

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

**PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO A SISTEMAS
MECÁNICOS E HIDRÁULICOS DE TRATAMIENTO DE AGUA PARA UN
HOSPITAL GERIÁTRICO**

Trabajo de Titulación para optar al Título de Ingeniero en
Mantenimiento Industrial

Alumno:

Cristian Andrés Rivero Videla

Profesor Guía:

Mg.Ing. Pablo Andrés Duque Ramírez

2023

RESUMEN

KEYWORDS : FALLA, CRITICIDAD, RIESGO, DIAGRAMA DE DECISIÓN, INDISPONIBILIDAD.

Esta investigación se enfocó en la planta de suministro de agua ultrapura a la unidad de geriatría del Hospital del Salvador, ubicado en la comuna de Providencia, Santiago de Chile, llevado a cabo por la empresa BS Water Care SpA. Esta empresa cumple un rol importante en el hospital ya que su misión principal es proporcionar soluciones al agua tratada mediante equipos físicos y un sistema de tratamiento previo a la osmosis inversa, dada la notable variación en la concentración de minerales que contiene el agua en diferentes regiones a lo largo del país.

La planta de osmosis inversa en el instituto nacional de geriatría alberga diversas líneas y mediante una evaluación basada en la matriz cualitativa de riesgo, se determinó que la línea de hemodiálisis es la más crítica, quedando en las zonas de “muy alta criticidad” seguido por la línea de desmineralización de laboratorios y esterilización con una jerarquización de “alta criticidad” y la línea de dosificación de cloro y pH con una jerarquización de “media alta criticidad”. Cabe destacar que todas las líneas del hospital se consideran críticas sin embargo, la línea de Hemodiálisis tiene una mayor relevancia en el enfoque del Instituto Nacional de Geriatría del hospital, ya que el agua tratada llegará directamente al flujo sanguíneo del paciente.

En el segundo capítulo de esta investigación se realizó un análisis detallado de los equipos críticos de la línea de Hemodiálisis, utilizando índices de prioridad de riesgo y un análisis de modos de falla, efectos y criticidad. Como resultado, se diseñaron estrategias específicas de mantenimiento adaptadas a cada modo de falla identificado, mediante el análisis de riesgo cuantitativo, es decir, la criticidad representada en costos anuales de los eventos inesperados.

El último capítulo se enfocó en las estrategias de mantenimiento mencionadas anteriormente, abordando tanto aspectos técnicos como económicos. Esto quiere decir que mediante un cálculo de presupuestos anuales de cada actividad de mantenimiento, se analizaron aspectos como costos de mano de obra, costo de materiales y tarifa de especialidad de técnicos realizando una comparación con los riesgos cuantitativos asociados a las fallas. Como resultado se pudo determinar que actividades se consideraban tareas costo eficaces, es decir que deban ser económica y técnicamente viables. Asimismo, se aplicó una técnica de análisis de priorización de repuestos identificándolos y jerarquizándolos mediante una matriz cualitativa de riesgo.

ÍNDICE

RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	7
OBJETIVO GENERAL.....	8
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	8
CAPÍTULO 1: CONTEXTO OPERACIONAL Y ANÁLISIS DE CRITICIDAD.....	9
1.1. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA.	10
1.1.1. Misión y visión: Excelencia en el tratamiento de aguas	10
1.1.2. Servicios	11
1.1.3. Organigrama de la empresa.....	11
1.1.4. Regulación Normativa.....	11
1.2. CASO ESTUDIO: DEFINICIÓN DE LA PROBLEMÁTICA	13
1.2.1. Proceso de aguas tratadas: Sistema de ablandamiento del agua	14
1.2.2. Planta de Osmosis Inversa para el Instituto Nacional de Geriatria.	14
A. Línea de desmineralización de hemodiálisis	15
B. Línea de desmineralización de laboratorios y esterilización	16
C. Estación dosificadora de cloro y PH.....	16
1.3. MARCO TEÓRICO: PROCESO DE GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO ..	16
1.4. MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD.....	18
1.4.1. Análisis de criticidad: matriz cualitativa de riesgo	19
1.4.2. Análisis de criticidad: Número de Prioridad de Riesgo	20
1.4.3. Fase de implantación del RCM: Modos de falla, efectos y criticidad.....	21
1.4.4. Análisis de gestión del riesgo para equipos críticos.....	22
1.4.5. Tareas de Mantenimiento	22
1.5. MATRIZ CUALITATIVA DE RIESGO A LÍNEAS DEL HOSPITAL.....	25
CAPÍTULO 2: ANÁLISIS DE LOS MODOS Y EFECTOS Y DE FALLA.....	29
2.1. DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS DE LA LÍNEA DE HEMODIÁLISIS	30
2.1.1. Estanques de acumulación Primaria.....	30
2.1.2. Bombas de suministro de alimentación de entrada	30
2.1.3. Filtración de protección (Filtro de Profundidad).....	30
2.1.4. Filtro de carbón Activo.....	31
2.1.5. Sistema de descalcificación (Filtro descalcificador).....	31
2.1.6. Filtración de Seguridad de osmosis Inversa (Pre- Filtros).....	31
2.1.7. Primer paso de Osmosis Inversa	32
2.1.8. Segundo paso de Osmosis inversa	32
2.1.9. Acumulación de agua tratada (Estanques de agua tratada).....	33
2.1.10. Bombas de impulsión de agua tratada.....	33

2.1.11. Lámpara ultravioleta (Filtro U.V)	33
2.1.12. Ultrafiltros	34
2.2. JERARQUIZACIÓN DE EQUIPOS CRÍTICOS: ÍNDICE DE PRIORIDAD DE RIESGO	34
2.2.1. Resultados del Índice de prioridad de Riesgo.	36
2.2.2. Análisis de modos y efecto de fallas a los equipos críticos de la línea de Hemodiálisis	37
2.2.3. Consecuencias e impactos de los modos de falla.....	41
2.2.4. Selección de estrategias de Mantenimiento mediante diagrama de decisión.....	43
CAPÍTULO 3: EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DE PLANES DE MANTENIMIENTO	44
3.1. ANÁLISIS DE LAS ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO	45
3.1.1. Estimaciones anuales en estrategias de mantenimiento.	47
3.1.2. Selección de tareas de mantenimiento: Tareas costo- eficaces	50
3.2.DECISIONES ESTRATÉGICAS DE LOS PLANES DE MANTENIMIENTO....	53
3.2.1. Identificación de escenarios de planes propuestos.	53
3.2.2. Costos asociados e indicadores de indisponibilidad.....	54
Observaciones.....	55
3.3. TÉCNICA DE ANÁLISIS DE PRIORIZACIÓN DE REPUESTOS.	55
3.3.1. Repuestos Asociados a los modos de falla y actividad de mantenimiento.....	56
3.3.2. Matriz cualitativa de repuestos: Jerarquización de acuerdo con el nivel de Criticidad.	57
RECOMENDACIONES	59
CONCLUSIÓN.....	61
BIBLIOGRAFÍA	62
ANEXO 1: HOJAS DE INFORMACIÓN EQUIPOS	63
ANEXO 2: HOJAS DE DECISIÓN DE ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO... 64	64
ANEXO 3: PAUTAS DE TRABAJO Y RUTAS DE INSPECCIÓN.....	66
ANEXO 3: PLANES DE MANTENIMIENTO PROPUESTOS.....	72

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1: Organigrama de la Compañía.....	11
Imagen 2: División de las zonas del Hospital del Salvador.....	13
Imagen 3: Diagrama de la planta de Hemodiálisis.....	15
Imagen 4: Diagrama de Proceso de Mantenimiento.....	17
Imagen 5: Diagrama de Flujo RCM.....	19
Imagen 6: Gráfico del intervalo P-F.....	23
Imagen 7: Lógica de la Selección de estrategias de Mantenimiento: Enfoque RCM.....	24
Imagen 8: Matriz Cualitativa 3x3 Seguridad y ambiente.....	24
Imagen 9: Cálculo de escenarios propuestos.....	72
Imagen 10: Análisis de modo , efecto de falla y criticidad.....	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación del agua según su dureza.....	12
Tabla 2: Frecuencia de falla para Matriz Cualitativa de Riesgo.....	25
Tabla 3: Impacto Operacional para Matriz Cualitativa.....	25
Tabla 4: Flexibilidad Operacional para matriz cualitativa.....	26
Tabla 5: Costos de Mantenimiento para matriz cualitativa.....	26
Tabla 6: Impacto en el SHA para matriz cualitativa.....	26
Tabla 7: Zonas de Criticidad.....	27
Tabla 8: Zonas de ubicación de criticidad de las líneas.....	27
Tabla 9: Tabla de Jerarquización de Líneas del Hospital.....	28
Tabla 10: Criterio de Ocurrencia para el cálculo de índice de Prioridad de Riesgo.....	34
Tabla 11: Criterio de Severidad para el cálculo de Índice de Prioridad de Riesgo.....	35
Tabla 12: Criterio de detección para el cálculo de índice de Prioridad de Riesgo.....	35
Tabla 13: Jerarquización de equipos más críticos según RPN.....	36
Tabla 14 : Función principal, modo y efecto de falla para estanques de agua tratada.....	37
Tabla 15: Función principal , modos y efectos de falla estanques de agua potable.....	38
Tabla 16: Función principal, modos y efectos de falla Equipo Osmosis.....	38
Tabla 17: Función principal, modos y efectos de falla Bomba de alta presión Osmosis.....	38
Tabla 18: Función principal, modos y efectos de falla Filtros ablandadores.....	39
Tabla 19: Riesgo Cuantitativo para Estanques de Acumulación.....	39
Tabla 20: Riesgo Cuantitativo para Bomba y equipo de Ósmosis.....	40
Tabla 21: Riesgo Cuantitativo para Filtros Descalcificadores Dúplex.....	40
Tabla 22: Matriz 3x3 de Seguridad y Ambiente.....	42
Tabla 23: Actividades de Mantenimiento mediante Diagrama de decisiones.....	43

Tabla 24: Evaluación de acciones de mantenimiento para estanques de agua potable.	45
Tabla 25: Evaluación de acciones de mantenimiento para estanques de agua tratada.	46
Tabla 26: Evaluación de acciones de mantenimiento para bomba de alta presión.	46
Tabla 27: Evaluación de acciones de mantenimiento para Equipo de Osmosis Inversa.	47
Tabla 28: Evaluación de acciones de mantenimiento para Filtros ablandadores Dúplex.	47
Tabla 29: Costo total asociado a los modos de falla.	48
Tabla 30: Costos asociados a las actividades de mantenimiento.	48
Tabla 31: Costos asociados a las actividades de mantenimiento.	49
Tabla 32: Diferencia de costos a la falla y actividades propuestas.	50
Tabla 33: Identificación de tareas costo eficaces para estanques de agua potable.	51
Tabla 34: Identificación de tareas costo eficaces para estanques de agua tratada.	51
Tabla 35: Identificación de tareas costo eficaces para Bomba de alta presión.	51
Tabla 36: Identificación de tareas costo eficaces para Equipo de Osmosis Inversa.	52
Tabla 37: Identificación de tareas costo eficaces para Filtros Ablandadores.	52
Tabla 38: Escenarios Propuestos para selección de plan de mantenimiento.	54
Tabla 39: Repuestos Asociados al modo de falla y actividad de Mantenimiento.	56
Tabla 40 (Continuación): Repuestos Asociados al modo de falla y actividad de Mantenimiento.	57
Tabla 41: Posición en la matriz y Jerarquización de repuestos críticos.	57
Tabla 42: Matriz 5x5. Zonas de criticidad de Repuestos.	58
Tabla 43: Comparación de presupuestos anuales.	59
Tabla 44: Cuadro comparativo de ahorros potenciales.	60
Tabla 45: Cuadro comparativo del ahorro en el total de repuestos.	60
Tabla 46: Hoja de información de los modos de falla de equipos críticos.	63
Tabla 47: Hoja de información de los modos de falla de equipos críticos.	64
Tabla 48: Hoja de decisión para estanques de agua potable.	64
Tabla 49: Hoja de decisión para equipos críticos basados en el diagrama de decisión.	65
Tabla 50: Diseño de pautas de mantenimiento para limpieza de estanques.	66
Tabla 51: Diseño de pauta de mantenimiento para sustitución de prefiltros de osmosis inversa.	67
Tabla 52: Diseño de pauta de inspecciones diarias.	69
Tabla 53: Diseño de ruta de inspección diaria.	70
Tabla 54: Diseño 2 ruta de inspecciones.	71

SIGLAS

OI:	Osmosis Inversa.
FMECA:	Análisis de modos y efectos de falla y criticidad.
RCM:	Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.
KPI:	Indicador clave de rendimiento.
FRP:	Polímeros reforzados con fibra.
RPN:	Índice de Número de Prioridad de Riesgo.
MCCR:	Modelo de Matriz de Criticidad Cualitativa de Riesgo.
CM:	Costo de Mantenimiento.
SHA:	Seguridad, Higiene y ambiente.
HEPA:	Recogedor de particular de alta eficiencia.
SpA:	Sociedad por Acciones

TERMINOLOGÍA

Confiabilidad: Probabilidad de un componente o equipo esté en funcionamiento durante un tiempo y uso determinado

Conductividad: Medida de la capacidad del agua para transportar corriente eléctrica.

Disponibilidad: Proporción de tiempo que necesita un equipo para operar.

Riesgo: conjunto de circunstancias que representan una posibilidad de pérdida que está representado por el producto de la probabilidad y la consecuencia

UNIDADES DE MEDIDA

m:	metro.
pH:	medida de grado de acidez o alcalinidad de una sustancia o una solución.
μS:	micro Siemens.
μs/cm:	unidad de conductividad del agua (Micro Siemens / centímetro).
mg/l:	milígramo por litro.
Bar:	unidad de presión.
kW:	kilowatt.
m³/h:	metro cúbico por hora.
μm:	micrómetro.
mJ/cm²:	unidad de medición de intensidad (Mili joule por centímetro cuadrado).

INTRODUCCIÓN

BS Wáter Care es una empresa especializada en el tratamiento de agua. Su misión principal es proporcionar soluciones al agua tratada mediante equipos físicos. Este tipo de equipos se montan de acuerdo con los requerimientos del cliente y el lugar de ubicación del establecimiento. Actualmente existe un proyecto en el hospital geriátrico del Salvador, ubicado en Providencia, Santiago de Chile.

Su rol principal en este recinto es, mediante estos equipos físicos, desmineralizar el agua para garantizar estándares clínicos y potables en las diferentes áreas del hospital como en diálisis, laboratorios y calderas. El tratamiento de agua en estas áreas, principalmente se realiza para eliminar todas las impurezas presentes en el agua potable como es el ion calcio-magnesio causantes del “sarro”, siendo el punto de entrada para obtener agua ultrapura en el caso del área de diálisis. La desmineralización del agua de hemodiálisis es la línea encargada de este proceso y se produce por un equipo de osmosis inversa.

La osmosis inversa es una transformación que permite la separación de sales que están presentes de manera disuelta en el agua potable, mediante presión. Consta de unas membranas semipermeables que permiten forzar el paso del agua por medio de un aumento de presión mediante una bomba superando la presión osmótica del agua. En el caso de la línea de Hemodiálisis del hospital del Salvador, la presión ejercida por las bombas de impulsión primarias es de 4 bar. Al llegar al proceso de osmosis, la bomba de osmosis debe elevar la presión a 12 bar aproximadamente. Con esta presión las membranas semipermeables deben filtrar el agua a una conductividad de 16 $\mu\text{s}/\text{cm}$. Este componente es crítico ya que su microporosidad es extremadamente sensible a los minerales del agua potable. Finalmente el agua pasa por un segundo proceso de osmosis cuya finalidad es bajar la conductividad del agua a 1 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

Por lo anterior, existen equipos que “preparan” el agua antes de pasar por las membranas semipermeables por dos razones: eliminando partículas de hasta 25 μm para el proceso y también eliminando los elementos químicos presentes en el agua dura como el cloro y los iones de calcio- magnesio causantes de residuos en la planta de tratamiento de agua.

En el presente informe se presentarán las líneas del hospital del Salvador con la finalidad de definir la línea y los equipos más críticos mediante una matriz cualitativa de riesgo. Es preciso señalar, que las líneas involucradas no tienen información ni historial de fallas, por lo que es indispensable la información entregada por los manuales del equipo como también basándose en la experiencia del personal de mantenimiento con relación a trabajos y actividades anteriores.

OBJETIVO GENERAL

- ✓ Proponer un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad a sistemas mecánicos e hidráulicos de tratamiento de aguas para el área de geriatría de un hospital aumentando la disponibilidad del sistema.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Diagnosticar por medio de herramientas de análisis de criticidad a las líneas que componen el sistema de tratamiento del hospital categorizando su nivel de prioridad.
2. Definir actividades de mantenimiento a los equipos críticos mediante un análisis de modos y efectos de falla disminuyendo la indisponibilidad de las líneas.
3. Evaluar los planes de mantenimiento propuestos mediante un análisis técnico-económico determinando su viabilidad.

CAPÍTULO 1: CONTEXTO OPERACIONAL Y ANÁLISIS DE CRITICIDAD

1.1. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA.

BS Wáter Care SpA. es una sociedad dedicada al tratamiento de agua cuyo propósito fundamental es preservar el bienestar del medio ambiente y contribuir al cuidado de las personas promoviendo la sustentabilidad y la excelencia en sus operaciones. La empresa cuenta con profesionales con más de 10 años de experiencia, consolidando su posición como un referente en el rubro.

BS Water Care SpA. se especializa en establecer relaciones a largo plazo con sus clientes, centrándose especialmente en clínicas y hospitales. La atención prioritaria a estos sectores críticos se refleja en el suministro de agua tratada mediante un riguroso proceso de osmosis inversa. Esta dedicación asegura la entrega de un agua de calidad para las áreas cruciales como diálisis, laboratorios y calderas.

