uso y estado de los equipos.		5	0	

9 - Recursos	2 - Herramientas	1-Se cuenta con herramientas necesarias para operar con efectividad.	10	9
		2-Se dispone de sitio para la localización de las herramientas que facilite su obtención.	5	4
		3-Las herramientas existentes son las adecuadas para ejecutar las tareas.	5	4
		4-Se llevan registros de entrada y salida de herramientas.	5	5
		5-Se cuenta con controles de uso y estado de las herramientas.	5	0
	3 - Instrumentos	1-Se cuenta con los instrumentos necesarios para operar con efectividad.	5	4
		2-Se toma en cuenta la calidad y exactitud para la selección de instrumentos.	5	5
		3-El ente tiene acceso a alternativas tecnológicas de los instrumentos.	5	5
		4-Se tienen instrumentos para operar con eficiencia y se les da el uso adecuado.	5	3
		5-Se llevan registros de entrada y salida de instrumentos.	5	5
		6-Se cuenta con controles de uso y estado de los instrumentos.	5	0
	4 - Materiales	1-Se cuenta con los materiales necesarios para ejecutar las tareas de mantenimiento.	3	2
		2-El material se daña frecuentemente por no tener un área adecuada de almacenamiento.	3	3
		3-Los materiales están correctamente identificados en el almacén.	3	3
		4-Se ha determinado el costo por falta de material.	3	0
		5-Se establecen los materiales a tener en stock y cuales comprar de acuerdo a pedidos.	3	2
		6-Hay formatos de control de entradas y salidas de material de circulación permanente.	3	3
		7-Se lleva control de los materiales desechados por mala calidad.	3	0
		8-Se tiene información precisa de los diferentes proveedores de cada material.	3	3
		9-Se conocen los plazos de entrega de los materiales por los proveedores.	3	2
		10-Se conocen los mínimos y máximos para cada tipo de material.	3	0
	5 - Repuestos	1-Se cuenta con los repuestos necesarios para ejecutar las tareas de mantenimiento.	3	2
		2-Los repuestos se dañan frecuentemente por no tener área adecuada de almacenamiento.	3	3
		3-Los repuestos están correctamente identificados en el almacén.	3	2
		4-Se ha determinado el costo por falta de repuestos.	3	0
		5-Se establecen los repuestos a tener en stock y cuales comprar de acuerdo a pedidos.	3	2
		6-Hay formatos de control de entradas y salidas de repuestos de circulación permanente.	3	0
		7-Se lleva control de los repuestos desechados por mala calidad.	3	0
		8-Se tiene información precisa de los diferentes proveedores de cada repuesto.	3	3
		9-Se conocen los plazos de entrega de los repuestos por los proveedores.	3	2
10-Se conocen los mínimos y máximos para cada tipo de repuesto.		3	0	

Fuente: Normativa Covenin 2500-93, 1993.

Anexo C. Desglose de las ecuaciones de los indicadores del cuadro de mando integral

Tabla 35

Indicador económico E15, INTE G43: 2020

Indicador Económico: E15	
Unidad de medición: % (Relación entre costos).	
Expresión de cálculo:	$E15 = \frac{\text{Costo del mantenimiento correctivo}}{\text{Costo total del mantenimiento}} \times 100$

Fuente: Indicadores clave de desempeño del mantenimiento (Normativa INTE G43, 2020).

Tabla 36

Indicador económico E18, INTE G43: 2020

Indicador Económico: E18	
Unidad de medición: % (Relación entre costos).	
Expresión de cálculo:	$E18 = \frac{\text{Costo del mantenimiento programado}}{\text{Costo total del mantenimiento}} \times 100$

Fuente: Indicadores clave de desempeño del mantenimiento (Normativa INTE G43, 2020).

Tabla 37

Indicador de tiempo promedio operativo hasta el fallo (MTTF)

Indicador de Fiabilidad: MTTF	
Unidad de medición: tiempo (horas, días meses, etc.).	
Expresión de cálculo:	$MTTF = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} TTFi}{n}$
Donde:	TTFi = tiempos operativos hasta el fallo. n = número total de fallos en el período evaluado.

Fuente: Ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicada a gestión de activos, 2015.

Tabla 38*Indicador de frecuencia de fallos (FF)*

Indicador de Fiabilidad: FF	
Unidad de medición: Fallos/tiempo, (fallos/año, fallos/mes, etc.).	
Expresión de cálculo:	$FF = \frac{1}{MTTF}$
Donde:	MTTF = tiempos promedio operativo hasta el fallo.

Fuente: Ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicada a gestión de activos, 2015.

Tabla 39*Indicador de tiempo promedio fuera de servicio (MDT)*

Indicador de Fiabilidad: MDT	
Unidad de medición: tiempo (horas, días meses, etc.).	
Expresión de cálculo:	$MDT = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} DTi}{n}$
Donde:	DTi = tiempos fuera de servicio.
	n = número total de fallos en el período evaluado.

Fuente: Ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicada a gestión de activos, 2015.

Tabla 40*Indicador técnico T18, INTE G43: 2020*

Indicador Técnico: T18	
Unidad de medición: % (Relación entre números de sistemas).	
Expresión de cálculo:	$T18 = \frac{\text{Numero de sistemas cubiertos por un análisis de criticidad}}{\text{Número total de sistemas}} \times 100$

Fuente: Indicadores clave de desempeño del mantenimiento (Normativa INTE G43, 2020).

Tabla 41*Indicador de disponibilidad (D)*

Indicador Operacional: D	
Unidad de medición: % (relación de tiempos operativos y tiempos fuera de servicio).	
Expresión de cálculo:	$D = \frac{MTTF}{MTTF + MDT} \times 100$
Donde:	MTTF = tiempo promedio operativo hasta la falla = semana, mes, etc. MDT = tiempo promedio fuera de servicio = horas/falla.

Fuente: Ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicada a gestión de activos, 2015.

Tabla 42*Indicador organizacional O11, INTE G43: 2020*

Indicador Organizacional: O11	
Unidad de medición: % (Relación entre tiempos).	
Expresión de cálculo:	$O11 = \frac{\text{Tiempo empleado en mantenimiento correctivo de urgencia}}{\text{Tiempo total de indisponibilidad ligado al mantenimiento}} \times 100$

Fuente: Indicadores clave de desempeño del mantenimiento (Normativa INTE G43, 2020).

Tabla 43*Indicador organizacional O16, INTE G43: 2020*

Indicador Organizacional: O16	
Unidad de medición: % (Relación entre horas-hombre de mantenimiento).	
Expresión de cálculo:	$O16 = \frac{\text{Horas-hombre de mantenimiento correctivo}}{\text{Horas-hombre totales de mantenimiento}} \times 100$

Fuente: Indicadores clave de desempeño del mantenimiento. (Normativa INTE G43, 2020).

Tabla 44*Indicador organizacional O20, INTE G43: 2020*

Indicador Organizacional: O20	
Unidad de medición: % (Relación entre horas-hombre de mantenimiento).	
Expresión de cálculo:	$O20 = \frac{\text{Horas-hombre de mantenimiento programado}}{\text{Horas-hombre totales de mantenimiento}} \times 100$

Fuente: Indicadores clave de desempeño del mantenimiento (Normativa INTE G43, 2020).

Tabla 45*Indicador organizacional O22, INTE G43: 2020*

Indicador Organizacional: O22	
Unidad de medición: % (Relación entre ordenes de trabajo).	
Expresión de cálculo:	$O22 = \frac{\text{Número de ordenes de trabajo realizadas según la programación}}{\text{Número total de ordenes de trabajo programadas}} \times 100$

Fuente: Indicadores clave de desempeño del mantenimiento (Normativa INTE G43, 2020).

Anexo D. Levantamiento de los equipos electromecánicos de la planta potabilizadora de Guadalupe

Tabla 46

Levantamiento de los equipos que se encontraron en la Planta potabilizadora de Guadalupe, San José

Sistema 010. Planta de emergencia				
Equipo 1	Marca	Nomenclatura	Función	Parámetros
Planta de emergencia	- KOHLER SDMO - Modelo: J60U	05_01_PDE01_010	Suplir la alimentación eléctrica en caso de un fallo en la red.	Voltaje: 220/127 V Capacidad: 75 KVA
Motor de combustión interna	- John Deere	05_01_MCI01_010	Suplir la energía mecánica requerida por el generador	Velocidad: 1800 rpm Potencia máxima en espera (a RPM nominales): 97 kW
Sistema 020. Lavado de estructuras				
Equipo 1	Marca	Nomenclatura	Función	Parámetros
Bomba centrífuga 1 Lavado de estructuras	- Goulds Water Technology - Modelo: 3656	05_01_BLE01_020	Lavado de estructuras varias, piletas de pre-sedimentación y sedimentación, entre otros.	Caudal: 17,665 lts/s Presión: 2,758 Bar
Motor eléctrico trifásico	- US Motors	05_01_MBE01_020	Hace girar el eje de la bomba.	Potencia: 10 HP Voltaje: 230 V Corriente: 23,8 A Velocidad: 3510 rpm
Equipo 2	Marca	Nomenclatura	Función	Parámetros
Bomba centrífuga 2 Lavado de estructuras	- Goulds Water Technology - Modelo: 3656	05_01_BLE02-020	Lavado de estructuras varias, piletas de pre-sedimentación y sedimentación, entre otros.	Caudal: 17,665 lts/s Presión: 2,758 Bar
Motor eléctrico trifásico	- US Motors	05_01_MBE02_020	Hace girar el eje de la bomba.	Potencia: 10 HP Voltaje: 230 V Corriente: 23,8 A Velocidad: 3510 rpm
Sistema 030. Tecle				
Equipo 1	Marca	Nomenclatura	Función	Parámetros
Tecle	- Shaw-Box Dresser	05_01_TEC01_030	Elevar y desplazar los tanques de gas cloro.	Capacidad: 2 Ton

