

**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO
SANTA MARÍA-SEDE VIÑA DEL MAR -
JOSÉ MIGUEL CARRERA**

**PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO PARA LABORATORIO DE
INVESTIGACIÓN DE TRATAMIENTO DE RILES.**

Trabajo de Titulación
para optar al Título de
Ingeniero en
MANTENIMIENTO
INDUSTRIAL

Alumna:

Paloma Rivera Muñoz

Profesora Guía:

Eduardo Vidal Páez

2025



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): ☒ Memoria o trabajo de título ☐ Tesis de Postgrado

Título del trabajo: Propuesta de plan de mantenimiento para laboratorio de investigación de riles

Nombre del candidato(a): Paloma Andrea Rivera Muñoz

Carrera / Grado: Ingeniería en mantenimiento industrial

Campus: Sede Viña del mar Departamento: Mecánica

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Eduardo Vidal Páez, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución.

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

☒ El trabajo **NO contiene** información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

☐ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (**embargo**) por (marcar una opción):

☐ 6 meses ☐ 12 meses ☐ 2 años ☐ 3 años ☐ 5 años ☐ 10 años

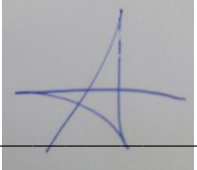
Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 19-08-2026 Firma: 

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 19-08-2026 Firma: 



Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

Dedicatoria

Una verdad que será revelada en el momento oportuno, que nos llevara a reflexionar sobre nuestro propósito y existencia, hemos vivido tan equivocados respecto al ¿Qué es ser humano? Que no sabemos ni quienes somos, ni como nos identificamos.

Llegará el día en que la libertad de pensamiento nos lleve a cosas más grandes y no al egoísmo que ahora vivimos, aprenderemos a respetarnos a nosotros mismos, a nuestros semejantes y a la naturaleza, la pregunta es si ¿ese día llegará antes que destruyamos a la naturaleza?

Una búsqueda por una verdad que se siente incompleta, la falta de algo que llena un todo, un camino aún no descubierto que lleva a la razón de ser, la pregunta es ¿estás dispuesto a encontrar ese camino?

Una realidad que aún no ha sido revelada, la pregunta es ¿eres tú el indicado para revelarla?

Llegará el día en que ese miedo colectivo que está presente será reemplazado por lo más grande que nos ha creado, el amor incondicional, pero si no entendemos que es el amor, ¿ese día llegará a existir?

Pensamientos lanzados al viento que producen cambios en los sentimientos, despiertan pensamientos, despiertan consciencias para así elevar nuestra frecuencia.

Realidades cruzadas de indiferencia, que hacen perder nuestra consciencia, engañados por un mundo material hemos perdido nuestra espiritualidad, engañados por un todo que solo genera avaricia y egoísmo y que tiene a la naturaleza pendiendo de un hilo, ni siquiera pensamos en nuestras acciones y en como influyen en nuestro mundo, si realmente lo supiéramos sería un mundo muy diferente.

Estados condicionados del ser que nos llevan a repetir ciclos una u otra vez, sin que ni siquiera estemos conscientes de aquello, somos almas sin memoria solo porque no queremos saber quiénes somos realmente, condenadas a repetir ciclos eternamente.

Anhelos de tiempo

De tiempos eternos de la mente

Atrapados en el inconsciente

¿Qué es lo que soy realmente?

¿Un pensamiento atrapado en el presente?

¿O una ilusión de mi mente inconsciente?

¿Atrapada en la realidad del presente?

Un instante de tiempo que oculta la realidad del inconsciente

Alguna vez seré libre de la prisión de mi mente.

A todas las personas que de alguna forma se han cruzado en mi camino, al amor sentimiento que nos lleva a perder y encontrar nuestros sueños y anhelos.

RESUMEN

El trabajo de título que lleva por nombre propuesta de plan de mantenimiento para laboratorio de investigación de riles, en la universidad Federico Santa María, casa central, departamento de ingeniería química y ambiental, aborda la problemática de la falta de planes de mantenimiento para los equipos presentes en el laboratorio de investigación. El objetivo principal es evaluar el estado actual de los equipos, evaluando sus condiciones y si tiene o no al día sus mantenciones, y proponer planes de mantenimiento para los equipos considerados críticos.

El capítulo 1 recopila información bibliográfica acerca del agua ,mantenimiento y laboratorios de investigación ,el capítulo 2 se centra en describir los equipos existentes en el laboratorio, se hace una clasificación primaria de acuerdo al uso que tienen en el laboratorio ya sea docencia investigación y análisis de muestras junto con ello y se realiza una matriz de decisión para evaluar criticidad y que tipo de mantenimiento es necesarios se acuerdo al puntaje obtenido, de la matriz realizada se concluye que el laboratorio tiene 3 equipos critico que son el analizador TOC y ambos espectrofotómetros.

Para los equipos considerados críticos se realiza un análisis FMECA para ver los modos de falla de cada componente dentro del sistema y definir el tipo de mantenimiento.

El capítulo 3 propone un plan de mantenimiento para todos los equipos del laboratorio con distintas medidas diarias, semanales, mensuales, anuales y se realiza una evaluación económica de los equipos considerados críticos por la matriz de decisión del capítulo 2, así como propuestas de mejora para las configuraciones actuales de tales equipos.

Las proyecciones de mejora son las siguientes:

- Aumento de la disponibilidad operacional del Analizador TOC del 65,0% al 82,5% tras la implementación del esquema preventivo.
- Reducción del tiempo medio de reparación (MTTR) de 48 horas a 12 horas mediante la gestión eficiente de repuestos críticos.
- Disminución del 54,2% en los costos anuales asociados a mantenimientos correctivos y paradas no programadas.

Palabras Clave

Laboratorio investigación, mantenimiento industrial, entornos educativos.

ÍNDICE

Dedicatoria 1

RESUMEN 2

1 SIGLA Y SIMBOLOGÍA..... 8

1. INTRODUCCIÓN 9

1.1 OBJETIVOS..... 9

1.1.1 Objetivo general 10

1.1.2 Objetivos específicos 10

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES 11

1.2 El agua 12

1.2.1 Importancia del agua para la vida y el mantenimiento 12

1.2.2 Características generales 12

1.2.3 Clasificación de tipos de aguas: 12

1.2.4 El agua y su importancia industrial 13

1.2.5 Contaminación y tratamiento de aguas 14

1.2.6 Normativas y estándares aplicables 15

1.3 Mantenimiento industrial 16

1.3.1 Tipos de mantenimiento..... 17

1.3.1.4 Mantenimiento Cero Horas (Overhaul)..... 18

1.4 Laboratorios de análisis: 19

1.4.1 Descripción general 19

1.4.2 Importancia 20

1.4.3 Importancia del control de calidad en tratamiento de aguas residuales 20

1.5 Problemática..... 20

2 Capítulo 2 21

2.1 Descripción de las actividades 22

2.1.1 Laboratorio de investigación de Riles 22

2.2 Clasificación de los equipos presentes en el laboratorio 22

2.2.1 Grupo 1 Equipos utilizados en proyectos de investigación: 22

2.2.2 Grupo 2: equipos utilizados para analizar las muestras obtenidas..... 30

2.2.3 Grupo 3: Equipos que son utilizados en docencia. 39

2.3 Metodología para la gestión de la estrategia de mantenimiento 43

2.3.1	Categorización de los equipos según su uso operacional	44
2.3.2	Análisis de criticidad de los equipos	44
2.3.3	Equipos considerados críticos según matriz criticidad	46
2.3.4	Análisis de modos y efectos de fallas para equipos críticos	47
3	Capítulo 3	53
3.1	Diseño de plan de mantenimiento preventivo	54
3.1.1	Propuesta del plan de mantenimiento para los equipos del grupo 1	54
3.1.2	Propuesta de mantenimiento para equipos del grupo 2	57
3.1.3	Propuesta del plan de mantenimiento para los equipos del grupo 3	66
3.2	Análisis económico de las medidas propuestas	71
3.2.1	Analizador TOC	71
3.2.2	Configuración propuesta para analizador TOC	74
3.2.3	Equipos espectrofotómetros peak y optizen pop	76
3.2.4	Propuestas de mejora continua	81
3.3	Conclusión.....	83
4	BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES DE LA INFORMACIÓN	84
5	Anexos.....	85

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1-1: Procesos de tratamiento de aguas.....	15
Figura 2-1: Configuración trabajo experimental reactor SBR	23
Figura 2-2 : Configuración trabajo experimental reactor CSTR-UAF	23
Figura 2-3: Agitadores verticales	24
Figura 2-4: Balanzas analíticas	25
Figura 2-5: Bombas peristálticas.....	26
Figura 2-6:Controlador de temperatura digi-sense	28
Figura 2-7: Equipo de agua ultrapura Heal Force Smart mini	29
Figura 2-8: Equipo de osmosis inversa	30
Figura 2-9: Espectrofotómetro Optizen Pop	31
Figura 2-10:Especificaciones técnica del equipo Optizen pop	32
Figura 2-11:Espectrofotómetro PEAK C7100S.....	32
Figura 2-12:Descripción técnica de equipo	33
Figura 2-13: Principio fundamento de análisis equipo TOC	34
Figura 2-14: Equipo TOC multiN/C analytk jenna	35
Figura 2-15: Equipo Hanna HI5222 pH-ISE	36
Figura 2-16:Medidores OD HI8410-HI9146	37
Figura 2-17:Baño termostático Lorderan.....	40

Figura 2-18:Digestor DQO Eco 16 Velp 41

Figura 2-19:Características técnicas digestor.....41

Figura 2-20:Equipo de flotación Renner 42

Figura 2-21: Equipo de test de jarra ISCO 43

Figura 2-22:Criterios y ponderaciones matriz de decisión.....45

Figura 2-23 : Criterios y ponderaciones matriz criticidad.....47

Figura 2-24 : Fmeca Espectrofotómetro 50

Figura 2-25 : Fmeca analizador TOC.....51

ÍNDICE TABLAS

Tabla 2-1: Agitadores magnéticos 24

Tabla 2-2:Balanzas analíticas 25

Tabla 2-3:Bombas peristálticas.....26

Tabla 2-4: Agitadores magnéticos.....27

Tabla 2-5:Controladores de temperatura 28

Tabla 2-6:Equipo agua ultrapura.....30

Tabla 2-7:Espectrofotometro uv-visible 33

Tabla 2-8:Analizador TOC 35

Tabla 2-9:Equipos medición pH 36

Tabla 2-10:Equipo medición OD.....37

Tabla 2-11:Equipos determinación sólidos.....38

Tabla 2-12:Centrifuga muestras 38

Tabla 2-13:Congeladora -85°C 39

Tabla 2-14:Refrigerador almacenamiento muestras.....39

Tabla 2-15:Campana extracción gases 39

Tabla 2-16: Baño termorregulado 40

Tabla 2-17:Digestor DQO.....41

Tabla 2-18:Equipo de flotación 42

Tabla 2-19:Equipo Test de jarras 43

Tabla 2-20: Matriz decisión 45

Tabla 2-21:Matriz decisión 46

Tabla 2-22:Acciones a realizar segun puntaje.....47

Tabla 2-23:Matriz Ocurrencia 48

Tabla 2-24 :Matriz Severidad 48

Tabla 2-25:Matriz Detección.....48

Tabla 2-26: Acciones segun NPR.....49

Tabla 3-1:Acciones de mantenimiento propuestas equipos grupo 1 57

Tabla 3-2:Acciones mantenimiento propuestas grupo 2 60

Tabla 3-3:Acciones mantenimiento propuestas grupo 2 63

Tabla 3-4:Acciones de mantenimiento propuestas grupo 2 63

Tabla 3-5:Acciones de mantenimiento propuestas grupo 2 65

Tabla 3-6:Acciones de mantenimiento propuestas grupo 2 65

Tabla 3-7:Acciones de mantenimiento propuestas grupo 2 66

Tabla 3-8:Acciones de mantenimiento propuestas grupo 3 67

Tabla 3-9:Acciones de mantenimiento propuestas grupo 3 68

Tabla 3-10:Acciones de mantenimiento propuestas grupo 3 70

Tabla 3-11:Acciones de mantenimiento propuestas grupo 3 70

Tabla 3-12:Tipos y frecuencia de fallas analizador TOC.....72

Tabla 3-13:Costo total mantención analizador TOC 73

Tabla 3-14:Indicadores de mantenimiento analizador TOC 73

Tabla 3-15:Ganancia teórica configuración actual 74

Tabla 3-16: Configuración propuesta para analizador TOC 74

Tabla 3-17:Costos de mantenimiento propuesta para analizador TOC.....75

Tabla 3-18:Indicadores de mantenimiento para configuración propuesta analizador TOC 75

Tabla 3-19 :Ganancia teórica de la configuración propuesta analizador TOC 75

Tabla 3-20:Comparación indicadores de mantenimiento (actual versus propuesta) 76

Tabla 3-21: Porcentaje de mejora configuración propuesta respecto a la actual 76

Tabla 3-22: Tipos y cantidad de fallas por año para espectrofotómetro 77

Tabla 3-23: Costos de mantención configuración actual espectrofotómetro 77

Tabla 3-24 : Indicadores de mantenimiento configuración actual 78

Tabla 3-25 : Ganancia teórica por concepto de análisis.....78

Tabla 3-26: Tipos y frecuencia de fallas para configuración propuesta 79

Tabla 3-27 : Costos de mantención de la configuración propuesta.....79

Tabla 3-28 : Indicadores de mantenimiento de la configuración propuesta 79

Tabla 3-29 : Ganancia teórica de la configuración propuesta 80

Tabla 3-30:indicadores de mantenimiento configuración actual versus configuración propuesta 80

Tabla 3-31 :Porcentaje de mejora con respecto a configuración actual 80

SIGLA Y SIMBOLOGÍA

SIGLA

Ril: residuo industrial liquido

MTTR: Tiempo medio entre reparaciones

MTTF: Tiempo medio entre fallas

IC: índice de criticidad

FMeca: análisis de modos de falla y criticidad

TOC: carbono orgánico total

1. INTRODUCCIÓN

El agua fuente de vida en nuestro planeta, elemento vital del que sin el cual no podríamos sobrevivir, presente en nuestro cuerpo, en la naturaleza, actualmente hemos visto como el avance industrial y los desechos generados por este avance han contaminado distintas fuentes de agua a lo largo del mundo (Unesco, 2021). Si bien en estos días hay mayor conocimiento acerca de los tipos contaminantes de los cursos de agua, aún queda mucho por hacer, sobre todo en el mejoramiento de las tecnologías de tratamiento de residuos industriales líquidos, estas tecnologías juegan un papel importante a la hora de proponer mejoras a los sistemas de tratamiento de sus aguas industriales. Los tratamientos biológicos avanzados, son una combinación de industrial y biología, ya que son consorcios anaerobios (bacterias) dentro de un reactor o digestor anaerobio que se hace de acuerdo a diseño específico que depende del caudal, carga y tipo de contaminante, las que se encargan de eliminar compuestos que actúan como nutrientes en las cauces de aguas como lo son el nitrito, nitrato, amonio, entre otros, los que sino son tratados causan una disminución del oxígeno disponible en el agua a raíz de la proliferación de algas (Nia et al., 2022), las que se ven beneficiadas con estos nutrientes y por el lado contrario la fauna marina presente se ve severamente afectado al disminuir el oxígeno presente en el agua.

Pero, la pregunta es: ¿De qué manera se unen el ciclo del agua con el mantenimiento industrial?, la respuesta: mediante las máquinas o equipos que se utilizan en el tratamiento de las aguas industriales y/o domésticas, ya sea su proceso potabilización, recolección y posterior tratamiento de las aguas utilizadas en los procesos industriales, así como también de los equipos empleados en las analíticas de calidad del agua en las distintas etapas de tratamiento.

Estos equipos se caracterizan por ser confiables, se espera una confiabilidad alta en la entrega de resultados de los distintos parámetros que pueden ser medibles dependiendo del uso que se le da al agua tratada, es por ello que las mantenciones de este tipo de equipos deben estar al día y de acuerdo con lo recomendado por el fabricante, el problema que se presenta es cuando los laboratorios de analíticas de aguas, están dentro de un contexto universitario, es decir el laboratorio existe dentro de un departamento de alguna universidad, algunos de estos laboratorios de investigación obtienen financiamiento por medio de proyectos estatales como lo son Fondecyt, fondef, entre otros, este tipo de proyecto permite generar investigación como trabajos de títulos, para este caso principalmente se beneficia a alumnos de ingeniería química y ambiental.

La principal problemática del párrafo anterior es la alta movilidad de las personas que trabajan en el laboratorio realizando trabajos de título, junto con presupuestos acotados de los proyectos, ¿Qué pasa cuando un equipo falla?, ¿el equipo cuenta con sus mantenciones al día? ¿El equipo puede ser considerado crítico? ¿Qué hacer si el equipo crítico falla?, estas preguntas serán respondidas a lo largo de este trabajo.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo general

Implementar una estrategia de mantenimiento basado en la confiabilidad para equipos críticos de laboratorio de investigación de tratamiento de riles, con el fin de aumentar su vida útil, mejorar su disponibilidad y reducir costos operacionales, todo esto mediante un análisis de criticidad de los equipos existentes.

1.1.2 Objetivos específicos

- Identificar los equipos del laboratorio y registrar su estado operativo actual mediante levantamiento de información técnica.
- Evaluar la criticidad de los equipos del laboratorio para, posteriormente, analizar el impacto económico del plan de mantenimiento propuesto sobre los costos operacionales del grupo de equipos clasificados como críticos.
- Diseñar un plan de mantenimiento basado en necesidades y prioridades detectadas, estableciendo además medidas de mejora continua para optimizar la gestión del mantenimiento y prolongar la vida útil de los equipos.

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES

1.2 El agua

1.2.1 Importancia del agua para la vida y el mantenimiento

El agua es una molécula que tiene características únicas, pero como este trabajo no se enfoca en las características químicas de la molécula se hace una pequeña analogía entre el agua y el mantenimiento.

El agua está presente en una gran cantidad de procesos químicos en toda industria desde alimenticia hasta minería, ya sea para como solvente o para limpiar, extraer o llevar materias primas de un punto a otro, en los distintos procesos que tienen la industrias.

Las maquinas involucradas en esos procesos unen a la molécula de agua con el mantenimiento industrial ya que sin mantenimiento los procesos tienden a la falla y los procesos de tratamiento de agua no pueden continuar

1.2.2 Características generales

El agua es una sustancia que no presenta olor, sabor y color cuando está en su forma más pura y libre de contaminantes, ha jugado un rol clave en la evolución del mundo tal como lo conocemos. Este elemento ocupa cerca de un 71% de la superficie terrestre, se encuentra presente de distintas maneras como lo son sólidas en cascos de hielo o glaciares de montañas a de manera gaseosa con la formación de las nubes, y también liquidas como lo son en ríos, mares océanos, conformando un ciclo biogeoquímico que recibe el nombre del ciclo del agua, el cual es de gran importancia para la regulación de la temperatura del planeta.

1.2.3 Clasificación de tipos de aguas:

El Agua se clasifica de distintas maneras las cuales dependen del uso que se le da a la misma, en la tabla a continuación se presentan algunos de estas clasificaciones:

Clasificación Aguas	
Origen y ubicación	-Agua superficial (Ríos, lagos, embalses; subterránea (Acuíferos, pozos), marina (océanos y mares, meteórica (lluvia, nieve)
Composición química	-Agua dulce (contenido sal <0,5[g/L]), -Agua Salada (sal mayor o igual a 35[g/L] -Agua Salobre (concentración intermedia entre dulce y salada) -Agua dura (altas concentraciones como calcio y magnesio) -Agua blanda (baja concentración iones calcio y magnesio)

Tratamiento y uso	-Agua potable (apto consumo humano) -Agua destilada (libre minerales y contaminantes) -Agua mineral (con minerales específicos) -Agua alcalina (con iones básicos)
Calidad/nivel de contaminación	-Agua limpia (no representa riesgo inmediato) Aguas grises (residuos lavadoras, lavavajillas) Aguas negras (aguas residuales con bacterias patógenos y contaminantes peligrosos).