1.1.1. Misión y visión: Excelencia en el tratamiento de aguas

La misión de BS Water Care SpA es posicionarse como líder tanto a nivel nacional como internacional en servicios relacionados con el tratamiento de aguas. Esto se logra mediante la entrega eficiente y diligente de servicios que cumplan con los más altos estándares de calidad.

La visión de la empresa se centra en establecer relaciones sustentables y duraderas, garantizando la excelencia en el servicio y un seguimiento constante de los productos. Este compromiso se traduce en un estándar de calidad que destaca en el rubro.

Al igual que su misión y visión, la empresa entrega valores fundamentales que impulsan en cada aspecto de su operación. La seguridad en el servicio, la eficiencia en la gestión de recursos, la calidad en los servicios prestados y la transparencia en los procesos son principios que guían todas las actividades de la empresa.

BS Water Care SpA despliega su experiencia y compromiso en el proyecto del recinto de salud del Salvador, proporcionando equipamientos para áreas críticas como diálisis y laboratorios y esterilización. Su enfoque se centra en asegurar la calidad del agua potable para consumo en estas áreas, contribuyendo y asegurando la mejora de la salud y la eficiencia operativa del hospital, tanto como con en la experiencia técnica y el compromiso con la responsabilidad social y ambiental, con la finalidad de establecer un estándar elevado en el tratamiento de aguas y su impacto positivo en la sociedad.

1.1.2. Servicios

Los servicios de la empresa BS Water Care son líneas de tratamientos de agua. Están son:

- ✓ Agua potable
- ✓ Aguas clínicas y hospitalarias
- ✓ Aguas servidas
- ✓ Aguas grises
- ✓ Automatización
- ✓ Sistemas de tratamiento por Osmosis inversa
- ✓ Sistemas de filtración
- ✓ Intercambio iónico
- ✓ Estructuras metálicas

1.1.3. Organigrama de la empresa

El organigrama de la compañía se compone de 8 personas entre la gerencia comercial, gerencia de prevención de riesgos, gerencia de administración y finanzas, gerencia de operaciones, que a su vez, se compone de un ingeniero senior que se encarga del diseño, construcción y puesta en marcha de diversos sistemas de tratamiento de agua.

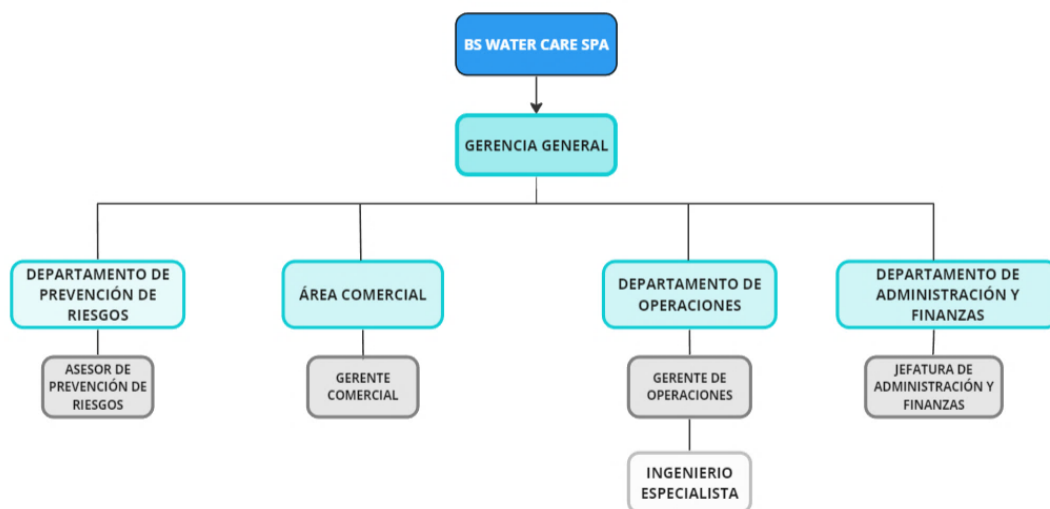


Imagen 1: Organigrama de la Compañía.
Fuente: <https://www.bswatercare.cl/>
Elaboración propia

1.1.4. Regulación Normativa

Los establecimientos que otorgan prestaciones de diálisis como los hospitales, deben seguir un reglamento bajo la norma del decreto supremo 45. Este decreto señala que la secretaría regional ministerial de salud es la encargada de autorizar la instalación y controlar el funcionamiento de los centros de diálisis. Además, este decreto destaca la importancia de

disponer de dotación de personal calificado para asegurar la atención médica y de enfermería, al igual que contar con sistemas especiales de tratamiento de agua como etapas de pretratamiento de agua, etapa de osmosis inversa y de post tratamiento.

En relación con la calidad de agua y funcionamiento, existen puntos importantes como se observa a continuación:

- ✓ Los controles microbiológicos al agua tratada mediante un análisis fisicoquímico y una periodicidad en el mantenimiento incluyendo sanitizaciones, se realizarán al menos una vez cada tres meses.
- ✓ Como generalidad, el ion calcio-magnesio, elemento químico responsable de la dureza del agua (formación de sarro), debe tener los siguientes niveles máximos:
 - Calcio : 2 mg/l
 - Magnesio : 4 mg/l
 - El grado de la dureza del agua según esta norma indica que el carbonato de calcio (CaCO₃) se clasifica en:

CaCO ₃ (mg/l)	TIPO DE AGUA
0-60	BLANDA
61-120	MODERADAMENTE DURA
121-180	DURA
> 180	MUY DURA

Tabla 1: Clasificación del agua según su dureza.
Fuente: OMS. Elaboración Propia

- ✓ La calidad del agua y del funcionamiento en el proceso de diálisis, las mediciones de niveles máximos de elementos químicos deberán realizarse semestralmente. Algunos de los elementos químicos que controlan son: aluminio, arsénico, calcio, magnesio, cobre, cromo, cloro, nitratos, todos con sus niveles establecidos por norma.
- ✓ Previo al inicio de cada turno de diálisis, se deberá controlar y registrar lo siguiente:
 - Presión del sistema.
 - Dureza del agua.
 - Cloro total.
 - Conductividad del agua de entrada y salida, entre otros.

1.2. CASO ESTUDIO: DEFINICIÓN DE LA PROBLEMÁTICA

Uno de los servicios más importantes realizado por la empresa, es el de aguas tratadas por Osmosis inversa, su aplicación se realiza principalmente en redes clínicas y hospitalarias.

Actualmente existe un proyecto en donde se necesita alimentar con agua ultrapura para el área de geriatría del hospital del Salvador ubicado en Providencia, Santiago De Chile.

Hay distintos componentes del hospital del Salvador que se dañan si se alimentan con agua potable. En el caso del área de diálisis, las membranas semipermeables del sistema de osmosis inversa son un gran ejemplo, ya que estos componentes, con el paso del tiempo y al estar en contacto con el agua cruda (agua sin tratamiento), tienden a obstruirse, lo que impide el correcto funcionamiento del sistema. Todo esto dependerá del sistema de pretratamiento instalado y una vez que la planta de tratamiento de agua este operando, es importante tener un mantenimiento periódico para cubrir tanto los procesos de transformación de agua como los equipos y componentes críticos de la planta, como es el caso de las membranas semipermeables de osmosis.

Este enfoque implica determinar las acciones preventivas para cumplir con los requerimientos del conjunto de equipos de la línea de diálisis que alimentan a los pacientes, tanto como la normativa vigente correspondiente al decreto supremo 45. Debido a esto la idea es agilizar y confirmar que el proceso sea el correcto y sin desviaciones.

Una serie de componentes son necesarios para alimentar esta línea de aguas clínicas, ya que la variación físico química microbiológica que son necesarios en los hospitales son diferentes al agua potable. Es por eso la importancia de los equipos en línea.



**Imagen 2: División de las zonas del Hospital del Salvador.
Fuente: VOXEL 3D AUDIOVISUAL.**

1.2.1. Proceso de aguas tratadas: Sistema de ablandamiento del agua

El sistema de aguas tratadas en los hospitales varían de norte a sur, debido a que las concentraciones de minerales en el agua son muy variables a lo largo de todo Chile.

El agua potable que ingresa a un recinto clínico u hospitalario se recepciona en estanques de almacenamiento y se comienza a procesar. Aunque el fluido este almacenado, los parámetros de minerales siempre varían, por ende de acá comienza el control.

En el caso del hospital del Salvador, se realiza un ablandamiento previo antes de distribuirlo a las líneas. Este es un punto muy particular, ya que en el caso de la región Metropolitana la distribución del agua potable debe pasar por sistemas de ablandamiento, sobre todo cuando se utiliza intercambiadores de calor, ya que al aumentar la temperatura del agua, el ion calcio magnesio tiende a precipitar por lo que se adhiere a las cañerías generando un problema grave. Por otro lado, existen más áreas del hospital, aparte de diálisis, que utilizan agua clínica como es el caso del lavado de insumos para endoscopia, insumos médicos, pruebas de laboratorio, entre otros.

El factor más importante para conseguir la ultra pureza del agua es la conductividad del agua. Una conductividad alta produce también una alta concentración de minerales, por lo que es primordial que el agua contenga baja conductividad, eso quiere decir bajo los 20 μS .

El agua se puede tratar de dos formas: mediante adición de productos químicos que impidan la precipitación. La segunda forma es mediante la descalcificación por equipos ablandadores. Este proceso consiste en la eliminación de los cationes calcio y magnesio, que contiene la dureza del agua, el cual se sustituye por iones de sodio en una columna de intercambio iónico. Los equipos ablandadores mejoran la calidad del agua contribuyendo a la reducción de la acumulación de incrustaciones en tuberías y equipos, mejorando la eficiencia energética.

1.2.2. Planta de Osmosis Inversa para el Instituto Nacional de Geriátria.

El recinto de salud del Salvador consta de diferentes líneas que se encargan de procesar el agua. Estas líneas son:

- ✓ Línea de desmineralización hemodiálisis
- ✓ Línea de desmineralización laboratorios y esterilización
- ✓ Sistema de descalcificación de cabecera
- ✓ Sistema desinhibidor de sarro
- ✓ Estación dosificadora de cloro y PH
- ✓ Sistema de almacenamiento, presurización con depósitos hidroneumáticos
- ✓ Sistema de descalcificación

Para el caso de este estudio se definirán 3 líneas junto con sus equipos con el fin de determinar su nivel de criticidad. Las líneas y sus características son:

A. Línea de desmineralización de hemodiálisis

Esta línea es un proceso integral del sistema de tratamiento de agua para el centro de diálisis. Su objetivo principal es garantizar la pureza y la calidad del agua utilizada durante el proceso de hemodiálisis.

En la imagen N°3 se observa un diagrama de una planta de tratamiento por osmosis inversa que ilustra los componentes, incluyendo ambas líneas de desmineralización (Hemodiálisis y laboratorios y esterilización). Consta de estanques de acumulación de agua, un equipo de clorador, que permite bajar la conductividad eliminando el cloro (que también el cloro puede dañar la membrana de osmosis inversa), un pretratamiento que consiste en ablandar el agua y reducir lo máximo de minerales para luego pasar al proceso de osmosis inversa.

La membrana del equipo de osmosis está hecha de poliamidas, una superficie porosa donde se realiza la transformación del agua. Esta membrana permite eliminar un 99,7% de minerales en el agua. Una segunda membrana se encarga de asegurar que la calidad del agua y la baja conductividad se lleve a cabo.

Además de este proceso físico - químico se realiza un proceso electroquímico para terminar de eliminar el porcentaje (%) restante de minerales. Un sistema de luz ultravioletas o electrodesionizador son encargados de eliminar las bacterias que logran sobrevivir. Una batería de filtros, posteriores a la radiación ultravioleta eliminan los pirógenos (microorganismos sin vida).

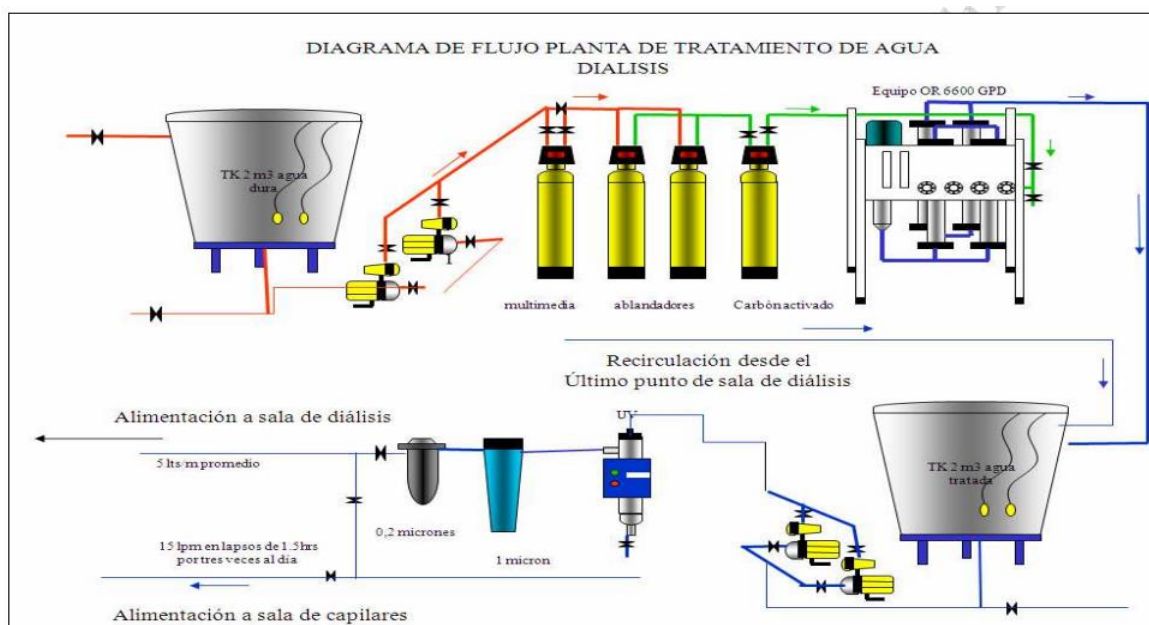


Imagen 3: Diagrama de la planta de Hemodiálisis.

Fuente: Programa de control de calidad del agua para Hemodiálisis, Hospital Coquimbo.

B. Línea de desmineralización de laboratorios y esterilización

Esta área genera todos los análisis que se hacen en el hospital, por ejemplo los resultados de laboratorios así como los procesos de esterilización. Esta última es la encargada de limpiar los materiales de acero inoxidable, donde se agrega agua vaporizada sobresaturada a más de 180 °C (grados Celsius) dándole un golpe de vapor, dejándolo esterilizado para sellarlos al vacío y dejándolo para su reutilización. Es por esto, que es importante que el agua utilizada en estos procedimientos cumplan con los estándares de calidad requeridos. Posee el mismo sistema que la línea de hemodiálisis pero con un solo proceso de osmosis inversa, excepto si requiere otro tratamiento.

C. Estación dosificadora de cloro y PH

Esta línea posee equipos diseñados para controlar y ajustar los niveles de cloro y pH en el agua de manera precisa y confiable. Esta línea tiene un estanque de acumulación para durar un tiempo determinado. Esto produce agua estancada por lo que esto tiene la capacidad de hacer proliferación microbiológica, por lo tanto, es importante que tenga una dosificación de cloro definida por la norma.

La estación dosificadora de cloro se utiliza para agregar cloro al agua con el fin de desinfectar y eliminar microorganismos dañinos. Por otro lado la estación dosificadora de pH se utiliza para controlar el nivel de pH en el agua. Se instalan dos bombas de dosificación, una de ellas, hipoclorito sódico (control cloro) y otra de ácido (control pH) una por cada equipo de desinfección. Las bombas dosificadoras digitales automáticas tienen una capacidad de 0,003 l/h a 10 bar de presión. Junto con estas bombas la estación dosificadora incluye una válvula de inyección en línea con una capacidad de inyección de caudal de 3×10^{-3} l/s, este caudal corresponde a 60 gotas /s.

Es importante mantener un nivel adecuado de cloro y pH para garantizar la eficacia de los tratamientos de agua y prevenir problemas como la corrosión en tuberías y equipos.

Debido a esta problemática, se justificará utilizar herramientas de optimización de planes de mantenimiento para mejorar la disponibilidad de los equipos.

1.3. **MARCO TEÓRICO: PROCESO DE GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO**

El mantenimiento es un proceso de gestión integral que debe comenzar en el momento mismo del nacimiento de una idea de un proyecto, es decir en el inicio del ciclo de vida de los equipos. El enfoque principal de este estudio es realizar una gestión adecuada en el mantenimiento que permita alinear los objetivos de la empresa con el correcto funcionamiento de los equipos que conforman la planta de Osmosis Inversa del Hospital.

Las decisiones en el área de mantenimiento tomadas con relación a un activo como parte de un sistema productivo de bienes o servicios y en cualquier etapa de su vida , tendrán invariablemente algún impacto en su desempeño. Además las máquinas durante su operación sufren un proceso de deterioro, por lo que es preciso eliminar o reducir las pérdidas operativas de cualquier índole que ocurran a raíz de tal proceso.

Puede definirse mantenimiento como un conjunto de acciones de preservación de activos, en un determinado sector productivo, satisfaciendo estándares de calidad, seguridad o servicio. También se relaciona con el impacto que tiene en la salud económica del negocio a través de los gastos en los que hay que incurrir para realizar las tareas. Sin embargo, y al igual que lo que sucede con la empresa en su totalidad, las estrategias y actividades para mantener las funciones de los equipos deben estar alineadas con la misión y objetivos de la organización; la gestión del mantenimiento debe desarrollarse, lo más cercana posible a la producción.