Sistema 040. Tanque hidroneumático				
Equipo 1	Marca	Nomenclatura	Función	Parámetros
Bomba centrífuga 1 Bomba tanque Hidroneumático	Dato borrado	05_01_BTH01_040	Suplir la alimentación de agua potable para consumo interno en la planta.	Caudal: 17,665 lts/s Presión: 2,068 Bar
Motor eléctrico trifásico		05_01_MBT01_040	Hace girar el eje de la bomba centrífuga.	Potencia: 10 HP Voltaje: 230 V Corriente: 27 A Velocidad: 3510 rpm
Equipo 2	Marca	Nomenclatura	Función	Parámetros
Tanque hidroneumático	- Gould pumps	05_01_THI01_040	Mantener la presión del agua de consumo constante.	Presión: 2,068 Bar como mínimo
Sistema 050. Aire comprimido				
Equipo 1	Marca	Nomenclatura	Función	Parámetros
Compresor 1 Dos etapas, simple efecto	- Schulz - Modelo: MSV-20 MAX	05_01_COM01_050	Proporcionar aire comprimido a los actuadores y equipos neumáticos.	Caudal: 9,438 lts/s Presión: 12 Bar
Motor eléctrico trifásico		05_01_MCA01_050	Hace girar el eje del compresor.	Potencia: 5 HP Voltaje: 230 V Corriente: 15,2 A Velocidad: 3485 rpm
Equipo 2	Marca	Nomenclatura	Función	Parámetros
Compresor 2 Dos etapas, simple efecto	- Schulz - Modelo: MSV-15 MAX	05_01_COM02_050	Proporcionar aire comprimido a los actuadores y equipos neumáticos.	Caudal: 7,083 lts/s Presión: 12 Bar
Motor eléctrico trifásico		05_01_MCA02_050	Hace girar el eje del compresor.	Potencia: 3 HP Voltaje: 230 V Corriente: 9,6 A Velocidad: 3485 rpm
Equipo 3	Marca	Nomenclatura	Función	Parámetros
Tanque	- Quincy - Modelo: QT-10	05_01_TAC01_050	Almacenar aire comprimido y mantener la presión constante.	5,515 Bar a 6,894 Bar
Sistema 060. Iluminación				
Equipos	Marca	Nomenclatura	Función	Parámetros
Luminarias varias	Varias	05_01_LUM01_060	Alumbrado de las áreas internas y externas de la planta.	Voltaje: 120 V
Sistema 070. Sistemas eléctricos en casas plantas				
Equipo 1	Marca	Nomenclatura	Función	Parámetros
Supresor de transientes	Square D	05_01_SDT01_070	Proteger las instalaciones eliminando los picos transitorios de sobre tensiones y picos de voltaje.	Voltaje: 120/208 V Capacidad: 160 KA (36 KA por fase)

Equipo 2	Marca	Nomenclatura	Función	Parámetros
Banco de capacitores	- EPCOS - Modelo: MKK400-D-15-01	05_01_BAC01_070	Corregir el factor de potencia a un valor de 0,99	Capacitancia etapa 1 y 2 (6,25 KVA * 2) Capacitancia etapa 3, 4 y 5 (12,5 KVA * 4)
Equipo 3	Marca	Nomenclatura	Función	Parámetros
Tablero principal	- EATON - Modelo: POW-R-LINE	05_01_TAP01_070	Control sobre las instalaciones eléctricas.	Voltaje: 120/208 V Corriente: 225 A Sistema: 3 fases, 4 hilos
Equipo 4	Marca	Nomenclatura	Función	Parámetros
Transformador de distribución tipo seco	- SQUARE D	05_01_TTS01_070	Adecuar los niveles de tensión.	Voltaje: 120/208 V Capacidad: 7.5 KVA
Sistema 080. Pre y post cloración				
Equipo 1	Marca	Nomenclatura	Función	Parámetros
Bomba centrífuga 1 Pre y post cloración	- G y L Pumps - Modelo: SSH	05_01_BCL01_080	Dosificar el gas cloro mediante el efecto eyector.	Caudal: 8,391 lts/s Presión: 2,758 Bar
Motor eléctrico trifásico	- US Motors	05_01_MBC01_080	Hace girar el eje de la bomba centrífuga.	Potencia: 5 HP Voltaje: 230 V Corriente: 12,8 A Velocidad: 3495 rpm
Equipo 2	Marca	Nomenclatura	Función	Parámetros
Bomba centrífuga 2 Pre y post cloración	- G y L Pumps - Modelo: SSH	05_01_BCL02_080	Dosificar el gas cloro mediante el efecto eyector.	Caudal: 8,391 lts/s Presión: 2,758 Bar
Motor eléctrico trifásico	- US Motors	05_01_MBC02_080	Hace girar el eje de la bomba centrífuga.	Potencia: 5 HP Voltaje: 230 V Corriente: 12,8 A Velocidad: 3495 rpm
Equipo 3	Marca	Nomenclatura	Función	Parámetros
Bomba centrífuga 2 Pre y post cloración	- G y L Pumps - Modelo: SSH	05_01_BCL03_080	Dosificar el gas cloro mediante el efecto eyector.	Caudal: 8,391 lts/s Presión: 2,758 Bar
Motor eléctrico trifásico	- US Motors	05_01_MBC03_080	Hace girar el eje de la bomba centrífuga.	Potencia: 5 HP Voltaje: 230 V Corriente: 12,8 A Velocidad: 3495 rpm
Equipo 4	Marca	Nomenclatura	Función	Parámetros
Detector de gas cloro	- Reagal - Serie 3000	05_01_DDG01_080	Detectar fugas de Gas cloro (Es tóxico y nocivo para la salud).	Partes por millón

Sistema 090. Preparación de sulfatos				
Equipo 1	Marca	Nomenclatura	Función	Parámetros
Motor agitador eléctrico trifásico	- Neptune - Marca motor: Lesson	05_01_MAG01_090	Mezclar el agua con el sulfato de aluminio.	Potencia: 3/4 HP Voltaje: 230 V Corriente: 2,8 A Velocidad: 1725 rpm
Equipo 2	Marca	Nomenclatura	Función	Parámetros
Motor agitador eléctrico trifásico	- Neptune - Marca motor: FHP	05_01_MAG02_090	Mezclar el agua con el sulfato de aluminio.	Potencia: 1 HP Voltaje: 230 V Corriente: 3,8 A Velocidad: 1720 rpm
Sistema 100. Dosificación de sulfatos				
Equipo 1	Marca	Nomenclatura	Función	Parámetros
Bomba de diafragma 1 Dosificación de sulfatos	- Prominent - Modelo: TZMB	05_01_BDS01_100	Dosificar la mezcla de agua con sulfato en el agua procedente de los ríos y quebradas.	Caudal: 0,237 lts/s Presión: 7 Bar
Motor eléctrico trifásico	ATB	05_01_MBD01_100	Hace girar el eje de la bomba de diafragma.	Potencia: 2 HP Voltaje: 230 V Corriente: 5 A Velocidad: 1745 rpm
Equipo 2	Marca	Nomenclatura	Función	Parámetros
Bomba de diafragma 2 Dosificación de sulfatos	- Prominent Modelo: TZMB	05_01_BDS02_100	Dosificar la mezcla de agua con sulfato en el agua procedente de los ríos y quebradas.	Caudal: 0,237 lts/s Presión: 7 Bar
Motor eléctrico trifásico	ATB	05_01_MBD02_100	Hace girar el eje de la bomba de diafragma.	Potencia: 2 HP Voltaje: 230 V Corriente: 5 A Velocidad: 1745 rpm
Sistema 110. Preparación de carbón activado				
Equipo 1	Marca	Nomenclatura	Función	Parámetros
Motor agitador monofásico	Marathon Electric	05_01_MAG03_110	Mezclar el agua con el carbón activado.	Potencia: 1-1/2 HP Voltaje: 230 V Corriente: 7,6 A Velocidad: 1725 rpm
Sistema 120. Lavado de filtros				
Equipo 1	Marca	Nomenclatura	Función	Parámetros
Soplador 1	DeltaBlower Aerzen	05_01_SOP01_120	Impulsar aire para limpiar los filtros de arena.	Caudal: 330,277 lts/s Presión: 1,22 Bar
Motor eléctrico trifásico		05_01_MSA01_120	Hace girar el eje del soplador.	Potencia: 25 HP Voltaje: 230 V Corriente: 57 A Velocidad: 3535 rpm