Tabla 1-1: Clasificación de tipos de agua

Fuente: Elaboración propia

1.2.4 El agua y su importancia industrial

El agua tiene una relación fundamental con la industria, donde forma parte de los s procesos que tienen las distintas industrias que existen hoy en día, todo gracias a las características únicas que esta molécula presenta.

1.2.4.1 Principales usos del agua a nivel industrial

Los usos del agua en la industria varían desde la producción de alimentos, fabricación de medicamentos, mantenimiento de sistemas industriales de diferentes procesos a continuación se describen algunos de los principales usos del agua en la industria.

En la industria alimentaria el agua forma parte como materia prima en la elaboración de alimentos y bebidas, la calidad de esta agua influye en los mismos, por lo que se ocupa principalmente agua potable o agua destilada. En cambio, en la industria farmacéutica el agua utilizada debe ser inocua por lo que se opta por un agua ultrapura, para este fin el agua potable es llevado por distintos tipos de osmosis para quitar distintos tipos de iones e impurezas que puedan presentes en ella.

El sector minero también es un importante consumidor de agua, pero en este caso los parámetros necesarios para el tipo de agua a utilizar son más permisivo que respecto a las anteriores industrias (alimento, farmacéutica), en esta industria el uso dado al agua puede variar desde la limpieza de los minerales, a las distintas operaciones unitarias de algunos equipos (molienda, transporte material, secado), control del polvo generado, así como, en la limpieza de estos mismos equipos.

Se debe considerar que el agua tiene una característica bastante importante que tiene relación con la capacidad de enfriar procesos o maquinaria, ya que se necesita una gran cantidad de calor para calentar un gramo de agua, lo que la hace atractiva para la industria en los procesos de enfriamiento. En la industria textil también es bastante

utilizada para la generación de vapor en plantas de energía y textiles, también en la industria papelera y metalúrgica.

El agua también es parte de las industrias generadoras de electricidad como lo son las hidroeléctricas y termoeléctricas, donde son empleadas distintos tipos de turbinas para la generación de electricidad.

Podemos resumir en que el agua es utilizada en una gran variedad de procesos industriales que van desde la alimentación a la generación de energía pasando por la farmacéutica y la minería, entre otros.

1.2.5 Contaminación y tratamiento de aguas

El uso del agua de manera industrial crea cambios en el agua utilizada, esta agua debe ser tratada antes de regresar al ciclo natural, como esta misma ha cambiado sus características que dependen al tipo de industrias en que han sido utilizadas, y de la legislación vigente va a depender del tipo de tratamiento al que será sometido esta agua de proceso, desecho, residual. El agua de residuo de industria recibe el nombre de ril (residuo industrial líquido).

Para poder disminuir esta carga contaminante presente en las descargas líquidas industriales, es que se crean las plantas de tratamiento de aguas donde los residuos líquidos son tratados para disminuir su carga orgánica presente para así afectar en menor medida al medio ambiente donde se realicen las descargas.

1.2.5.1 Tratamiento de aguas

Una solución a la contaminación de las aguas es el tratamiento de estas, existen diferentes tipos de tratamientos de aguas depende el uso y disposición final del agua utilizada. La figura nos muestra un tratamiento típico de aguas.

Una típica instalación de tratamiento de aguas consta de:

- Pretratamiento: tiene la finalidad de eliminar objetos grandes (ramas, piedras), arena y grasas que provocan problemas de mantenimiento y funcionamiento de la planta.
- Tratamiento primario: Sirve para remover productos orgánicos e inorgánicos por medio de procesos físicos y químicos (coagulación-floculación).
- Tratamiento secundario elimina materia orgánica, principalmente disuelta, mediante procesos biológicos.
- Tratamiento terciario: Remueve materia orgánica y recalcitrantes (N y P, otros).
- Desinfección: Elimina microorganismos mediante procesos físico y químicos.

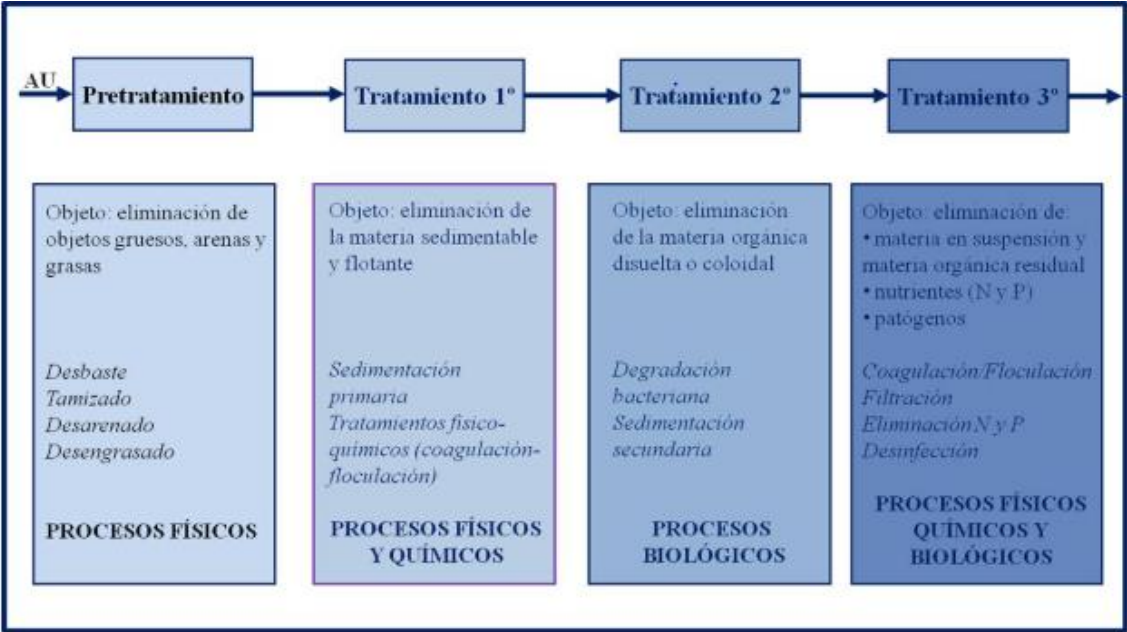


Figura 1-1: Procesos de tratamiento de aguas

Fuente: <https://www.iagua.es/blogs/juan-jose-salas-rodriguez/como-denominaremos-ahora-procesos-que-antes-llamabamos-tratamientos>

1.2.6 Normativas y estándares aplicables

En Chile existen distintas leyes, normas, decretos que legislan o dan guía acerca de los distintos tipos de contaminantes y el rango permitido de descarga de residuos.

Si bien la primera ley ambiental, como tal, en Chile fue promulgada a mediados de los años 90, antes de eso existían decretos normativos de los distintos ministerios, ley 19.300 entrega bases generales acerca de lo que es considerado como contaminante, normativa aplicable, estableciendo límites permitidos de contaminación de ahí su nombre ley de bases generales del medio ambiente.

Algunas leyes y decretos, para la descarga de residuos líquidos son:

Ley 19.300(1994): Establece un marco regulatorio del derecho de vivir en un ambiente libre de contaminación, la protección del medio ambiente, la preservación de la naturaleza y la conservación del patrimonio ambiental, esta ley tiene una modificación en el 2010, que crea distintos organismos como lo son el ministerio del medio ambiente, el servicio de impacto ambiental, entre otros.

Decreto supremo N°90/2000: tiene como objetivo la protección ambiental la prevención de la contaminación mediante la regulación de la descarga de contaminantes a cuerpos de aguas marinos y continentales superficiales, esta ley fija límites máximos permitidos para los contaminantes descargados en este tipo de cuerpos, la entidad encargada de la fiscalización es la superintendencia del medio ambiente.

Decreto supremo 609/1998: Esta normativa tiene como objetivo el mejoramiento de la calidad ambiental de las aguas que los servicios públicos de disposición vierten a los cuerpos de agua terrestres o marítimos, mediante el control de los contaminantes líquidos de origen industrial que descargan en los alcantarillados, en pocas palabras podemos decir que si la industria descarga al sistema de alcantarillado de cualquier ciudad de Chile la empresa tiene que cumplir con este decreto.

Decreto supremo 40/2022(publicado 2024): Este decreto aprueba reglamento sobre condiciones sanitarias básicas para la reutilización de aguas grises, buscando mejorar la gestión de los recursos hídricos definiendo usos, prohibiciones para las aguas tratadas, a modo de ejemplo, uso para consumo humano, para riego de hortalizas consumidas crudas, o en piletas y piscinas.

1.2.6.1 Aspecto social y económico respecto al tratamiento de aguas

Como se ha mencionado anteriormente el agua en la actualidad es considerada un recurso estratégico, vital para procesos y la vida.

Chile está en una posición vulnerable frente a la utilización de los recursos hídricos ya que mayormente se observa una cultura extractivista respecto a los recursos naturales del país, lo que sumando al cambio climático ,hace que el agua se encuentre en una posición vulnerable, la crisis del agua se plantea como desafío a futuro respecta a la mejora de las tecnologías y los sistemas de tratamientos de agua, para que cuando vuelva a ríos, lagos o mares tengan una carga orgánica que sea dentro de la normativa aplicable en el país, generar una economía circular respecto al tratamiento del recurso hídrico.

Actualmente se observa en comunidades rurales la falta de recursos hídricos, cuencas de ríos secas, disminución de la superficie plantada, emigración hacia ciudades urbanizadas, solo por la falta de agua, si a eso se suma la descarga de un efluente no tratado en un curso de agua se generará una pérdida de biodiversidad del ecosistema, ese daño debe ser evaluado por la autoridad correspondiente para la aplicación de multas y sanciones al ente contaminador.

Aspectos positivos respecto al tratamiento de riles es la generación de biogás recuperación de nutrientes como Nitrógeno Y Fósforo, la utilización del efluente de salida del tratamiento para agua de riego, entre otros beneficios que pueden ayudar a la viabilidad económica del proyecto y disminuir el impacto en el ecosistema.

1.3 Mantenimiento industrial

Desde los inicios de la revolución industrial el mantenimiento constituye una función esencial dentro de la operación de cualquier tipo de industria, es transversal a cualquier tipo de industrias. Tiene por objetivo es asegurar la disponibilidad, confiabilidad y seguridad de los equipos, garantizando el correcto funcionamiento y con precisión y calidad de estos.

Cuando el mantenimiento dejo de trabajar para reparar a prevenir las fallas se observó un constante crecimiento en las industrias, y podemos tomar a la industria aeronáutica de ejemplo en donde el mantenimiento es una pieza fundamental de la misma y no da al paso de errores, ya que estos errores en mantención suelen ser fatales.

La elección de las distintas estrategias de mantenimiento depende de variables como la criticidad del activo, los costos de parada, las condiciones de operación y la capacidad técnica del personal.

En este contexto, las estrategias más utilizadas son el mantenimiento correctivo,

preventivo, predictivo y TPM (Total Productive Maintenance), las cuales se complementan bajo el marco del RCM (Reliability Centered Maintenance).

1.3.1 Tipos de mantenimiento

Tradicionalmente se distinguen 5 tipos de mantenimiento, cuya diferencia está en las tareas que incluyen.

1.3.1.1 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.

El mantenimiento correctivo se aplica después de ocurrida una falla y tiene como propósito restaurar la funcionalidad del equipo o sistema. Es la forma más básica de mantenimiento y suele implementarse cuando los costos de parada no son significativos o el equipo no es crítico para la operación continua.

a) **Ventajas:**

- Bajo costo inicial de implementación.
- No requiere planificación compleja.

b) **Desventajas:**

- Puede generar tiempos de inactividad prolongados.
- Riesgo de fallas en cascada o contaminación por fugas.
- Incremento de costos indirectos por pérdida de producción.

1.3.1.2 Mantenimiento preventivo

Es el mantenimiento que tiene por misión mantener un nivel de servicio determinado en los equipos, programando las intervenciones de sus puntos vulnerables en el momento más oportuno. Suele tener un carácter sistemático, es decir, se interviene, aunque el equipo no haya dado ningún síntoma de tener un problema.

El mantenimiento preventivo se basa en intervenciones programadas que buscan evitar fallas antes de que se produzcan. Se realiza de acuerdo con un calendario o en función de horas de operación, condiciones de uso o recomendaciones del fabricante.

Ventajas:

- Aumenta la vida útil de los equipos.
- Reduce el riesgo de fallas inesperadas.
- Mejora la planificación de recursos y repuestos.

Desventajas:

- Puede generar reemplazos innecesarios si no se ajusta adecuadamente la frecuencia.
- Requiere personal calificado y un programa de gestión documental.

1.3.1.3 Mantenimiento predictivo y TPM

Es el que persigue conocer e informar permanentemente del estado y operatividad de las instalaciones mediante el conocimiento de los valores de determinadas variables, representativas de tal estado y operatividad. 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 en ocasiones, de fuertes conocimientos matemáticos, físicos y/o técnicos.

El modelo TPM (Total Productive Maintenance) complementa esta filosofía al involucrar activamente a los operadores en tareas básicas de inspección, limpieza y detección temprana de fallas, fomentando una cultura de mejora continua.

Ventajas:

- Reducción significativa de costos de falla.
- Mayor disponibilidad operativa.
- Mejora de la eficiencia energética.
- Involucra al personal en la gestión del mantenimiento.

Desventajas:

- Alta inversión inicial en sensores y software.
- Requiere capacitación constante y gestión de datos.

1.3.1.4 Mantenimiento Cero Horas (Overhaul)

Es el conjunto de tareas cuyo objetivo es revisar los equipos a intervalos programados 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.

Esta 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.

Es común en industrias que requieren fiabilidad crítica como lo son la aeronáutica, marina de transporte, así como también, industrias que utilizan turbinas, compresores, vehículos pesados, entre otras.

Ventajas:

- Fiabilidad y seguridad restauradas
- Permite extender la vida útil del activo sobre todo sin este es muy costoso
- Mejora el rendimiento, el equipo suele recuperar eficiencia original.
- Permite realizar una programación de la reparación con tiempo y preparación.

Desventajas:

- Alto costo inicial.
- Requiere mano de obra sumamente calificada.
- Tiempo de parada prolongado, el equipo está fuera de servicio un tiempo extenso.
- Puede no ser rentable para equipos obsoletos.

1.3.1.5 Mantenimiento En Uso:

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 tal solo un entrenamiento breve. Este tipo de mantenimiento es la base del TPM (Total Productive Maintenance, Mantenimiento Productivo Total).

Ventajas:

- Detección temprana de falla, ya que el operario se encuentra en contacto diario con la máquina, y puede observar distintas alteraciones que pueden suceder.
- Tiene una alta rentabilidad y un bajo costo por que son actividades sencillas y rápidas.
- Fomenta un sentido de responsabilidad en el operario otorgándole poder y responsabilidad sobre la maquinaria.
- Otorga seguridad operacional al mantener un ambiente limpio y ordenado.

Desventajas:

- Tiene un alcance limitado, solo puede abordar soluciones superficiales y básicas.
- Depende de la disciplina del operador.
- Necesita una jefatura organizada y con documentación clara.

1.4 Laboratorios de análisis:**1.4.1 Descripción general**

Un laboratorio de tratamiento de aguas es una unidad técnica especializada que realiza análisis, control y monitorización de parámetros físicos, químicos y microbiológicos en diferentes tipos de agua.

En este caso el laboratorio es de investigación de distintas tecnologías del tratamiento de agua con énfasis a los procesos biológicos avanzados o procesos terciarios, todo esto realizado mediante proyectos de investigación Fondecyt, donde se generan

distintos temas de memoria para estudiantes de pregrado y post grado de la carrera de ingeniería química y ambiental.

1.4.2 Importancia

El papel del laboratorio en la formación de futuros profesionales es fundamental para el progreso del país, para que estos cuando salgan al campo laboral tengan las herramientas necesarias para solucionar los problemas generados por los distintos tipos de industrias generadoras de residuos presentes en el país

1.4.3 Importancia del control de calidad en tratamiento de aguas residuales

Es de suma importancia que los controles de calidad en los laboratorios sean confiables, precisos y exactos, a raíz de lo anterior y para garantizar eso, existen normas y leyes e instituciones como el INN al cual uno se puede certificar para cumplir estándares de trabajo, también existen diferentes manuales de análisis de agua que nos guían en la realización de los ensayos.

1.5 Problemática

La falta de un plan de mantenimiento por lo general siempre es un problema, sobre todo, cuando se trabaja en lugares de alta rotación de personal como lo son los laboratorios de investigación dentro de las universidades, en este caso el laboratorio de investigación de riles de la universidad Santa María, casa central, esta alta rotación trae como consecuencia que el material y los equipos utilizados tenga un uso poco recomendado lo que puede ocasionar distintos tipos de fallas en los equipos que se utilizan a diario.

Actualmente el laboratorio no cuenta con ningún plan de mantenimiento asociado a los equipos, si bien se tienen protocolos de trabajo y limpieza, junto con recomendaciones del fabricante actualmente solo existen medidas de mitigación respecto a las fallas que ocurren ,si bien los equipos en si presentan una alta confiabilidad respecto a su uso, cuando la falla presentada impide la utilización del equipo lo que conlleva retrasos respecto a los calendarios asignados a cada investigación ,también se debe considerar el costo monetario en si de la falla ocasionada ya que al tener un presupuesto acotado como lo son los de investigación una falla significa una merma importante.

Por todo lo anterior es necesario establecer unas primeras líneas en cuanto a la importancia de los equipos del laboratorio separando los distintos elementos que se utilizan y línea de investigación para así generan distintas acciones de mantenimiento que brinden un mejor uso y aumenten su vida útil con las menores fallas posibles.

Capítulo 2

2.1 Descripción de las actividades

2.1.1 Laboratorio de investigación de Riles

El laboratorio se encuentra ubicado en la región de Valparaíso, es parte del departamento de ingeniería química y ambiental de la UTFSM, central.

Este laboratorio cuenta con más de 20 años de existencia y tiene dos principales líneas de trabajo una de ellas es la docencia y la otra línea es la investigación, también se realizan asesorías a distintas empresas que desean mejorar su tratamiento de residuos líquidos.

El laboratorio cuenta con distintos equipos de laboratorio que cumplen distintas funciones ya sea para docencia o investigación.

2.2 Clasificación de los equipos presentes en el laboratorio

A raíz de las líneas de trabajo mencionadas anteriormente los equipos del laboratorio se clasificarán en tres categorías o grupos, los cuales se describen a continuación:

Grupo 1: Equipos que son utilizados en los proyectos de investigación.

Grupo 2: Equipos que son utilizados en el análisis químico de residuos líquidos.

Grupo 3: Equipos que son utilizados para docencia.

2.2.1 Grupo 1 Equipos utilizados en proyectos de investigación:

Dentro de esta categoría están los equipos que sirven para la investigación, la línea de trabajo de este tipo de proyectos suelen ser usualmente tratamientos terciarios avanzados de remoción de compuestos nitrogenados y materia orgánica en presencia o ausencia de oxígeno y distintas fuentes de azufre como donador de electrones.

El reactor biológico está ubicado dentro de una cámara adiabática, dentro de la misma se instalan distintos elementos los cuales consisten, en una botella color ámbar "reactor" ,a este reactor se le agrega cierta cantidad de bacterias (inoculo)y ril sintético(alimentación) que emula una descarga industrial, para agitar esta mezcla se utiliza un agitador vertical montado en un soporte universal el cual gira con cierta velocidad medidas en rpm, para no dañar la biomasa añadida, todo esto bajo una atmosfera de 40 °C, controlada mediante un controlador de temperatura, también se consideran los equipos involucrados en la alimentación de reactor los que incluyen equipos como agitadores magnéticos y balanza analítica.