El proceso de definición de una estrategia se describe utilizando métodos que incluyen:

- Obtención de objetivos corporativos del negocio (disponibilidad, confiabilidad, seguridad, riesgo)
- Determinación del desempeño o rendimiento actual de las instalaciones productivas y medidores claves para considerar la evaluación de las instalaciones (Key Performance Indicators -KPI-).

En base a lo definido, el proceso de mantenimiento se puede representar mediante el siguiente esquema de la imagen 4:

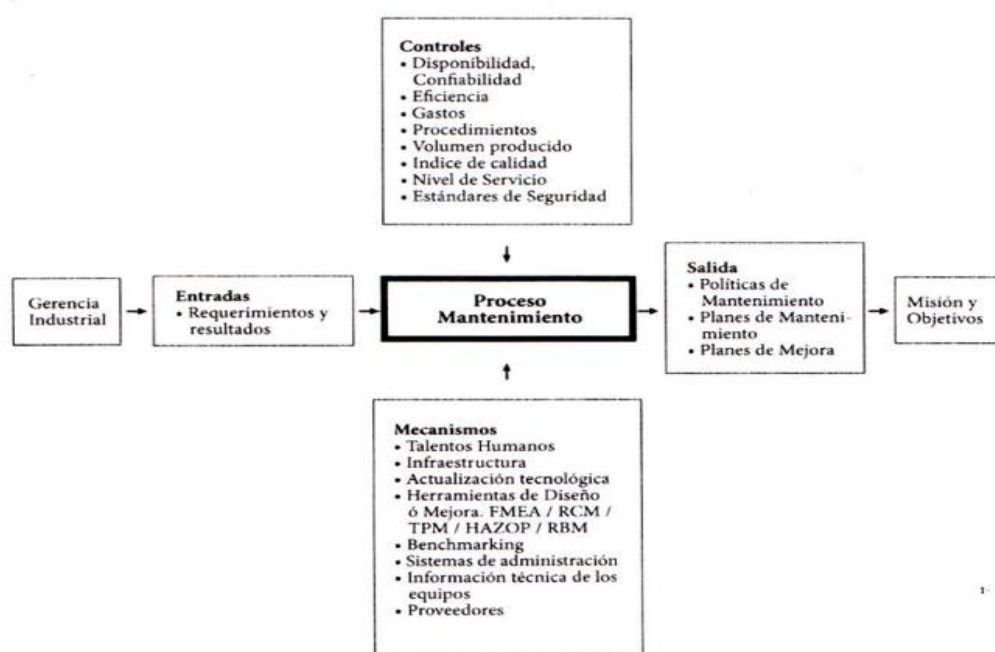


Imagen 4: Diagrama de Proceso de Mantenimiento
Fuente: Manual de Mantenimiento, Pistarelli A.

1.4. MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD

Desde la perspectiva de la ingeniería existen 2 factores que permiten el manejo de un activo físico: mantenimiento y modificación. De la sección anterior, se comprende que el mantenimiento debe asegurar que los activos físicos continúen haciendo lo que sus usuarios quieren que hagan. Los requerimientos de los usuarios van a depender de donde y como utilizar el activo de acuerdo con su contexto operacional, por lo tanto, esto lleva al siguiente factor: **Mantenimiento Centrado en Confiabilidad**.

Este proceso formula 7 preguntas básicas acerca del activo o sistema:

1. ¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociado al activo?
2. ¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones?
3. ¿Cuál es la causa de cada falla funcional?
4. ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?
5. ¿En qué sentido es importante cada falla?
6. ¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir cada falla?
7. ¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?

Los objetivos del mantenimiento son definidos por las funciones y expectativas, pero cuando una expectativa o función no cumple los parámetros establecidos, es por qué ocurrió alguna falla conocida con fallas funcionales. Una falla funcional es en donde el equipo o componente no satisface la función requerida por el estándar operacional propuesto por el dueño del activo.

Sumando a la incapacidad total de funcionar, esta definición abarca fallas parciales en las que el activo todavía funciona pero con un nivel de desempeño inaceptable. Evidentemente estas solo pueden ser identificadas luego de haber definido las funciones y parámetros del activo

El proceso de aplicación de la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad cuenta con diferentes herramientas que se ilustran mediante un diagrama de flujo RCM mostrada en la imagen 5. Comienza con la identificación de las líneas y equipos críticos del hospital mediante una matriz cualitativa de riesgo para las líneas del hospital. Posteriormente ya identificada la línea, se empleará el índice de prioridad de riesgo para evaluar los equipos más críticos. Este proceso que permite realizar un análisis de criticidad para su posterior jerarquización, se integra directamente en la evaluación de los modos de falla para la implementación. Este proceso se ilustra a continuación:

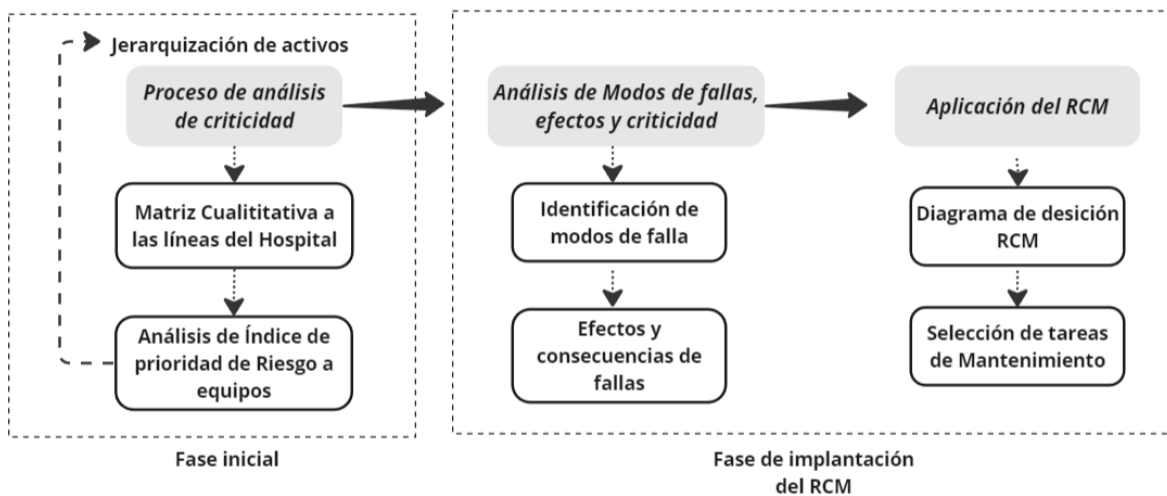


Imagen 5: Diagrama de Flujo RCM
Fuente: Elaboración Propia

1.4.1. Análisis de criticidad: Matriz cualitativa de riesgo

La herramienta de evaluación de riesgos que se utilizará en este estudio será el método cualitativo, el cual se determinará la criticidad de las líneas que conforman el hospital. Se ubica en la primera fase del proceso de RCM, por lo tanto, es una técnica que evalúa el nivel de importancia de los sistemas y/o equipos críticos considerando dos factores: frecuencia y consecuencia de los fallos. A su vez, ayuda a los involucrados en el proceso de toma de decisiones a orientar de forma efectiva los recursos humanos, económicos y tecnológicos en las áreas de mantenimiento, operaciones, logística, calidad, seguridad y ambiente. En otras palabras, este proceso determina la importancia de los activos y/o sistemas en función de las consecuencias que provocan los eventos de fallos en el contexto operacional en el cual se desarrollan.

El proceso de toma de decisiones detrás de la determinación de la criticidad de activos requiere de una estructura jerárquica y de la aplicación de algunos modelos matemáticos que permitan obtener ponderaciones y prioridades de los componentes a evaluar. Para diseñar el modelo de criticidad basado en riesgo se necesita una metodología. Los pasos son los siguientes:

- ✓ Definir un alcance y el propósito para el análisis de criticidad basada en el modelo de riesgo, en este caso es el contexto operacional.
- ✓ Definir el nivel de detalle del análisis, como su taxonomía.
- ✓ Establecer criterios de importancia del modelo de riesgo : rangos de frecuencias de fallas y los factores de consecuencias a ser evaluados.
- ✓ Seleccionar o desarrollar un método de evaluación de riesgo que permita jerarquizar los sistemas, para nuestro estudio será la matriz cualitativa.

1.4.2. Análisis de criticidad: Número de Prioridad de Riesgo

En este proyecto, se empleará una segunda herramienta como parte integral del proceso. Principalmente, su función será establecer la criticidad de los equipos, proporcionando una guía para las decisiones del mantenimiento.

Esta herramienta permite asignar a un equipo y/o componente un índice de prioridad de riesgo. Este índice juega un papel crucial al orientar al personal de mantenimiento hacia la selección apropiada de métodos de predicción, prevención y detección de fallos. Además sirve como referencia para identificar necesidades de mejora. Al integrar esta herramienta en el proceso, se fortalece la capacidad de anticiparse a fallos potenciales y de implementar estrategias proactivas para mantener la confiabilidad y rendimiento de los equipos.

Esta herramienta está conformada por 3 factores:

- ✓ **Índice de gravedad o severidad (S):** para cada equipo, se considera y se puntúa el peor efecto que tiene en el componente o sistema.
- ✓ **Índice de ocurrencia (O):** Es la probabilidad de que ocurra una falla, en este caso del equipo. Dependiendo de la probabilidad de ocurrencia de la causa, este número de probabilidad puede ir del 1 al 10 indicando menor o mayor ocurrencia.
- ✓ **Índice de detección (D):** se evalúa la probabilidad de detectar un defecto antes de que ocurra la falla. Se asocia a la probabilidad de que el plan de control detecte la falla en el momento oportuno.

La relación entre estos 3 valores permite clasificar los riesgos en categoría según un número adimensional, ya que un valor más alto indica un riesgo más crítico y prioritario. Esto es porque la multiplicación de estos factores genera un valor que refleja la prioridad relativa al riesgo.

Finalmente el seguimiento y la metodología sistemática para priorizar y gestionar riesgos al evaluar los 3 criterios (severidad, ocurrencia, detección) contribuye a la toma de decisiones informada y a la asignación eficiente de recursos para mitigar los riesgos más críticos.

A continuación, se presentan estos índices y el resultado será el producto de estos como se observa en la siguiente fórmula:

$$NPR = O * S * D$$

**Ecuación 1: Cálculo del Índice de prioridad de riesgo.
Elaboración Propia**

1.4.3. Fase de implantación del RCM: Modos de falla, efectos y criticidad.

La siguiente fase comienza con la identificación de los modos de falla junto con los efectos y las consecuencias. Para comprender cada concepto, es fundamental identificar las fallas funcionales y también todos los hechos que de manera razonablemente posible puedan haber causado cada estado de falla, lo cual se define el primer concepto clave que es el ***modo de falla***. Las listas tradicionales de modos de falla incorporan fallas causadas por el deterioro o desgaste por uso normal, sin embargo para que todas las causas probables de fallas en los equipos puedan ser identificadas y resueltas adecuadamente, esta lista debería incluir fallas causadas por errores humanos y errores de diseño.

El siguiente paso es definir qué ocurre con cada modo de falla, que se conoce con el ***efecto de falla***, la cual debería incluir la información necesaria para identificar si existe evidencia de que ha ocurrido la falla, si afecta directamente a la seguridad y el medio ambiente, si hay daños físicos y que es lo que debe hacerse para reparar la falla.

Una estrategia de mantenimiento adecuada es aquella que considera como afecta cada fallo en el sistema productivo. El primer paso es establecer si el modo de falla es oculto o evidente. Las fallas ocultas son las causas que provocan la indisponibilidad de una función oculta. En segundo lugar se determina si la falla de la función afecta a la seguridad o al medio ambiente, la producción o los activos fijos, o únicamente produce gastos vinculados a la reparación.

Para evaluar cuanto impacta el modo de falla y definir la tarea más apropiada en este caso se utiliza el diagrama o árbol de decisión. Junto con este diagrama es importante conocer la hoja de decisión que es una herramienta que entrega la información de la rutina de un mantenimiento adecuado, la frecuencia de realización y quien lo hará.

Es importante recalcar que la implementación de mantenimientos proactivos no elimina la falla si no que busca evitar o al menos reducir las consecuencias de la falla. El mantenimiento centrado en la confiabilidad clasifica estas consecuencias dentro de 4 grandes grupos, estos son:

✓ **Consecuencias de falla oculta:**

Estas consecuencias no tienen un impacto directo, pero exponen a la organización a múltiples fallas con consecuencias serias y a veces catastróficas.

✓ **Consecuencias de seguridad y ambiente:**

Una falla tiene consecuencias de seguridad y ambiente si esta provoca daños o es causal de muerte en una persona. Cuando la falla rompe cualquier estándar ambiental o normativa se dice que tiene una consecuencia ambiental.

✓ **Consecuencias operacionales:**

Es básicamente si afecta a la producción (salidas, calidad del producto, servicios al consumidor, o genera costos adicionales relacionados a los costos directos de reparación.

✓ **Consecuencias no operacionales:**

Las fallas evidentes dentro de esta categoría no afectan ni a la seguridad ni a la producción solo representa costos directos de reparación.

1.4.4. Análisis de gestión del riesgo para equipos críticos.

El Analisis de modos de fallos, efectos y criticidad permite la jerarquización del grado de criticidad del riesgo. Esta herramienta es comúnmente utilizada para ejecutar un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad ya que permite lograr un entendimiento global del sistema, así como del funcionamiento y la forma en la que pueden presentarse las fallas de los equipos que componen el sistema. Las acciones recomendadas del análisis de modos de fallos, efectos y criticidad quedan definidas como acciones de tareas de mantenimiento, lo que permite diseñar una estrategia completa de mantenimiento aplicando criterios de riesgo para cada activo considerando la evaluación, y de esta forma poder evaluar el impacto del plan de mantenimiento en el riesgo de la instalación, así como también asegurar que el plan de mantenimiento sea aplicado a los equipos que representa un alto riesgo para las personas, medio ambiente, producción e instalación.

1.4.5. Tareas de Mantenimiento

El proceso de evaluación de consecuencias se basa en las actividades de mantenimiento que tienen más incidencia en el desempeño de la organización y también permite ampliar la visión sobre las diferentes maneras de administrar una falla.

Las actividades de mantenimiento básicamente ayudarán a prevenir una consecuencia de falla. A continuación se presentan las que se emplearán en el diseño de planes de mantenimiento para los equipos críticos de la línea de Hemodiálisis:

✓ **Tareas basadas en condición**

Existen muchos modos de fallas que dan algún tipo de advertencia de que la falla esta por suceder o en proceso. Si se puede encontrar evidencia de que algo está en las últimas instancias de la falla, podría ser posible actuar para prevenir que falle completamente o evitar

sus consecuencias. El punto del proceso de la falla en el que es posible detectar si la falla está ocurriendo o si está a punto de ocurrir se conoce como falla potencial.

Entonces las tareas designadas para detectar fallas potenciales se conocen como tareas a condición. Se le conoce así porque los elementos o equipos que se inspeccionan se dejan en servicio a condición de que continúen cumpliendo con los parámetros de funcionamiento especificados. Estas tareas a condición deben ser realizadas a intervalos menores al intervalo P-F. El punto del intervalo P-F se observa a continuación:

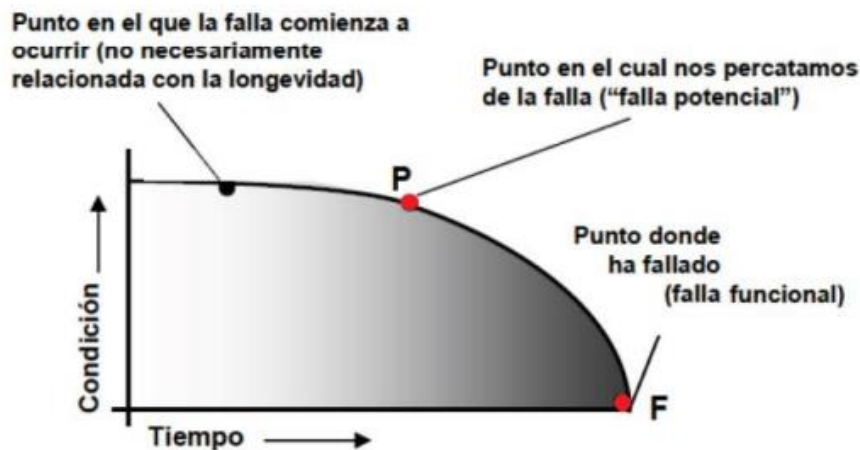


Imagen 6: Gráfico del intervalo P-F.
Fuente: Norma SAE JA1012

Las categorías de técnicas a condición son:

- A. Técnicas de monitoreo de condición.
- B. Técnicas basadas en variaciones en la calidad del producto.
- C. Técnicas de monitoreo de los efectos primarios.
- D. Técnicas basadas en los sentidos humanos.

✓ **Tareas de reacondicionamiento cíclico**

Consiste en reacondicionar la capacidad de un elemento o equipo antes o en el límite de edad definido, independientemente de su condición en ese momento. Estos trabajos incluyen revisiones o cambios completos hechos a intervalos preestablecidos para prevenir modos de falla específicos relacionados con la edad.

Adicionalmente, el reacondicionamiento cíclico debe restaurar la resistencia original a la falla del activo físico aproximándose a la condición original para así asegurar que el elemento continúe con la función deseada por un periodo de tiempo razonable.