Equipo 2	Marca	Nomenclatura	Función	Parámetros
Soplador 2	DeltaBlower Aerzen	05_01_SOP02_120	Impulsar aire para limpiar los filtros de arena.	Caudal: 330,28 lts/s Presión: 1,22 Bar
Motor eléctrico trifásico		05_01_MSA02_120	Hace girar el eje del soplador.	Potencia: 25 HP Voltaje: 230 V Corriente: 57 A Velocidad: 3535 rpm
Equipo 3	Marca	Nomenclatura	Función	Parámetros
Bomba centrífuga 1 Lavado de filtros	- Goulds Water Technology - Modelo: 3656	05_01_BLF01_120	Impulsa el agua a través de los filtros durante el proceso de limpieza.	Caudal: 145,11 lts/s Presión: 1,57 Bar
Motor eléctrico trifásico	Baldor	05_01_MBF01_120	Hace girar el eje de la bomba centrífuga.	Potencia: 40 HP Voltaje: 230 V Corriente: 104 A Velocidad: 1160 rpm
Equipo 4	Marca	Nomenclatura	Función	Parámetros
Bomba centrífuga 2 Lavado de filtros	- Goulds Water Technology - Modelo: 3656	05_01_BLF02_120	Impulsa el agua a través de los filtros durante el proceso de limpieza.	Caudal: 94,64 lts/s Presión: 0,88 Bar
Motor eléctrico trifásico	Baldor Reliance	05_01_MBF02_120	Hace girar el eje de la bomba centrífuga.	Potencia: 15 HP Voltaje: 230 V Corriente: 41 A Velocidad: 1175 rpm
Equipo 5 (filtro 1)	Marca	Nomenclatura	Función	Parámetros
Actuador Neumático	- Bray controls - Serie: Actuador: 92/93 Válvula: 30/31	05_01_ACN01_120	Habilitar o inhabilitar el paso de fluido por la tubería de 2 pulgadas.	Volumen: 219,60 cm ³ Presión: 5,52 Bar Torque: 34 N-m
Actuador Neumático		05_01_ACN02_120	Habilitar o inhabilitar el paso de fluido por la tubería de 6 pulgadas.	Volumen: 820,50 cm ³ Presión: 5,52 Bar Torque: 115 N-m
Actuador Neumático		05_01_ACN03_120	Habilitar o inhabilitar el paso del agua al interior del filtro de arena.	Volumen: 1683,10 cm ³ Presión: 5,52 Bar Torque: 245 N-m
Actuador Neumático		05_01_ACN04_120	Habilitar o inhabilitar el paso del agua al interior del filtro de arena.	Volumen: 2303,30 cm ³ Presión: 5,52 Bar Torque: 327 N-m
Equipo 6 (filtro 2)	Marca	Nomenclatura	Función	Parámetros
Actuador Neumático	- Bray controls - Serie: Actuador: 92/93 Válvula: 30/31	05_01_ACN05_120	Habilitar o inhabilitar el paso de fluido por la tubería de 2 pulgadas.	Volumen: 219,60 cm ³ Presión: 5,52 Bar Torque: 34 N-m
Actuador Neumático		05_01_ACN06_120	Habilitar o inhabilitar el paso de fluido por la tubería de 6 pulgadas.	Volumen: 820,50 cm ³ Presión: 5,52 Bar Torque: 115 N-m
Actuador Neumático		05_01_ACN07_120	Habilitar o inhabilitar el paso del agua al interior del filtro de arena.	Volumen: 1683,10 cm ³ Presión: 5,52 Bar Torque: 245 N-m
Actuador Neumático		05_01_ACN08_120	Habilitar o inhabilitar el paso del agua al interior del filtro de arena.	Volumen: 2303,30 cm ³ Presión: 5,52 Bar Torque: 327 N-m

Equipo 7 (filtro 3)	Marca	Nomenclatura	Función	Parámetros
Actuador Neumático	- Bray controls - Serie: Actuador: 92/93 Válvula: 30/31	05_01_ACN09_120	Habilitar o inhabilitar el paso de fluido por la tubería de 2 pulgadas.	Volumen: 219,60 cm ³ Presión: 5,52 Bar Torque: 34 N-m
Actuador Neumático		05_01_ACN010_120	Habilitar o inhabilitar el paso de fluido por la tubería de 6 pulgadas.	Volumen: 820,50 cm ³ Presión: 5,52 Bar Torque: 115 N-m
Actuador Neumático		05_01_ACN011_120	Habilitar o inhabilitar el paso del agua al interior del filtro de arena.	Volumen: 1683,10 cm ³ Presión: 5,52 Bar Torque: 245 N-m
Actuador Neumático		05_01_ACN012_120	Habilitar o inhabilitar el paso del agua al interior del filtro de arena.	Volumen: 2303,30 cm ³ Presión: 5,52 Bar Torque: 327 N-m
Equipo 8 (filtro 4)	Marca	Nomenclatura	Función	Parámetros
Actuador Neumático	- Bray controls - Serie: Actuador: 92/93 Válvula: 30/31	05_01_ACN013_120	Habilitar o inhabilitar el paso de fluido por la tubería de 2 pulgadas.	Volumen: 219,60 cm ³ Presión: 5,52 Bar Torque: 34 N-m
Actuador Neumático		05_01_ACN014_120	Habilitar o inhabilitar el paso de fluido por la tubería de 6 pulgadas.	Volumen: 820,50 cm ³ Presión: 5,52 Bar Torque: 115 N-m
Actuador Neumático		05_01_ACN015_120	Habilitar o inhabilitar el paso del agua al interior del filtro de arena.	Volumen: 1683,10 cm ³ Presión: 5,52 Bar Torque: 245 N-m
Actuador Neumático		05_01_ACN016_120	Habilitar o inhabilitar el paso del agua al interior del filtro de arena.	Volumen: 2303,30 cm ³ Presión: 5,52 Bar Torque: 327 N-m
Equipo 9 (filtro 5)	Marca	Nomenclatura	Función	Parámetros
Actuador Neumático	- Bray controls - Serie: Actuador: 92/93 Válvula: 30/31	05_01_ACN017_120	Habilitar o inhabilitar el paso de fluido por la tubería de 2 pulgadas.	Volumen: 219,60 cm ³ Presión: 5,52 Bar Torque: 34 N-m
Actuador Neumático		05_01_ACN018_120	Habilitar o inhabilitar el paso de fluido por la tubería de 6 pulgadas.	Volumen: 820,50 cm ³ Presión: 5,52 Bar Torque: 115 N-m
Actuador Neumático		05_01_ACN019_120	Habilitar o inhabilitar el paso del agua al interior del filtro de arena.	Volumen: 1683,10 cm ³ Presión: 5,52 Bar Torque: 245 N-m
Actuador Neumático		05_01_ACN020_120	Habilitar o inhabilitar el paso del agua al interior del filtro de arena.	Volumen: 2303,30 cm ³ Presión: 5,52 Bar Torque: 327 N-m
Equipo 10 (filtro 6)	Marca	Nomenclatura	Función	Parámetros
Actuador Neumático	- Bray controls - Serie: Actuador: 92/93 Válvula: 30/31	05_01_ACN021_120	Habilitar o inhabilitar el paso de fluido por la tubería de 2 pulgadas.	Volumen: 219,60 cm ³ Presión: 5,52 Bar Torque: 34 N-m
Actuador Neumático		05_01_ACN022_120	Habilitar o inhabilitar el paso de fluido por la tubería de 6 pulgadas.	Volumen: 820,50 cm ³ Presión: 5,52 Bar Torque: 115 N-m
Actuador Neumático		05_01_ACN023_120	Habilitar o inhabilitar el paso del agua al interior del filtro de arena.	Volumen: 1683,10 cm ³ Presión: 5,52 Bar Torque: 245 N-m
Actuador Neumático		05_01_ACN024_120	Habilitar o inhabilitar el paso del agua al interior del filtro de arena.	Volumen: 2303,30 cm ³ Presión: 5,52 Bar Torque: 327 N-m