Figura 2-1: Configuración trabajo experimental reactor SBR

Fuente: Elaboración propia



Figura 2-2 : Configuración trabajo experimental reactor CSTR-UAF

Fuente: Elaboración propia

Los equipos involucrados en la operación del reactor son: agitadores verticales, controlador de temperatura, bombas peristálticas, agitadores magnéticos, balanzas analíticas, equipo de agua ultrapura.

A continuación, se describe modelo, función y estado con los equipos del grupo 1.

2.2.1.1 Agitadores verticales

Tienen como función mezclar homogéneamente al reactor, sin afectar a la biomasa presente, a menos de 100 rpm.



Figura 2-3: Agitadores verticales

Fuente: Elaboración propia

Marca	Modelo	Estado	Función
Remi	Se desconoce	Funcionando	Agitar mezcla
Remi	RQG126-0	Funcionando	Agitar mezcla
IKA	RW20	Funcionando	Agitar mezcla
Quimis	259 K21	Funcionando	Agitar mezcla

Tabla 2-1: Agitadores magnéticos

Fuente: Inventario laboratorio Riles. Elaboración propia.

Los problemas detectados con estos equipos incluyen, problemas con las velocidades de las revoluciones o muy altas o bajas en las cuales la agitación se detiene, provocando el atascamiento del cabezal rotatorio.

2.2.1.2 Balanzas analíticas:

Utilizadas en la preparación de la alimentación sintética, así como en la determinación de gravimétricas de ssv.



Figura 2-4: Balanzas analíticas

Fuente: Elaboración propia

Marca	Modelo	Estado	Función
Radwag	AS 220/c/2	Funcionando	Preparación alimentación
Radwag	AS 220.R2	Funcionando	Preparación alimentación
Radwag	AS 220.R2 PLUS	En mantención	Preparación alimentación

Tabla 2-2:Balanzas analíticas

Fuente: Inventario laboratorio riles. Elaboración propia.

Los problemas detectados con estos equipos son ,la falta de cuidado con la limpieza de los restos que compuestos que caen en la bandeja ,algunos de estos reactivos suelen ser corrosivos ,problemas con la calibración de la balanza a raíz de ese tipo de suciedad, también se suelen calibrar las micropipetas tomando cierta cantidad de volumen de agua para posteriormente llevarlo a la balanza y registrar su masa y si esta coincide con el volumen deseado, lo que ocasiona que caigan gotas de agua en la bandeja y esta reaccione con el polvo de los reactivos presenten como desecho, ocasionando vapores ácidos que pueden dañar el sistema eléctrico de la misma.

2.2.1.3 Bombas peristálticas

Utilizadas principalmente para mover la alimentación sintética dentro del reactor, a distintos tiempos y velocidades las que son calculadas según el cabezal y diámetro de manguera que esté disponible.



Figura 2-5: Bombas peristálticas

Fuente: Elaboración propia

Marca	Modelo	Estado	Función
Lead fluid	BT 300	Funcionando	Entrada /salida influente/efluente
Longer pump	BT 300-2j	Funcionando	recirculación
Longer pump	BT 300-2j	Funcionando	recirculación
Longer pump	BT 300-2j	Funcionando	Entrada /salida influente/efluente
Longer pump	BT 300-2j	Funcionando	Entrada /salida influente/efluente
Major science	MU-D01	Funcionando	Entrada /salida influente/efluente
Lead fluid	BT 300	Funcionando	Entrada /salida influente/efluente

Tabla 2-3: Bombas peristálticas

Fuente: Inventario laboratorio Riles. Elaboración propia

Los principales problemas suelen ser con el cabezal el cual se puede atascar lo que lleva a que la manguera de silicona se rompa y se pierda el líquido, esto suele ser critico si esa bomba está conectada como recirculación del reactor, lo que ocasiona la perdida de biomasa suspendida, suele ser silencioso y difícil de notar en un principio.

Otro tipo de fallas es por el uso la maguera en su diseño tiene un botón del giro del cabezal, que mueve el flujo en un sentido o en otro (izquierda o derecha), este botón con el tiempo se tiende a romper y debe ser reemplazado.

2.2.1.4 Agitadores magnéticos:

Este tipo de equipo es utilizado para realizar las mezclas de alimentación que simulan a un ril real, esta alimentación consiste en los siguiente en un matraz de aforo de cierto volumen, se le agrega una cierta cantidad de agua destilada y una barra magnética, después se agregan distintos tipos de reactivos químicos que simulan una descarga con cierto contenido de contaminantes.

También es utilizado en la preparación de los distintos reactivos y soluciones utilizados en el análisis químico de las entradas y salidas de los ciclos del reactor.

Marca	Modelo	Estado	Función
Tempra	SH-3	Funcionando	Preparación alimentación
Nuova	SP 18920-26	Funcionando	Preparación alimentación
Velp	ARE	Funcionando	Preparación alimentación
Quimis	2412	Funcionando	Preparación alimentación

Tabla 2-4: Agitadores magnéticos

Fuente: Inventario laboratorio de riles. Elaboración propia.

Los principales problemas detectado se relacionan con la caída de reactivos de la preparación sobre la superficie de agitación, los cuales causan manchas y perdidas de la pintura de protección de la superficie, son equipos que en rara ocasiones presentan fallas complejas que lo sacan de su uso diario, cuando eso ocurre casi siempre son problemas de tipo eléctrico que ocasionas que el fusible de protección estalle y deba ser reemplazado.

2.2.1.5 Controladores de temperatura:

Utilizados principalmente para la mantención de la temperatura a 40 °C dentro de la cámara en la que está el reactor, tiene asociado una termocupla y un calefactor el cual se prende o apaga de acuerdo con la configuración de temperatura



Figura 2-6:Controlador de temperatura digi-sense

Fuente: Elaboración propia

Marca	Modelo	Estado	Función
Digi sense	68900-03	Funcionando	Mantener temperatura
Barnant	68900-03	Funcionando	Mantener temperatura
Propio	No aplica	Funcionando	Mantener temperatura

Tabla 2-5:Controladores de temperatura

Fuente: Inventario laboratorio de riles. Elaboración propia.

Los problemas detectados en este tipo de equipos son las termocuplas que puede presentar cortes en su estructura entregando información errónea a equipo, que el calefactor no se apaga y se puede sobrecalentar y quemar, y las alzas de voltaje inesperadas que queman de los fusibles de protección del equipo.

2.2.1.6 Equipo de generación de agua ultrapura

Este equipo está diseñado para obtener un agua baja en carbono, la cual es necesaria para la preparación de alimentaciones de los reactores y los reactivos y soluciones utilizados en el laboratorio.

El equipo consta de dos partes la primera es una osmosis inversa que se encarga de disminuir en parte el contenido de carbonatos y cloro presentes en el agua potable, el agua de la osmosis entra traslada al equipo de ultrafiltración para así obtener un agua con un contenido bajo de carbonatos e iones.



Figura 2-7: Equipo de agua ultrapura Heal Force Smart mini

Fuente: Elaboración propia



Figura 2-8: Equipo de osmosis inversa

Fuente: Elaboración propia

Marca	Modelo	Estado	Función
Heal Force	Smart mini	Bueno	Obtención agua tipo I
Osmosis inversa	C500	bueno	Obtención agua tipo I

Tabla 2-6:Equipo agua ultrapura

Fuente: Inventario de laboratorio riles. Elaboración propia

Los principales problemas encontrados son la fuga de agua por las mangueras, fugas en el tanque de presión, problemas con la presión de trabajo de equipo.

2.2.2 Grupo 2: equipos utilizados para analizar las muestras obtenidas

En este grupo se encuentran los equipos destinados al análisis de sustancias de interés encontradas en las descargas de los reactores biológicos u otro tipo de

muestra similar.

Los equipos son utilizados para medir distintos elementos químicos contaminantes de aguas, presentes en los residuos industriales, en este laboratorio se analizan principalmente compuestos nitrogenados como nitritos, nitratos, amonios, como también, compuestos derivados del azufre como lo son sulfuros y sulfatos, además de compuestos como el carbono orgánico presente en esta agua residual obtenida.

Dentro de los equipos clasificados en esta categoría se encuentran: espectrofotómetro uv/visible, analizador de carbono orgánico total (TOC), equipo medidor de pH-ISE, medidor oxígeno disuelto, equipos empleados en la determinación de sólidos (estufa 105 °C, mufla, bomba de vacío), centrifuga, congeladora de -85°C, refrigeradores, campana extracción.

2.2.2.1 Espectrofotómetro uv/visible

La espectrofotometría es una técnica analítica que consiste en hacer pasar un haz de luz sobre una muestra para ver cuanta de esa luz es absorbida o transmitida por la muestra analizada, su principio se basa en que las moléculas absorben la luz en longitudes de ondas específicas y esta absorción o transmisión puede ser cuantificada ,para ello se utiliza la ley de Lambert-beer , la cual establece que un haz de luz pasando por un solución química de geometría fija experimenta una absorción proporcional a la cantidad de materia existente en ella ,es decir a mayor concentración mayor absorbancia y menor transmisión de la luz.



Figura 2-9: Espectrofotómetro Optizen Pop

Fuente: Manual del equipo

UV-VIS SPECTROPHOTOMETER OPTIZEN POP SERIES	
Photometric System	Single beam type
Spectral Bandwidth	< 1.8nm
Wavelength	
Range	190 ~ 1100nm
Accuracy	($\pm$ 0.5nm (at D2 Peak 656.1nm, 486.0nm))
Reproducibility	($\pm$ 0.1nm)
Setting	$\geq$ 0.1nm
Slew Rate	about 7,800nm/min
Scanning Speed	Max 4,000nm/min
Photometric	
Range	-3.0 ~ 3.0ABS(Enable to set up) / -0.5 ~ 2.5ABS(with Nanoliter cell)
Accuracy	$\pm$ 0.005 ABS (at 1.0ABS)
Reproducibility	$\pm$ 0.003 ABS (at 1.0ABS)
Stray light	<0.05 %T (220nm, 340nm)
Baseline Stability	$\pm$ 0.001 ABS/h (at 550 nm)
Baseline Flatness	$\pm$ 0.002 ABS (200 ~ 1100nm)
Light source	Tungsten-halogen lamp and Deuterium lamp
Lamp Change Wavelength	340 ~ 410nm (Default 370nm), including Auto Position System
Monochromator	Modified Czerny-Turner type with 1200lines/mm blazed grating
Standard Cell Holder	
OPTIZEN POP	Rotary type 8 position multi cell holder
OPTIZEN QX	All-in-one cell holder
OPTIZEN BIO	Micro volume cell holder
Interface	4 USB ports / 3 RS-232C ports
Data Capacity	2 GB (OPTION : 8 GB)
Interacting Printer type	Network printer, USB port Type printer (Support PCL mode)
Detector	Silicone Photodiode
Power Requirement	Free Voltage
Dimension	433(W)mm x 381(D)mm x 180(H)mm
Weight	8Kg

Figura 2-10:
 Especificaciones técnica del equipo Optizen pop

Fuente: Manual de equipo



Figura 2-11:
 Espectrofotómetro PEAK C7100S

Fuente: Manual de equipo

Modelo	C-7100	C-7100S	C-7100A	C-7200	C-7200S	C-7200A
Mostrar	Pantalla LCD de 7 pulgadas					
Control del teclado	Botón de silicona					
Sistema óptico	Haz único			Doble viga		
	Rejilla holográfica, 1200 líneas/mm					
Ancho de banda espectral	2 nm	1 nm	0,5, 1, 2, 4 nm	2 nm	1 nm	0,5, 1, 2, 4 nm
Rango de longitud de onda	190 - 1100 nm					
Precisión de la longitud de onda	±0,3 nm					
Repetibilidad de longitud de onda	±0,2 nm					
Precisión fotométrica	0,2%T (0-100%T), ±0,002A (0-0,5A), ±0,004A (0,5-1A)					
Repetibilidad fotométrica	±0,15%T(0-100%T), 0,001A(0-0,5A), 0,002A(0,5-1A)					
Luz dispersa	±0,03%T@220nm,360nm					
Estabilidad	±0,002 A/h a 500 nm					
Rango fotométrico	0-200%T, -0.3-3.0A, 0-9999C (0-9999F)					
Planitud de la línea base	±0,002A(200-1000nm)					
Ruido	0,0003 A a 500 nm					
Modo de funcionamiento	T,A,C,E					
Ajuste de longitud de onda	Automático					
Velocidad de escaneo	Alto, medio y bajo					
Detector	Fotodiodo de silicio sólido					
Fuente de luz	Lámpara halógena/deuterio de tungsteno					
Salida de datos	RS232, USB(A), USB(B)					
Procesador	Cortex_M3, 120 MHz					
Requisitos de energía	CA 110-220 V 50-60 Hz					
Dimensiones y peso del envío	770 x 630 x 340 mm, 27 kg	940*740*510 mm 52 kg	770 x 630 x 340 mm, 27 kg	940*740*510 mm 52 kg		

Figura 2-12:Descripción técnica de equipo

Fuente: Manual de equipo

Marca	Modelo	Estado	Función
Optizen	Pop	En reparación	Determinación NO ₂ ⁻ , NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺ , SO ₄ ⁻²
Peak intruments	C7100S		

Tabla 2-7:Espectrofotometro uv-visible

Fuente: Laboratorio de investigación de riles. Elaboración propia.

Los principales problemas detectados con este tipo de equipo suelen ser del tipo eléctrico ya que las alzas de voltaje causan fallas catastróficas que dejan el equipo fuera de servicio por un tiempo prolongado de 2 a 6 meses, ya que se tiene que gestionar el retiro, diagnóstico y solicitud de reparación de este a un servicio técnico especializado en el área.

También se tiene la falla por desgaste de las ampolletas de deuterio o tungsteno, este desgaste es propio del diseño el equipo, las ampolletas suelen fallar dentro de 1 o 2 años dependiendo del uso, las lámparas tienen una vida útil de aproximadamente 6000 [h] cada una, este tipo de falla también deja al equipo fuera de servicio durante un tiempo similar, ya que los pasos a seguir son los mismos.

2.2.2.2 Analizador TOC

El analizador es un instrumento compacto y potente para determinar el contenido de carbono orgánico y/o el contenido de nitrógeno total en muestras acuosas.

Las muestras se digieren a altas temperaturas en presencia de catalizadores especiales, en este caso platino, esto significa que incluso los compuestos de carbono y nitrógeno muy estables y complejos pueden convertirse cuantitativamente.

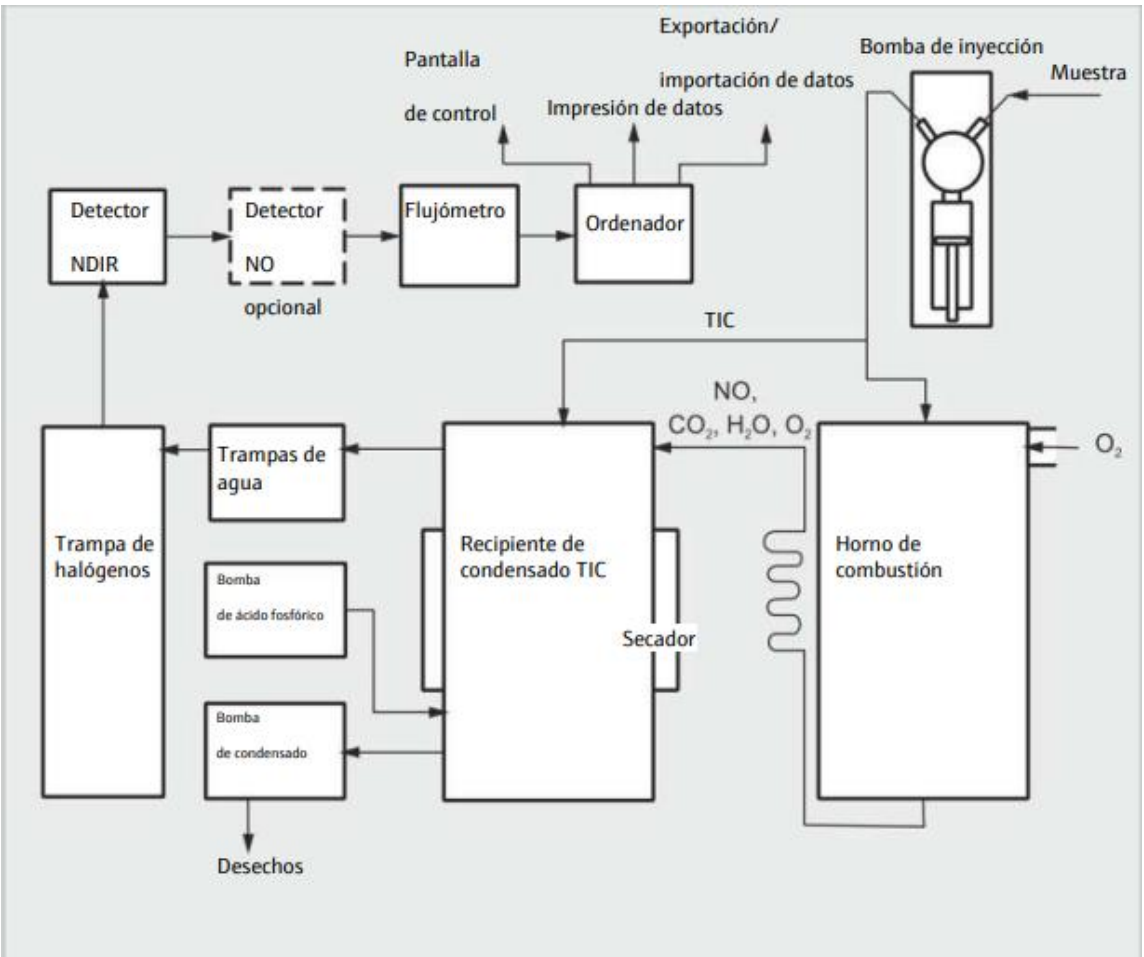


Figura 2-13: Principio fundamento de análisis equipo TOC

Fuente: Manual de operación N/C 3100(duo farma)



Figura 2-14: Equipo TOC multiN/C analytk jenna

Fuente: Elaboración propia

Marca	Modelo	Estado	Función
Analytik jena	Multi NC 3100	Funcionando	Determinación TOC
Asus		Funcionando	Operación del software
Cito power	CPL-E2200V	Funcionando	Regulador Voltaje/ups

Tabla 2-8:Analizador TOC

Fuente: Laboratorio de investigación de riles. Elaboración propia

Los principales motivos de fallas en este equipo se deben a desgaste acelerado de consumibles del equipo principalmente tubos de combustión y catalizador de platino, el cual tiene un degaste acelerado a causa de la matriz de muestra la que presenta una alta salinidad.

Existe una solución para ese problema que es un kit de consumibles para muestras con alto contenido de sal, donde el tubo de combustión tiene una configuración diferente donde la gota de muestra no cae directamente sobre el tubo de combustión, sino que lo hace sobre un que se encuentra encima del tubo de combustión.

2.2.2.3 Medición de pH:

Su principio se basa en la escala de pH, la cual mide la cantidad de H⁺, OH⁻, presentes en una muestra, es decir que tan acido o básica es esta. Su función dentro del trabajo de análisis es importante ya que las bacterias presentan un rango de tolerancia de escala de pH, la cual se encuentra entre 6,5 a 8,5, fuera de ese rango es poco probable

que las bacterias puedan sobrevivir en ese tipo de ambiente.