✓ **Tareas de sustitución cíclica**

En ciertos casos, en algunos modos de falla es imposible recuperar la capacidad inicial del elemento o del componente, lo cual se puede restaurar reemplazando por uno nuevo. Si el elemento o componente se reemplaza por uno nuevo a intervalos fijos sin intentar evaluar la condición del activo viejo, la tarea es una sustitución cíclica.

Dada la información previa, se procede a definir las actividades de mantenimiento apropiadas. Esto se realiza de acuerdo con el diagrama lógico de decisiones, donde se evalúa si el modo de falla es oculto o evidente en función de su efecto de falla.

Además, se consideran los impactos en seguridad, higiene, medioambiente y operaciones. El diagrama mencionado se muestra a continuación:

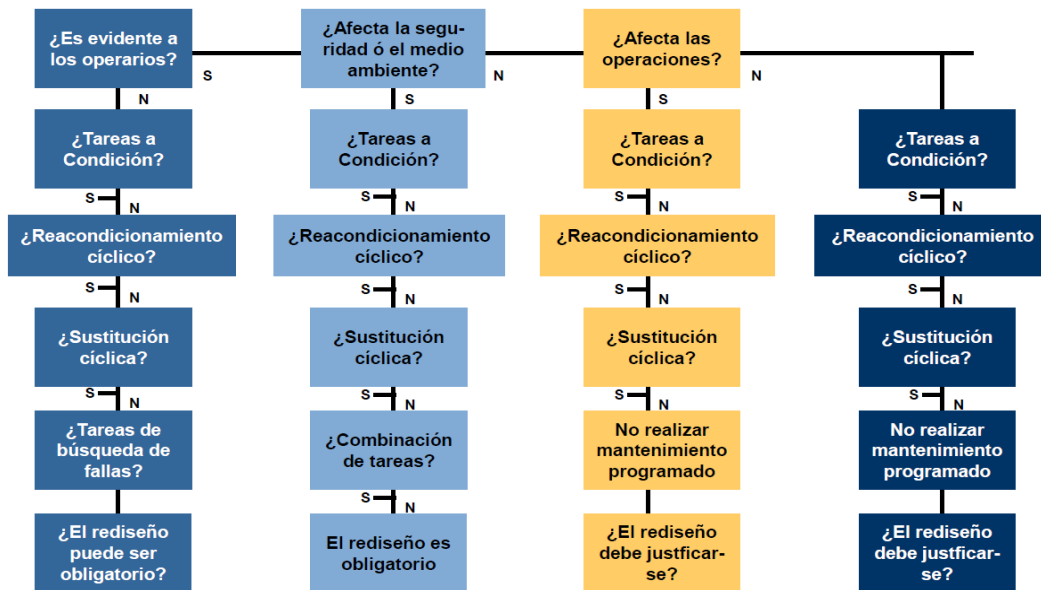


Imagen 7: Lógica de la Selección de estrategias de Mantenimiento: Enfoque RCM.
 Fuente: Ingeniería en Mantenimiento y fiabilidad aplicada a la gestión de activos. Carlos Parra M.

En base a estas evaluaciones, se procede a definir el riesgo cualitativo mediante una matriz 3x3 que evaluará el impacto en seguridad, higiene y ambiente. Esta matriz contribuirá a una evaluación integral del riesgo asociado a los modos de falla identificados:

RIESGO	C	B	A	SEG.
A	2	3	3	
B	1	2	3	
C	1	1	2	
AMB.				

AA-AB-BA=3
AC-CA-BB=2
CC-CB-BC=1

Imagen 8: Matriz Cualitativa 3x3 Seguridad y ambiente.
 Fuente: Elaboración Propia

1.5. MATRIZ CUALITATIVA DE RIESGO A LÍNEAS DEL HOSPITAL.

Posterior a la metodología mencionada en los apartados anteriores, se comenzará a aplicar en esta sección. Todas las líneas mencionadas en la sección 1.2.2 son fundamentales ya que forman parte del eje central del sistema, por lo tanto, todas estas líneas se consideran críticas. Sin embargo para este estudio, solo se presentarán 3 líneas que se consideran zonas más sensibles en la línea de tratamiento por Osmosis inversa. Estas líneas son:

- ✓ Línea de desmineralización de Hemodiálisis
- ✓ Línea de desmineralización para laboratorio y esterilización
- ✓ Estación de dosificación de cloro y pH.

Los criterios seleccionados para la elaboración de la matriz cualitativa de riesgo se pueden observar en las siguientes tablas:

Criterio	Aspecto	Factor de Escala
Frecuencia de fallas	La probabilidad de falla es alta (9 fallos por año)	10
	La probabilidad de falla es moderada alta (5 a 7 fallas por año)	6
	La probabilidad de falla es moderada (de 2 a 4 fallas por año)	4
	La frecuencia es entre 1 y 2 fallas por año	3
	Es probable que haya ocurrido menos de una falla en el año	1

Tabla 2: Frecuencia de falla para Matriz Cualitativa de Riesgo.
Fuente: Elaboración Propia

Criterio	Aspecto	Factor de Escala
Impacto Operacional	Parada inmediata en toda la planta	10
	Parada de toda la línea	8
	Impacto en los niveles de producción y /o calidad	5
	Repercute en costos Operacionales (Indisponibilidad)	4
	No genera ningún efecto o impacto significativo	1

Tabla 3: Impacto Operacional para Matriz Cualitativa.
Fuente: Elaboración Propia

Criterio	Aspecto	Factor de escala
Flexibilidad Operacional	No existe opción de producción y no hay forma de recuperarlo	10
	Hay opción de producción a la capacidad mínima permisible	7
	Hay opción de repuesto compartido	4
	Función de repuesto disponible	1

Tabla 4: Flexibilidad Operacional para matriz cualitativa.
Fuente: Elaboración Propia

Criterio	Aspecto	Factor de escala
Costos de Mantenimiento (CLP)	Los costos exceden los \$10.500.000	10
	Costos entre \$ 8.500.000 y \$ 10.500.000	9
	Costos entre \$ 6.500.000 y \$7.500.000	8
	Costos entre \$ 4.500.000 y \$ 6.500.000	7
	Costos entre \$ 2.500.000 y \$ 4.500.000	6
	Costos entre \$ 2.000.000 y \$ 2.500.000	5
	Costos entre \$ 1.500.000 y \$ 2.000.000	4
	Costos entre \$ 1.000.000 y \$ 1.500.000	3
	Costos entre \$ 500.000 y \$ 1.000.000	2
	Costos bajo los \$ 500.000	1

Tabla 5: Costos de Mantenimiento para matriz cualitativa.
Fuente: Elaboración Propia

Criterio	Aspecto	Factor de escala
Impacto en la seguridad y el medio ambiente	Afecta en la seguridad Humana (interna o externa)	10
	Afecta al ambiente con daños irreversibles	8
	Afecta a las instalaciones o personas causando daños severos	6
	Afecta a las instalaciones o personas causando daños leves	4
	No provoca ningún tipo de daños	0

Tabla 6: Impacto en el SHA para matriz cualitativa.
Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo con los criterios seleccionados, se obtienen las puntuaciones de cada criterio propuesto por la empresa, calculando la criticidad y las consecuencias con las fórmulas proporcionadas a continuación :

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

Ecuación 2: Evaluación del riesgo cualitativo

$$\text{Consecuencia} = (\text{Impacto en las líneas} * \text{Flexibilidad}) + \text{CM} + \text{SHA}$$

Ecuación 3: Evaluación de las consecuencias del riesgo

El valor máximo de criticidad de riesgo que puede obtenerse es de 1200 puntos. Las líneas seleccionadas se encuentran en 3 zonas o niveles de jerarquización: zona media alta crítica, zona de alta criticidad y zona de muy alta criticidad. Lo anterior se presenta en la siguiente tabla:

Zona No critica	< 6
Zona media Critica	6 < BC > = 45
Zona Media alta critica	45 < MC < = 136
Zona alta criticidad	136 < MAC < = 438
Zona muy Alta Criticidad	438 < AC < = 1200

Tabla 7: Zonas de Criticidad. Fuente: Elaboración Propia

Línea	FF	IO	F.O.	C.M.	SHA	Cons.	Total	Jerarquización
Desmineralización de Hemodiálisis	4	10	10	10	10	120	480	Muy alta criticidad
Desmineralización de Laboratorios y Esterilización	4	8	7	10	6	72	288	Alta Criticidad
Estación dosificadora de Cloro y pH	4	5	1	10	4	19	76	Media alta critica

Tabla 8: Zonas de ubicación de criticidad de las líneas.
Fuente: Elaboración Propia

Frec					
10	MAC	AC	AC	MAAC	MAAC
6	MC	MAC	AC	AC	MAAC
4	MC	Línea 3	MAC	Línea 2	Línea 1
3	MC	MC	MAC	AC	AC
1	MC	MC	MC	MAC	MAC
Cons	6	19	34	72	120

Tabla 9: Tabla de Jerarquización de Líneas del Hospital.
Fuente: Elaboración Propia

Dadas las puntuaciones de los criterios como se observa en la tabla N°8, se deduce que las zonas más altas de criticidad corresponden a las líneas de desmineralización de Hemodiálisis con una jerarquización de “muy alta criticidad” y la línea de desmineralización de laboratorios y esterilización con una “alta criticidad”. Cabe destacar que ambas líneas de desmineralización tienen los mismos equipos, pero la línea de Hemodiálisis tiene una mayor relevancia en el enfoque del Instituto Nacional de Geriátría del hospital, ya que el agua tratada llegará directamente al flujo sanguíneo del paciente.

Por lo anterior, el capítulo 2 tendrá el enfoque en la línea de Hemodiálisis, en donde se analizará la criticidad de los equipos y posteriormente un análisis de modo, efecto y criticidad de fallas a los equipos más críticos de la línea.

CAPÍTULO 2: ANÁLISIS DE LOS MODOS Y EFECTOS Y DE FALLA

2.1. DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS DE LA LÍNEA DE HEMODIÁLISIS

Los equipos que se consideran en esta sección corresponden a la unidad de desmineralización de Hemodiálisis del hospital del Salvador, cuyo resultado de criticidad (representado por la matriz cualitativa de riesgo) presenta un mayor impacto por su ubicación en las zonas de criticidad definidas en la tabla N°7 del capítulo 1. Estos equipos se presentan a continuación:

2.1.1. Estanques de acumulación Primaria

El sistema consta de 2 estanques que con una capacidad de 15 m³ cada uno. El estanque tiene como función almacenar agua potable en todo momento, incluso en corte de suministro de la red general, debido a que por normativa el centro de diálisis debe estar abastecido para el turno completo.

Este equipo consta de sensores de alta, media y baja, pero por normativa, debe ir un sensor óptico para evitar focos de contaminación del agua almacenada.

2.1.2. Bombas de suministro de alimentación de entrada

Se debe mantener una presión de suministro constante en la entrada del agua de tratamiento con el fin de evitar el exceso o falta de presión que pueda haber en la red general. La bomba de alimentación debe contener las siguientes prescripciones técnicas:

- ✓ Cuerpo de bomba, eje acero inoxidable
- ✓ Caudal : 3,5 m³ /h
- ✓ Presión: 4 bar
- ✓ Motor Eléctrico: 1,1 kW/ 2.900 revoluciones por minuto

2.1.3. Filtración de protección (Filtro de Profundidad)

La función del filtro de profundidad es retener el exceso de materia en suspensión que pueda traer el agua potable (Coloides, arenilla) aportando una retención de materia en suspensión de hasta 25µm.

Lo anterior, es para evitar que estos microorganismos lleguen a la membrana de osmosis y originar atascamientos prematuros e incluso contaminaciones severas que el sistema de Osmosis es incapaz de retener. Este sistema consta de un filtro bicapa que contiene antracita que es el rango más alto de carbón (bajo porcentaje de materia volátil).

Las especificaciones técnicas del filtro bicapa consta de:

- ✓ Caudal nominal: 3,5 m³/h
- ✓ Presión de servicio: 2 a 5 bar
- ✓ Rango de temperatura: 4 a 45°C
- ✓ Material: plástico reforzado con fibra de vidrio

2.1.4. Filtro de carbón Activo

La misión principal del filtro de carbón es eliminar el cloro y las cloraminas que posee el agua de aporte. Este equipo posee doble filtración para asegurar la correcta eliminación de cloro y cloraminas. Su capacidad es de 300 litros.

Las especificaciones del filtro de carbón activo son:

- ✓ Caudal nominal : 3,5 m³/h
- ✓ Velocidad de filtración nominal: 15 m³/m²/h
- ✓ N° de filtros: 1
- ✓ Presión de servicio: 2 a 5 bar
- ✓ Rango de temperatura: 4 a 45°C
- ✓ Material del filtro: plástico reforzado con fibra de vidrio

2.1.5. Sistema de descalcificación (Filtro descalcificador)

Su función es asegurar el suministro continuo de agua descalcificada. Esto consiste en la eliminación de los iones calcio- magnesio presentes en la dureza del agua, y los sustituye por iones sodio en una columna de intercambio catiónico.

Para un mejor proceso, se utilizan filtros dúplex. Las especificaciones principales de estos filtros dúplex son:

- ✓ Caudal Nominal: 3,5 m³/h
- ✓ Horas de trabajo: 24 h/día
- ✓ Volumen: 225 lts
- ✓ Material: plástico reforzado con fibra de vidrio
- ✓ N° de filtros: 2

2.1.6. Filtración de Seguridad de osmosis Inversa (Pre- Filtros)

La función de los pre-filtros es retener las partículas de hasta 5µm que puedan fugarse de los filtros dúplex o que se introduzcan con el producto químico, protegiendo las bombas de alta presión y las membranas de osmosis inversa.

La especificación técnicas de los pre-filtros son:

- ✓ Unidades :1
- ✓ Material de carcasa: Polipropileno
- ✓ Longitud del cartucho: 40”
- ✓ N° de cartuchos: 5

2.1.7. Primer paso de Osmosis Inversa

La función principal es purificar y desionizar el agua utilizada para el proceso de diálisis. Funciona mediante la aplicación de presión a través de una membrana semipermeable para eliminar contaminantes, partículas y minerales del agua produciendo agua purificada.

Como información adicional el equipo se compone de un sistema de flushing (barrido de membranas) con el fin de eliminar los residuos y contaminantes acumulados en las membranas, lo que ayuda a mantener su eficiencia y prolongar su vida útil.

El equipo de osmosis inversa consta de lo siguiente:

- Bomba de alta presión de acero inoxidable
 - ✓ Potencia: 4 kW
 - ✓ Caudal : 3,5 m³/h
 - ✓ Presión: 12 bar
- Contenedores de membranas:
 - ✓ Número de contenedores de membranas: 4
 - ✓ Material: plástico reforzado de fibra de vidrio
 - ✓ Numero de etapas : 1
- Membranas
 - ✓ Material: poliamida
 - ✓ Número total de membranas: 12

2.1.8. Segundo paso de Osmosis inversa

El agua para tratar tiene una presión osmótica natural de aproximadamente 0,6 bares para luego ser elevada a 11 bares aproximadamente por la bomba de alta presión.

El segundo equipo de osmosis inversa consta de lo siguiente:

- Bomba de alta presión
 - ✓ Potencia: 2,2 kW
 - ✓ Caudal : 2,4 m³/h

- ✓ Presión : 12 bar
- Contenedor de membrana
 - ✓ Numero de contenedor de membranas: 5
 - ✓ Material: plástico reforzado de fibra de vidrio
 - ✓ Numero de etapas: 1
- Membranas
 - ✓ Material: Poliamida
 - ✓ Número total de membranas: 10.

2.1.9. Acumulación de agua tratada (Estanques de agua tratada)

Son depósitos cerrados herméticamente y equipados con boca de hombre (abertura de inspección). La entrada del agua al depósito se realiza en forma de ducha y la salida del fluido se efectúa por la cara inferior.

Antes de la alimentación a los anillos de recirculación de agua existen depósitos de polietileno de alta densidad de base cónica con una capacidad de 3.000 lts. y 5.500 lts.

La función principal de estos depósitos es almacenar agua tratada para alimentar a los equipos de impulsión y enviar el agua tratada hacia los anillos de impulsión de hemodiálisis. Los depósitos cuentan con un filtro HEPA que permite retener partículas de hasta 0,2 µm.

2.1.10. Bombas de impulsión de agua tratada

Su función principal es dar suministro de agua tratada a los anillos de recirculación de hemodiálisis.

Las características técnicas de las bombas de impulsión son:

- ✓ Número de bombas: 2
- ✓ Caudal: 3,75 m³/h
- ✓ Presión: 3 bar
- ✓ Motor: 1,7 kW

2.1.11. Lámpara ultravioleta (Filtro U.V)

La función principal es desinfectar el agua por medio de radiación ultravioleta que no altera su composición física, color ni sabor. La irradiación de los gérmenes presentes en el agua con rayos uv provoca una serie de daños en su molécula de ADN que finalmente impiden la división celular y causan su destrucción.

Estos esterilizadores proporcionan una dosis de uv de 25 mJ/cm², capaz de destruir el 99,9% de microorganismos presentes en el agua.

2.1.12. Ultrafiltros

Los Ultrafiltros están en el final del proceso y tiene por objetivo retener bacterias, virus, endotoxinas que pudieran estar presentes en el agua ultrapura.

Esta microfiltración se lleva a cabo mediante filtros cartuchos de 0,2 µm de grado de filtración y sus características técnicas son:

- ✓ Caudal: 1.2 m³/h
- ✓ Carcasa: acero inoxidable
- ✓ Número de carcasas: 2
- ✓ Grado de filtración 0,2 micras
- ✓ Número de cartuchos: 2

2.2. JERARQUIZACIÓN DE EQUIPOS CRÍTICOS: ÍNDICE DE PRIORIDAD DE RIESGO

Cada equipo de la línea de Hemodiálisis será cuantificado mediante un valor numérico con el fin de establecer una jerarquización en base a su criticidad.