Equipo 11 (filtro 7)	Marca	Nomenclatura	Función	Parámetros
Actuador Neumático	- Bray controls - Serie: Actuador: 92/93 Válvula: 30/31	05_01_ACN025_120	Habilitar o inhabilitar el paso de fluido por la tubería de 2 pulgadas.	Volumen: 219,60 cm ³ Presión: 5,52 Bar Torque: 34 N-m
Actuador Neumático		05_01_ACN026_120	Habilitar o inhabilitar el paso de fluido por la tubería de 6 pulgadas.	Volumen: 820,50 cm ³ Presión: 5,52 Bar Torque: 115 N-m
Actuador Neumático		05_01_ACN027_120	Habilitar o inhabilitar el paso del agua al interior del filtro de arena.	Volumen: 1683,10 cm ³ Presión: 5,52 Bar Torque: 245 N-m
Actuador Neumático		05_01_ACN028_120	Habilitar o inhabilitar el paso del agua al interior del filtro de arena.	Volumen: 2303,30 cm ³ Presión: 5,52 Bar Torque: 327 N-m
Equipo 12 (filtro 8)	Marca	Nomenclatura	Función	Parámetros
Actuador Neumático	- Bray controls - Serie: Actuador: 92/93 Válvula: 30/31	05_01_ACN029_120	Habilitar o inhabilitar el paso de fluido por la tubería de 2 pulgadas.	Volumen: 219,60 cm ³ Presión: 5,52 Bar Torque: 34 N-m
Actuador Neumático		05_01_ACN030_120	Habilitar o inhabilitar el paso de fluido por la tubería de 6 pulgadas.	Volumen: 820,50 cm ³ Presión: 5,52 Bar Torque: 115 N-m
Actuador Neumático		05_01_ACN031_120	Habilitar o inhabilitar el paso del agua al interior del filtro de arena.	Volumen: 1683,10 cm ³ Presión: 5,52 Bar Torque: 245 N-m
Actuador Neumático		05_01_ACN032_120	Habilitar o inhabilitar el paso del agua al interior del filtro de arena.	Volumen: 2303,30 cm ³ Presión: 5,52 Bar Torque: 327 N-m
Equipo 13	Marca	Nomenclatura	Función	Parámetros
Variador de frecuencia 1	- Schneider - Modelo: Altivar Process	05_01_VFR01_120	Controlar la frecuencia del motor de la bomba de lavado de estructuras para limitar la corriente de consumo.	Frecuencia variable.
Equipo 14	Marca	Nomenclatura	Función	Parámetros
Variador de frecuencia 2	- Schneider - Modelo: Altivar Process	05_01_VFR02_120	Controlar la frecuencia del motor de la bomba de lavado de estructuras para limitar la corriente de consumo.	Frecuencia variable.
Equipo 15	Marca	Nomenclatura	Función	Parámetros
Arrancador suave 1	- Schneider - Modelo: Altistart 22	05_01_ARS01_120	Controlar la rampa de arranque del soplador del sistema de lavado de estructuras.	Tiempo de duración del arranque.
Equipo 16	Marca	Nomenclatura	Función	Parámetros
Arrancador suave 2	- Schneider - Modelo: Altistart 22	05_01_ARS02_120	Controlar la rampa de arranque del soplador del sistema de lavado de estructuras.	Tiempo de duración del arranque.
Equipo 17	Marca	Nomenclatura	Función	Parámetros
PLC	Logo	05_01_PLC01_120	Elemento de control del sistema de lavado de filtros mediante lecturas de sensores y otras entradas.	Sensores. Botones.

Equipo 18	Marca	Nomenclatura	Función	Parámetros
Pantalla HMI	Schneider	05_01_HMI01_120	Interfaz que permite el control sobre el sistema de lavado de filtros.	Sensores. Botones.

Anexo E. Factores ponderados y matriz empleada en el proceso de análisis de criticidad

Tabla 47

Factores ponderados para el proceso de jerarquización

Factores Ponderados		
FF (escala 1 - 4)	1: Excelente: menos de 0,5 eventos al año.	muy bajo
	2: Bueno: entre 0,5 y 1 eventos al año.	bajo
	3: Promedio: entre 1 y 2 eventos al año.	medio
	4: Frecuente: mayor a 2 eventos al año.	alto
IO (escala 1 - 10)	1 - 2: Pérdidas de producción menores al 10%	muy bajo
	3 - 4: Pérdidas de producción entre el 10% y el 24%	bajo
	5 - 6: Pérdidas de producción entre el 25% y el 49%	medio
	7 - 9: Pérdidas de producción entre 50% y el 74%	alto
	10: Pérdidas de producción superiores al 75%	muy alto
FO (escala 1 - 4)	1: Se cuenta con unidades de reserva en línea, tiempos de reparación y logística pequeños	bajo
	2 - 3: Se cuenta con unidades de reserva que logran cubrir de forma parcial el impacto de producción, tiempos de reparación y logística intermedios.	medio
	4: No se cuenta con unidades de reserva para cubrir la producción, tiempos de reparación y logística muy grandes.	alto
CM (escala 1 - 2)	1: Costes de reparación, materiales y mano de obra menores.	bajo
	2: Costes de reparación, materiales y mano de obra mayores.	medio
SHA (escala 1 - 8)	1 - 2: No existe ningún riesgo de pérdida de vida, ni afección a la salud, ni daños ambientales.	bajo
	3 - 5: Riesgo mínimo de pérdida de vida y afectación a la salud (recuperable en el corto plazo) y/o incidente ambiental menor (controlable). Ej. derrames fáciles de contener.	medio
	6 - 7: Riesgo medio de pérdida de vida, daños importantes a la salud y/o incidente ambiental de difícil restauración	alto
	8: Riesgo alto de pérdida de vida, daños graves a la salud del personal y/o incidente ambiental mayor (catastrófico) que exceden los límites permitidos	muy alto

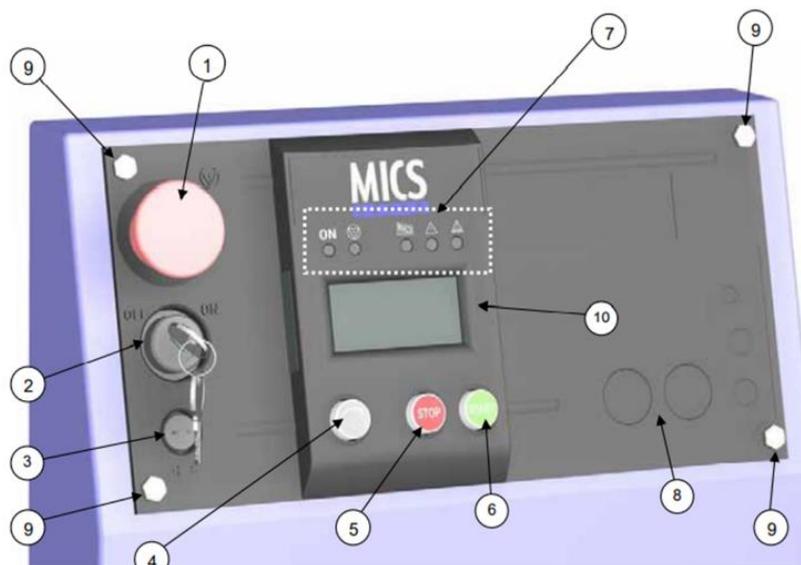
Fuente: Ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicada a gestión de activos, 2015.

Tabla 48*Matriz de criticidad propuesta en el modelo CTR*

Frecuencia	4	MC	MC	C	C	C
	3	MC	MC	MC	C	C
	2	NC	NC	MC	C	C
	1	NC	NC	NC	MC	C
		10	20	30	40	50
		Consecuencia				
		Área de sistemas no críticos (NC)				
		Área de sistemas de media criticidad (MC)				
		Área de sistemas Críticos (C)				

Fuente: Ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicada a gestión de activos, 2015.

Anexo F. Figuras de referencia de los planes de mantenimiento de equipos críticos

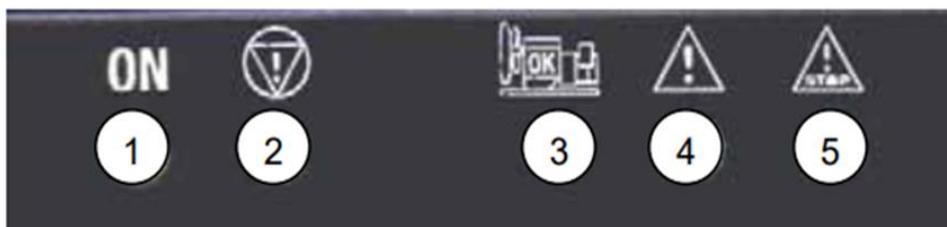


1 - Botón de parada de emergencia
2 - Conmutador de llave de encendido/apagado de la tensión del módulo y función RESET
3 - Fusible de protección de la tarjeta electrónica
4 - Botón de avance de pantallas, permite visualizar por pulsaciones sucesivas las distintas pantallas
5 - Botón STOP, permite parar el grupo electrógeno mediante una pulsación
6 - Botón START, permite activar el grupo electrógeno mediante una pulsación
7 - Indicadores luminosos de funcionamiento normal y de visualización de alarmas y fallos
8 - Lugar reservado para el montaje de las opciones del frontal
9 - Tornillo de fijación
10 - Pantalla de LCD para la visualización de alarmas, fallos, estados de funcionamiento. Magnitudes eléctricas y mecánicas

Figura 12

Cuadro de mando de la planta generadora

Fuente: Manual de uso y mantenimiento de los grupos electrógenos, SDMO.

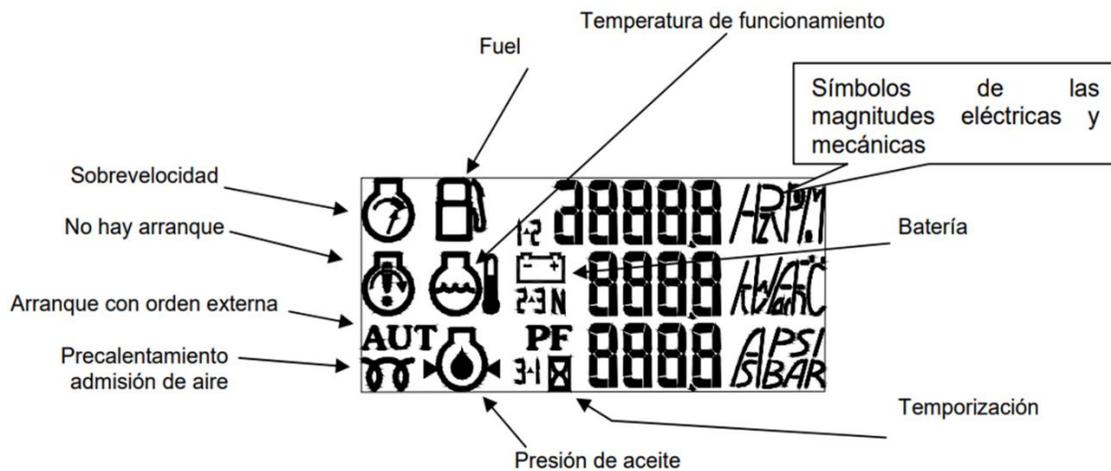


1 - Módulo de tensión (color verde, encendido fijo)
2 - Indicación de parada de emergencia activada (parada de emergencia panel o exterior) (color rojo, encendido fijo)
3 - Visualización de la fase de arranque y de estabilización de velocidad y tensión (parpadeo) y buen funcionamiento del grupo electrógeno o del grupo listo para el suministro (color verde, encendido fijo)
4 - Alarma general (color naranja, parpadeo)
5 - Fallo general (color rojo, parpadeo)

Figura 13

Presentación de los indicadores luminosos

Fuente: Manual de uso y mantenimiento de los grupos electrógenos, SDMO.