Los equipos de medición de pH cuentan con distintos tipos de electrodos, los cuales pueden medir un compuesto en específico, estos reciben el nombre de ise (electrodo selectivo de iones), también se puede medir el potencial de reducción (ORP), cuando el equipo tiene esa función recibe el nombre de multiparámetro.

Los equipos presentes en el laboratorio de uso frecuente



Figura 2-15: Equipo Hanna HI5222 pH-ISE

Fuente: Elaboración propia

Marca	Modelo	Estado	Función
Thermo scientific	Orion star A 211	Funcionando	Medicion pH
Thermo scientific	Orion star A 211	Funcionando	Medición pH
Hanna Intruments	HI5222	Funcionando	medición pH - sulfuro

Tabla 2-9:Equipos medición pH

Fuente: Laboratorio de investigación de riles. Elaboración propia

Los principales motivos de falla del equipo son a causa del electrodo, el cual se puede romper dependiendo del material de elaboración, de la misma manera los electrodos de pH – ISE tienen una vida útil de aproximadamente dos años, la cual depende del tipo de muestra analizada.

Se puede comprobar el estado del equipo con calibraciones periódicas del mismo.

2.2.2.4 Medición de oxígeno disuelto

El sistema convencional de medición de O.D. consiste en un medidor y una sonda paleográfica tipo Clark. La sonda es la parte más importante del sistema y la más delicada. La sonda consta de un ánodo de plata (Ag) revestido con un alambre de platino (Pt), que funciona como cátodo. Esto es insertado en una cubierta protectora llena de una solución electrolítica de cloruro potásico (KCI). La cubierta tiene en su extremo una membrana de teflón, un material permeable al gas que permite el paso del oxígeno presente en la solución, pero no el paso de la solución en sí.



Figura 2-16:Medidores OD HI8410-HI9146
Fuente: Elaboración propia

Marca	Modelo	Estado	Función
Hanna Instruments	HI8410	Funcionando	Monitoreo continuo OD
Hanna Instruments	HI9146	Funcionando	Monitoreo puntual OD

Tabla 2-10:Equipo medición OD

Fuente: Laboratorio de investigación de riles. Elaboración propia

Los principales motivos de fallas detectados en estos equipos se deben a la manipulación inadecuada del cable conector, este cable se ha cortado en varias ocasiones entre el pin de conexión y el cable en sí ,lo que deja al equipo fuera de servicio mientras se lleva a reparación.

2.2.2.5 Determinación de solidos suspendidos volátiles (ssv)

La determinación se ssv nos indica que tanta biomasa está presente en la muestra,

es un parámetro de control de importancia, ya que, nos indica abundancia o pérdida de la biomasa agregada al reactor, a continuación, se describen los equipos utilizados en este tipo de análisis.

Marca	Modelo	Estado	Función
Blue M	Estufa 105°C	Funcionando	Secado de la muestra
Termoline	F62730-26	Funcionando	Calcinar muestra
Rocker	600	Funcionando	Hacer vacío

Tabla 2-11:Equipos determinación sólidos

Fuente: Laboratorio de investigación de riles. Elaboración propia

Los principales problemas detectados en este conjunto de equipos son:

Estufa sólidos: la temperatura mostrada en pantalla no es la correcta, se soluciona apagando y prendiendo el equipo nuevamente.

Mufla: Al ser un equipo que tiene bastante años de servicio (más de 10 años),ha presentado fallas como no llegar a la temperatura adecuada, la ventilación de la extracción de calor no funciona, ruido de ventilación forzada, todas estas fallas han sido solucionadas.

2.2.2.6 Centrifuga

Para la clarificación de las muestras obtenidas para así poder determinar sus contaminantes de interés mediante análisis de espectrofotometría.

Marca	Modelo	Estado	Función
Hermle	Z 206 A	Funcionando	Sedimentar sólido

Tabla 2-12:Centrifuga muestras

Fuente: Laboratorio de investigación de riles. Elaboración propia

Este equipo ha sido bastante confiable hasta el momento no ha presentado fallas que no permitan su funcionamiento, los principales motivos de error son por no colocar las muestras de manera balanceada para su funcionamiento.

2.2.2.7 Congeladora -85°C

Destinada para el almacenamiento de muestras que posteriormente se les extraerá adn para su análisis y determinación de la población microbiana existente en la muestra.

Este equipo es relativamente nuevo, va a cumplir un año desde su compra, por lo que hasta el momento no presenta fallas, se siguen las recomendaciones del fabricante para evitar la acumulación de hielo en puertas.

Marca	Modelo	Estado	Función
Midea biomedical	MD-86L108	Funcionando	Preservación muestra

Tabla 2-13:Congeladora -85°C

Fuente: Laboratorio de investigación de riles. Elaboración propia

2.2.2.8 Refrigerador

Para el almacenamiento de la muestra para que estas no tengan un cambio en su composición química durante el transcurso del tiempo.

Marca	Modelo	Estado	Función
Teka	TS3-370	Funcionando	Preservación muestra
LG	Electrocool	Funcionando	Preservación muestra
Ventus	VR2S-600	Funcionando	Preservación muestra

Tabla 2-14:Refrigerador almacenamiento muestras

Fuente: Laboratorio de investigación de riles. Elaboración propia

2.2.2.9 Campana extracción de gases

Utilizada para extraer los vapores ácidos u otro tipo de contaminante mediante la ventilación forzada

Marca	Modelo	Estado	Función
S&P	Td-1000	Funcionando	Extracción vapores

Tabla 2-15:Campana extracción gases

Fuente: Laboratorio de investigación de riles. Elaboración propia

2.2.3 Grupo 3: Equipos que son utilizados en docencia.

Dentro de esta categoría caen los equipos que son utilizados por los estudiantes de la asignatura de tratamiento de riles, en el cual se realizan distintos tipos de tratamiento a un ril a modo de aprendizaje y una primera aproximación a estos tipos de tratamientos.

Los equipos utilizados se describen a continuación

2.2.3.1 Baño termorregulado

Como su nombre lo indica, este tipo de baño opera con una temperatura determinada, en este caso a 37 °C, para los ensayos de potencial metanogénico (BMP).

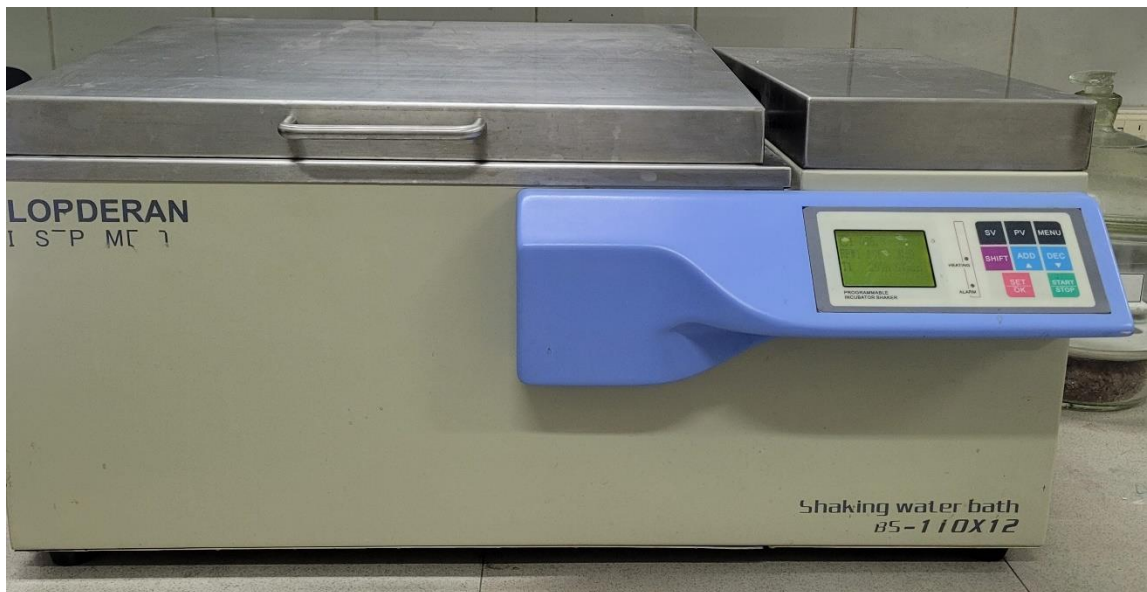


Figura 2-17: Baño termorregulado Lorderan

Fuente: Elaboración propia

Marca	Modelo	Estado	Función
Jeio tech	BS-11	Funcionando	Aclimatación muestra
Julabo	SW 22	Funcionando	Aclimatación muestra
Lorderan	WBS-110X12	Funcionando	Aclimatación muestra

Tabla 2-16: Baño termorregulado

Fuente: Laboratorio de investigación de riles. Elaboración propia

2.2.3.2 Digestor de dgo

El equipo sirve para realizar una digestión ácida de la materia orgánica presente en la muestra, durante 2 [h] a 150 °C.



Figura 2-18:Digestor DQO Eco 16 Velp

Fuente: Elaboración propia

	ECO 6		ECO 16	
Modelo	F10100120	F10110120	F10100126	F10110126
Voltaje	230 V 50/60 Hz	115 voltios 50/60 Hz	230 V 50/60 Hz	115 voltios 50/60 Hz
Entrada de alimentación	700W		550W	
Dimensiones (ancho x alto x profundidad)	198x132x319mm		168x110x269mm	
Peso	5,6 kg		3,8 kg	
Número de orificios, diámetro	6x42mm		14x42mm + 2x22mm	
Rango de temperatura	10 ÷ 200 °C		10 ÷ 165 °C	
Intervalo de tiempo	1 ÷ 999 minutos			
Material de construcción	Estructura de metal pintado con epoxi.			
Termorregulación	Microprocesador PID			
Trabajo en continuo	Aceptado			
Estabilidad y homogeneidad de la temperatura del bloque calefactor	± 0,5 °C			
Precisión de temperatura	± 1 °C			
Ruido	<< 80 dBa			
Temperatura ambiente admitida	+5...+40 °C			
Temperatura de almacenamiento admitida	-10...+60 °C			
Humedad máxima	80%			
Categoría de sobrevoltaje	II			
Grado de contaminación CEI EN61010-1	2			

Figura 2-19:Características técnicas digestor

Fuente: Manual de equipo

Marca	Modelo	Estado	Función
Velp	Eco 16	Funcionando	Digestión muestra
Velp	Eco 16	Funcionando	Digestión muestra
Velp	Eco 6	Funcionando	Digestión muestra
Velp	Eco 16	Funcionando	Digestión muestra

Tabla 2-17:Digestor DQO

Fuente: Laboratorio de investigación de riles. Elaboración propia

2.2.3.3 Equipo de flotación

El equipo fue fabricado con el fin de replicar a escala para preparar agua saturada con airea a alta presión (400-600[kpa]) para sistemas de flotación por aire disuelto (DAF) de un laboratorio y/o equipo piloto, el principio es que las microburbujas generadas por la disolución de aire en una corriente de agua, genere una nube de microburbujas que facilita el arrastre los contaminantes del líquido a tratar.

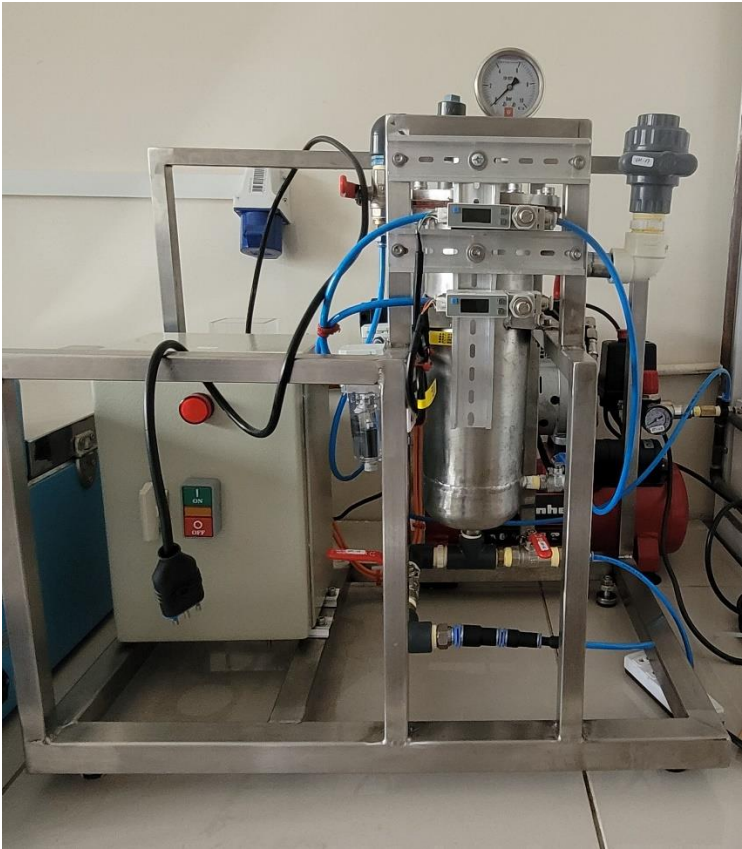


Figura 2-20:Equipo de flotación Renner

Fuente: Elaboración propia

Marca	Modelo	Estado	Función
Saturador A/S	Renner	Funcionando	DAF

Tabla 2-18:Equipo de flotación

Fuente: Laboratorio de investigación de riles. Elaboración propia

2.2.3.4 Equipo test de jarras

Con este equipo se enseña a los estudiantes a medir y optimizar dosis de coagulante y floculante en un ril, este recibe el nombre de tratamientos químicos, la acción de estos dos elementos hace que se forme un floculo que sedimenta.



Figura 2-21: Equipo de test de jarra ISCO

Fuente: Elaboración propia

Marca	Modelo	Estado	Función
ISCO	H3A00010-JF/6	Funcionando	Tratamiento de aguas
VELP	FC6S	No funciona	Tratamiento de aguas

Tabla 2-19:Equipo Test de jarras

Fuente: Laboratorio de investigación de riles. Elaboración propia

Los principales problemas detectados son el atascamiento de las paletas que producen la mezcla completa del floculante o coagulante agregado, también la suciedad que se acumula en las mismas, al no enjuagar bien dichas paletas.

2.3 Metodología para la gestión de la estrategia de mantenimiento

La metodología para la gestión del plan de mantenimiento se tiene que fundamentar con un enfoque de ingeniería de confiabilidad, para ello se aplica una metodología estructurada que va desde la jerarquización de los activos hasta la formulación de tareas preventivas de mantenimiento.

Esta jerarquización se articula en cuatro fases:

- **Categorizar los equipos de manera funcional:** Los equipos son clasificados según uso operacional.
- **Análisis de criticidad:** Se evalúa cuantitativamente distintos niveles de riesgos en una matriz que pondera costos de fallos, impacto operacional, ambiental.
- **Análisis de modos y efectos de fallas:** Identificar efectos de las fallas y definir acciones preventivas de equipos considerados críticos.
- **Definición de pautas y protocolos de mantenimiento:** se definen actividades a realizar para inspección, conservación.

2.3.1 Categorización de los equipos según su uso operacional

A raíz de las líneas de trabajo presentes en el laboratorio los equipos son clasificados según la función operacional en la que se encuentran.

- Grupo 1: Equipos que son utilizados en los proyectos de investigación.
- Grupo 2: Equipos que son utilizados en el análisis químico de residuos líquidos.
- Grupo 3: Equipos que son utilizados para docencia.

2.3.2 Análisis de criticidad de los equipos

El objetivo de este análisis es evaluar que equipos tienen el impacto más negativo en la operación cuando se presenta una falla.

Para ello se realiza una matriz de criticidad a los equipos de laboratorio por medio de criterios y ponderaciones para definir el índice de criticidad (IC)

El Índice de Criticidad se calcula con la siguiente fórmula:

$$IC = \sum_{i=1}^n (P_i \times C_i)$$

Donde:

P_i = Ponderación (peso) asignado a cada criterio de evaluación.

C_i = Calificación que obtiene cada equipo en ese criterio.

A continuación, se definen los criterios P_i y su ponderación:

- **Seguridad y medio ambiente (5):** Falla que puede provocar derrames, exposición a químicos peligrosos y gases tóxicos, o que implica el incumplimiento de la normativa ambiental aplicable.
- **Impacto en la calidad de los análisis (4):** Equipo cuya falla retrase o invalide resultados de los ensayos realizados que conlleven atrasos en la investigación.
- **Disponibilidad operacional (3):** Equipos cuyo fallo detenga u atrase la planificación de la investigación de manera significativa (mayor a 4 meses) y de cuyos resultados se requieran para continuar.
- **Costo /reparación (2):** Equipos cuyo fallo implique coordinar visita técnica para su diagnóstico y reparación.

La imagen a continuación nos muestra todo el conjunto de criterios y ponderaciones P_i y C_i.

	Ponderación (P _i)	Ponderación (C _i)	Criterio
Seguridad y medio ambiente	5	1	Falla no genera residuos ni exposición.
		2	Falla que genera residuo no peligroso que puede ser contenido.
		3	Falla que genera pequeña cantidad de residuo peligroso que puede ser contenido en bandeja.
		4	Falla que provoca fuga que puede ser contenida con kit antiderrames.
		5	Falla que provoca fuga con riesgo de exposición a sustancias corrosivas.
Impacto en la calidad de los análisis	4	1	Falla accesorio no crítico.
		2	Falla que puede ser reparada en el momento.
		3	Falla que compromete el resultado ,pero existe muestra de respaldo.
		4	Falla que compromete resultado,no existe muestra de respaldo.
		5	Falla que impide el uso del equipo,tiempo reparación mayor a 30 días.
Disponibilidad operacional	3	1	El equipo cuenta con 3 o mas respaldos todos funcionando.
		2	El equipo cuenta con 1 o mas respaldos todos funcionando.
		3	El equipo no cuenta con respaldo,no compromete otras funciones.
		4	El equipo no cuenta con respaldo y compromete otras funciones.
		5	El equipo no cuenta con respaldo y tiene un tiempo de reparación mayor a 7 días
Costo Reparación/Repuesto	2	1	Falla cuyo repuesto esta disponible
		2	Falla cuyo repuesto es accesible dentro del mismo día.
		3	Falla cuyo repuesto requiere tienda especializada con entrega menor a 7 días.
		4	Falla cuyo repuesto requiere tienda especializada con entrega mayor a 7 días.
		5	Falla que exige diagnóstico de servicio técnico,costo reparacion superior a 35 uf

Figura 2-22: Criterios y ponderaciones matriz de decisión

Fuente: Elaboración propia

2.3.2.1 Resultado de análisis de criticidad

La tabla a continuación nos muestra el índice de criticidad de para cada equipo presente en el laboratorio, resultado de la matriz de decisión.