Para este estudio, se presentan índices donde O representa la ocurrencia de fallas, S es severidad y D es detección. Recordando la fórmula de la ecuación 1, el resultado será el producto de estos índices. Los criterios y aspectos se pueden observar en las siguientes tablas:

Criterio	Aspecto	Escala
Ocurrencia	Sin fallas registradas en el último año	1
	1 a 2 fallas registradas en el último los años	2
	3 a 4 fallas registradas en el último año	3
	5 a 6 fallas registradas en el último año	4
	7 a 8 fallas registradas en el último año	5
	9 a 10 fallas registradas en el último año	6
	10 a 11 fallas registradas en el último año	7
	12 a 13 fallas registradas en el último año	8
	14 a 15 fallas registradas en el último año	9
	Mas de 15 fallas registradas en el último año	10

**Tabla 10: Criterio de Ocurrencia para el cálculo de índice de Prioridad de Riesgo.
Fuente: Elaboración Propia.**

Criterio	Aspecto	Escala
Severidad	Efecto Insignificante. Se requiere corrección mínima o ninguna	1
	El efecto es casi insignificante . Es corregido de forma inmediata por el equipo de operaciones	2
	Efecto Insignificante. Es corregido de forma inmediata por el personal de mantenimiento	3
	Efecto menor. El componente sufre una degradación gradual si no se repara	4
	Efecto moderado. El componente no ejecuta su función, pero el mantenimiento de la falla no requiere parar el equipo.	5
	Efecto moderado. El personal de mantenimiento exige la parada de la máquina 1 día o menos	6
	Efecto Crítico. El personal de mantenimiento exige la parada durante más de un día	7
	Efecto muy crítico. La máquina debe pararse y tomará tiempo reparar	8
	Efecto muy crítico. Fallas bruscas interrumpen el funcionamiento del sistema	9
	Efectos catastróficos que causan daños a las personas y/ o propiedad	10

Tabla 11: Criterio de Severidad para el cálculo de Índice de Prioridad de Riesgo.
Fuente: Elaboración Propia.

Criterio	Aspecto	Escala
Detección	100% de detección automática de la falla. El defecto es muy obvio	1
	Casi el 100% de inspección de los componentes del equipo se detecta fácilmente	2
	Fallas generalmente son de fácil identificación y a veces mediante una inspección manual	3
	La avería es generalmente indicada por el operador	4
	Fallo identificado por el equipo de mantenimiento durante las inspecciones diarias	5
	El equipo se somete a inspecciones y observaciones 100% manuales	6
	Fallas identificadas por ruidos anormales	7
	Falla identificada mediante algunas pruebas y no solo por inspección directa	8
	Falla identificada mediante pruebas aleatorias o indirectas	9
	Falla oculta. Imposible de identificar por el personal de operación y/o mantenimiento	10

Tabla 12: Criterio de detección para el cálculo de índice de prioridad de Riesgo.
Fuente: Elaboración Propia

2.2.1. Resultados del Índice de prioridad de Riesgo.

Los valores asignados a la severidad, ocurrencia y detección para cada equipo de la línea de hemodiálisis, el valor de la relación de estos índices resultante y la jerarquización de equipos, se muestra en la siguiente tabla:

	Severidad	Ocurrencia	Detección	RPN
Estanque de Acumulación entrada	8	1	3	24
Estanques de Acumulación salida	8	1	3	24
Descalcificadores	6	2	2	24
Bomba de alta presión	8	1	3	24
Equipo Osmosis inversa	7	1	3	21
Bombas de impulsión	5	1	3	15
Filtro de profundidad	6	2	1	12
Filtro de carbón activo	6	2	1	12
Pre-filtros Osmosis	6	1	2	12
Microfiltros	6	1	2	12
Segundo Equipo de osmosis Inversa	6	1	2	12
Zona lavado de capilares	6	1	1	6
Filtros UV	6	1	1	6

Tabla 13: Jerarquización de equipos más críticos según RPN.
Fuente: Elaboración Propia

Como resultado, se establecieron niveles de criticidad para cada equipo en los siguientes colores:

- B. **Color rojo:** equipos de muy alta criticidad como son los estanques de acumulación de entrada, bomba de alta presión de Osmosis, estanques de acumulación de agua tratada, filtros ablandadores dúplex (Descalcificadores) y equipo principal de osmosis inversa.
- C. **Color naranja oscuro:** equipos alta criticidad como son bombas de impulsión, filtros de profundidad, filtro de carbón activo, segundo equipo de Osmosis inversa y los Ultrafiltros.
- D. **Color amarillo:** equipos con media alta criticidad como lavado de capilares y filtros uv.

El objetivo principal de este estudio es llevar a cabo un análisis de modos y efectos de falla específicamente en los equipos ubicados en las zonas rojas. Estas zonas han sido identificadas en base al número de prioridad de riesgo, el cual representa un valor mayor en comparación con las zonas naranjas y amarillas.

La atención se centrará en comprender a fondo los modos de falla y los efectos asociados en los equipos de las zonas rojas, reconociendo su criticidad importante. Este enfoque no pretende aminorar la criticidad de las zonas naranjas y amarillas, pero busca priorizar la atención en aquellas áreas con un nivel más alto de riesgo según el número de prioridad de riesgo asociado.

2.2.2. Análisis de modos y efecto de fallas a los equipos críticos de la línea de Hemodiálisis

En este apartado se considera un análisis de modo y efectos de falla para los equipos que son altamente críticos, presentados en la sección 2.2.1 en cuanto a nivel de severidad y que se ubican en la zona roja. Estos son:

- ✓ Estanque de acumulación de agua tratada.
- ✓ Estanque de acumulación de agua potable.
- ✓ Bomba de alta presión osmosis inversa.
- ✓ Equipo Osmosis Inversa.
- ✓ Filtro descalcificador dúplex.

Según lo expuesto anteriormente, a continuación se describen los modos de fallos asociados a cada equipo junto con su efecto de falla, expuestos en las siguientes tablas:

Estanques de Acumulación de agua tratada			
Función Principal	<i>Almacenar agua ultrapura con un volumen entre 3 y 5 metros cúbicos para recirculación en los anillos de Hemodiálisis. El caudal de entrada al estanque es de 1 m³/h y un caudal de salida al equipo de impulsión es de 3,7 m³/h. La presión de salida es de 3 bar.</i>		
Falla Funcional	<i>Pérdida de volumen y hermeticidad</i>		
Modo de falla 1	Desgaste superficial de revestimiento interno	Modo de falla 2	Sellos deteriorados
Efecto de falla	Pérdida de volumen de almacenamiento y pérdida de hermeticidad, contaminación interna	Efecto de falla	Pérdida de presión, fugas de líquido, pérdida de suministro de agua a la línea, contaminación interna de agua ultrapura

Tabla 14 : Función principal, modo y efecto de falla para estanques de agua tratada. Elaboración Propia.

Estanques de Acumulación de Agua potable			
Función Principal	<i>Almacenar agua potable con un volúmen entre 4 metros cúbicos como mínimo y 15 metros cúbicos como máximo. La presión de salida hacia las bombas de impulsión es de 4 bar y un caudal de 3,5 m3/h.</i>		
Falla Funcional	<i>Pérdida de volumen y hermeticidad</i>		
Modo de falla 1	Desgaste superficial de revestimiento interno	Modo de falla 2	Sellos deteriorados
Efecto de falla	Pérdida de volúmen de almacenamiento y pérdida de hermeticidad, contaminación interna	Efecto de falla	Pérdida de presión, fugas de líquido, pérdida de suministro de agua a la línea, Baja calidad de agua potable, suciedad extrema

Tabla 15: Función principal , modos y efectos de falla estanques de agua potable. Elaboración Propia

Bomba de Alta Presión Ósmosis			
Función Principal	<i>Elevar la presión de agua desde 4 bar (presión del sistema) a 12 bar para el proceso de ósmosis. El caudal de agua en la entrada de la bomba es de 3,5 m3/h hacia el primer paso de osmosis.</i>		
Falla Funcional	<i>Bomba no eleva la presión suficiente (de 4 a 12 bar) para el proceso de ósmosis</i>		
Modo de falla 1	Desgaste de sellos	Modo de falla 2	Desgaste de Rodamientos
Efecto de falla	Disminución de la presión de trabajo, aumento de temperatura, ruidos excesivos	Efecto de falla	Vibración excesiva, ruidos anormales

Tabla 17: Función principal, modos y efectos de falla Bomba de alta presión Osmosis. Elaboración Propia

Equipo Principal de Ósmosis Inversa			
Función Principal	<i>Purificar y desionizar el agua con un caudal de entrada de 3,5 m3/h y caudal de salida de 2,4 m3/h. La presión de agua en el primer paso es de 12 bar.</i>		
Falla Funcional	<i>Filtro no realiza el intercambio iónico</i>		
Modo de falla 1	Membranas Obstruidas	Modo de falla 2	Prefiltro de ósmosis Saturado
Efecto de falla	Incremento de sólidos disueltos, baja calidad de agua tratada, aumento en la presión de operación	Efecto de falla	Sobrecarga y obstrucción en las membranas, aumento en la presión de operación, baja calidad de agua tratada, mayor desperdicio de agua tratada.

Tabla 16: Función principal, modos y efectos de falla Equipo Osmosis. Elaboración Propia

Filtros Ablandadores Dúplex			
Función Principal	<i>Asegurar el suministro continuo de agua descalcificada con un caudal nominal de 3,5 m3/h y una presión de 4 bar.</i>		
Falla Funcional	<i>Filtro no realiza el intercambio iónico</i>		
Modo de falla 1	Piston interno trabado	Modo de falla 2	Válvula de salmuera obstruida
Efecto de falla	Fallos en el ciclo de regeneración, agotamiento prematuro del medio de intercambio iónico	Efecto de falla	Fallos en el ciclo de regeneración, agotamiento prematuro del medio de intercambio iónico

Tabla 18: Función principal, modos y efectos de falla Filtros ablandadores. Elaboración Propia

En las tablas anteriores se proporciona una descripción detallada de los equipos críticos, su función principal y los modos de falla más comunes junto con sus efectos asociados. La evaluación del riesgo cuantitativo se presenta como un componente esencial para garantizar la integridad y la confiabilidad de estos equipos. A continuación se exponen los riesgos cuantitativos asociados a los modos de falla identificados, mediante las siguientes tablas:

Modo de falla	Estanques de Acumulación de Agua potable		Estanques de Acumulación de Agua tratada	
	Desgaste superficial de revestimiento interno	Sellos deteriorados	Desgaste superficial de revestimiento interno	Sellos deteriorados
Frecuencia de fallas	0,2	0,5	0,2	0,5
Tiempo total fuera de servicio (hrs)	72	72	72	72
Impacto en la Producción (CLP/hr)	\$50.000	\$50.000	\$320.000	\$320.000
Costos directos por falla (CLP/falla)	\$825.000	\$610.000	\$825.000	\$610.000
Riesgo Cuantitativo (CLP/AÑO)	<u>\$885.000</u>	<u>\$2.105.000</u>	<u>\$4.773.000</u>	<u>\$11.825.000</u>

Tabla 19: Riesgo Cuantitativo para Estanques de Acumulación.
Fuente: Elaboración Propia

	Bomba de Alta Presión Ósmosis		Equipo 1 Ósmosis Inversa	
Modo de falla	Desgaste de Sellos	Desgaste de rodamientos	Membranas Obstruidas	Pre-filtros de Ósmosis Saturado
Frecuencia de fallas	0,5	0,3	0,5	2
Tiempo total fuera de servicio (hrs)	6	72	12	5
Impacto en la Producción (CLP/hr)	\$320.000	\$320.000	\$320.000	\$320.000
Costos directos por falla (CLP/falla)	\$450.000	\$1.150.000	\$3.560.000	\$65.000
Riesgo Cuantitativo (CLP/AÑO)	<u>\$1.185.000</u>	<u>\$8.063.333</u>	<u>\$3.700.000</u>	<u>\$3.330.000</u>

Tabla 20: Riesgo Cuantitativo para Bomba y equipo de Ósmosis.
Fuente: Elaboración Propia

	Filtros Descalcificadores Dúplex	
Modo de falla	Pistón interno trabado	Válvula de salmuera obstruida
Frecuencia de fallas	0,5	1
Tiempo total fuera de servicio (hrs)	24	24
Impacto en la Producción (CLP/hr)	\$320.000	\$320.000
Costos directos por falla (CLP/falla)	\$670.000	\$180.000
Riesgo Cuantitativo (CLP/AÑO)	<u>\$4.175.000</u>	<u>\$7.860.000</u>

Tabla 21: Riesgo Cuantitativo para Filtros Descalcificadores Dúplex
Fuente: Elaboración Propia

De las tablas anteriores se puede deducir lo siguiente:

- ✓ En la tabla N°19 el modo de falla de sellos deteriorados presentan una frecuencia de falla significativamente mayor en ambos estanques, lo que significa que los recursos y la atención deberían centrarse en la gestión y la mitigación de los sellos deteriorados.

- ✓ En relación con el tiempo total fuera de servicio se puede concretar que es constante para ambos equipos, sin embargo el impacto económico por pérdida de producción es notablemente más alto para los modos de falla del estanque de acumulación de agua tratada.
- ✓ Se puede corroborar que el modo de falla “membranas obstruidas y prefiltros de ósmosis saturado son modos de fallas relativamente más críticos con frecuencias de falla de 0,5 y 2 veces por año respectivamente.
- ✓ Los valores de riesgo cuantitativo anual elevados se observan en la falla de sellos deteriorados en el estanque de acumulación de agua tratada, desgaste de rodamientos en la bomba de alta presión y la válvula de salmuera trabada en los filtros descalcificadores .
- ✓ El modo de falla que posee mayor costo directo son las membranas obstruidas, ya que la empresa cuenta con la actividad de cambio de membranas por lo que el costo del repuesto es bastante elevado.

2.2.3. Consecuencias e impactos de los modos de falla

Las consecuencias de los modos de falla corresponden a los resultados o impactos que surgen cuando los equipos no cumplen los parámetros operacionales, o de otra manera, ocurre una falla parcial o total. Es por eso, que las acciones correctivas frente a estas consecuencias sin considerar el análisis de modos, efectos y criticidad son las siguientes:

A. Estanques de acumulación de agua potable y tratada:

- En caso de rotura, transportar fuera de la planta y cambiar estanque.
- En caso de desgaste, cortar suministro de agua y despresurizar estanque.
- Recubrir sellado mediante parches
- Pruebas de hermeticidad y presión
- Cambio de sellos dañados.

B. Bomba de alta presión.

- Cambio de sellos.
- Cambio de rodamientos.

C. Equipo de Ósmosis Inversa.

- Cambio de membranas
- Cambio del elemento filtrante

D. Filtro Descalcificador Dúplex

- Cambio de pistón
- Liberar obstrucción de válvula y manguera, lubricar juntas tóricas.

Las acciones correctivas repercuten en las consecuencias de cada falla. Estas consecuencias son serias ya que cada falla mencionada pone en riesgo la salud y la seguridad de las personas, por lo tanto, antes de definir las tareas de mantenimiento se utilizará la matriz 3x3 de riesgo, dejando en evidencia los modos de fallas que se consideran más críticos.

Los resultados en cada zona representan los valores cuantitativos anuales de cada modo de falla calificando los factores de seguridad y el medio ambiente.

RIESGO	C	B	A
A	Semi Crítico	Crítico	\$ 11.825.000 \$ 7.860.000 \$ 4.773.000 \$ 4.175.000 \$ 3.700.000 \$ 3.330.000
B	No crítico	Semi Crítico	\$ 8.063.333 \$ 1.185.000
C	No crítico	No crítico	\$ 2.105.000 \$ 885.000

Tabla 22: Matriz 3x3 de Seguridad y Ambiente. Elaboración Propia

Dado los valores entregados en la tabla anterior, se puede deducir que los modos de falla más críticos en cuanto a seguridad y medio ambiente en orden de criticidad son:

- ✓ Zona A-A Alta criticidad
 - Sellos deteriorados (Estanques de acumulación de agua tratada).
 - Válvula de salmuera obstruida (filtros descalcificadores dúplex).
 - Desgaste superficial de revestimiento interno (Estanques de agua tratada).
 - Pistón interno trabado (Filtros descalcificadores dúplex).
 - Membranas obstruidas (Equipo de ósmosis inversa).
 - Prefiltros de ósmosis saturado (Equipo de ósmosis inversa).
- ✓ Zona A-B Alta Criticidad
 - Desgaste de rodamientos (bomba de alta presión)
 - Desgaste de sellos (bomba de alta presión).

✓ Zona A-C Semi Crítico

- Sellos deteriorados (Estanques de acumulación de agua potable)
- Desgaste Superficial de revestimiento Interno (Estanques de agua potable)

2.2.4. Selección de estrategias de Mantenimiento mediante diagrama de decisión

Los impactos económicos y las acciones correctivas derivadas de los modos de falla pueden ser mitigados o eliminados mediante una selección de estrategias de mantenimiento. Estas actividades o tareas se definen utilizando un diagrama lógico de decisiones presentado en la imagen N°7. Cabe destacar que para cada actividad de mantenimiento se elabora una hoja de decisión ubicada en el anexo 2, el cual facilita el proceso de selección.