El pictograma "nivel de carburante" se utiliza para la visualización del fallo, la alarma y del nivel de carburante
Los pictogramas "temperatura de funcionamiento" y "presión de aceite" se utilizan para la visualización del fallo y del valor analógico
Los pictogramas de "sobrevelocidad" y "no arranque" se utilizan para la visualización del fallo
El pictograma "batería" se utiliza para la visualización de la anomalía "fallo alternador de carga" y para indicar la tensión de la batería

Figura 14

Presentación de pictogramas

Fuente: Manual de uso y mantenimiento de los grupos electrógenos, SDMO.

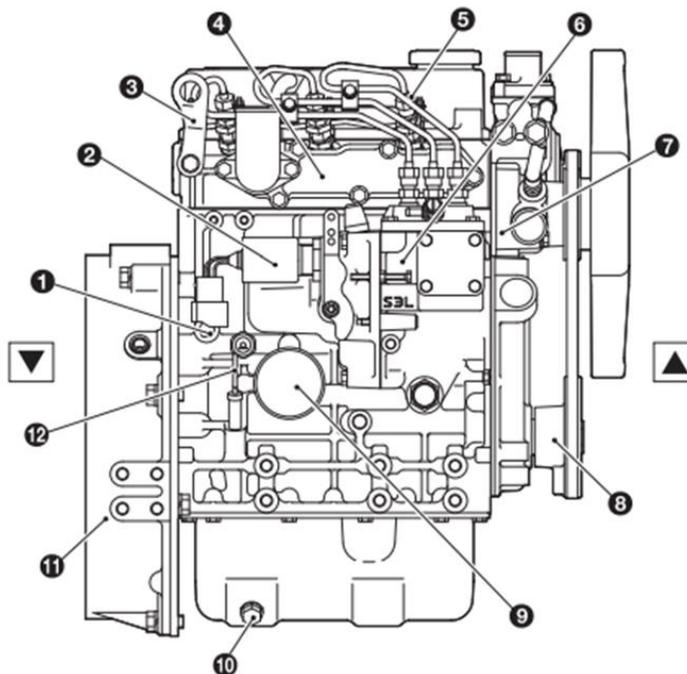


A - Válvula de desempolvado
B - Indicador de obstrucción del filtro de aire

Figura 15

Filtro de aire de la planta generadora

Fuente: Manual de uso y mantenimiento de los grupos electrógenos, SDMO.

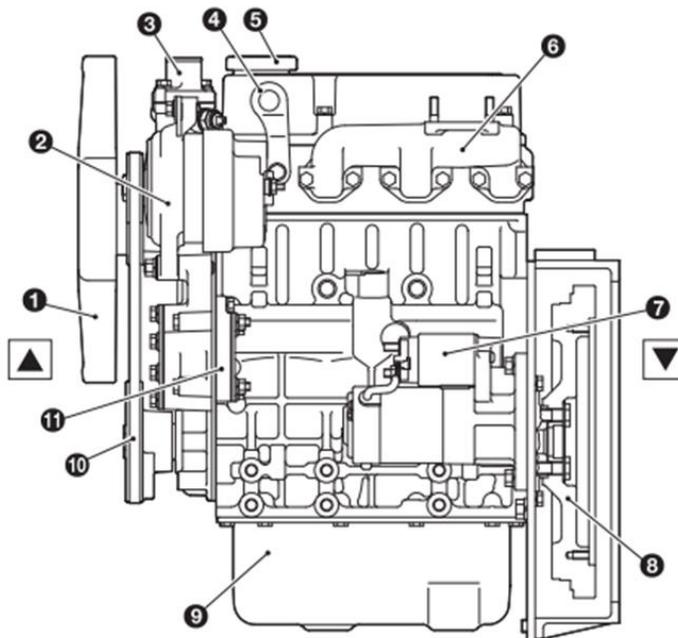


1 - Tapón de descarga de refrigerante	5 - Inyector	9 - Filtro de aceite
2 - Solenoide de parada	6 - Bomba de inyección	10 - Tapón de descarga de aceite
3 - Gancho trasero	7 - Bomba de agua	11 - Caja del volante
4 - Cubierta de entrada	8 - Polea del cigüeñal	12 - Varilla del nivel de aceite

Figura 16

Vista derecha del motor

Fuente: Manual de uso y mantenimiento de los grupos electrógenos, SDMO.

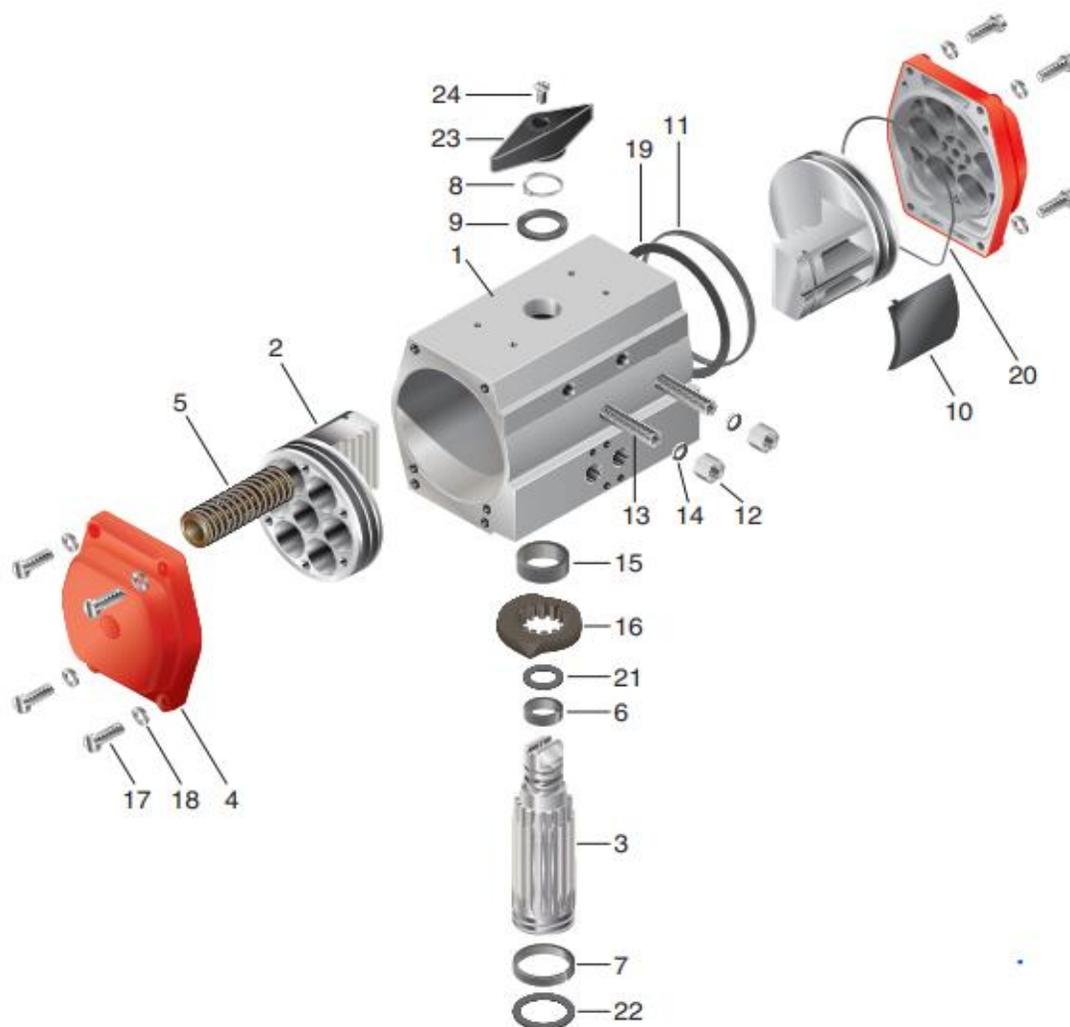


1 - Ventilador	6 - Colector de escape
2 - Alternador	7 - Arrancador
3 - Termostato	8 - Volante
4 - Gancho delantero	9 - Carter de aceite
5 - Boca de llenado de aceite	10 - Correa
11 - Toma de fuerza	

Figura 17

Vista izquierda del motor

Fuente: Manual de uso y mantenimiento de los grupos electrógenos, SDMO.