Equipos críticos		Estado	Clasificación	IC	IC normalizado
Agitador rotatorio	Remi	Operativo	G1	36	79
Agitador rotatorio	Nahita	Operativo	G1	36	79
Agitador rotatorio	Remi	Operativo	G1	36	79
Agitador rotatorio	Quimis	Operativo	G1	36	79
Agitador rotatorio	Quimis	Operativo	G1	36	79
Agitador rotatorio	IKA	Operativo	G1	36	79
Agitador magnético + plancha	Tempra	Operativo	G1	26	7
Agitador magnético + plancha	Nuova	Operativo	G1	26	7
Agitador magnético + plancha	Velp	Operativo	G1	26	7
Agitador magnético	Quimis	Operativo	G1	26	7
Analizador TOC	Analytik jena	Operativo	G1	39	100
Balanza analítica	Radwag	Operativo	G1	30	36
Balanza analítica	Radwag	Operativo	G1	30	36
Balanza analítica	Radwag	reparación	G1	30	36
Baño calefactor shaker	Jeio tech	Operativo	G3	26	7
Baño calefactor	Kotterman	Operativo	G3	26	7
Baño calefactor	Kotterman	Operativo	G3	26	7
Baño calefactor shaker	Labtech	Operativo	G3	26	7
Baño calefactor		Operativo	G3	26	7
Baño calefactor shaker	Julabo	Operativo	G3	26	7
Baño calefactor shaker	Lorderan	Operativo	G3	26	7
Baño calefactor shaker	Gemmyco	Operativo	G3	26	7
Baño calefactor	Biobase	Operativo	G3	26	7

Tabla 2-20: Matriz decisión

Fuente: Elaboración propia

Equipos críticos		Estado	Clasificación	IC	IC normalizado
Bomba peristáltica	Longer pump	Operativo	G1	38	93
Bomba peristáltica	Longer pump	Operativo	G1	38	93
Bomba peristáltica	Longer pump	Operativo	G1	38	93
Bomba peristáltica	Longer pump	Operativo	G1	38	93
Bomba peristáltica	Lead fluid	Operativo	G1	38	93
Bomba peristáltica	Major science	Operativo	G1	38	93
Calefactor Cámara	Plaslab	Operativo	G1	31	43
Centrifuga	Hermle	Operativo	G1	35	71
Computador OD	HP	Operativo	G1	35	71
Computador TOC	Asus	Operativo	G1	35	71
Congelador	Fensa	Operativo	G1	32	50
Controlador T	Digi sense	Operativo	G1	32	50
Controlador T		Operativo	G1	32	50
Destilador agua ultrapura	HEAL FORCE	Operativo	G2	36	79
Digestor DQO	HACH	Operativo	G3	29	29
Digestor DQO	Velp	Operativo	G3	29	29
Digestor DQO	Velp	Operativo	G3	29	29
Medidor OD	Hanna	Operativo	G2	36	79
Medidor OD -automatizado	Hanna Instruments	Operativo	G2	36	79
Estufa solidos		Operativo	G2	29	29
Estufa secado material vidrio	Kottermann	Operativo	G1	25	0
Espectrofotómetro	Optizen	Operativo	G2	39	100
Espectrofotómetro	Peak instruments	En reparación	G2	39	100
Mufla	Termoline	Operativo	G2	35	71
pH metro-ORP	Thermo scientific	Operativo	G2	32	50
pH metro-ORP	Thermo scientific	Operativo	G2	32	50
pH metro- ise	Hanna Instruments	Operativo	G2	35	71
Osmosis inversa	hes	Operativo	G1	35	71
Refrigerador	Teka	Operativo	G1	29	29
Refrigerador	LG	Operativo	G1	29	29
Refrigerador	Ventus	Operativo	G1	29	29
Regulador Voltaje	TRIPP-LITE	Operativo	G2	35	71
Saturados /S	Rener	Operativo	G3	32	50
Test jarras	ISCO	Operativo	G3	32	50
Ups	Citopower	Operativo	G2	32	50
Ultracongeladora -85°C	Midea Biomedical	Operativo	G1	34	64
Vortex	Quimis	Operativo	G3	32	50

Tabla 2-21:Matriz decisión

Fuente: Elaboración propia

2.3.3 Equipos considerados críticos según matriz criticidad

Los equipos considerados críticos de acuerdo con la matriz de criticidad son los siguientes.

Equipos críticos		Estado	Clasificación	IC	IC normalizado
Analizador TOC	Analytik jena	Operativo	G1	39	100
Espectrofotómetro	Optizen	Operativo	G2	39	100
Espectrofotómetro	Peak instruments	En reparación	G2	39	100

Figura 2-23 : Criterios y ponderaciones matriz criticidad

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la ponderación del índice de criticidad se definen las acciones a seguir para los equipos presentes en el laboratorio.

Rangos	Nivel criticidad	Acción
> 39	alto	Realizar femca
30-38	medio	Mantenimiento correctivo monitoreo condición
<30	bajo	Mantenimiento correctivo sin monitoreo

Tabla 2-22:Acciones a realizar segun puntaje

Fuente: Elaboración propia

2.3.4 Análisis de modos y efectos de fallas para equipos críticos

El análisis de modo y efectos de fallas fue uno de los primeros métodos estructurados para mejorar la confiabilidad, se puede aplicar a todo tipo de industria y tiene por objetivo reducir la probabilidad de falla ya que descubrir fallas principales.

Este análisis permite identificar los componentes vulnerables, sus mecanismos de falla y determinar las acciones preventivas necesarias para mitigar su ocurrencia.

Se designan acciones respecto a la ocurrencia, severidad y detección donde se da una ponderación de acuerdo con la ocurrencia, tiempo de reparación y detección de tipos de falla en distintos componentes del equipo crítico, para calcular el número de prioridad de riesgo NPR.

El número de prioridad de riesgo se expresa como:

$$NPR = Severidad (S) \times Ocurrencia(O) \times Detección(D)$$

A continuación, se muestras las matrices de ocurrencia, severidad y detección con sus respectivas ponderaciones.

Ocurrencia	
Frecuencia de fallas	ESCALA
Diaria	10
semanal	9
mensual	8
Cada 3 meses	7
2 veces al año	6
1 vez al año	5
1 vez cada 2años	4
1 vez cada 3 años	3
1 vez cada 5 años	2
No ha presentado fallas en 10 años	1

Tabla 2-23:Matriz Ocurrencia

Fuente: Elaboración propia

SEVERIDAD		
Tiempo fuera de servicio		Escala
Equipo fuera de servicio 30 días o mas		10
Equipo fuera de servicio 15 días		9
Equipo fuera de servicio 10 días		8
Equipo fuera de servicio menor a 7 días		7
Se tiene que pedir repuesto		6
Se cuenta con repuesto necesita técnico		5
Se cuenta con repuesto puede ser cambiado por operario		4
No requiere repuesto		3
Tolerable		2
Insignificante		1

Tabla 2-24 :Matriz Severidad

Fuente: Elaboración propia

DETECCIÓN		
DETECCIÓN	CRITERIO	ESCALA
Casi imposible	Requiere desarmar partes del equipo electricas	10
Remota	Desamar más de 2 partes	9
Muy remota	Un día de trabajo	8
Muy baja	una mañana de trabajo	7
Baja	Mas de 2 hora de trabajo	6
Moderada	Mas de 1 hora de trabajo	5
Altamente moderada	Requiere desarmar partes del equipo	4
Alta	Detectable con alarma de equipo	3
Muy alta	Detectable con inspeccion visual	2
Casi seguro	Detectable	1

Tabla 2-25:Matriz Detección

Fuente: Elaboración propia

NPR	Acción
NPR > 150	Riesgo Crítico. Acción inmediata.
NPR 100 - 150	Riesgo Alto. Acción planificada.
NPR 50 - 99	Riesgo Moderado. Acción cuando sea posible.
NPR < 50	Riesgo Bajo. Monitoreo.

Tabla 2-26: Acciones según NPR

Fuente: Elaboración propia

Como consideración se tiene que para los equipos espectrofotómetros(optizen y peak) se considera solo un fmeca para ambos ya que tienen características similares y los mismos modos de fallo.

2.3.4.1 Fmeca espectrofotómetros

Como se observa en la figura 2-24 del análisis realizado el valor más alto lo obtienen es subsistema de fuente de emisión de luz, el cual consta de dos ampollitas una de deuterio y otra de tungsteno, la falla de estos elementos afectan la estabilidad y repetibilidad de los análisis, después de se observa que el segundo más alto corresponde a la pantalla táctil ya que si esta no funciona el equipo no puede ser utilizado, también tiene este puntaje el microprocesador ya que una falla ocasiona que el sistema no parta y el equipo no puede ser utilizado.

Esta categorización nos indica que este equipo debe tener un mantenimiento centrado en la confiabilidad, para ello se tiene que registrar las horas de funcionamiento que tienen ambas lámparas, para tener un tiempo de falla estimado, para ello se va al menú de configuración del equipo y se toma nota de cuantas horas tiene en ese momento, también se tienen que contar con una ups que tenga protección ante alzas de voltaje o de lo contrario adquirir un regulador de voltaje y una ups de forma separada.

Idealmente agendar una mantención preventiva una vez al año para limpieza y evaluación del equipo.

Sistema	Sub-Sistema	Componente	Función	Fallo Funcional	Modo Potencial de Fallo	Efectos potenciales de Fallo	Consecuencias Potenciales de Fallo	Acciones recomendadas	OCU	SEV	DET	NPR
Fuente de luz	Emisión haz luz	Lámpara Deuterio	Generar haz de luz	Imposibilidad de medir bajo 340[nm]	Agotamiento de filamento Alza de voltaje	No se puede medir bajo rango UV	El equipo que fuera de servicio hasta diagnóstico	Anotar tiempo de uso ampolleta [h] Revisar pantalla chequeo al inicio	4	10	4	160
		Lámpara tungsteno							4	10	4	160
	Espejo	selector	Mover espejo selector	Atascamiento entre 340 a 410 [nm]	Falla mecánica motor. Acumulación de polvo. Pérdida de la calibración	No se pueden ajustar longitudes de onda	El equipo que fuera de servicio hasta diagnóstico	Revisar pantalla chequeo al inicio si informa error	1	10	3	30
Selección	Monocromador	Rejilla difracción	Dividir haz luz	Desalineamiento	Impacto mecánico (transporte) degradación resorte retorno	Desviación exactitud de longitud de onda	Resultados desviados de valor verdadero	Revisar midiendo con filtros patrones	1	10	3	30
Interacción	Medición	Portaceldas	Mover cubeta con muestra	Desalineamiento de motor cubeta	Derrame de líquidos corrosivos	Portacubeta no se mueve resultado entregado no válido	Retraso en la medición	Revisar hay derrame en sistema. Ver si hay error en pantalla inicio	1	3	3	9
Detección	Fotodetector	Fotodiodo	Convertir fotón luz en señal eléctrica	Pérdida linealidad fotométrica	Contaminación fotodiodo por polvo o vapor corrosivo	Valores erráticos de absorbancia	Resultados desviados de valor verdadero	Medir la absorbancia a distintas concentraciones	1	10	3	30
Control y procesamiento	Control	Pantalla táctil	Acceso a software	Pantalla táctil no funciona	Corte de energía con el equipo en uso	El equipo no puede ser utilizado	Pérdida de datos	Contar con ups respaldo	2	10	3	60
		Amplificador señal	Elevar magnitud señal	Pérdida de la capacidad amplificación señal	Desgaste fluctuación temperatura	No logra calibrar blanco	Fallo al inicio calibración inicial no lograda	Contar con ups respaldo	1	10	3	30
	Procesamiento	Microprocesador	Aplicar ley Lambert Beer	Equipo no inicia sistema	Placa madre quemada por alza de voltaje o corroída por vapores corrosivos	El equipo no puede ser utilizado	El equipo que fuera de servicio hasta diagnóstico	Contar con ups respaldo	2	10	3	60
		Convertor señal analógica/digital	Convertir señal analógica/digital	Pérdida capacidad convertir señal	Deriva térmica o pérdida bits resolución	Lecturas con ruido Saltos bruscos en valores medidos	Resultados desviados de valor verdadero	Contar con ups respaldo	1	10	3	30

Figura 2-24 : Fmeca Espectrofotómetro

Fuente: Elaboración propia

2.3.4.2 Fmeca analizador TOC

Del análisis realizado se obtienen cuatro elementos del sistema que tienen un NRP mayor a 150 por lo que deben tener atención inmediata y un mantenimiento centrado en la confiabilidad.

Estos elementos son: tubo de combustión (consumible), cabezal de horno, bombas de condensado y ácido fosfórico con un puntaje de 140 se encuentran la cánula de aspiración y trampa de agua.

Cabe señalar que cuando una falla por presión de gas (falla que ocasiona que el equipo no realice la medición), el operario va descartando parte por parte hasta llegar a donde puede estar la falla, ensayo y error.

Se parte por cambiar el tubo de combustión si la falla continua se revisa el cabezal del horno, trampas de agua, se buscan obstrucciones en sistema de mangueras y se observa el flujómetro si existe una diferencia significativa entre entrada y salida, si la falla continua es necesario solicitar visita técnica para diagnóstico.

Actualmente el tubo de combustión y su relleno tienen un alto desgaste por la matriz de la muestra analizada, que tiene un alto contenido de halógenos y sal, se está a la espera de que en la próxima mantención se cambie la configuración de horno de combustión para permitir muestras con alto contenido de sal si desgaste excesivo del catalizador. A continuación, se muestra una imagen del fmeca realizado, en el anexo A se encuentra la tabla para mayor detalle.

Sistema	Sub-Sistema	Componente	Función	Fallo Funcional	Modo Potencial de Fallo	Efectos potencial de Fallo	Consecuencia Potenciales de Fallo	Acciones recomendadas	O C U	SE V	D E T	N P R
Combustión	Horno	Tubo combustión	Catalización muestra	Sistema no alcanza estanquedad	Degaste del catalizador y/o lana de cuarzo	El sistema tiene una baja de presión	Sistema se apaga por protección	Revisar estado del tubo de combustión	8	5	5	200
		Cabezal horno	Trasladar gases /muestra	Sistema no alcanza estanquedad	Conexión mal ajustada que genera fuga de gas	El sistema tiene una baja de presión	Sistema se apaga por protección	Revisar ajuste de conexiones	7	5	5	175
Mangueras	Ajustes de flujo	bomba condensado	Bombear condensado	Conexión no estanca	No bombea condensado	Fuga al ambiente	Pérdida presión del sistema	Revisar conexiones y gomas	5	5	7	175
		Bomba ácido Fosfórico	Bombear ácido fosfórico	No bombea ácido	No bombea ácido	Fuga de ácido	Corrosión en partes afectadas	Revisar conexiones y gomas	5	5	7	175
Limpieza/secado gas	Reactor TIC	manguera	aspirar/mezclar muestra	No aspira muestra	Posible contaminación con sólido de la muestra	Sólido atascado ocasiona una pérdida de presión	Sistema se apaga por protección	Diluir o filtrar la muestra Limpiar reactor TIC	5	5	4	100
	secado gas	Trampa agua	Evitar que el agua condensas entre en la vía del gas de medición	No atrapa el condensado	Filtro saturado	El sistema tiene una baja de presión	Sistema se apaga por protección	Revisar cada 6 meses	7	5	4	140
		Trampa halogenos	Eliminar interferentes y proteger al detector y flujometro	No atrapa el halógeno	Cobre y bronce desgastados	los halogenos dañan detector	Daño a componentes eléctricos	Observar desgaste de la trampa	7	5	4	140
		serpentin condensación	refrigerar gas medición condensar vapor de agua	Sistema no alcanza estanquedad	Obstrucción por catalizador /lana de cuarzo desplazada	La obstrucción genera pérdida de presión	Sistema se apaga por protección	Revisar serpentín buscando rastros de catalizador o lana de cuarzo	2	5	4	40
Sistema introduccion muestra	Bomba inyección	Bomba inyección	Bombear muestra al sistema	No inyecta muestra	Obstrucción no hay estanquedad del sistema	Pérdida de presión	Sistema se apaga por protección	revisar si hay fuga en cada uso	2	6	7	84
	cánula aspiración	canula	Inyectar muestra al sistema	No inyecta muestra	Obstrucción ingreso de partículas en cánula	Volumen aspirado no es el correcto	La medición realizada no es representativa	Observar volumen de muestra remanente	4	5	7	140
Detectores	Eléctrico	NDIR	Absorber infrarrojos no dispersos	No absorbe infrarrojos	Daño por alza voltaje	Medición sesgada	La medición realizada no es representativa	regualdor voltaje	1	10	3	30
		flujometro	medir flujo	No mide flujo	Daño por alza voltaje	Pérdida de presión	Sistema no inicia	Revisar mangueras flujo aire buscando obstrucciones	1	10	3	30

Figura 2-25 : Fmeca analizador TOC

Fuente: Elaboración propia

Capítulo 3

3.1 **Diseño de plan de mantenimiento preventivo**

Respecto al diseño del plan de mantenimiento se toman en cuenta las recomendaciones de los fabricantes de los equipos, así como también en la observación basada en el uso de estos.

La división de los equipos será planteada de la misma manera que en el capítulo anterior:

Grupo 1: Equipos que son utilizados en los proyectos de investigación.

Grupo 2: Equipos que son utilizados en el análisis químico de residuos líquidos.

Grupo 3: Equipos que son utilizados para docencia.

3.1.1 Propuesta del plan de mantenimiento para los equipos del grupo 1

Los equipos presentes en este grupo son los siguientes:

Equipo Agitadores Verticales			
Tipo de Fallas detectadas	Motor no gira		¿Existe roce?
	Regulación de velocidad		¿Se puede regular?
Acciones de mantenimiento propuestas			
Diaria	Limpieza superficies	Alcohol o detergente suave	Usuario o encargado
Semanal	Inspección visual, búsqueda de ruidos inusuales	Aumentar velocidad para detectar posibles ruidos	Usuario o encargado
Mensual	Lubricación partes móviles	Aplicación de un lubricante	Encargado
Anual	Revisión completa	Enviar equipo a pañol	Encargado
Equipo Agitadores magnéticos			
Tipo de Fallas detectadas	Motor no gira		No controla temperatura
	Regulación de velocidad		No enciende el equipo
Acciones de mantenimiento propuestas			
Diaria	Limpieza superficies	Alcohol o detergente suave	Usuario o encargado
Semanal	Inspección visual, búsqueda de ruidos inusuales, controla la agitación y temperatura correctamente	Aumentar velocidad y T° para detectar posibles ruidos	Usuario o encargado

Mensual	Revisión de fusibles y partes eléctricas	Limpieza de posibles residuos de reactivos	Encargado
Anual	Revisión completa	Enviar equipo a pañol	Encargado
Equipo Balanzas analíticas			
Tipo de Fallas detectadas	Error de calibración	La calibración no es realizada	
	Valor entregado no es el correcto	No enciende el equipo	
Acciones de mantenimiento propuestas			
Diaria	Limpieza superficies	Alcohol o detergente suave	Usuario o encargado
Semanal	Inspección visual, búsqueda de ruidos inusuales, la calibración se realiza de manera correcta.	Pesar masa patrón	Usuario o encargado
Mensual	Limpieza de parte movibles y revisión de fusibles y partes eléctricas	Limpieza de posibles residuos de reactivos	Encargado
Anual	Revisión completa	Envio a servicio técnico	Encargado
Equipo: Bombas peristálticas			
Tipo de Fallas detectadas	Cabezal bomba no gira	¿Existe roce?	
	Regulación de velocidad	¿Se puede regular?	
	Atascamiento	¿Manguera obstruida?	
	Cabezal no Gira	¿Se puede liberar?	
	No enciende	¿Esta enchufada?	
Acciones de mantenimiento propuestas			
Diaria	Limpieza superficies, inspección visual Revisión de mangueras buscando posible obstrucción.	Alcohol o detergente suave	Usuario o encargado
Semanal	Inspección visual, búsqueda de ruidos inusuales, atascamiento	Aumentar velocidad de giro de la bomba	Usuario o encargado

	de partes		
Mensual	Revisión de fusibles, botoneras y partes eléctricas	Limpieza de posibles residuos de reactivos	Encargado
Anual	Revisión completa	Enviar equipo a pañol	Encargado
Equipo: Controlador de temperatura			
Tipo de Fallas detectadas	Fusible quemado	Fue cambiado?	
	No reconoce termocupla	¿Esta conectada?	
	No enciende	¿Esta enchufado?	
Acciones de mantenimiento propuestas			
Diaria	inspección visual	¿Funciona correctamente? ¿Presenta problemas?	Usuario o encargado
	Búsqueda de posibles fallas		
Semanal	Inspección visual, Limpieza de superficies.	Limpiar superficie con alcohol	Usuario o encargado
Mensual	Revisión de fusibles, termocupla, botoneras y partes eléctricas	Cambios en la temperatura para comprobar el correcto funcionamiento	Encargado
Anual	Revisión completa	Enviar equipo a pañol	Encargado
Equipo: Generador de agua ultrapura			
Tipo de Fallas detectadas	Presenta fuga de agua	¿La llave esta abierta?	
	No genera agua	¿Está conectada? ¿la presión del estanque es la adecuada?	
	No enciende	¿Está enchufado?	
Acciones de mantenimiento propuestas			
Diaria	inspección visual	¿Funciona correctamente? ¿Presenta problemas?	Usuario o encargado
	Búsqueda de posibles fugas		
Semanal	Inspección visual, Limpieza de superficies.	Limpiar superficie con alcohol y/o detergente suave Revisar posibles fugas	Usuario o encargado
Mensual	Revisión de fusibles, botoneras y partes	Revisar y apretar enchufes, revisar posibles fugas	Encargado

	eléctricas		
Anual	Revisión completa	Solicitar visita técnica	Servicio técnico autorizado
Equipo: Osmosis inversa			
Tipo de Fallas detectadas	Presenta fuga de agua	¿La llave está abierta?	
	No genera agua	¿Está conectada? ¿la presión del estanque es la adecuada?	
	No enciende	¿Este enchufado?	
Acciones de mantenimiento propuestas			
Diaria	inspección visual Búsqueda de posibles fugas	¿Funciona correctamente? ¿Presenta problemas?	Usuario o encargado
Semanal	Inspección visual, Limpieza de superficies.	Limpiar superficie con alcohol y/o detergente suave Revisar posibles fugas	Usuario o encargado
Mensual	Revisión de fusibles, botoneras y partes eléctricas	Revisar y apretar enchufes, revisar posibles fugas	Encargado
Anual	Revisión completa	Solicitar visita técnica	Servicio técnico autorizado

Tabla 3-1:Acciones de mantenimiento propuestas equipos grupo 1

Fuente: Paloma Rivera Muñoz (2025). Elaboración propia

3.1.2 Propuesta de mantenimiento para equipos del grupo 2

Espectrofotómetro uv/visible, analizador de carbono orgánico total (TOC), equipo medidor de pH-ISE, medidor oxígeno disuelto, equipos empleados en la determinación de sólidos (estufa 105 °C, mufla, bomba de vacío), centrifuga, congeladora de -85°C, refrigeradores, campana extracción.