Modos de falla	Tipo de actividad de mantenimiento mediante árbol lógico
Desgaste superficial de revestimiento interno	Tarea a condición Reacondicionamiento Cíclico
Sellos Deteriorados	Sustitución Cíclica
Desgaste de sellos	Tarea a condición Sustitución Cíclica
Desgaste de Rodamientos	Tarea a condición Sustitución Cíclica
Membranas Obstruidas	Tarea a condición Sustitución Cíclica
Prefiltros de Osmosis Saturado	Sustitución Cíclica
Pistón Interno Trabado	Tarea a condición Sustitución Cíclica
Válvula de Salmuera Obstruida	Reacondicionamiento Cíclico

**Tabla 23: Actividades de Mantenimiento mediante Diagrama de decisiones
Elaboración Propia**

El próximo capítulo se centrará en la evaluación técnico-económica de las estrategias de mantenimiento preventivo seleccionadas, tal como se detalla en la tabla N°23. El propósito principal de esta evaluación será determinar la factibilidad de implementar actividades o tareas de mantenimiento adecuadas. Asimismo, se busca realizar una comparación de los riesgos cuantitativos de los modos de falla, utilizando criterios tanto técnicos como económicos.

CAPÍTULO 3: EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DE PLANES DE MANTENIMIENTO

3.1. ANÁLISIS DE LAS ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO

En esta sección se analizará de manera exhaustiva los aspectos técnicos y económicos que son necesarios para desarrollar planes de mantenimiento a los equipos críticos de la línea de Hemodiálisis.

En las siguientes tablas se estudian los aspectos técnicos que consideran los modos de fallas, el tipo de mantenimiento y sus acciones, así como los aspectos necesarios para la evaluación económica de cada actividad. Se tiene en cuenta la frecuencia de actividad, el número de personas, la cantidad de horas-Hombre para cada ejecución además de los montos invertidos en insumos, materiales o servicios. El valor considerado para la especialidad de los técnicos encargados de cada actividad es de \$35.000.

Como consideración importante, para el equipo 1 de osmosis inversa, la empresa sólo realiza cambios de membranas cuyo valor por unidad de membrana es de \$250.000 siendo 12 membranas para el equipo 1 de osmosis inversa. Al final del capítulo se propondrá contratar un servicio de lavado de membranas que se considera un costo mucho menor que el cambio.

El propósito de requerir estos aspectos es para calcular el presupuesto anual para cada actividad de mantenimiento preventivo.

Estanques de Acumulación de agua potable					
Modo de falla	Acciones de Mantenimiento Definidas	Frecuencia	Equipo responsable	HH ejecución	Materiales insumos y/o servicios
Desgaste superficial de revestimiento interno	Medición de parámetros de calibración de sensores de nivel	6	1 Técnico Eléctrico	0,5	\$0
	Limpieza de estanques	1	2 Técnicos Mecánicos	6	\$200.000
	Cambio de Filtro HEPA	4	1 Técnico Mecánico	0,5	\$50.000
Sellos deteriorados	Cambio de sellos	0,6	2 Técnicos Mecánicos	6	\$100.000

Tabla 24: Evaluación de acciones de mantenimiento para estanques de agua potable. Elaboración Propia

Estanques de Acumulación de agua tratada					
Modo de falla	Acciones de Mantenimiento Definidas	Frecuencia	Equipo Responsable	HH ejecución	Materiales insumos y/o servicios
Desgaste superficial de revestimiento interno	Medición de parámetros de calibración de sensores de nivel	6	1 Técnico Eléctrico	0,5	\$0
	Reparar revestimientos internos	0,5	2 Técnicos Mecánicos	7,5	\$300.000
	Cambio de Filtro HEPA	4	1 Técnico Mecánico	0,5	\$50.000
Sellos deteriorados	Limpieza de Estanques	4	2 Técnicos Mecánicos	6	\$200.000
	Cambio de sellos	0,5	2 Técnicos Mecánicos	8	\$100.000

Tabla 25: Evaluación de acciones de mantenimiento para estanques de agua tratada.
Elaboración Propia

Bomba de Alta presión Osmosis					
Modo de falla	Acciones de Mantenimiento Definidas	Frecuencia	Equipo responsable	HH ejecución	Materiales insumos y/o servicios
Desgaste de Sellos	Monitoreo continuo a parámetros de presión de agua a manómetros, mediciones de temperatura y vibraciones	12	1 Técnico Mecánico	1	\$0
	Cambio de sellos	1	2 Técnicos Mecánicos	5	\$100.000
Desgaste de rodamientos	Cambio de rodamientos	0,5	2 Técnicos Mecánicos	5	\$170.000

Tabla 26: Evaluación de acciones de mantenimiento para bomba de alta presión.
Elaboración propia.

Equipo 1 Ósmosis Inversa					
Modo de falla	Acciones de Mantenimiento Definidas	Frecuencia	Equipo responsable	HH ejecución	Materiales insumos y/o servicios
Membranas Obstruidas	Cambio de membranas	1	2 Técnico Mecánico	6	\$3.000.000
	Monitoreo de parámetros de presión de entrada y salida	12	1 Técnico Mecánico	0,5	\$0
Pre-filtros de Osmosis saturado	Cambio de elemento filtrante	4	1 Técnico Mecánico	1	\$50.000

Tabla 27: Evaluación de acciones de mantenimiento para Equipo de Osmosis Inversa. Elaboración Propia

Filtros Ablandadores Dúplex					
Modo de falla	Acciones de Mantenimiento Definidas	Frecuencia	Equipo responsable	HH ejecución	Materiales insumos y/o servicios
Pistón interno trabado	Revisión a los cabezales, verificar estado de conexiones y registro de parámetros	12	1 Técnico Mecánico	0,5	\$0
	Cambio de pistón	1	2 Técnicos Mecánicos	6	\$250.000
Válvula de salmuera Obstruida	Lubricación y limpieza de válvula, limpiar mangueras	4	2 Técnicos Mecánicos	3	\$15.000

Tabla 28: Evaluación de acciones de mantenimiento para Filtros ablandadores Dúplex Elaboración Propia

3.1.1. Estimaciones anuales en estrategias de mantenimiento.

En el análisis de cada estimación anual relacionado a las estrategias de mantenimiento propuestas, es fundamental determinar la viabilidad y la efectividad de las actividades contempladas. Esto se llevará a cabo mediante una comparación entre el riesgo cuantitativo anual asociado con cada modo de falla y el total de presupuestos anuales asignados para cada estrategia de mantenimiento.

Es importante reconocer que pueden existir variables que afecten el proceso de factibilidad, como cambios en los costos, y la disponibilidad de recursos. En una primera instancia, se llevará a cabo una evaluación inicial de la factibilidad utilizando los recursos establecidos para este estudio. Los valores de cada presupuesto se muestra a continuación:

Equipo	Modo de falla	Costos Anuales
Estanques de acumulación de agua potable	Desgaste superficial de revestimiento interno	\$885.000
	Sellos deteriorados	\$2.105.000
Estanques de acumulación de agua tratada	Desgaste superficial de revestimiento interno	\$4.773.000
	Sellos deteriorados	\$11.825.000
Bomba de Alta presión Osmosis	Desgaste de sellos de bomba	\$1.185.000
	Rodamientos deteriorados	\$8.063.333
Equipo 1 Osmosis inversa	Membranas obstruidas	\$3.700.000
	Filtro de osmosis saturado	\$3.330.000
Filtros Ablandadores Dúplex	Pistón interno trabado	\$4.175.000
	Válvula de salmuera obstruida	\$7.860.000
<u>Riesgo Total asociado a las fallas</u>		<u>\$47.901.333</u>

Tabla 29: Costo total asociado a los modos de falla. Elaboración Propia.

En la siguientes tablas, se consideran los costos anuales de las actividades de mantenimiento. Este costo total contempla los factores de frecuencia de mantenimiento, costo de H-H, servicios y materiales, presentados en las tablas de la sección 3.1.

Equipo	Actividad de Mantenimiento	Frecuencia	Costos Anuales
Estanques de acumulación de agua potable	Medición de parámetros y calibración de sensores ópticos	6	\$105.000
	Limpieza de estanques	1	\$620.000
	Cambio Filtro HEPA	4	\$270.000
	Cambio de sellos	0,6	\$312.000

Tabla 30: Costos asociados a las actividades de mantenimiento. Elaboración Propia.

Equipo	Actividad de Mantenimiento	Frecuencia	Costos Anuales
Estanques de acumulación de agua tratada	Medición de parámetros y calibración de sensores ópticos	6	\$105.000
	Reparar revestimientos internos	0,5	\$412.500
	Cambio Filtro HEPA	4	\$270.000
	Limpieza de Estanques	4	\$2.480.000
	Cambios de sellos	0,5	\$330.000
Equipo	Actividad de Mantenimiento	Frecuencia	Costos Anuales
Bomba de Alta presión Osmosis	Monitoreo continuo a parámetros de presión de agua a manómetros, mediciones de temperatura y vibraciones	12	\$420.000
	Cambio de sellos	1	\$450.000
	Cambio de rodamientos	0,5	\$260.000
Equipo	Actividad de Mantenimiento	Frecuencia	Costos Anuales
Equipo 1 Osmosis inversa	Cambio de Membranas	1	\$3.420.000
	Monitoreo de Parámetros de presión de entrada y salida	12	\$210.000
	Cambio de pre-filtros de osmosis	4	\$340.000
Equipo	Actividad de Mantenimiento	Frecuencia	Costos Anuales
Filtros Ablandadores Dúplex	Monitoreo a parámetros a cabezales de filtros	12	\$210.000
	Cambio de pistón	1	\$670.000
	Lubricación y limpieza de válvula y mangueras	4	\$900.000

**Tabla 31: Costos asociados a las actividades de mantenimiento.
Elaboración Propia**

Riesgo total asociado a las fallas	\$47.901.333
Total de presupuestos anuales por actividades de mantenimiento propuestas	\$11.784.500
Ahorro Potencial	\$36.116.833

**Tabla 32: Diferencia de costos a la falla y actividades propuestas.
Elaboración Propia**

El riesgo total calculado en la tabla N°32 representa los costos asociados a las fallas o actividades no planificadas, como son las reparaciones de emergencia, pérdida de producción y tiempo de inactividad no planificadas. Por otra parte el presupuesto anual por actividad propuestas representan las actividades planificadas programadas como la sustitución y el reacondicionamiento cíclico así como las tareas basadas en condición.

La diferencia entre ambos resultados indica una diferencia considerable y corresponde a la cantidad de dinero que se podría ahorrar mediante la implementación de estas mejoras.

3.1.2. Selección de tareas de mantenimiento: Tareas costo- eficaces

Dentro del proceso de selección de tareas de mantenimiento, es esencial considerar tanto su viabilidad técnica como su rentabilidad. La efectividad de estas tareas debe garantizar que, a lo largo del tiempo, el costo asociado de su ejecución sea menor al costo relacionado con la falla, ya que las consecuencias económicas juegan un rol fundamental en las tomas de decisiones.

En las siguientes tablas, se realizará un análisis detallado de los impactos económicos asociados con la ejecución de las tareas de mantenimiento mediante su costo- eficacia. Esto se llevará a cabo mediante la evaluación del costo de presupuesto anual y la comparación directa con los costos asociados a las posibles fallas.

Equipo	Estanques de acumulación de agua potable
Costos total por fallas	\$2.990.000
Costo total de mantenimientos preventivos	\$1.202.000
Costo total de tareas por condición	\$105.000
Costo total de actividades propuestas	\$1.307.000
Tareas costo-eficaces. Técnica y económicamente factible implementar las tareas de mantenimiento	

Tabla 33: Identificación de tareas costo eficaces para estanques de agua potable. Elaboración Propia

Equipo	Estanques de acumulación de agua tratada
Costos total por fallas	\$16.598.000
Costo total de mantenimientos preventivos	\$3.492.500
Costo total de tareas por condición	\$105.000
Costo total de actividades propuestas	\$3.597.500
Tareas costo-eficaces. Técnica y económicamente factible implementar las tareas de mantenimiento	

Tabla 34: Identificación de tareas costo eficaces para estanques de agua tratada. Elaboración Propia

Equipo	Bomba de Alta presión Osmosis
Costos total por fallas	\$9.248.333
Costo total de mantenimientos preventivos	\$710.000
Costo total de tareas por condición	\$420.000
Costo total de actividades propuestas	\$1.130.000
Tareas costo-eficaces. Técnica y económicamente factible implementar las tareas de mantenimiento	

Tabla 35: Identificación de tareas costo eficaces para Bomba de alta presión. Elaboración Propia

Equipo	Equipo 1 Osmosis inversa
Costos total por fallas	\$7.030.000
Costo total de mantenimientos preventivos	\$3.760.000
Costo total de tareas por condición	\$210.000
Costo total de actividades propuestas	\$3.970.000
Tareas costo-eficaces. Técnica y económicamente factible implementar las tareas de mantenimiento	

Tabla 36: Identificación de tareas costo eficaces para Equipo de Osmosis Inversa. Elaboración Propia

Equipo	Filtros Ablandadores Dúplex
Costos total por fallas	\$12.035.000
Costo total de mantenimientos preventivos	\$1.570.000
Costo total de tareas por condición	\$210.000
Costo total de actividades propuestas	\$1.780.000
Tareas costo-eficaces. Técnica y económicamente factible implementar las tareas de mantenimiento	

Tabla 37: Identificación de tareas costo eficaces para Filtros Ablandadores. Elaboración Propia

El objetivo de la evaluación de planes de mantenimiento, que implica analizar la viabilidad técnica y económica, es encontrar planes que sean efectivos desde el punto de vista técnico y también económicamente viables.

Se han identificado 5 planes de mantenimiento que cumplen con los requisitos tanto técnicos como económicos. Estos planes se consideran factibles porque se espera que mantengan el equipo o sistema en buen estado y al mismo tiempo sean rentables desde una perspectiva financiera. No obstante, en la siguiente sección se analizarán escenarios para elegir el plan óptimo en cuanto a disminución de indisponibilidad y ahorro potencial.

3.2. DECISIONES ESTRATÉGICAS DE LOS PLANES DE MANTENIMIENTO

En esta sección, se llevará a cabo un análisis detallado de los escenarios propuestos en el marco del mantenimiento centrado en confiabilidad. El objetivo principal es identificar los costos asociados y los indicadores de indisponibilidad de cada plan, con la finalidad de escoger el plan con un potencial de ahorro mayor.

3.2.1. Identificación de escenarios de planes propuestos.

En el siguiente análisis, se evaluarán diferentes escenarios de planes de mantenimiento, desde el plan actual que carece de la metodología de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) hasta propuestas específicas que abordarán distintos componentes del sistema. Los planes propuestos serán los siguientes:

✓ **Plan actual sin RCM:**

Refleja las prácticas de mantenimiento existentes pero carece de la metodología RCM. Este enfoque podría estar asociado directamente a los modos de falla identificados, pero es posible que no optimice la eficiencia del mantenimiento.

✓ **Propuesta N°1:**

Mantenimiento a estanques de Acumulación de Agua: Este plan se enfoca en los estanques de acumulación, abarcando tanto los destinados a agua potable como a los destinados al agua tratada.

✓ **Propuesta N°2:**

Mantenimiento a estanques de acumulación y bomba de alta presión.

✓ **Propuesta N°3:**

Mantenimiento a estanques de acumulación, bomba de alta presión y filtros ablandadores dúplex.

✓ **Propuesta N°4:**

Mantenimiento a estanques, bomba de alta presión, y equipo 1 de osmosis.

✓ **Propuesta N°5:**

Mantenimiento a todos los equipos: Este plan busca un enfoque integral, abordando el mantenimiento a todos los equipos del sistema.

3.2.2. Costos asociados e indicadores de indisponibilidad

En las siguientes tablas se detallan los costos relacionados con la implementación de cada plan. Los factores principales para el cálculo de indisponibilidad, costos por indisponibilidad y ahorro potencial se pueden ver a continuación:

- ✓ Las horas anuales de operación del hospital es de 8682 hrs. La planta opera 8760 hrs al año pero se debe considerar 78 horas de mantenimiento preventivo al año.
- ✓ El costo por pérdida de producción que se considerará en el costo anual por ineficiencia es de aproximadamente \$320.000 por hora de indisponibilidad.
- ✓ El total de mantenimientos al año que se realizará en el hospital de 4 al año. Esta frecuencia considera 3 mantenimientos de 10 horas cada uno y un mantenimiento mayor cuya duración es de 48 horas. Esto quiere decir que las horas de mantenimiento al año es de 78 horas.
- ✓ **El plan actual tiene 6,2 fallas por año, una indisponibilidad del 5% y un costo anual de ineficiencia de \$47.901.333 CLP.**

En la siguiente tabla se detallan los distintos planes comparando el plan actual y el potencial ahorro:

	Plan 1	Plan 2	Plan 3	Plan 4	Plan 5
Cantidad de fallas x año	4,8	4	2,5	1,5	0
Indisponibilidad (%)	2%	0,7%	0,2%	0,5%	0,4%
Horas de ejecución de mantenimiento por plan	51	71	95	87	111
Tiempo fuera de servicio por plan (Hrs)	0	0	17	9	33
Costo anual por ineficiencia (CLP/año)	\$28.313.333	\$19.065.000	\$12.422.000	\$14.867.000	\$10.512.000
Presupuesto anual Plan (CLP/ Año)	\$4.904.500	\$6.034.500	\$7.814.500	\$10.004.500	\$11.784.500
Costo Global (CLP/año)	\$33.217.833	\$25.099.500	\$20.236.500	\$24.871.500	\$22.296.500
Ahorro (CLP/año)	\$14.683.500	\$22.801.833	\$27.664.833	\$23.029.833	\$25.604.833

Tabla 38: Escenarios Propuestos para selección de plan de mantenimiento.
Fuente: Elaboración Propia

Observaciones.