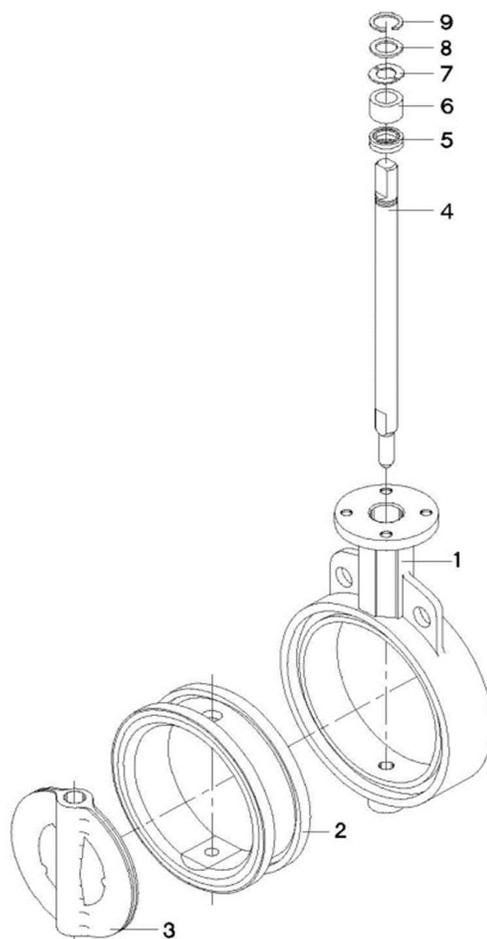


N.º	Cant.	Descripción	N.º	Cant.	Descripción
1	1	Cuerpo	13	2	Tornillo de tope de desplazamiento
2	2	Pistón	14	2	Junta tórica, tope de desplazamiento
3	1	Piñón	15	1	Espaciador, tope de desplazamiento interno
4	2	Tapa de extremo	16	1	Leva, tope de desplazamiento interno
5	12 máx.	Cartucho de resorte	17	8	Perno de cabeza hexagonal
6	1	Cojinete del piñón superior	18	8	Arandela, acero inoxidable
7	1	Cojinete del piñón inferior	19	2	Junta tórica, pistón
8	1	Anillo de retención	20	2	Junta tórica, tapa de extremo
9	1	Arandela de acetal	21	1	Junta tórica, piñón superior
10	2	Almohadilla del cojinete, acetal	22	1	Junta tórica, piñón inferior
11	2	Anillo guía acetal	23	1	Puntero indicador de posición
12	2	Contratuerca	24	1	Tornillo de cabeza plana

Figura 18

Despiece de actuador Bray Controls serie 92/93

Fuente: Bray Controls serie 92/93 actuador neumático, manual de funcionamiento y mantenimiento.



N.º	Cant.	Descripción	N.º	Cant.	Descripción
1	1	Cuerpo	6	1	Buje des vástago
2	1	Asiento	7	1	Retenedor del vástago
3	1	Disco	8	1	Sello de empuje
4	1	Vástago	9	1	Anillo de retención
5	1	Sello del vástago			

Figura 19

Despiece de válvula Bray Controls serie 30/31

Fuente: Bray Controls, manual de funcionamiento y mantenimiento válvulas de mariposa con asiento resiliente.

Anexo G. Evidencia de planes de mantenimiento realizado para equipos

medianamente críticos y no críticos

Tabla 49

Plan de mantenimiento del transformador de distribución tipo seco

Plan de mantenimiento. Transformador, EATON. Nomenclatura: 05_01_TTS01_070					
Mto	Estrategias de mantenimiento	Tipo de tarea	Frecuencia	N° técnicos	H-H de ejecución
Mantenimiento general	(1). Limpieza del equipo. Des energice el transformador, deje enfriar antes de dar servicio. Retire el polvo y suciedad acumulados en terminales, superficies de aislamiento y ventiladores, se puede aspirar o utilizar aire seco. Verificar las áreas en las que la circulación del aire se pueda ver restringida por la suciedad acumulada. De ser necesario, utilice trapos que no dejen hilos o pelusas y nunca utilice líquidos, solventes o detergentes.	Limpieza	Anual	1	0,75 horas 45 min
	(2). Inspección del equipo. Verificar que no existan quebraduras, quemaduras por sobrecalentamiento o fisuras en los aislantes, terminales y soportes de terminales. Limpie y repare según sea necesario.	Inspección	Semestral	1	0,25 horas (15 min)
	(3). Compruebe la firmeza y calidad de los terminales y contactos, incluyendo las derivaciones. Apriete o sustituya en caso de estar dañados.	Inspección	Semestral	1	0,15 horas (10 min)
	(4). Realice una inspección visual en busca de daños físicos (raspaduras, deterioro en el acabado de la pintura exterior del gabinete, entre otros). Retoque y repare de ser posible.	Inspección	Semestral	1	0,15 horas (10 min)

Tabla 50

Plan de mantenimiento del motor de preparación de carbón

Plan de mantenimiento. Motor Marathon Electric. Nomenclatura: 05_01_MAG03_110					
Mto	Estrategias de mantenimiento	Tipo de tarea	Frecuencia	N° técnicos	H-H de ejecución
Mantenimiento general	(1). Asegúrese de que tanto la superficie vertical como la superficie horizontal de la abrazadera estén en contacto con la parte superior y lateral del tanque. Compruebe que los tornillos de fijación estén bien ajustados. Compruebe que no hayan daños o desgaste en el eje o las hélices.	Limpieza	Anual	1	0,75 horas 45 min
	(2). Limpie las terminales eléctricas y asegúrese de que estén ajustadas y en buen estado (que no haya recubrimientos derretidos, hilos rotos o sueltos, corrosión, etc.).	Inspección	Semestral	1	0,25 horas (15 min)

Anexo H. Interfaz del documento desarrollado para la gestión del mantenimiento**Figura 20**

Interfaz de inicio del documento Microsoft Excel para gestionar la información

**Anexo I. Cotizaciones de bombas dosificadoras que se utilizan en el desarrollo del
ACCV mediante el método de Woodward**

Operaciones Internacionales S.A

3-101-037095
Tel: 2253-4343 / Fax: 2253-8358
Zapote, 100 m noroeste de la Rotonda de las Garantías Sociales
info@interop.cr

INTEROP

Compañía:

Atención: VICTOR JULIO ESQUIVEL

E-mail:

Cotización N°: 21-1483L

Fecha: 15/07/2021

Teléfono: 2253-4343

Referencia:

Item	Cant.	Marca	Descripción	P.Unitario	P.Total
1	1	MILTON ROY	BOMBA DOSIFICADORA MODELO MEA11F15A4CPPNNNY , DE 18,1 GPH @ 350PSI O 19,4GPH @100PSI, CABEZAL 316SS CON MOTOR 1/3HP 230/460V 3HP,1725 RPM,60 HG	\$3.500,00	\$3.500,00
2	1	MILTON ROY	KIT DE REPARACION P/N RPM 1001	\$590,00	\$590,00
3					\$0,00
4					\$0,00
5					\$0,00
6					\$0,00
7					\$0,00
8					\$0,00
9					\$0,00
Condiciones de la Oferta				Sub total	\$4.090,00
Validez: 15 DIAS				I.V	\$531,70
Forma de pago: 25% con orden 75% contra entrega				Total	\$4.621,70
Entrega: DE 4 A 5 SEMANAS DESPUES DE RECIBIR LA ORDEN				Moneda	Dólares
Notas: PRECIOS EN DOLARES					

Figura 21

Cotización de bomba dosificadora marca MILTON ROY ofrecida por INTEROP

Fuente: INTEROP, 2021.

LABS DE COSTA RICA, S.A.
Cédula Jurídica: 3-101-032882



COTIZACIÓN

N° 333 - 707

35 mts noroeste de la Iglesia Católica de Río Segundo, Alajuela, Costa Rica
Tel: (506)2441-5945 / 5942 Fax: (506)2441-5938
www.labs-cr.com ingenieria@labs-cr.com

Fecha de emisión: 09/02/2022
Validez: (15 DÍAS)
Moneda: Dólar US
Preparado por: Orlando Mora Perez
ingenieria@labs-cr.com

Cliete:
Atención: Victor Esquivel Castro
E-mail: voesquivel@est.utn.ac.cr
Teléfono:

PLAZO DE ENTREGA	TÉRMINOS ENTREGA	TIPO ENVÍO	MARCA	TÉRMINOS PAGO
8 SEMANAS HÁBILES, SALVO VENTA PREVIA	Plaza CRC	Aéreo	Bombeo - Lutz - Jesco	50%ADELANTO 50%ANTES ENTREGA

ÍTEM	CANT.	MODELO DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO	TOTAL
1	2	BOMBA DOSIFICADORA MARCA JESCO MODELO MEMDOS LB60 FABRICADA EN ACERO INOXIDABLE 316 CON SELLOS INTERNOS EN PTFE, VÁLVULA CHECK EN ACERO INOXIDABLE. SUCCIÓN Y DESCARGA EN 1/4" NPT. CAPACIDAD DE 20 GPH @ 145 PSI. INCLUYE MOTOR INVERTER DUTY DE 1/2HP-115V-60Hz-144rpm CON VARIADOR DE FRECUENCIA. *UNIDAD PARA REEMPLAZO DE EQUIPO mRoy modelo RA11	\$4,850.00	\$9,700.00



IMAGEN CON CARÁCTER ILUSTRATIVO

2	2	KIT DE REPARACIÓN PARA BOMBA DOSIFICADORA MARCA JESCO MODELO LB60. Incluye: -Diafragma con tornillería. -Válvula de retención de succión. -Válvula de retención de descarga.	\$810.00	\$1,620.00
---	---	--	----------	------------

Comentarios	Aplican Términos y Condiciones de Venta. Verificar que los equipos ofertados son compatibles con su sistema. Planos y especificaciones de los equipos en página	SUBTOTAL	\$11,320.00
		I.V.A. 13%	\$1,471.60
		TOTAL	\$12,791.60

Si tiene alguna duda sobre esta oferta, favor contáctenos y con gusto le ayudaremos.