Espectrofotómetro uv/visible optizen pop:

Equipo: Espectrofotómetro Optizen pop			
Tipo de Fallas detectadas	No enciende	¿Está enchufado?	
	Encendido con mensaje de error	¿Qué tipo de mensaje se	

		muestra?
	Error en la medición	¿Horas de uso? ¿última mantención?
Acciones de mantenimiento propuestas		
Diaria	Inspección visual Búsqueda de posibles fallas Limpieza superficies	¿Funciona correctamente? ¿Presenta problemas? Limpiar superficie con alcohol Usuario o encargado
Semanal	Inspección visual, Limpieza de superficies	Limpiar superficie con alcohol Usuario o encargado
Mensual	Comprobación de estado de lámpara halógena	Medición con soluciones patrón Revisar contador de horas de la lámpara Encargado
Anual	Revisión completa	Enviar equipo servicio técnico Encargado
Equipo: Espectrofotómetro PEAK C-7100S		
Tipo de Fallas detectadas	No enciende	¿Está enchufado?
	Encendido con mensaje de error	¿Qué tipo de mensaje se muestra?
	Error en la medición	¿Horas de uso? ¿última mantención?
Acciones de mantenimiento propuestas		
Diaria	Inspección visual Búsqueda de posibles fallas Limpieza superficies	¿Funciona correctamente? ¿Presenta problemas? Limpiar superficie con alcohol Usuario o encargado
Semanal	Inspección visual, Limpieza de superficies.	Limpiar superficie con alcohol Usuario o encargado
Mensual	Comprobación de estado de lámpara halógena.	Medición con soluciones patrón Encargado
Anual	Revisión completa	Enviar equipo servicio técnico Encargado
Equipo: Analizador Toc multi N/C 3100		

Tipo de Fallas detectadas	No enciende	¿Está enchufado?	
	Encendido con mensaje de error	¿Qué tipo de mensaje se muestra?	
	Error en la medición	Cambio tuvo de combustión	
	Error de presión	Revisar toda la hermeticidad del sistema	
Acciones de mantenimiento propuestas			
Diaria	Inspección visual Búsqueda de posibles fallas Limpieza superficies	¿Funciona correctamente? ¿Presenta problemas? Limpiar superficie con alcohol Comprobar flujo de gases	Usuario o encargado
Semanal	Inspección visual, Limpieza de superficies. Comprobar que las conexiones de las mangueras estén ajustadas	Limpiar superficie con alcohol Revisar estado de trampa de halógenos	Usuario o encargado
Mensual	Comprobación de distintos componentes del sistema	Comprobación estado de tubo de combustión Revisión de trampa de Halógenos y trampas de agua Comprobar estanqueidad de bomba de agua Revisar bomba de condesado y bomba de ácido fosfórico buscando posibles fugas Limpiar recipiente de condensado de TIC, y serpentín de condensación	Encargado
Anual	Revisión completa	Cambio de mangueras de bomba peristáltica Cambio de distintas mangueras y jeringas	Servicio técnico

Equipo: Computador Asus			
Tipo de Fallas detectadas	No enciende	¿Está enchufado?	
	No ejecuta el programa	¿Tiene el programa instalado?	
	Error al ejecutar programa	¿Qué error se muestra?	
Acciones de mantenimiento propuestas			
Diaria	Limpieza superficies, inspección visual	Alcohol isopropílico 70% o detergente suave	Usuario o encargado
Semanal	Inspección visual, funciona correctamente		Usuario o encargado
Mensual	Revisión licencias programas		Encargado
Anual	Revisión completa	Enviar equipo a depto. de TI	Encargado
Equipo: Ups cito power			
Tipo de Fallas detectadas	No enciende	¿Está enchufado?	
	No carga	Vida útil batería	
	No realiza el respaldo de energía	Tiene carga	
Acciones de mantenimiento propuestas			
Diaria	Limpieza superficies, inspección visual	Alcohol isopropílico 70% o detergente suave	Usuario o encargado
Semanal	Inspección visual, funciona correctamente	Ver conexiones, revisar estado.	Usuario o encargado
Mensual	Inspección visual, funciona correctamente	Ver conexiones, revisar estado.	Encargado
Anual	Prueba de tiempo de respaldo	Desconectar ups con el equipo encendido	Encargado

Tabla 3-2:Acciones mantenimiento propuestas grupo 2

Fuente: Paloma Rivera Muñoz (2025). Elaboración propia

Equipo: pHmetro HI5111– Orion star A211			
Tipo de Fallas detectadas	Enciende con error	¿Tipo de error?	
	No realiza la medición	¿Está calibrado el equipo? Vida útil del electrodo	
	No enciende	¿Está enchufado?	
Acciones de mantenimiento propuestas			
Diaria	Limpieza superficies, inspección visual	Alcohol isopropílico 70% o detergente suave	Usuario o encargado
Semanal	Inspección visual, funciona correctamente	Realizar calibración	Usuario o encargado
Mensual	Revisión estado de electrodo	Observar posible corrosión en conexiones limpiar las mismas de ser necesario	Encargado
Anual	Revisión completa	Enviar equipo a servicio técnico autorizado	Encargado
Equipo: Medidor OD HI -HI			
Tipo de Fallas detectadas	No detecta la sonda de OD	¿Está cortado el cable?	
	No realiza la medición	¿Está calibrado el equipo? Vida útil del electrodo Vida útil de la membrana	
	No enciende	¿Está enchufado? ¿Tiene baterías?	
Acciones de mantenimiento propuestas			
Diaria	Limpieza superficies, inspección visual Calibración del equipo	Alcohol isopropílico 70% o detergente suave	Usuario o encargado
Semanal	Inspección visual,	Revisar conexiones	Usuario o

	funciona correctamente		encargado
Mensual	Revisión estado de electrodo	Observar si hay residuos en el electrodo Cambiar membrana del electrodo de ser necesario	Encargado
Anual	Revisión completa	Enviar equipo a servicio técnico autorizado	Encargado
Equipo: Estufa sólidos- secado material			
Tipo de Fallas detectadas	No enciende	¿Está enchufado?	
	No alcanza temperatura deseada (105°C)	¿Estado de la termocupla?	
	La temperatura es distinta a la mostrada en pantalla	¿Estado de la termocupla?	
Acciones de mantenimiento propuestas			
Diaria	Limpieza superficies, inspección visual	Alcohol isopropílico 70% o detergente suave	Usuario o encargado
Semanal	Inspección visual, funciona correctamente	Revisar conexiones	Usuario o encargado
Mensual	Limpieza del interior, revisión de bandejas	Observar si hay residuos, limpiar de ser necesario Comprobar temperatura con termómetro	Encargado
Anual	Revisión completa	Enviar equipo a pañol de ser necesario	Encargado
Equipo: Mufla 550°C			
Tipo de Fallas detectadas	No enciende	¿Está enchufado?	
	No alcanza temperatura deseada (550°C)	¿Estado de la termocupla?	
	Ventilador no funciona	¿Estado del ventilador?	
Acciones de mantenimiento propuestas			
Diaria	Limpieza superficies, inspección visual	Alcohol isopropílico 70% o detergente suave Después de usar dejar puerta	Usuario o encargado

		abierta	
Semanal	Inspección visual, funciona correctamente	Revisar conexiones	Usuario o encargado
Mensual	Limpieza del interior, revisión de bandejas	Observar si hay residuos, limpiar de ser necesario	Encargado
Anual	Revisión completa	Enviar equipo a pañol de ser necesario	Encargado

Tabla 3-3:Acciones mantenimiento propuestas grupo 2

Fuente: Paloma Rivera Muñoz (2025). Elaboración propia

Equipo: Bombas de vacio Rocker			
Tipo de Fallas detectadas	No enciende	¿Está enchufado?	
	No realiza el vacío	¿Estado de trampa de agua?	
	No realiza vacío	¿Estado de la manguera?	
Acciones de mantenimiento propuestas			
Diaria	Limpieza superficies, inspección visual Detección de ruidos inusuales	Alcohol isopropílico 70% o detergente suave	Usuario o encargado
Semanal	Inspección visual, funciona correctamente Revisar trampa de agua	Revisar conexiones	Usuario o encargado
Mensual	Revisar acumulación de polvo o posible corrosión de partes	Observar si hay residuos, limpiar de ser necesario	Encargado
Anual	Revisión completa	Enviar equipo a pañol de ser necesario	Encargado

Tabla 3-4:Acciones de mantenimiento propuestas grupo 2

Fuente: Paloma Rivera Muñoz (2025). Elaboración propia

Equipo: Centrifuga Hermle		
Tipo de Fallas detectadas	No enciende	¿Está enchufado?
		¿Está bien conectado?

	Muestra error en pantalla	¿Están equilibradas las muestras en su volumen?	
Acciones de mantenimiento propuestas			
Diaria	Limpieza superficies, inspección visual Detección de ruidos inusuales	Alcohol isopropílico 70% o detergente suave	Usuario o encargado
Semanal	Inspección visual, funciona correctamente	Revisar conexiones	Usuario o encargado
Mensual	Revisar acumulación de polvo o posible corrosión de partes del rack de muestras	Observar si hay residuos, limpiar de ser necesario Sacar rack y limpiar residuos	Encargado
Anual	Revisión completa	Enviar equipo a servicio técnico de ser necesario	Encargado
Equipo: Congeladora -85°C Haier			
Tipo de Fallas detectadas	No enciende	¿Está enchufado?	
	No congela las muestras	¿Tiene el setup correcto?	
	No se puede cerrar bien	¿Hay acumulación de hielo en puertas?	
Acciones de mantenimiento propuestas			
Diaria	Limpieza superficies, inspección visual Detección de ruidos inusuales	Paño húmedo con detergente suave	Usuario o encargado
Semanal	Inspección visual, funciona correctamente Sacar escarcha generada en las puertas	Revisar conexiones Revisar formación de escarcha	Usuario o encargado
Mensual	Inspección visual, funciona correctamente	Observar si hay residuos, limpiar de ser necesario Revisar estado de las	Encargado

		muestras	
Anual	Revisión completa	Pedir mantención anual	Servicio técnico (gestionar visita)

Tabla 3-5:Acciones de mantenimiento propuestas grupo 2

Fuente: Paloma Rivera Muñoz (2025). Elaboración propia

Equipo: Refrigeradores Ventus LG Teka			
Tipo de Fallas detectadas	No enciende	¿Está enchufado?	
	No tiene la temperatura adecuada	¿Está funcionando la condensación? Tiene fuga de refrigerante	
	No prende la luz	¿Se quemó?	
Acciones de mantenimiento propuestas			
Diaria	Limpieza superficies, inspección visual Detección de ruidos inusuales	Paño húmedo Con detergente suave	Usuario o encargado
Semanal	Inspección visual, funciona correctamente Tiene la temperatura adecuada	Revisar conexiones	Usuario o encargado
Mensual	Revisar acumulación de muestras o suciedad o posible corrosión de partes	Observar si hay residuos, vaciar y limpiar las bandejas de los equipos	Encargado
Anual	Limpieza completa	Se vacía el equipo y se limpia mas profunda	Encargado

Tabla 3-6:Acciones de mantenimiento propuestas grupo 2

Fuente: Paloma Rivera Muñoz (2025). Elaboración propia

Equipo: Campana extracción de gases			
Tipo de Fallas detectadas	No enciende	¿Está enchufado? ¿Hay electricidad?	
	No tiene la succión adecuada	¿Está funcionando el motor? Se acumula gas en la cámara Se observa condensación en la parte superior	
Acciones de mantenimiento propuestas			
Diaria	Limpieza superficies, inspección visual Detección de ruidos inusuales	Paño húmedo Con detergente suave	Usuario o encargado
Semanal	Inspección visual, funciona correctamente Tiene fuerza de succión	Revisar conexiones	Usuario o encargado
Mensual	Revisar acumulación de muestras o suciedad o posible corrosión de partes	Observar si hay residuos, limpiar paredes y mesón con detergente	Encargado
Anual	Limpieza completa	Limpiar con lavalozas en crema	Encargado

Tabla 3-7:Acciones de mantenimiento propuestas grupo 2

Fuente: Paloma Rivera Muñoz (2025). Elaboración propia

3.1.3 Propuesta del plan de mantenimiento para los equipos del grupo 3

En este grupo se encuentra como dice su nombre un conjunto de equipos que forman parte de las experiencias de docencia, principalmente de dos asignaturas las cuales enseñan las herramientas y tecnologías en el tratamiento de residuos líquidos.

Equipo: Baños termoregulados

Tipo de Fallas detectadas	Presenta corrosión en partes	¿Se lleno con agua destilada? ¿Es posible limpiar la corrosión?	
	Tiene ruido No agita	¿Está funcionando el motor? Tiene suelta alguna pieza	
Acciones de mantenimiento propuestas			
Diaria	Limpieza superficies, inspección visual Detección de ruidos inusuales	Paño húmedo Con detergente suave por superficies	Usuario o encargado
Semanal	Inspección visual, Detección de ruidos Falta agua en el baño	Revisar conexiones, nivel del agua	Usuario o encargado
Mensual	Revisar acumulación de muestras o suciedad o posible corrosión de partes	Limpiar si es posible	Encargado
Anual	Limpieza completa	Vaciar baño, limpiar con detergente suave superficies y fondos	Encargado

Tabla 3-8:Acciones de mantenimiento propuestas grupo 3

Fuente: Paloma Rivera Muñoz (2025). Elaboración propia

Equipo: Digestor de DQO		
Tipo de Fallas detectadas	No enciende	¿Está enchufado?
	Error de encendido	¿Hay electricidad?

	No alcanza la temperatura adecuada	Enciende de manera adecuada	
Acciones de mantenimiento propuestas			
Diaria	Limpieza superficies, inspección visual Enciende correctamente sin errores	Paño húmedo Con detergente suave Reinicio del dispositivo	Usuario o encargado
Semanal	Inspección visual, funciona correctamente Existe acumulación de residuos	Revisar conexiones Limpiar residuos	Usuario o encargado
Mensual	Revisar acumulación de muestras o suciedad o posible corrosión de partes	Revisar conexiones Limpiar residuos	Encargado
Anual	Limpieza completa	Limpiar con lavalozas líquido, dejar secar	Encargado

Tabla 3-9:Acciones de mantenimiento propuestas grupo 3

Fuente: Paloma Rivera Muñoz (2025). Elaboración propia

Equipo: Equipo de Flotación

Tipo de Fallas detectadas		No enciende	¿Está enchufado? ¿Hay electricidad?
		No genera la microburbuja necesaria	¿Hay suficiente muestra en el tanque? ¿Se alcanzo el nivel de presión necesario?
Acciones de mantenimiento propuestas			
Diaria	Limpieza celda, estanque con agua destilada limpiar superficies, inspección visual Enciende correctamente sin errores	Paño húmedo Con detergente suave Reinicio del dispositivo	Usuario o encargado
Semanal	Inspección visual Verificar ajuste de válvulas Comprobar estado del compresor Existe acumulación de residuos	Revisar conexiones Limpiar residuos	Usuario o encargado
Mensual	Revisar acumulación de muestras o suciedad en estanque Realizar prueba de estanqueidad Verificar pernos sueltos y sellos Ver si existen filtraciones	Revisar conexiones Limpiar residuos	Encargado
Anual	Inspección visual de tanque Cambio de sellos de	Solicitar servicio técnico	Servicio técnico

	teflón		
	Realizar prueba hidrostática		

Tabla 3-10:Acciones de mantenimiento propuestas grupo 3

Fuente: Paloma Rivera Muñoz (2025). Elaboración propia

Equipo: Test de jarras			
Tipo de Fallas detectadas	No enciende Error de encendido	¿Está enchufado? ¿Hay electricidad? ¿Se quemo el fusible?	
	El giro de las paletas es de manera forzada La velocidad de giro es diferente a la mostrada en pantalla	¿Existe atascamiento?	
Acciones de mantenimiento propuestas			
Diaria	Limpieza superficies, inspección visual Enciende correctamente	Paño húmedo Con detergente suave	Usuario o encargado
Semanal	Inspección visual, funciona correctamente Existe acumulación de residuos Necesita lubricación	Revisar conexiones Limpiar residuos presentes en las paletas Lubricar partes moviles	Usuario o encargado
Mensual	Revisar acumulación de muestras o suciedad o posible corrosión de partes	Revisar conexiones Limpiar residuos presentes en las paletas	Encargado
Anual	Revisión completa	Enviar a pañol para su evaluación	Encargado

Tabla 3-11:Acciones de mantenimiento propuestas grupo 3

Fuente: Paloma Rivera Muñoz (2025). Elaboración propia

3.2 Análisis económico de las medidas propuestas

El análisis económico propuesto se basa en mantenciones correctivas que se han realizado anteriormente, en este análisis se consideran los equipos considerados críticos de acuerdo con siguientes criterios:

- Frecuencia de uso
- Se tiene reemplazo de ese equipo
- Antigüedad del equipo
- Ha presentado fallas anteriormente
- Tiene sus mantenciones al día
- Se puede conseguir otro equipo similar con otro laboratorio y si están dispuestos a prestar el uso del equipo por un tiempo determinado.

De acuerdo con estos criterios hay dos equipos que caen en esa categoría

- Equipo Analizador TOC Analytikjena
- Espectrofotómetros Peak y Optizen pop

3.2.1 Analizador TOC

Este analizador es considerado crítico porque dentro del uso en la investigación, mide parámetros como el carbono orgánico e inorgánico y una medida de nitrógeno total, como la investigación principal del laboratorio se basa en el estudio de la remoción de compuestos nitrogenados en ausencia y presencia de materia orgánica, es importante que este equipo sea confiable y con una alta disponibilidad, ya que otorga medidas relevantes para el estado de la investigación, ya que nos entrega medidas de remoción de los nutrientes investigados, con los cual si se detectan bajas remociones se pueden tomar medidas para así cumplir con los objetivos planteados en la investigación.