- ✓ El plan 5 no tiene fallas asociadas, ya que el plan se encarga de los 5 equipos más críticos. Debido a esto, este plan posee un menor tiempo fuera de servicio y tiene un costo anual de ineficiencia mucho menor, ya que solo posee los tiempos fuera de servicio de las actividades de mantenimiento que se encuentran fuera de las horas del plan.
- ✓ El plan 3 tiene un mayor costo anual por ineficiencia debido a que solo 17 actividades se encuentran fuera del plan, llegando al 82% de planificación de actividades. Sin embargo el presupuesto anual es mucho menor que en el plan 5, por lo tanto tiene un menor costo global y un potencial ahorro más alto. Esto ocurre porque el costo de cambio de membranas eleva el presupuesto anual.
- ✓ En cuanto a indisponibilidad el plan 3 posee solo un 0,2% de indisponibilidad, seguido por el plan 5 y el plan 4 con 0,4% y 0,5% respectivamente. Lo anterior significa que el plan 3 tiene una baja indisponibilidad y un alto ahorro potencial.

3.3. TÉCNICA DE ANÁLISIS DE PRIORIZACIÓN DE REPUESTOS.

Este análisis es esencial para asegurar la disponibilidad oportuna de repuestos y minimizar los tiempos de inactividad en una plan de mantenimiento.

Este enfoque permite establecer una estrategia efectiva para la gestión de repuestos centrado en aquellos repuestos que son críticos en término de frecuencia de falla, tiempo de logística y costo unitario de repuesto.

Se comprende que este estudio está enfocado en el proceso de RCM por lo que se recomienda es diseñar un procedimiento de una matriz de priorización cualitativa de repuestos basados en la demanda (frecuencia de eventos), tiempo de logística y costo unitario del repuesto.

Los criterios mencionados anteriormente se desglosan junto al valor cualitativo, como se muestra a continuación:

✓ Frecuencia de fallas (Demanda de repuestos)

- 1: *Eventos menores a 1 año*
- 2: *Eventos entre 1 y 4 veces al año*
- 3: *Eventos entre 4 y 5 veces al año*
- 4: *Eventos entre 5 y 6 veces al año*
- 5: *Eventos más de 6 veces al año*

✓ **Tiempo de demora Logística (Días):**

- 1: *Tiempo menor a 1 día*
- 2: *Tiempo entre 1 y 5 días*
- 3: *Tiempo entre 5 y 10 días*
- 4: *Tiempo entre 10 y 20 días*
- 5: *Tiempo mayor a 20 días*

✓ **Costo Unitario de repuesto (CLP)**

- 1: *Costo menor a \$50.000*
- 2: *Costo entre \$50.000 y \$100.000*
- 3: *Costos entre \$100.000 y \$150.000*
- 4: *Costos entre \$150.000 y \$200.000*
- 5: *Costos entre \$200.000 y \$300.000*

3.3.1. Repuestos Asociados a los modos de falla y actividad de mantenimiento.

En la siguiente tabla, se observan los modos de falla junto con la actividad de mantenimiento y su repuesto asociado. El objetivo es realizar una hoja de información de los repuestos más críticos mediante una matriz cualitativa de riesgo.

Modos de falla	Actividad de Mantenimiento	Frecuencia de plan de mantenimiento	Repuesto	Valor Unitario (CLP)	Cantidad anual
Desgaste superficial de revestimiento interno	Cambio filtro HEPA	4	Filtros HEPA	\$50.000	16
Sellos deteriorados	Sustitución de sellos	0,6	Kit de Sellos Empaquetaduras y juntas tóricas)	\$100.000	1
Desgaste de sellos de bomba	Cambio de sellos	1	Kit Sellos Mecánicos	\$100.000	1
Desgaste de Rodamientos	Cambio de rodamientos	0,5	Rodamientos	\$50.000	1

Tabla 39: Repuestos Asociados al modo de falla y actividad de Mantenimiento.
Fuente: Elaboración Propia

Modos de falla	Actividad de Mantenimiento	Frecuencia de plan de mantenimiento	Repuesto	Valor Unitario (CLP)	Cantidad Anual
Membranas Obstruidas	Cambio de membranas	1	Membranas	\$250.000	12
Prefiltros de osmosis Saturado	Cambio del elemento filtrante	4	Filtros de cartucho	\$50.000	4
Pistón interno trabado	Cambio de pistón	1	Juego de pistón con o 'ring y separador	\$250.000	1
	Reacondicionamiento Válvula automática	4	O 'ring Válvula automática	\$5.000	4
		4	Kit filtro y tuerca válvula automática	\$10.000	4

Tabla 40 (Continuación): Repuestos Asociados al modo de falla y actividad de Mantenimiento.
Fuente: Elaboración Propia

3.3.2. Matriz cualitativa de repuestos: Jerarquización de acuerdo con el nivel de Criticidad.

Se considerarán los 3 criterios de frecuencia de fallas (demanda), tiempo de logística y costo unitario asociado al repuesto. En este caso se obtendrá la posición en la matriz sumando las puntuaciones de las consecuencias (Eje y) y la puntuación de la frecuencia de fallas (Eje x).

A continuación se observan las puntuaciones de los factores mediante una tabla de jerarquización de repuestos:

Repuestos	Frecuencia de fallas	Tiempo de Logística	Costo Unitario	Posición Matriz	Nivel de Criticidad
Filtros HEPA	1	3	3	(1-6)	Media Criticidad
Kit de Sellos	2	2	2	(2-4)	Media Criticidad
Kit Sellos bomba	2	3	3	(2-6)	Alta Criticidad
Rodamientos	1	3	2	(1-5)	Media Criticidad
Membranas	2	4	5	(2-9)	Alta Criticidad
Filtros de cartucho	4	2	2	(2-4)	Media Criticidad
Juego de pistón con o 'ring y separador	1	4	5	(2-9)	Alta Criticidad
Kit de reparación, o rings de válvula automática	2	2	1	(2-3)	Media Criticidad

Tabla 41: Posición en la matriz y Jerarquización de repuestos críticos.
Fuente: Elaboración Propia

Luego, se establece una matriz en donde se ubica la criticidad de los repuestos señalados:

FREC

5	AC	AC	AC	MAC	MAC
4	MC	AC	AC	MAC	MAC
3	MC	AC	AC	AC	AC
2	MC	MC (FILTROS HEPA) (KIT REPARACIÓN VÁLVULA AUTOMÁTICA) (FILTROS DE CARTUCHO)	AC (SELLOS MECÁNICOS)	AC	AC Membranas Pistón interno
1	BC	MC	MC (KIT SELLOS) (RODAMIENTOS)	MC	AC
CONS	2	4	6	8	10

Tabla 42: Matriz 5x5. Zonas de criticidad de Repuestos.
Fuente: Elaboración Propia

La matriz de riesgo revela que el 37,5% de los repuestos se encuentran en la zona de alta criticidad mientras que el 62,5% restante pertenece a la zona de media criticidad. A continuación se mencionan los repuestos ubicados en ambas zonas:

A. Zona de Alta Criticidad:

- ✓ Membranas de osmosis.
- ✓ Pistón interno de filtro ablandador.
- ✓ Sellos mecánicos de bomba.

B. Zona de media criticidad

- ✓ Filtros HEPA.
- ✓ Filtros de cartucho.
- ✓ Kit de reparación de válvula automática.
- ✓ Kit sellos y empaquetaduras.
- ✓ Rodamientos de bomba.

La jerarquización de repuestos representada en la tabla N°41, demuestra que las membranas y el juego de pistón son los repuestos que se consideran más críticos en cuanto a costo de repuesto, ya que poseen el mayor valor dentro de la lista de repuestos críticos.

Con respecto a los análisis de los planes de mantenimiento, el plan N° 3 y 5 destacan por tener mayor rentabilidades con respecto a los otros planes. El plan N°5 no tiene fallas asociadas a los equipos, ya que todos los modos de falla son cubiertos por las actividades de mantenimiento propuestas, por lo tanto, su costo anual de ineficiencia (siendo el más bajo de todos los planes), sólo considera las actividades de mantenimiento que están fuera de las horas del plan. Sin embargo el costo de presupuesto anual del plan es mayor que el resto de los planes porque considera el cambio de membranas del equipo de ósmosis inversa, que es la tarea que tiene el mayor costo de todas las actividades propuestas.

RECOMENDACIONES

El plan N°5 puede ser eficiente, pero se debe considerar posibles mejoras para optimizar aún más las actividades de mantenimiento. Debido al elevado presupuesto anual que presenta la actividad de cambio de membranas, se propone realizar un lavado de membranas que sustituiría la actividad anterior, con la finalidad de disminuir el presupuesto anual y a su vez aumentar la rentabilidad de plan.

Como consideración importante, la tarea de cambio de membranas tiene mayor implicancia en las actividades de mantenimiento, ya que mediante la sustitución, es posible recuperar la capacidad inicial del equipo. La tarea de lavado de membranas no asegura la recuperación de la capacidad inicial, sin embargo, si se considera una tarea mucho más costo eficaz. Como recomendación inicial, el lavado de membranas se realizará dos veces al año en comparación con el cambio de membranas que es una vez al año, pero aun así la diferencia de presupuestos es notoria. Esto se puede observar en el siguiente cuadro comparativo:

Actividad	Cambio de membranas	Lavado de membranas
Frecuencia x año	1	2
Costo Mano de Obra (CLP)	\$420.000	\$280.000
Materiales y/o servicios (CLP)	\$3.000.000	\$300.000
Presupuesto Anual (CLP/ Año)	\$3.420.000	\$1.160.000

**Tabla 43: Comparación de presupuestos anuales.
Fuente: Elaboración Propia**

Para complementar lo anterior, se evaluarán los planes N° 3 y 5 incluyendo estos presupuestos con la finalidad de identificar los ahorros potenciales y las respectivas indisponibilidades, como se ilustra en la siguiente tabla:

	Plan 3	Plan 5 con RCM	
		Con cambio de membrana	Con lavado de membrana
Cantidad de fallas x año	2,5	0	0
Indisponibilidad (%)	0,2%	0,4%	0,4%
Horas de ejecución de mantenimiento por plan	95	111	113
Tiempo fuera de servicio por plan (Hrs)	17	33	35
Costo anual por ineficiencia (CLP/año)	\$12.422.000	\$10.512.000	\$11.152.000
Presupuesto anual Plan (CLP/ Año)	\$7.814.500	\$11.784.500	\$9.524.500
Costo Global (CLP/año)	\$20.236.500	\$22.296.500	\$20.676.500
Ahorro (CLP/año)	\$27.664.833	\$25.604.833	\$27.224.833

Tabla 44: Cuadro comparativo de ahorros potenciales.
Fuente: Elaboración Propia

Aunque ambas actividades propuestas en el plan 5 tengan la misma indisponibilidad de 0,4%, la diferencia de ahorro en el lavado de membranas es de un 6,3% mayor que en el cambio de membranas, por lo que la actividad sugerida demuestra su viabilidad económica.

Con relación al costo de repuestos, la siguiente tabla comparativa interpreta el potencial ahorro solo con la actividad de lavado de membranas:

Costo total anual Repuestos con cambio de membranas	\$4.560.000
Costo total anual Repuestos con lavado de membranas	\$1.560.000
Ahorro	\$3.000.000

Tabla 45: Cuadro comparativo del ahorro en el total de repuestos. Elaboración Propia

En la tabla anterior se puede deducir que la diferencia de ahorro en costos de repuestos representa el valor total de las 12 membranas requeridas en el equipo 1 de ósmosis inversa de la línea de Hemodiálisis. Esto significa que el cambio de membranas (sustitución cíclica) tiene una viabilidad económica por sobre la tarea de reacondicionamiento de lavado de membranas.

CONCLUSIÓN

En el área de geriatría, específicamente en la sección de hemodiálisis, es crucial contar con normativas que aseguren el cumplimiento de estándares para el correcto funcionamiento de estas instalaciones. La empresa BS Water Care se encarga de realizar el mantenimiento preventivo a la planta de tratamiento de agua del hospital del Salvador, destacando la importancia de contar con un óptimo plan de mantenimiento que entregue el mejor beneficio posible y a la vez tenga un impacto operacional de forma positiva.

El primer objetivo de este trabajo se enfocó en la técnica cualitativa de riesgo, dando inicio al mantenimiento centrado en confiabilidad. Se han definido líneas específicas del hospital y bajo ciertos criterios como frecuencia de fallas, impacto operacional, flexibilidad operacional, costo de mantenimiento e impacto en la seguridad y medio ambiente, se logró determinar la línea con mayor nivel de prioridad que es la línea de Hemodiálisis. Se debe tener en cuenta que todas las líneas se consideran prioritarias, pero para objetivos de este estudio se considera esta línea, cuyo resultado es de muy alta criticidad.

Posteriormente el análisis de modo, efecto y criticidad de fallas ha permitido describir los equipos que componen la línea de hemodiálisis, clasificándolos por medio de la función principal, falla funcional, modos, efectos y consecuencias de falla. Al desarrollar este listado se pudo comprender que tipos de mantenimiento preventivos son óptimos y abordables para cada modo de falla mediante la metodología el árbol lógico de decisiones.

La evaluación técnica-económica desempeña un rol fundamental ya que combina criterios que permiten comparar los presupuestos anuales de mantenimiento propuestos con los riesgos cuantitativos asociados a las fallas. En este caso se justifica una propuesta de plan de mantenimiento al demostrar que es más económicamente viable que inducir a los equipos a la falla.

Finalmente, el análisis de escenarios de planes propuestos es esencial para definir el plan óptimo, considerando la reducción de la indisponibilidad y costos totales logrando un mejor ahorro potencial. En base a lo anterior, el plan 3 y el plan 5 se consideran óptimos ya que poseen una menor indisponibilidad que los otros planes, con un 0,2% y 0,4%, respectivamente.

Para concluir, el plan óptimo para los sistemas mecánicos e hidráulicos de la línea de tratamiento de agua para el área de geriatría del hospital geriátrico del Salvador es el plan 5, ya que considera todos los equipos en su totalidad e implementando la actividad de lavado de membranas propuesto en las recomendaciones, se alcanzará un mejor ahorro potencial y una reducción de la indisponibilidad a un 0,4%.

BIBLIOGRAFÍA

- BILBIOTECA DEL CONGRESO NACIONAL.(SEPT 2016). *Decreto Supremo 45*.
<https://www.bcn.cl/leychile/navegar?i=1107626&f=2017-09-06&p=>
- CARE, BS WATER (Noviembre 2022). *Hospital del Salvador e Insituto Nacional de Geriátría, especificaciones técnicas*. Santiago de Chile.
- PARRA, Carlos y CRESPO, Adolfo (2015). *Ingenieria en Mantenimiento y fiabilidad aplicada a la gestión de activos*.
- CASTRO, Habib. (Julio-2020). *Análisis de flujo magnético en motores asíncronos*.
Universidad politécnica de Valencia. Valencia España
- COTACO-MOLLER. (Febrero 2021). *Manual de Mantenimiento de equipos filtro de carbón*.
Santiago, Chile.
- GALLARDO, C. (Junio 2022). *Programa de control de calidad de agua tratada para la unidad de Hemodiálisis*. Coquimbo, Chile.
- IBACACHE, Y. (2020). *Calidad de agua para Hemodiálisis*. Chile.
- MOLLER, B. W. (2021). *Manual de mantenimiento de equipos para planta de hemodialisis*.
- MOLLER - BS WATERCARE. (Octubre 2021). *Manual de Mantenimiento de equipos para planta de hemodialisis*. Chile.
- MOUBRAY, John. (2004). *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad*. Madrid, España:
Aladon LLC.
- PISTARELLI, Alejandro (2010). Manual de mantenimiento ingeniería, gestión y organización. En A. Pistarelli, *Manual de mantenimiento ingeniería, gestión y organización* (pág. 21). Buenos Aires.
- SOLUTIONS, O. (s.f.). Manual de usuario Osmosis inversa industrial.
https://www.josmose.fr/pdf/OI_MANUAL-A1-A2-A3_4040_ES-EN-FR_V1.0.pdf.

ANEXO 1: HOJAS DE INFORMACIÓN EQUIPOS

Hoja de Información Estanques de agua Potable					
Sistema			Línea de desmineralización de Hemodiálisis		
Función	Falla Funcional		Modo de falla		
1	Almacenar agua potable con un volumen de 15 metros cúbicos	A	Pérdida de estanqueidad y volumen de agua	1	Desgaste superficial de revestimiento interno
				2	Sellos deteriorados
Hoja de Información Estanques de agua tratada					
Sistema			Línea de desmineralización de Hemodiálisis		
Función	Falla Funcional		Modo de falla		
2	Almacenar agua para diálisis con un volumen entre 3 y 5 metros cúbicos	B	Pérdida de estanqueidad y contaminación interna	3	Desgaste superficial de revestimiento interno
				4	Sellos deteriorados
Hoja de Información Bomba de Alta					
Sistema			Línea de desmineralización de Hemodiálisis		
Función	Falla Funcional		Modo de falla		
3	Elevar la presión de 4 bar (presión del sistema) a 12 bar para el proceso de ósmosis	C	bomba no eleva la presión suficiente (de 4 a 12 bar) para el proceso de ósmosis	5	Desgaste de sellos
				6	Desgaste de Rodamientos
Hoja de Información Equipo 1 de Ósmosis Inversa					
Sistema			Línea de desmineralización de Hemodiálisis		
Función	Falla Funcional		Modo de falla		
4	Purificar y desionizar el agua con un caudal de entrada de 3,5 m ³ /h y caudal de salida de 2,4 m ³ /h	D	Aumento de la presión de operación (mayor a 12 bar)	7	Membranas Obstruidas
				8	Prefiltros de osmosis Saturado

Tabla 46: Hoja de información de los modos de falla de equipos críticos.
Fuente: Tablas propias de Excel.