Gracias por confiar en nosotros.



Figura 22

Cotización de bomba dosificadora marca JESCO ofrecida por LABS DE COSTA RICA

Fuente: LABS DE COSTA RICA, 2022.

Proforma

Fecha	Proforma #
16/2/2022	QA22-046

INNOVAGUA S.A.

San Isidro, Calle 151, 25 m Sur MaxiPalí
Vázquez de Coronado, San Jose, 11101 COSTA RICA
T +506.2245.0269 F +506.2245.0270
www.innovagua.com

Nombre/Dirección
Universidad Técnica Nacional Ced. jurídica 3007556085 Villa Bonita, Alajuela.

Item	Descripción	Cant	U/M	Vencimiento		Proyecto	
				16/3/2022			
				Costo Unidad		Total	
999999	Bomba Dosificadora de Membrana de Motor. Marca: ProMinent. Modelo: Sigma/2 Control. Capacidad de dosificación: 109 l/h a 10 bar. Material del cabezal dosificador/válvulas: PVDF. Material de empaquetadura: PTFE. Membrana: Membrana de seguridad multicapa con indicador de rotura óptico. Versión del cabezal dosificador: con resortes en las válvulas. Conectores hidráulicos: Unión hembra con rosca y conectores de manguera PVDF, DN15. Versión: Estándar. Logo: ProMinent. Suministro de corriente (motor): 120 V AC. Opciones de mando: Manual + contacto externo con Pulse Control. Clase de protección: IP 55 (Standard). Unidad de Mando: Panel de mando con Click Wheel (cable de 0,5 m).	1		4,268.84		4,268.84T	
1106176	Válvula de Inyección, ProMinent, PVDF/PTFE, G1" x DN15, 16 bar. P/N 1029477	1		142.60		142.60T	
1104037	Válvula de Pie, G 1, ProMinent, DN 15, PVT. P/N 1029472	1	ea	145.59		145.59T	
1106171	Tubo flexible para succión/descarga, ProMinent, PVC reforzado, 27x19 mm, DN15, 16 bar, por metro. P/N 37041	10	m	11.01		110.10T	
1106172	Arandela para tubería flexible, ProMinent, acero inoxidable, 20-32 mm, DN15. P/N 359705	5	ea	6.48		32.40T	
1106397	Juego de piezas de recambio ProMinent para bomba Sigma/2 16090PVT, P/N 1035951	1	ea	611.96		611.96T	
Tiempo de Entrega 6 - 8 semanas. Codiciones de pago a acordar.				Subtotal		USD 5,311.49	
				Impuesto de Venta (2,0%)		USD 106.23	
Phone #		E-mail		Total		USD 5,417.72	
+506.8869.5132		andres@innovagua.com					

Figura 23

Cotización de bomba dosificadora marca ProMinent ofrecida por Innovagua

Fuente: Innovagua, 2022.

Anexo J. Carta de autorización para uso y manejo de los trabajos finales de graduación.

CARTA DE AUTORIZACIÓN PARA USO Y MANEJO DE LOS TRABAJOS
FINALES DE GRADUACIÓN
UNIVERSIDAD TÉCNICA NACIONAL

Alajuela, 06/05/2022

Señores

Vicerrectoría de Investigación

Sistema Integrado de Bibliotecas y Recursos Digitales

Estimados señores:

Yo Victor Julio Esquivel Castro portador de la cédula de identidad número: 2 – 0782 – 0874. En mi calidad de autor del trabajo de graduación titulado: "Propuesta de desarrollo y aplicación práctica de un modelo de gestión del mantenimiento para la planta potabilizadora del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) ubicada en Guadalupe, San José", el cual se presenta bajo la modalidad de: Proyecto de graduación.

Presentado en la fecha: 06/05/2022 autorizo a la Universidad Técnica Nacional, Sede Central, para que mi trabajo pueda ser manejado de la siguiente manera:

AUTORIZO	SI	NO
Conservación de ejemplares para préstamo y consulta física en biblioteca.	✓	
Inclusión en el catálogo digital de SIBIREDI (cita calcográfica).	✓	
Comunicación y divulgación a través del Repositorio Institucional.	✓	
Resumen (describe en forma breve el contenido del documento).	✓	
Consulta electrónica con texto protegido.	✓	
Descarga electrónica del documento en texto completo protegido.	✓	
Inclusión en bases de datos y sitios web que se encuentren en convenio con la Universidad Técnica Nacional contando con las mismas condiciones y limitaciones aquí establecidas.	✓	

Por otra parte, declaro que el trabajo que aquí presento es de plena autoría, es un esfuerzo realizado de forma personal, académica e intelectual con plenos elementos de originalidad y creatividad. Garantizo que no contiene citas, ni transcripciones de forma indebida que puedan devenir en plagio, pues se ha utilizado la norma vigente de la American Psychological Association (APA). Las citas y transcripciones utilizadas se realizan en el marco de respeto a las obras de terceros. La responsabilidad directa en el diseño y presentación son de competencia exclusiva, por tanto, eximo de toda responsabilidad a la Universidad Técnica Nacional.

Consciente de que las autorizaciones no reprimen mis derechos patrimoniales como autor del trabajo. Confío en que la Universidad Técnica Nacional respete y haga respetar mis derechos de propiedad intelectual.

Firma del estudiante: Victor Esquivel Castro

Cédula: 207820874

Día: 06/05/2022

Universidad Técnica Nacional

Sede Central

Escuela de Ingeniería Electromecánica

Trabajo Final de Graduación para optar por el título de Licenciado en Ingeniería

Electromecánica

Resumen Ejecutivo

Propuesta de desarrollo y aplicación práctica de un modelo de gestión del mantenimiento para la planta potabilizadora del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) ubicada en Guadalupe, San José.

Estudiante:

Victor Julio Esquivel Castro

207820874

I Cuatrimestre 2022

Este proyecto consiste en la elección y desarrollo de un modelo de gestión del mantenimiento, esto para disminuir el excesivo mantenimiento correctivo realizado en la planta potabilizadora de Guadalupe, San José.

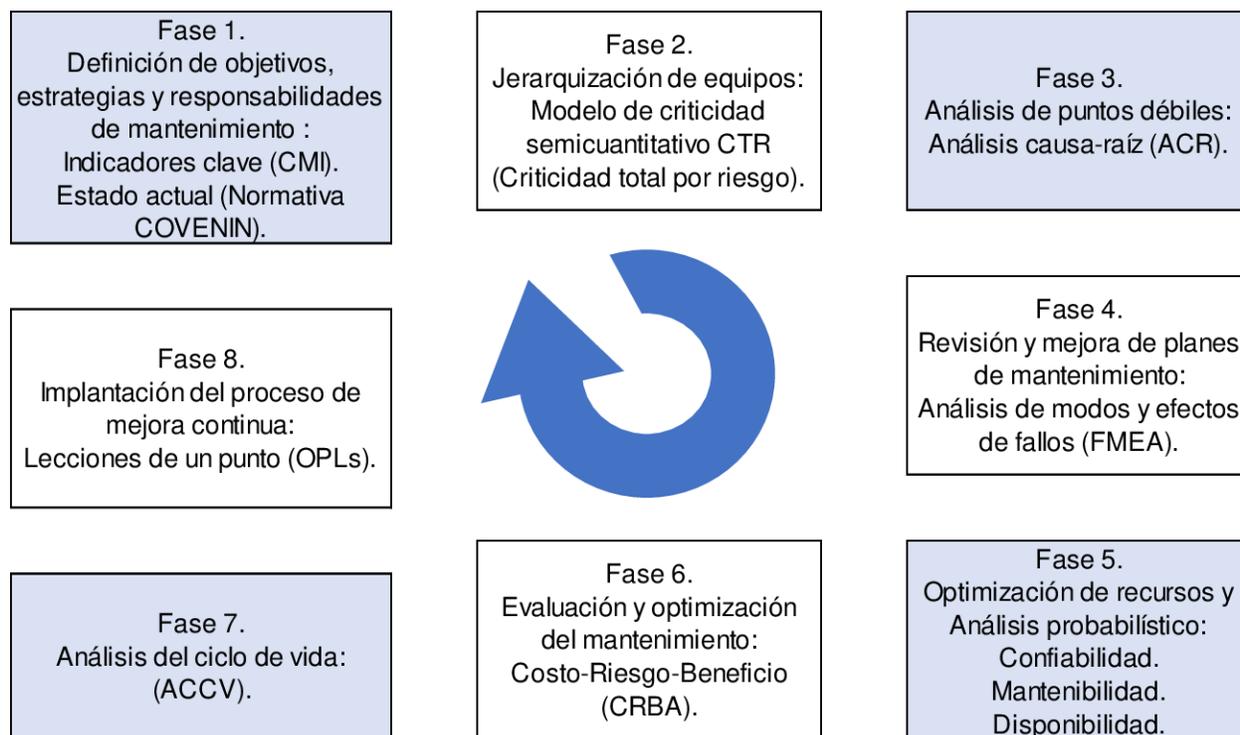


Figura 1.