3.2.1.1 Problemática actual del equipo

El problema actual del equipo es que presenta un alto consumo de consumibles, sobre todo un catalizador de platino, el cual está diseñado para 1500 análisis, pero actualmente se tiene que renovar cada 150 a 200 mediciones, ya que las muestras analizadas presentan un alto contenido de sal, lo que conlleva a un desgaste más rápido del catalizador de platino y el tubo de combustión que lo contiene, el equipo utiliza gas aire ultrapuro que una duración de 3 años.

El principal motivo de falla es la falta de insumos (catalizador, tubo de combustión), el catalizador es platino y el tubo de combustión es de cuarzo, este tubo no puede ser reutilizado cuando se presenta la falla, debe ser reemplazado por uno nuevo, cuando ocurre esta falla el equipo queda fuera de servicio hasta que se puedan gestionar recursos para agendar la mantención y adquisición de los insumos en el año estuvo 4 meses fuera de servicio, mientras se gestionaban los recursos para la mantención.

En cuanto a al análisis de las muestras cuando el equipo queda fuera de servicio, la opción es congelar las muestras hasta que el equipo vuelva a quedar disponible.

Cuando este equipo está en alta demanda se consideran 50 muestras semanales, lo

que equivale a 100 muestras mensuales, se consideran 46 semanas productivas, el equipo puede funcionar por un espacio de 8[h] diarias.

De acuerdo con el fabricante los insumos como tubo de combustión y catalizador de platino tienen una duración aproximadamente para 1500 mediciones antes de presentar una falla (esto equivale a 1 año de análisis), actualmente ambos insumos deben ser cambiados cada 150 a 200 mediciones (cada 2 meses), esto principalmente a la alta salinidad de la matriz analizada, esto lleva a un aumento en los costos de mantención y un aumento en el número de fallas por año.

A continuación, la tabla nos muestra la configuración actual del equipo y las fallas que presenta por año.

Tipo de falla	Fallas x año	Tiempo reparación [h]	Tiempo fuera de servicio
Tubo combustión	4	0,75	3
Trampas de agua	2	0,5	1
Trampas de halógenos	1	0,5	0,5
Rellenado ácido	5	0,75	3,75
Falta de insumos	1	640	640

Tabla 3-12:Tipos y frecuencia de fallas analizador TOC

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar de la tabla anterior, el mayor tiempo fuera de servicio se produce por falta de insumos, cabe señalar que durante ese mismo periodo se gestiona la mantención anual de equipo por parte de servicio técnico especializado autorizado por el fabricante, por lo que ese tiempo de gestión esta sumado en ítem falta de insumos.

3.2.1.2 Costos de mantención actuales

La siguiente tabla nos muestra los costos asociados a la mantención y la adquisición de los insumos.

Costo configuración actual			
Consumibles	Valor [clp]	Cantidad [año]	Total

Tubo combustión	\$ 721.259	3	\$ 2.163.777
Kit consumibles	\$ 2.602.292	2	\$ 5.204.584
Valor mantención anual	\$ 928.200	1	\$ 928.200
Gastos de traslado mantención	\$ 142.800	1	\$ 142.800
Gas aire ultra puro	\$ 271.321	1	\$ 271.321
Costo total mantención	\$ 8.710.682		

Tabla 3-13:Costo total mantención analizador TOC

Fuente: Elaboración propia

En esta tabla se ve reflejado el principal problema que presenta el equipo que es el desgaste excesivo y rápido del catalizador y el tubo de combustión, ambos esenciales para el funcionamiento, para el año 2025 se acordó adquirir 3 tubos de combustión adicionales a los que trae el kit de consumibles que son 2, es decir 5 tubos en total, ya que en el periodo 2023 – 2024 ,el tiempo fuera de servicio del equipo fue de 5 meses ,a la espera de gestionar los recursos de mantención y compra de insumos ,ya que en ese periodo solo se adquirieron solo 2 kits de consumibles lo que equivale a 2 tubos de combustión.

Cabe señalar que los tiempos fuera de servicio son altos por que se deben gestionar y postular a fondos concursables de la universidad para obtener los recursos para la reparación.

ya que se debe postular a proyectos de mantención de la universidad con el fin de recurrir a esos recursos y no ocupar los de la investigación ya que los montos superan al ítem asignado del proyecto de investigación del laboratorio.

3.2.1.3 Indicadores de mantenimiento actuales

La siguiente tabla nos muestra los indicadores de mantenimiento con la configuración actual del equipo.

MTTR	49,4	[h]
MTBF	91,7	[h]
Tiempo fuera de servicio	648,3	[h/año]
Tiempo total disponible (TTD)	1840,0	[h/año]
Tiempo total de funcionamiento correcto	1191,8	[h/año]
R(50)	0,58	
Disponibilidad operacional	0,65	
Disponibilidad inherente	0,65	

Tabla 3-14:Indicadores de mantenimiento analizador TOC

Fuente: Elaboración propia

Para la obtención de estos indicadores de mantenimiento se consideró una jornada de 5 días con 8 horas disponibles con 46 semanas de trabajo.

3.2.1.4 Ganancia teórica por concepto de análisis configuración actual

Cabe señalar que este cálculo es teórico ya que al ser proyectos de investigación FONDECYT, los análisis realizados no tienen un valor comercial que beneficie al laboratorio, si bien se prestan asesorías a distintas empresas, cabe señalar que ese tipo de asesoría es puntual y no sostenida en el tiempo.

Para establecer el costo por muestra se toman referentes de laboratorio de análisis comerciales que ofrecen sus servicios a distintas empresas.

Valor de mercado por análisis	0,4	[uf]
	\$ 15.898	[clp] por análisis
Muestras analizadas	1000	[año]
Entrada por concepto de análisis	\$15.897.820	[clp] /año
Ganacia teórica	\$ 7.187.138	[clp] /año

Tabla 3-15:Ganancia teórica configuración actual

Fuente: Elaboración propia

3.2.2 Configuración propuesta para analizador TOC

A continuación, se presenta la configuración propuesta para el analizador TOC:

Tipo de falla	Fallas x año	Tiempo reparación [h]	Tiempo fuera de servicio
Tubo combustión	1	0,75	0,75
Trampas de agua	2	0,5	1
Trampas de halógenos	1	0,5	0,5
Rellenado ácido	5	0,75	3,75
Falta de insumos	1	320	320

Tabla 3-16: Configuración propuesta para analizador TOC

Fuente: Elaboración propia

Como se observa, con esta configuración se espera disminuir las fallas por concepto de insumos de 4 a 1 [fallas x año], así como disminuir a la mitad el tiempo por falta de insumos y la gestión de recursos para el mantenimiento.

3.2.2.1 Costos de mantención propuestos

La siguiente tabla nos indica el costo asociado al cambio propuesto para este equipo, se puede observar como el costo disminuye a casi la mitad respecto a la configuración anterior ya que solo se indica adquirir dos kits de consumibles para muestras con alto contenido de sal, ya que en teoría 1 solo de los kits debería alcanzar para un muestro de 1500 análisis, se considera la adquisición de otro kit como salvaguarda en caso de que lo anterior no se cumpla.

Costos mantenimiento configuración propuesta
--

Consumibles	Valor [clp]	Cantidad [año]	Total
Kit alto contenido de sal	\$ 1.689.800	2	\$3.379.600
Valor mantención anual	\$928.200	1	\$928.200
Gastos de traslado mantención	\$142.800	1	\$142.800
Gas aire ultra puro	\$271.321	1	\$271.321
Costo total mantención	\$4.721.921		

Tabla 3-17:Costos de mantenimiento propuesta para analizador TOC

Fuente: Elaboración propia

3.2.2.2 Indicadores de mantenimiento propuestos

A continuación, la tabla nos indica los indicadores de mantenimiento para la configuración propuesta.

MTTR	32,3	[h]
MTBF	151,4	[h]
Tiempo fuera de servicio	326,0	[h/año]
Tiempo total disponible (TTD)	1840,0	[h/año]
Tiempo total de funcionamiento correcto	1514,0	[h/año]
R(50)	0,72	
Disponibilidad operacional	0,82	
Disponibilidad inherente	0,82	

Tabla 3-18:Indicadores de mantenimiento para configuración propuesta analizador TOC

Fuente: Elaboración propia

3.2.2.3 Ganancia teórica por concepto de análisis

La siguiente tabla nos indica la ganancia teórica por concepto de análisis para la configuración propuesta.

Valor de mercado por análisis	0,4	[uf]
	\$ 15.898	[clp] por análisis
Muestras	1050	[año]
Entrada por concepto de analisis	\$ 16.692.711	[clp] /año
Ganacia teórica	\$ 11.970.790	[clp] /año

Tabla 3-19 :Ganancia teórica de la configuración propuesta analizador TOC

Fuente: Elaboración propia

3.2.2.4 Conclusiones respecto a configuración propuesta

Con solo observar algunos indicadores de ambas configuraciones se puede concluir que la configuración propuesta conlleva a una mayor disponibilidad del equipo ya que se espera un aumento de 65 % a 82 %, es decir 17 puntos porcentuales de aumento en la confiabilidad operacional.

También se observa el aumento de la confiabilidad a las 50 [h] de 58% a 72%, y la disminución de MTTR de 49,4 [h] a 32,3[h], lo que es una mejora de 34,78% respecto

a la configuración anterior y el aumento del MTBF de 91,7[h] a 151,4[h], un 65,15% respecto a la configuración anterior, también se puede observar una disminución del tiempo fuera de servicio de 648,3 [h/año] a 326 [h/año] una disminución de 49 % respecto con la actual configuración.

De igual manera, se observa una disminución en los costos de mantención en un 54,20% respecto al costo de mantenimiento de la configuración actual.

La tabla 3-20 y 3-21, ilustran de mejor manera lo planteado en el párrafo anterior.

	Actual	Propuesta	
MTTR	49,4	32,3	[h]
MTBF	91,7	151,4	[h]
Tiempo fuera de servicio	648,3	326,0	[h/año]
Tiempo total disponible (TTD)	1840,0	1840,0	[h/año]
Tiempo total de funcionamiento correcto	1191,8	1514,0	[h/año]
R(50)	0,58	0,72	
Disponibilidad operacional	0,65	0,82	
Disponibilidad inherente	0,65	0,82	

Tabla 3-20:Comparación indicadores de mantenimiento (actual versus propuesta)

Fuente: Elaboración propia

	% mejora
MTTR	34,75
MTBF	65,15
Tiempo fuera de servicio	49,71
Tiempo total disponible (TTD)	0,00
Tiempo total de funcionamiento correcto	27,04
R(50)	24,01
Disponibilidad operacional	27,04
Disponibilidad inherente	26,88

Tabla 3-21: Porcentaje de mejora configuración propuesta respecto a la actual

Fuente: Elaboración propia

3.2.3 Equipos espectrofotómetros peak y optizen pop

Al contar con 2 equipos se aumenta la confiabilidad para la realización de los análisis ya que si falla un equipo se ocupa el otro, mientras el primero se manda a servicio técnico para diagnóstico y reparación.

El problema radica en cómo se mencionó anteriormente la reparación y mantención de los equipos se gestiona por fondos concursables, los cuales están abiertos en ciertos periodos del año, estos equipos tienen altos periodos de tiempo fuera de servicio cuando se está a la espera del diagnóstico y reparación.

Cabe señalar que el equipo optizen pop tiene 10 años de uso en la actualidad y el modelo peak tiene 5 años de uso, en ambos equipos las fuentes de luz han sido reparadas en más de una ocasión, ya que la vida útil de ambas lámparas es de

aproximadamente 2 años.

Actualmente ambos equipos se encuentran en servicio técnico, por lo que ninguno de ellos se encuentra disponible para su uso, para el modelo Peak, la reparación esta lista se encuentra solo pendiente la entrega, en cambio para el modelo optizen no se tiene diagnostico ya que se informó una falla de software que aún no ha sido identificada.

Los equipos no presentan mayores fallas a las atribuidas por el desgaste de las lámparas de deuterio y tungsteno, que es una falla usual en este tipo de equipo, la duración de estas lámparas es de aproximadamente 2 años o 6000[h] de uso. Otro tipo de fallas detectada es la de alzas de voltaje que afectan a estos componentes eléctricos quemando las lámparas cuando esto ocurre, sobre todo con cortes de luz no programados.

La siguiente tabla nos muestra la cantidad de fallas, el tiempo de reparación y el tiempo fuera de servicio, se considera para los dos equipos ya que tienen el mismo principio de funcionamiento y presentan las mismas fallas

Configuración actual			
Tipo de falla	Fallas x año	Tiempo reparación [h]	Tiempo fuera de servicio
Error medición	8	0,1	0,8
Limpieza externa	240	0,05	12
Desgaste lámpara	0,5	2	1
Mantenimiento correctiva	1	960	960

Tabla 3-22: Tipos y cantidad de fallas por año para espectrofotómetro

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar la mantención correctiva tiene el mayor número de horas e influye en los indicadores de mantenimiento.

3.2.3.1 Costos de mantención actuales

A continuación, se muestran los costos asociados a la reparación y mantenimiento de los equipos.

Costo mantención	
Servicio en taller	\$ 319.515
Repuesto lámpara (W)	\$ 226.100
Repuesto lámpara (D2)	\$ 642.600
Materiales e Insumos	\$ 115.073
Costos Operativos	\$ 148.512
Total mantención correctiva	\$ 1.451.800

Tabla 3-23: Costos de mantención configuración actual espectrofotómetro

Fuente: Elaboración propia

3.2.3.2 Indicadores de mantenimiento actuales

A continuación, se muestran los indicadores de mantenimiento actuales.

MTTR	3,9	[h]
MTBF	3,5	[h]
Tiempo fuera de servicio	973,8	[h/año]
Tiempo total disponible (TTD)	1840,0	[h/año]
Tiempo total de funcionamiento correcto	866,2	[h/año]
R(25)	0,0007	
Disponibilidad operacional	0,47	
Disponibilidad inherente	0,47	

Tabla 3-24 : Indicadores de mantenimiento configuración actual

Fuente: Elaboración propia

Para la obtención de estos indicadores de mantenimiento se consideró una jornada de 5 días con 8 horas disponibles con 46 semanas de trabajo.

3.2.3.3 Ganancia teórica por concepto de análisis

A continuación, se muestran la ganancia teórica de la configuración actual.

	Valor UF \$39.744 [clp]				
Tipo de análisis	Valor Uf	valor [clp]	Cantidad año	[UF/año]	Total
Nitrato	0,28	\$ 11.128	1344	376,32	\$ 4.187.809
Nitrito	0,28	\$ 11.128	1344	376,32	\$ 4.187.809
Amonio	0,28	\$ 11.128	672	188,16	\$ 2.093.905
Sulfato	0,3	\$ 11.923	672	201,6	\$ 2.403.717
Fosfato	0,26	\$ 10.333	20	5,2	\$ 53.734
Entrada por concepto de análisis				\$ 12.926.974	
Ganancia teórica				\$ 11.475.174	

Tabla 3-25 : Ganancia teórica por concepto de análisis

Fuente: Elaboración propia

3.2.3.4 Configuración propuesta para espectrofotómetro

Si bien no se observan grandes cambios respecto a la configuración anterior, se hace énfasis en la disminución del tiempo en taller, que es el mayor factor en el tiempo fuera de servicio del equipo, no se presentan otras propuestas por que básicamente no existen, ya que las características de equipo hacen difícil el proponer una configuración distinta de trabajo.

Configuracion propuesta

Tipo de falla	Fallas x año	Tiempo reparación [h]	Tiempo fuera de servicio
Error medición	1	0,1	0,1
limpieza externa	240	0,05	12
Desgaste lámpara	0,3	2	0,6
Mantenimiento correctiva	1	480	480

Tabla 3-26: Tipos y frecuencia de fallas para configuración propuesta

Fuente: Elaboración propia

3.2.3.5 Costos de mantención propuestos para espectrofotómetro

A continuación, se muestra el costo de mantención de la configuración propuesta.

Costo mantención	
Servicio en taller	\$ 319.515
Repuesto lámpara (W)	\$ 226.100
Repuesto lámpara (D2)	\$ 642.600
Materiales e Insumos	\$ 115.073
Costos Operativos	\$ 148.512
Total mantencion correctiva	\$ 1.451.800

Tabla 3-27 : Costos de mantención de la configuración propuesta

Fuente: Elaboración propia

Como se observa no hay cambios respecto al costo de mantener con la configuración anterior, como se mencionó anteriormente es difícil proponer cambios de configuración de los equipos, a causa de su principio de funcionamiento, y el desgaste de la lámpara.

3.2.3.6 Indicadores de mantenimiento de la configuración propuesta

A continuación, se muestran los indicadores de mantenimiento de la configuración propuesta.

MTTR	2,0	[h]
MTBF	5,6	[h]
Tiempo fuera de servicio(TFS)	492,7	[h/año]
Tiempo total disponible (TTD)	1840,0	[h/año]
Tiempo total de funcionamiento correcto(TTFC)	1347,3	[h/año]
R(25)	0,0112	
Disponibilidad operacional	0,73	
Disponibilidad inherente	0,74	

Tabla 3-28 : Indicadores de mantenimiento de la configuración propuesta

Fuente: Elaboración propia

3.2.3.7 Ganancia teórica de la configuración propuesta

A continuación, se muestran la ganancia teórica de la configuración propuesta.

			Valor uf \$39.744 [clp]		
Tipo de análisis	Valor Uf	valor [clp]	Cantidad / año	[UF/ año]	Total[clp]
Nitrato	0,28	\$ 11.128	1344	376,32	\$ 4.187.809
Nitrito	0,28	\$ 11.128	1344	376,32	\$ 4.187.809
Amonio	0,28	\$ 11.128	672	188,16	\$ 2.093.905
Sulfato	0,3	\$ 11.923	672	201,6	\$ 2.403.717
Fosfato	0,26	\$ 10.333	20	5,2	\$ 53.734
Entrada por concepto de analisis				\$12.926.974	
Ganancia teórica				\$11.475.174	

Tabla 3-29 : Ganancia teórica de la configuración propuesta

Fuente: Elaboración propia

3.2.3.8 Conclusiones respecto a la configuración propuesta

A continuación, se muestra las diferencias entre las dos configuraciones.

	Actual	Propuesta	
MTTR	3,9	2,0	[h]
MTBF	3,5	5,6	[h]
Tiempo fuera de servicio	973,8	492,7	[h/año]
Tiempo total disponible (TTD)	1840,0	1840,0	[h/año]
Tiempo total de funcionamiento correcto	866,2	1347,3	[h/año]
R(1)	0,7497	0,8354	
Disponibilidad operacional	0,47	0,73	
Disponibilidad inherente	0,47	0,74	

Tabla 3-30:indicadores de mantenimiento configuración actual versus configuración propuesta

Fuente: Elaboración propia

Los porcentajes a continuación reflejan los porcentajes de mejora entre la configuración propuesta versus la configuración actual.

	% mejora
MTTR	48,40
MTBF	37,56
Tiempo fuera de servicio	49,40
Tiempo total disponible (TTD)	0,00
Tiempo total de funcionamiento correcto	55,54
R(1)	11,43
Disponibilidad operacional	55,54
Disponibilidad inherente	55,45

Tabla 3-31 :Porcentaje de mejora con respecto a configuración actual

Al observar algunos indicadores de ambas configuraciones se puede concluir que la configuración propuesta conlleva a una mayor disponibilidad del equipo ya que se espera un aumento de 47 % a 73 %, es decir 16 puntos porcentuales de aumento en la confiabilidad operacional.