Modelo de gestión de mantenimiento propuesto.

Fuente: Ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicada en la gestión de activos, 2015.

Siguiendo el modelo propuesto se realizó una evaluación inicial en la que se determinó que algunos puntos clave del proceso de gestión tenían grandes oportunidades de mejora, como lo es el desarrollo de un sistema de gestión de la información.

Tabla 1.

Evaluación de la gestión del mantenimiento de la planta potabilizadora de Guadalupe, San José, mediante el uso de la normativa COVENIN 2500-93.

Área	Principio Básico	C	Puntaje en cada Demerito										E	F	G
1 - Organización de la Empresa	1-Funciones y Responsabilidades.	60	20	16	20								56	4	93,33%
	2-Autoridad y Autonomía.	40	10	10	8	10							38	2	95,00%
	3-Sistema de Información.	50	6	0	0	5	0	0					11	39	22,00%
Total Obtenible		150	Puntaje Perdido												45
Desempeño global del área de estudio													70,00%		
2 - Organización del Mto	1-Funciones y Responsabilidades.	80	15	10	15	10	10	10					70	10	87,50%
	2-Autoridad y Autonomía.	50	15	15	10	8							48	2	96,00%
	3-Sistema de Información.	70	5	5	0	5	0	0					15	55	21,43%
Total Obtenible		200	Puntaje Perdido												67
Desempeño global del área de estudio													66,50%		
3 - Planificación del Mto	1-Objetivos y Metas.	70	0	5	7	0							12	58	17,14%
	2-Políticas para la Planificación.	70	0	10	10	15							35	35	50,00%
	3-Control y Evaluación.	60	5	10	10	0	1	0	0	0			26	34	43,33%
Total Obtenible		200	Puntaje Perdido												127
Desempeño global del área de estudio													36,50%		
4 - Mto Rutinario	1-Planificación.	100	0	0	10	20	8	0					38	62	38,00%
	2-Programación e Implantación.	80	0	0	5	10	0	10	8	0			33	47	41,25%
	3-Control y Evaluación.	70	10	0	2	0	0	5	0				17	53	24,29%
Total Obtenible		250	Puntaje Perdido												162
Desempeño global del área de estudio													35,20%		
5 - Mto Preventivo	1-Determinación de Parámetros.	80	10	0	0	0	10						20	60	25,00%
	2-Planificación.	40	20	5									25	15	62,50%
	3-Programación e Implantación.	70	20	15	15	10	5						65	5	92,86%
	4-Control y Evaluación.	60	0	0	0	0							0	60	0,00%
Total Obtenible		250	Puntaje Perdido												140
Desempeño global del área de estudio													44,00%		

6 - Mto por Avería	1-Atención a las Fallas.	100	18	0	15	0	5	15						53	47	53,00%
	2-Supervisión y ejecución.	80	0	0	0	10	0	2	4	8				24	56	30,00%
	3-Información sobre las Averías.	70	0	0	0	0								0	70	0,00%
Total Obtenible		250	Puntaje Perdido										173			
Desempeño global del área de estudio															30,80%	
7 - Personal de Mto	1- Necesidades de Personal	70	20	8	0									28	42	40,00%
	2-Selección y Formación.	80	10	10	10	2	10	10	10	5				67	13	83,75%
	3-Motivación e Incentivos.	50	20	10	0	0								30	20	60,00%
Total Obtenible		200	Puntaje Perdido										75			
Desempeño global del área de estudio															62,50%	
8 - Apoyo Logístico	1-Apoyo Administrativo.	40	7	8	8	0	5							28	12	70,00%
	2-Apoyo Gerencial.	40	10	8	10	5	5							38	2	95,00%
	3-Apoyo General.	20	10	10										20	0	100,00%
Total Obtenible		100	Puntaje Perdido										14			
Desempeño global del área de estudio															86,00%	
9 - Recursos	1-Equipos.	30	4	5	5	5	3	0						22	8	73,33%
	2-Herramientas.	30	9	4	4	5	0							22	8	73,33%
	3-Instrumentos.	30	4	5	5	3	5	0						22	8	73,33%
	4-Materiales.	30	2	3	3	0	2	3	0	3	2	0		18	12	60,00%
	5-Repuestos.	30	2	3	2	0	2	0	0	3	2	0		14	16	46,67%
Total Obtenible		150	Puntaje Perdido										52			
Desempeño global del área de estudio															65,33%	
Puntaje Total Obtenible		1750	Puntaje Total Perdido										855			
Porcentaje Global															51,14%	

Fuente: Elaboración propia.

Partiendo de los hallazgos de la evaluación, se desarrolló un cuadro de mando integral que aprovecha las oportunidades de mejora y orienta los recursos hacia la planificación del mantenimiento. El siguiente paso fue el levantamiento de los equipos encontrados en la planta, esto para jerarquizarlos mediante un modelo de criticidad semicuantitativa y así prestar especial

atención a los equipos críticos. Una vez que se identificaron los equipos se procedió a profundizar el análisis de estos.

La información recopilada y los análisis realizados permitieron el desarrollo de planes de mantenimiento para los equipos de la planta. Dichos planes de mantenimiento fueron puestos a prueba mediante un plan piloto ejecutado en el área de lavado de filtros, logrando demostrar la efectividad del trabajo realizado.

Posteriormente, se procedió con la creación de un sistema de gestión de la información mediante un documento de Microsoft Excel.



Figura 2.

Interfaz de inicio del documento Excel para la gestión de la información.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2.

Ejemplo de contenido del sistema de gestión de la información desarrollado.

Plan de mantenimiento. Tablero EATON, serie Pow R - Line. Nomenclatura: 05_01_TAP01_070						
Mto.	Modo fallo	Estrategias de mantenimiento	Tipo de tarea	Frecuencia	N° de técnicos	H-H de ejecución
Mantenimiento del tablero y resolución de problemas	1.a.1. 2.a.1. 2.a.2.	(1). Limpieza. Eliminar el polvo y la suciedad, preferiblemente con una aspiradora. Si utiliza paños o trapos asegúrese de que estos no desprendan pelusas y nunca utilice disolventes para limpiar el equipo. Tampoco se recomienda el uso de aire comprimido.	Limpieza	Trimestral	1	0,15 horas (10 min)
	2.a.1.	(2). Ventilación. Asegúrese de que las rejillas y puertos de ventilación no estén obstruidos por la acumulación de suciedad.	Preventivo	Trimestral	1	0,15 horas (10 min)
	1.a.1.	(3). Inspección de disyuntores y fusibles. Inspeccione visualmente los disyuntores en busca de signos de decoloración, agrietamiento, partes quemadas, sobrecalentadas o rotas. Compruebe el funcionamiento del mecanismo de martillo (interruptor), asegúrese de que abra y cierre y de que se mantiene sostenido en cualquier posición, si no es así, reemplácelo. En el caso de los fusibles, inspeccione visualmente el mecanismo de conmutación y las conexiones. Si presenta signos de agrietamiento, decoloración o quemaduras sustitúyalos.	Sustitución	Anual	1	0,50 horas (30 min)
	2.a.2.	(4). Inspección general. Inspeccione la barra colectora y los cables en busca de daños visibles, verifique el par de apriete de las conexiones. Inspeccione si hay hilos de alambre rotos, pellizcados o dañados. Compruebe la integridad del aislamiento de las conexiones, el aislamiento de las barras y demás estructuras en el cuadro de distribución. Compruebe que no hay acumulación de agua o humedad en cualquier parte del tablero. No intente limpiar o reparar el equipo dañado por el agua.	Inspección	Anual	1	0,50 horas (30 min)
	2.a.1.	(5). Ventilación. Asegúrese de que las rejillas y puertos de ventilación no estén obstruidos por la acumulación de suciedad.	Preventivo	Trimestral	1	0,25 horas (15 min)
	2.a.2.	(6). Corto circuitos, fallas a tierra y sobre cargas. Realizar una evaluación exhaustiva para identificar y corregir el evento de origen. Inspeccionar todos los conductores, materiales aislante y dispositivos de protección para reemplazar los que estén dañados. No energice de nuevo hasta corregir el evento de origen.	Correctivo	-	2	-

Fuente: Elaboración propia.

Posterior a la creación del sistema de gestión de información se analizó el área de dosificación de polímeros ya que la bomba de esta área se encuentra en condiciones que impiden su restauración, por lo que se aprovechó esta circunstancia para desarrollar un análisis del coste de ciclo de vida, aportando así un método de análisis que la planta puede reutilizar.

Por último, se utilizó la herramienta de mantenimiento autónomo denominada “lecciones de un punto”, este tipo de lección consistió en delegar pequeñas tareas de mantenimiento a los operarios. Con esto se pretende desarrollar una cultura colaborativa entre los departamentos de producción y mantenimiento, además de disminuir la carga de trabajo asignada a los técnicos de mantenimiento.

Palabras clave: Modelo de gestión del mantenimiento, modelo de criticidad semicuantitativo, sistema de gestión de la información, plan piloto, lecciones de un punto.