También se observa el aumento de la confiabilidad a las 1 [h] de 73% a 84%, y la disminución de MTTR de 49,4 [h] a 32,3[h], lo que es una mejora de 34,78% respecto a la configuración anterior y el aumento del MTBF de 3,5[h] a 4,6[h], un respecto a la configuración anterior, también se puede observar una disminución del tiempo fuera de servicio de 974 [h/año] a 492 [h/año] una disminución de 49 % respecto con la actual configuración.

Si bien, la propuesta tiene la intención de aumentar la disponibilidad del equipo, la mayor confiabilidad que tiene el laboratorio es tener otro equipo de similares características para que cuando uno está en taller, el otro pueda ser utilizado sin problemas hasta presentar una falla, la cual casi siempre esta relacionada al desgaste de la lámpara.

3.2.4 Propuestas de mejora continua

Para asegura la sostenibilidad y eficiencias de los equipos e instrumentación del laboratorio, se proponen acciones simples que pueden generar beneficios a largo plazo.

Se tomará como base la gestión moderna de mantenimiento, para así generar procedimientos fáciles de entender y llevar a cabo las acciones de mantenimiento de, manera consciente y rápida que no interrumpa con las actividades de las personas que se encuentren trabajando en el laboratorio, se contemplan las siguientes acciones

Generación de instructivos de mantenimiento básico donde se informan las actividades a seguir de acuerdo con el tipo de fallas, más comunes.

Hacer énfasis en el uso correcto de los equipos, no utilizarlos si se ven interrupciones de corriente eléctrica, para evitar el daño a los equipos

Implementación de registros de uso para todos los equipos, así como un cuaderno con el registro de actividades del día, en donde se registrarán fallas ocurridas, para detectar patrones de falla, generar trazabilidad el uso y apoyar futuras decisiones respecto a que equipo necesita mejoras.

Respecto a la alta rotación de los usuarios que trabajan en el laboratorio, se propone una inducción acerca del cuidado y mantención de los equipos haciendo énfasis en el uso correcto de estos y que informen cualquier problema que pueda ocurrir respecto al uso de los equipos durante su estadía en el laboratorio, esta acción se alinea con los principios de TPM y mantenimiento en uso, promoviendo una cultura de responsabilidad compartida sobre los equipos.

Hacer lista de chequeo con actividades diarias, semanales, mensuales, para evaluar la efectividad periódica de el plan de mantenimiento propuestos, ver fallar generadas, medir la disponibilidad de los equipos y si se cumplen o no las rutinas de

mantenimiento programadas.

Este conjunto de medidas permite fortalecer la gestión de mantenimiento del laboratorio ya que permitirá identificar fallas a tiempo, y gestionar de mejor manera las medidas a tomar para disminuir los tiempos de mantención y evitar fallas que tengan a los equipos fuera de servicio por un tiempo superior a 3 meses en el peor de los casos.

3.3 Conclusión

Los laboratorios de investigación forman parte de la enseñanza a generaciones futuras de ingenieros, es un lugar donde se practica y aplica el conocimiento de lo aprendido en la carrera universitaria, en este tipo de lugares los alumnos aprenden a utilizar distintos tipos de tecnologías y equipos que después los observan a mayor escala al integrarse al mundo laboral.

Es por esa razón que los equipos presentes en este tipo de laboratorios tengan una disponibilidad alta, en lo posible que no presenten fallas, es por eso por lo que necesario contar con toda la información de los planes de mantenimiento de manera clara y práctica con acciones simples entendibles por todos, que no conduzcan a ambigüedades.

En esta memoria en una primera parte se explican conceptos básicos sobre el mantenimiento y la unión de este con laboratorios de investigación, en el capítulo dos se hace un inventario con los equipos presentes en el laboratorio, junto con clasificarlos de acuerdo con el uso dispuesto en el laboratorio, se clasifican en 3 grupos: aquellos destinados a investigación, análisis y docencia, respectivamente ,se realiza una matriz de decisión con el fin de evaluar la criticidad de los equipos presentes en el laboratorio

La evaluación realizada indica a los equipos analizador de TOC y los espectrofotómetros optizen pop y peak son considerados equipos críticos, para el laboratorio de investigación y se realiza fmeca para evaluar los modos de fallo según prioridad.

De los equipos considerados críticos se realizan análisis económicos. La configuración propuesta para el analizador TOC logra bajar costos de mantención en un 54,20% y aumenta la disponibilidad de este en un 27,04% respecto a la configuración actual.

En el caso de espectrofotómetros la propuesta no disminuye los costos de mantención ya que este tipo de equipos no tiene una configuración alternativa de trabajo, pero la configuración propuesta logra baja el tiempo que el equipo se encuentra en taller en un 49,40%, y aumenta la disponibilidad de este en un 55,54%.

La generación de este plan de mantenimiento está orientado a que el personal que utiliza los equipos tenga noción de medidas básicas en cuanto a cómo mantener los equipos, las acciones de mantenimiento están clasificadas según usuario /encargado, lo que plantea confianza en el entorno de trabajo y facilita la gestión del servicio técnico en caso de ser necesario.

El plan de mejora a los equipos críticos está orientado a mejorar el uso correcto de los equipos, así como hacer visible que pequeñas acciones de mantenimiento, incluso la más básica como la de un espacio limpio de trabajo, conllevan a otras, como el manejar con cuidado equipos más delicados o informarse respecto a los planes de manteniendo de los mismos.

BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES DE LA INFORMACIÓN

Praxedo (2025). Como elaborar un plan de mantenimiento preventivo: la guía definitiva <https://www.praxedo.es/blog/10-pasos-para-definir-un-plan-de-mantenimiento-preventivo/>

Metcalf y Eddy. (2014). INGENIERÍA DE AGUAS RESIDUALES - Procesamiento de materiales y productos químicos ambientalmente consciente—Wiley Online Library. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9780470168219.ch8>

Organización Mundial de la Salud. (2023). Agua para consumo humano. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>

MMA. (2012). DECRETO 38—APRUEBA REGLAMENTO PARA LA DICTACIÓN DE NORMAS DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE EMISIÓN.

MMA. (2023). Historia del Ministerio del Medio Ambiente. [mma.gob.cl. https://mma.gob.cl/historia/](https://mma.gob.cl/historia/)

Nia, A. E., Khaledi, K., Predicala, B., & Nemat, M. (2022). Solid-Phase Denitrification and Denitrification in Waters Contaminated with Swine Manure -Bioreactor Performance and Microbial Community <https://doi.org/10.2139/ssrn.4165464> P

Inteligencia artificial Deep seek

Manual de instrucciones multi N/C 3100 (duo, pharma) Analizadores de TOC/TN_b

Optizen POP User's Guide - Screen

Manual de instrucciones Velp eco 16

Manual de usuario del medidor de sobremesa Orion Star serie A210

Manual equipo saturación UTFSM, Rener proyecto e ingeniería

Anexos

Anexo A:

Fmeca equipos críticos:

Analizador TOC

Sistema	Sub-Sistema	Componente	Función	Fallo Funcional	Modo Potencial de Fallo	Efectos potencial de Fallo	Consecuencia Potenciales de Fallo	Acciones recomendadas	CCC	SEV	DEI	MPK
Combustión	Horno	Tubo combustión	Catalización muestra	Sistema no alcanza estandar	Degase del catalizador y/o lana de cuarzo	El sistema tiene una baja de presión	Sistema se apaga por protección	Revisar estado del tubo de combustión	8	5	5	200
		Cabezal horno	Trasladar gases /muestra	Sistema no alcanza estandar	Conexión mal ajustada que genera fuga de gas	El sistema tiene una baja de presión	Sistema se apaga por protección	Revisar ajuste de conexiones	7	5	5	175
Mangueras	Ajustes de flujo	bomba condensado	Bombear condensado	Conexión no estanca	No bombea condensado	Fuga al ambiente	Pérdida presión del sistema	Revisar conexiones y gomas	5	5	7	175
		Bomba ácido Fosfórico	Bombear ácido fosfórico	No bombea ácido	No bombea ácido	Fuga de ácido	Corrosión en partes afectadas	Revisar conexiones y gomas	5	5	7	175
Limpieza/secado gas	Reactor TIC	manguera	aspirar/mezclar muestra	No aspira muestra	Posible contaminación con sólido de la muestra	Sólido atasado ocasiona una pérdida de presión	Sistema se apaga por protección	Diluir o filtrar la muestra Limpiar reactor TIC	5	5	4	100
	seca do gas	Trampa agua	Evitar que el agua condensas entre en la via del gas de medici	No atrapa el condensado	Filtro saturado	El sistema tiene una baja de presión	Sistema se apaga por protección	cambiar cada 6 meses	7	5	4	140

			ón									
		Tram pa halog enos	Elimin ar interfe rentes y proteg er al detect or y flujom etro	No atrapa el halog éno	Cobre y bronc e desga stado s	los halo geno s daña n dete ctor	Daño a comp onent es eléct ricos	Obser var desga ste de la tramp a	7	5	4	1 4 0
		serpe ntin cond esaci ón	refrige rar gas medici ón conde sar vapor de agua	Siste ma no alcanz a estan queda d	Obstr ucción por cataliz ador /lana de cuarz o despl azada	La obst rucci ón gene ra perdi da de presi ón	Siste ma se apaga por protec cion	Revis ar serper tin busca ndo rastros de cataliz ador o lana de cuarz o	2	5	4	4 0
Sistem a introdu ccion muestr a	Bom ba inyec ción	Bom ba inyec ción	Bomb ear muest ra al sistem a	No inyect a muest ra	Obstr uccion no hay estan queda d del siste ma	Pérdi da de presi ón	Siste ma se apaga por protec ción	revisa r si hay fuga en cada uso	2	6	7	8 4
	cánul a aspir ación	canul a	Inyect ar muest ra al sistem a	No inyect a muest ra	Obstr uccion ingres o de partic ulas en cánul a	Volu men aspir ado no es el corr ecto	La medic ión realiz ada no es repres entati va	Obser var volum en de muest ra reman ente	4	5	7	1 4 0
Detect ores	Eléctri co	NDIR	Absor ber infrarr ojos no disper sos	No absor be infrarr ojos	Daño por alza voltaj e	Medi ción sesga da	La medic ión realiz ada no es repres entati va	regual dor voltaj e	1	1 0	3	3 0
		flujo metr o	medir flujo	No mide flujo	Daño por alza voltaj e	Pérdi da de presi ón	Siste ma no incia	Revis ar mang eras flujo aire busca ndo obstru ccione s	1	1 0	3	3 0

Fmeca espectrofotómetro

Sistem a	Sub-Sistem a	Compo nente	Función	Fallo Funcio nal	Modo Potenc ial de Fallo	Efect os poten cial de Fallo	Conse cuenci a Poten ciales de Fallo	Accione s recomen dadas	OCU	S E V	DET	NPR
Fuente de luz	Emision haz luz	Lámpar a Deuteri o	Genera r haz de luz	Imposi bilidad de medir bajo 340[n m]	Agota miento de filame nto Alza de voltaje	No se pued e medi r bajo rang o UV	El equip o que fuera de servi cio hasta diagn óstico	Anotar tiempo de uso ampolla [h] Revisar pantall a cheque o al inicio	4	1 0	4	1 6 0
		Lámpar a tundesg no							4	1 0	4	1 6 0
	Espejo	selector	Mover espejo selector	Atasca miento entre 340 a 410 [nm]	Falla mecan ica motor Acumu lacion de polvo Pérdid a de la calibra ción	No se pued en ajust ar logitu des de onda	El equip o que fuera de servi cio hasta diagn óstico	Revisar pantall a cheque o al inicio si informa error	1	1 0	3	3 0
Selecci ón	Monocr omador	Rejilla difracci ón	Dividir haz luz	Desalin eamiet o	Impact o mecán ico (trans porte) degrad ación resorte retorn o	Desvi ación exact itud de longitu d de onda	Result ados desvia dos de valor verda dero	Revisar midien do con filtros patron es	1	1 0	3	3 0
Intera cción	Medició n	Portace ldas	Mover cubeta con muestr a	Desalin amient o de motor cubeta	Derra me de líquido s corrosi vos	Porta cubet a no se muev e result ado entre gado no válid o	Retras o en la medici ón	Revisar hay derram e en sistem a Ver si hay error en pantall a inicio	1	3	3	9
Detecc ión	Fotodet ector	Fotodio do	Convert ir foton luz en señal electric a	Pérdid a linealid ad fotome trica	Conta minaci ón fotodio do por polvo o vapor corrosi vo	Valor es errati cos de abso banci a	Result ados desvia dos de valor verda dero	Medir la absorb ancia a distinta s concen tracion es	1	1 0	3	3 0
Contro l y proces amient o	Contro l	Pantall a tactil	Acceso a softwar e	Pantall a táctil no funcio na	Corte de energ ia con el equipo en uso	El equip o no pued e ser utiliz ado	Pérdid a de datos	Contar con ups respald o	2	1 0	3	6 0
	Proces amient o	Amplifi cador señal	Elevar magnit ud señal	Pérdid a de la capaci dad amplif icació n señal	Desga ste Fluctu ación temp ertaur a	No logra calibr ar blan co	Fallo al inicio calibr acion inicial no lograd ada	Contar con ups respald o	1	1 0	3	3 0

Anexo B:

Estructura general analizador TOC

Estructura

El analizador es un equipo de sobremesa compacto, en el que todos los componentes principales ya están instalados de forma fija. La instalación de medida incluye otros accesorios y reactivos.

El control del analizador y la evaluación de los datos de medición, se efectúan a través del software multiWin.

Todos los componentes del analizador que el usuario necesita para su funcionamiento o mantenimiento son accesibles a través de las dos puertas de la parte frontal, el panel lateral izquierdo extraíble o a través de la cubierta superior.

El analizador está compuesto por los siguientes componentes principales:

- Sistema de introducción de muestras
- Caja de gas y sistema de mangueras
- Sistema de combustión
- Secado y limpieza del gas de medición
- Detector
- Elementos de indicación y de manejo, conexiones
- Electrónica
- Accesorios



Fig. 1 Analizador, puertas frontales abiertas

- | | |
|---|---------------------------|
| 1 Recipiente de condensado TIC | 2 Bloque de refrigeración |
| 3 Trampas de agua | 4 Trampa de halógenos |
| 5 Bomba de inyección con válvula de 2 puertos | 6 Indicadores LED |
| 7 Bomba de ácido fosfórico | 8 Bomba de condensado |
| 9 Recipiente de reactivos para el ácido fosfórico | 10 Bandeja colectora |

Acciones de mantenimiento analizados TOC, recomendadas por fabricante

Analizador

Intervalo de mantenimiento	Medida de mantenimiento
Semanalmente	- Limpiar y conservar el equipo. - Limpiar el recipiente de reactivo y la bandeja colectora. - Comprobar que todos los tornillos de fijación estén colocados fijamente.
Cada 12 meses	Sustituya la batería del detector electroquímico de NO (ChD, opcional) en el panel lateral derecho del analizador.

Sistema de alimentación de muestras y automuestreador

Intervalo de mantenimiento	Medida de mantenimiento
Trimestralmente	Comprobar la estanqueidad de la bomba de jeringa.
Cada 12 meses	Limpiar la jeringa dosificadora (antes si es necesario).
Cuando sea necesario	En la primera puesta en marcha, en el cambio de bandeja de muestras o en el reinicio tras el transporte y el almacenamiento: Ajuste el automuestreador.

Sistema de mangueras

Intervalo de mantenimiento	Medida de mantenimiento
Diariamente	Comprobar el indicador de flujo de gas en la ventana System state.
Semanalmente	Comprobar que las conexiones de las mangueras estén bien apretadas.
Trimestralmente	Revisar la bomba de condensado y la bomba de ácido fosfórico para ver si hay fugas.
Cada 12 meses	Sustituir la manguera de bombeo.

Sistema de combustión

Intervalo de mantenimiento	Medida de mantenimiento
Cada 12 meses	- Limpiar el tubo de combustión (antes si es necesario). - Al cambiar el tubo de combustión: Cambiar el catalizador.
En caso de necesidad	- Después del mensaje del software como máximo: Comprobar la eficacia del catalizador y sustituirlo. - Cuando se cambie el catalizador: Comprobar si tiene daños el tubo de combustión y limpiarlo.

Secado y limpieza del gas de medición

Intervalo de mantenimiento	Medida de mantenimiento
Diariamente	- Controlar el relleno de la trampa de halógeno. - Cuando la mitad de la lana de cobre o la lana de latón se coloree, sustituir el relleno.
Trimestralmente	Comprobar si el recipiente de condensado de TIC y el serpentín de condensación presentan fisuras y daños.
Cada 6 meses	Sustituir las trampas de agua en la parte frontal y la caja de gas.
Cada 12 meses	Limpiar el recipiente de condensado de TIC y el serpentín de condensación (si es necesario, antes).

Acciones de mantenimiento recomendadas por fabricante digestor DQO

6. Mantenimiento

No es necesario ningún mantenimiento rutinario o extraordinario excepto la limpieza periódica.

Limpieza

Desconecte la unidad de la fuente de alimentación y use un paño humedecido con un detergente no inflamable no agresivo.

Reparación

Las reparaciones deben ser realizadas únicamente por personal autorizado de Velp.

El instrumento debe transportarse utilizando el embalaje original a prueba de golpes cuando los transportistas, mensajeros u otros se encarguen del transporte de la unidad. Siga las indicaciones del embalaje original (por ejemplo, coloque el instrumento sobre un palé).

Es responsabilidad del usuario descontaminar adecuadamente la unidad en caso de que queden sustancias peligrosas en la superficie o en el interior del dispositivo. Si tiene dudas sobre la compatibilidad de un producto de limpieza o descontaminación, comuníquese con el fabricante o distribuidor.

Acciones de mantenimiento recomendadas por fabricante pH metros

Mantenimiento del medidor

- Para el mantenimiento rutinario del medidor, límpielo con un paño húmedo. Si fuese necesario, puede utilizarse detergente con agua caliente o tibia.
- El mantenimiento del medidor puede realizarse de forma diaria, semanal o mensual, según lo requiera el entorno de funcionamiento.
- Retire del medidor o módulo cualquier sustancia vertida inmediatamente utilizando el procedimiento de limpieza adecuado para el tipo de vertido.

8.1 Plan de inspección y limpieza

Frecuencia	Tarea	Responsable
Cada Uso	Limpiar celda E03 . Limpiar y lavar estanque (E07), con agua limpia por (VM17) drenando por (VM18) y (VM16) alternadamente. Drenar condensado en FA01 , revisar presión estática.	Operador
Semanal	Verificar ajuste de VF01 , VF20 , limpiar filtro de aire FA01 . Sacar polvo de las distintas superficies del equipo. Mover las distintas válvulas para verificar correcta apertura libre de aprietes. Encender en vacío el equipo, para verificar estado operativo del compresor (MR02) y energización de los flujómetros (SQ02) y (SQ03), cerrar válvulas (VF01) y (VF20)	Operador
Mensual	Calibrar SP04 , comprobar estado junta tapa E07 . Realizar prueba de estanqueidad descrita en 5.7.	Técnico
Trimestral	Probar (CM02-VERDE) Encendido y (CM02-ROJO) Apagado. Realizar prueba de estanqueidad descrita en 5.7. Verificar sello de junta estanque (E07) que no presente filtraciones ni pernos sueltos. Drenar estanque compresor a través de válvula (VD01)	Servicio especializado o RENER SpA
Anual	Inspección visual interna del tanque E07 y limpieza de y/o cambio de anillos de pvc. Verificar rigidez y agrietado de la empaquetadura. Realizar prueba hidrostática a 1,25 × Presión de Trabajo. Verificar estado de los sellos de teflón y cambiar los que se vean defectuosos.	Servicio especializado o RENER SpA