Hoja de Información Filtros descalcificadores Dúplex					
Sistema				Línea de desmineralización de Hemodiálisis	
Función		Falla Funcional		Modo de falla	
5	Asegurar el suministro continuo de agua descalcificada con un caudal nominal de 3,5 m ³ /h	E	Filtro no realiza el intercambio iónico	9	Pistón interno trabado
				10	Válvula de salmuera obstruida

Tabla 47: Hoja de información de los modos de falla de equipos críticos.
Fuente: Tablas propias de Excel

ANEXO 2: HOJAS DE DECISIÓN DE ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO

HOJA DE DECISIÓN DE ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO												
Sistema		Línea de tratamiento de agua de Hemodiálisis										
Facilitador												
Auditor												
Fecha												
Referencia de Información	Evaluación de Consecuencias	H1	H2	H3	Tarea Propuesta	Frecuencia						
		S1	S2	S3								
		O1	O2	O3								
		F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3	
Estanques de agua potable	1	A	1	S	N	S	N	S	S	N	Medición de parámetros eléctricos a sensores ópticos de nivel de agua (calibración de sensores solo si es requerido)	6 veces al año
											Limpieza de estanques	1 vez al año
	1	A	2	S	N	S	N	N	N	S	Cambio Filtro HEPA	Trimestral
											Cambio de sellos	Cada 1,5 años

Tabla 48: Hoja de decisión para estanques de agua potable.
Fuente: Tablas propias de Excel.

	F FF MF H S E O N1 N2 N3	Tarea Propuesta	Frecuencia
Estanques de agua tratada	2 B 3 S S N N S S N	Medición de parámetros eléctricos a sensores ópticos de nivel de agua (calibración de sensores solo si es requerido)	6 veces al año
		Reparar revestimientos internos	cada 2 años
		Limpieza de estanques	trimestral
	2 B 4 S S N N N N S	Cambios de filtros HEPA	trimestral
		Cambio de sellos	cada 2 años
	F FF MF H S E O N1 N2 N3	Tarea Propuesta	Frecuencia
Bomba de alta presión	3 C 5 S S N N S N S	Medición de parámetros de presión y temperatura.	Mensual
		Cambio de sellos mecánicos	Anual
	3 C 6 S S N N S N S	Cambio de rodamientos	Cada 2 años
	F FF MF H S E O N1 N2 N3	Tarea Propuesta	Frecuencia
Equipo de Ósmosis inversa	4 D 7 S S N N S N S	Monitoreo de presión de entrada y salida	Mensual
		Cambio de membranas	Anual
	4 D 8 S S N N N N S	Cambio del elemento filtrante	Trimestral
	F FF MF H S E O N1 N2 N3	Tarea Propuesta	Frecuencia
Filtros ablandadores	5 E 9 S S N N S N S	Revisión a los cabezales, conexiones y posibles fugas	Mensual
		Cambio de Pistón	Anual
	5 E 10 S S N N N S N	Lubricación y limpieza de válvula de salmuera y mantenimiento de cabezales	Trimestral

Tabla 49: Hoja de decisión para equipos críticos basados en el diagrama de decisión.
Fuente: Tablas propias de Excel.

ANEXO 3: PAUTAS DE TRABAJO Y RUTAS DE INSPECCIÓN

Pauta de trabajo: Planta de tratamiento de agua de Hemodiálisis			
Limpieza y desinfección de estanques de almacenamiento de agua potable			
Responsable:			
Fecha:			
Lista de materiales: Elementos de protección personal, Escobillas, cepillos, rodillos, baldes, jabón, cloro en polvo			
Item	Actividad	OK	Pendiente
1	<i>Cerrar válvula de entrada de agua al tanque de almacenamiento el día anterior</i>		
2	<i>Abrir válvula de salida de agua y drenar todo el líquido dejando un nivel de agua de 10 y 30 cms de altura, cerrar válvula.</i>		
3	<i>Retirar tapa de acceso a estanque</i>		
4	<i>Revisar estados de las estructuras hidráulicas</i>		
5	<i>Retirar sedimentos del estanque</i>		
6	<i>Preparar solución de limpieza</i>		
7	<i>Restregar las paredes, el piso y tapa de acceso con la solución y utilizando el cepillo de limpieza</i>		
8	<i>Dejar actuar la solución desinfectante durante 25 minutos</i>		
9	<i>Enjuagar paredes y fondo del estanque y desechar agua</i>		
10	<i>Cerciorar que no hayan quedado materiales o productos de limpieza dentro del estanque</i>		
11	<i>Abrir llave de suministro de agua para el llenado del estanque</i>		
12	<i>Chequear cloro residual: nivel máximo 5 PPM</i>		
13	<i>Abrir válvula de acceso a la red de distribución</i>		

**Tabla 50: Diseño de pautas de mantenimiento para limpieza de estanques.
Fuente: Tablas Propias de Excel.**

Pauta de Trabajo: Planta de tratamiento de agua de Hemodiálisis			
Sustitución de cartuchos de prefiltros de ósmosis			
Frecuencia : Cada 3 meses			
Responsable:			
Fecha:			
Item	Actividad	OK	Pendiente
1	<i>Desconectar la toma eléctrica del equipo (parar la planta de osmosis inversa)</i>		
2	<i>Comprobar que la válvula de entrada de agua este cerrada</i>		
3	<i>Desenroscar el vaso del porta filtro (utilice llave correspondiente) o la tapa del filtro multicartuchos.</i>		
4	<i>Desbloquear la pieza (varilla) que obliga a los cartuchos a mantenerse en su posición vertical. Precaución con el derrame de agua</i>		
5	<i>Extraer los cartuchos a sustituir</i>		
6	<i>Lavar el compartimiento con agua y detergente para que no queden restos de suciedad.</i>		
7	<i>Comprobar si la junta está en buen estado. Sustituir si fuese necesario</i>		
8	<i>Colocar los nuevos cartuchos en el compartimiento</i>		
9	<i>Enroscar el vaso y o tapar el compartimiento del porta filtro</i>		
10	<i>Abrir válvula de entrada de agua</i>		
11	<i>Conectar toma eléctrica del equipo (poner en marcha el equipo)</i>		

**Tabla 51: Diseño de pauta de mantenimiento para sustitución de prefiltros de osmosis inversa.
Fuente: Tablas propias de Excel.**

Pauta de trabajo para inspección Diaria: Planta de tratamiento de agua para Hemodiálisis			
Controles internos para calidad de agua tratada.			
Responsable:			
Fecha:			
Observaciones: la inspección y chequeo de la planta de agua comienza 2 horas antes de iniciar el turno y 2 horas antes de inicio de cada cambio de turno o cada vez que sea necesario.			
Item	Actividad	OK	Pendiente
1	Filtro ablandador operativo: Registro de cual ablandador está en uso. Revisar en pantallas de cabezales		
	Registrar nivel de sal: Mínimo - medio- máximo (rellenar si corresponde)		
2	Bomba de alimentación: Registrar cual bomba se encuentra operativa en el panel de control		
3	Bomba de agua tratada: Registrar cual bomba se encuentra operativa en el panel de control		
4	Bomba de capilares: Registrar cual bomba se encuentra en funcionamiento		
<u>Registro de presión en manómetros</u>			
5	Presión agua pre-dura (valor entre 2-6 bar)		
	Presión pre-osmosis (valor entre 2-6 bar)		
	Presión pre bacteriana: 0,2 micras (valor entre 2-6 bar)		
	Presión pre bacteriana: 0,1 micras (valor entre 2-6 bar)		
	Presión Post agua dura (valor entre 2- 6 bar)		
	Presión post osmosis: valor (2-6 bar)		
	Presión post filtro arena (valor entre 2 -8 bar)		
	Presión post ablandador y filtro de carbón (valor entre 2 -8 bar)		
<u>Realizar test de dureza</u>			
6	Dureza pre ablandador: tomar test de dureza (valor menor a 180 PPM)		

	<i>Dureza post ablandador : tomar test de dureza de agua (entre 0-2 PPM)</i>		
	<u>Medición cloro libre y total (entrada y salida)</u>		
	<i>Medición Cloro libre pre-carbón activado: (Valor entre 0,2-2.0 mg/l)</i>		
7	<i>Medición cloro total pre-carbón activado : Valor entre 0.5- 4.0 mg/l</i>		
	<i>Medición Cloro libre post carbón activado: Valor 0 mg/l</i>		
	<i>Medición cloro total Post carbón activado: valor entre 0- 0.1 mg/l</i>		
	<u>Medición de conductividad del agua de diálisis:</u>		
8	<i>Conductividad pre-osmosis: valor 0- 2000 micro siemens</i>		
	<i>Conductividad post osmosis: valor máximo 20 micro siemens</i>		
	<i>Conductividad sala diálisis: valor máximo 20 micro siemens</i>		
	<u>Medición de caudal:</u>		
	<i>Permeado osmosis: valor máximo 16 lt/min</i>		
9	<i>Rechazo osmosis: valor máximo 8 lt/min</i>		
	<i>Flujo retorno anillo : valor menor que 10 lt/min</i>		
	<i>Flujo retorno capilares: valor menor que 10 lt/min</i>		

**Tabla 52: Diseño de pauta de inspecciones diarias.
Elaboración Propia**

Ruta de Inspección Diaria : Planta de Hemodiálisis						
Medición de parámetros de línea						
Mes:			Registro diario N°			
Datos	Rango de medición	Resultado	Observaciones (Normal / Desviación)	Responsable	Hora	Fecha
Filtro Ablandador operativo	(1-2)					
Nivel de sal	mínimo- medio- máximo					
Bomba de alimentación operativa	(1-2)					
Bomba de agua tratada operativa	(1-2)					
Bomba de capilares operativa	(1-2)					
Presión agua pre-dura	2-6 bar					
Presión pre-osmosis	2-6 bar					
Presión pre bacteriana: 0,2 micras	2-6 bar					
Presión pre bacteriana: 0,1 micras	6 lpm					
Presión post osmosis	2-6 bar					
Presión post filtro arena	2-8 bar					
Presión post ablandador y filtro de carbón	2-8 bar					
Dureza pre ablandador	< 180 ppm					
Dureza post ablandador	< 2 ppm					

**Tabla 53: Diseño de ruta de inspección diaria.
Fuente: Diseño propio en tabla Excel.**

Ruta de Inspección Diaria : Planta de Hemodiálisis						
Medición de parámetros de línea						
Mes:			Registro diario N°:			
<i>Datos</i>	<i>Rango de medición</i>	<i>Medida</i>	<i>Observaciones (Normal / Desviación)</i>	<i>Responsable</i>	<i>Hora</i>	<i>Fecha</i>
Medición Cloro libre pre-carbón activado	0,2-2.0 mg/l					
Medición cloro total pre-carbón activado	0.5- 4.0 mg/l					
Medición Cloro libre post carbón activado	0 mg/l					
Medición cloro total Post carbón activado	0- 0.1 mg/l					
Conductividad pre-osmosis	0- 2000 micro siemens					
Conductividad post osmosis	20 micro siemens					
Conductividad sala diálisis	20 micro siemens					
Permeado osmosis	16 lt/min					
Rechazo osmosis	8 lt/min					
Flujo retorno anillo	< 10 lt/min					
Flujo retorno capilares	< 10 lt/min					

Tabla 54:Diseño 2 ruta de inspecciones.
Fuente: Diseño Propio en tabla Excel.

ANEXO 3: PLANES DE MANTENIMIENTO PROPUESTOS

	PLAN ACTUAL	Plan 1 Ambos estanques	Plan 2(Estanques de agua y bomba de alta)	Plan 3 (Estanques bomba y filtros duplex)	Con cambio de membrana	Con cambio de membranas	Con lavado de membranas
Cantidad de fallas x año	6,2	4,8	4,0	2,5	1,5	0,0	0,0
TPO	1400	1796	2171	3473	5788	8682	8682
Tiempo fuera de servicio (Hrs)	431	143	65	17	48	0	0
TPFS	70	30	16	7	32	0	0
Disponibilidad	95%	98%	99,3%	99,8%	99,5%	99,6%	99,6%
Horas de ejecución de mantenimiento por plan	0	51	71	95	87	111	113
Tiempo fuera de servicio por plan (Hrs)	0	0	0	17	9	33	35
% Oportunidad en planificación de la actividad	0%	100%	100%	82%	90%	70%	69%
Indisponibilidad anual (%)	5%	2%	0,7%	0,2%	0,5%	0,4%	0,4%
Costo anual por ineficiencia (CLP/año)	\$ 47.901.333	\$ 28.313.333	\$ 19.065.000	\$ 12.422.000	\$ 14.867.000	\$ 10.512.000	\$ 11.152.000
Presupuesto anual Plan (CLP/ Año)	\$ -	\$ 4.904.500	\$ 6.034.500	\$ 7.814.500	\$ 10.004.500	\$ 11.784.500	\$ 9.524.500
Costo Global (CLP/año)	\$ 47.901.333	\$ 33.217.833	\$ 25.099.500	\$ 20.236.500	\$ 24.871.500	\$ 22.296.500	\$ 20.676.500
Potencial Ahorro	\$ -	\$ 14.683.500	\$ 22.801.833	\$ 27.664.833	\$ 23.029.833	\$ 25.604.833	\$ 27.224.833

Imagen 9: Cálculo de escenarios propuestos.
Fuente: Plantilla propia de Excel

Sistema/Subsistema	Descripción de la Función	#	Falla Potencial	#	Modo de Falla	Efecto Falla	Precisales	PTD LOGICADO/ENFERMEDAD	IMP PICO	CPH	COEFICIENTE DE PONDIFICACION	IMP ESD	IMP WEL	IMP COMPLEJO CUMIN	RANGO CANTITATIVO	GRADO	NUMERO DE PERSONAS	HELECCION	TIEMPO ESPECIFICIDAD	EFECTOS DE NEGATIVOS	Actividad Area	Accion a Ejecutar	Previsión de impactos (Años y años)	Numero de personas	IMP aplicable (PTS)	Nota Explicativa	COEFICIENTE	Numero, Magnitud, e Incidencia esperada	PTD ANUAL
Una de las represas de Estación de Bombeo de Agua Potable	Accionar manualmente con un interruptor de emergencia	1	Falla de la represa	1	Empuje accidental de boton de emergencia	Acción: El operador de la represa presiona accidentalmente el boton de emergencia	0,2	72	\$ 50.000	\$ 420.000	B	B	C	\$ 860.000	BC	2	2	75	\$ 30.000	300.000	RECONOCIMIENTO DE RUMORES	RECONOCIMIENTO DE RUMORES	RECONOCIMIENTO DE RUMORES	6	1	0,5	\$ 35.000	\$ 17.500	\$ 150.000
					Empuje accidental de boton de emergencia	Acción: El operador de la represa presiona accidentalmente el boton de emergencia	0,2	72	\$ 50.000	\$ 420.000	B	B	C	\$ 860.000	BC	2	2	75	\$ 30.000	300.000	RECONOCIMIENTO DE RUMORES	RECONOCIMIENTO DE RUMORES	RECONOCIMIENTO DE RUMORES	6	1	0,5	\$ 35.000	\$ 17.500	\$ 150.000
Una de las represas de Estación de Bombeo de Agua Potable	Accionar manualmente con un interruptor de emergencia	2	Falla de la represa	2	Sala de emergencia	Acción: El operador de la represa presiona el boton de emergencia	0,5	72	\$ 50.000	\$ 630.000	B	B	C	\$ 210.000	BC	2	2	8	\$ 30.000	300.000	SUSTITUCION DE CABLE	SUSTITUCION DE CABLE	SUSTITUCION DE CABLE	0,6	2	6	\$ 35.000	\$ 420.000	\$ 312.000
					Empuje accidental de boton de emergencia	Acción: El operador de la represa presiona accidentalmente el boton de emergencia	0,5	72	\$ 50.000	\$ 630.000	B	B	C	\$ 210.000	BC	2	2	8	\$ 30.000	300.000	SUSTITUCION DE CABLE	SUSTITUCION DE CABLE	SUSTITUCION DE CABLE	0,6	2	6	\$ 35.000	\$ 420.000	\$ 312.000
Una de las represas de Estación de Bombeo de Agua Potable	Accionar manualmente con un interruptor de emergencia	3	Falla de la represa	3	Empuje accidental de boton de emergencia	Acción: El operador de la represa presiona accidentalmente el boton de emergencia	0,2	72	\$ 330.000	\$ 650.000	B	B	B	\$ 475.000	BB	3	2	75	\$ 35.000	350.000	RECONOCIMIENTO DE RUMORES	RECONOCIMIENTO DE RUMORES	RECONOCIMIENTO DE RUMORES	6	1	0,5	\$ 35.000	\$ 17.500	\$ 150.000
					Empuje accidental de boton de emergencia	Acción: El operador de la represa presiona accidentalmente el boton de emergencia	0,2	72	\$ 330.000	\$ 650.000	B	B	B	\$ 475.000	BB	3	2	75	\$ 35.000	350.000	RECONOCIMIENTO DE RUMORES	RECONOCIMIENTO DE RUMORES	RECONOCIMIENTO DE RUMORES	6	1	0,5	\$ 35.000	\$ 17.500	\$ 150.000
Una de las represas de Estación de Bombeo de Agua Potable	Accionar manualmente con un interruptor de emergencia	4	Falla de la represa	4	Sala de emergencia	Acción: El operador de la represa presiona el boton de emergencia	0,5	72	\$ 330.000	\$ 630.000	B	B	B	\$ 1100.000	BB	3	2	8	\$ 35.000	350.000	RECONOCIMIENTO DE RUMORES	RECONOCIMIENTO DE RUMORES	RECONOCIMIENTO DE RUMORES	6	1	0,5	\$ 35.000	\$ 17.500	\$ 150.000
					Empuje accidental de boton de emergencia	Acción: El operador de la represa presiona accidentalmente el boton de emergencia	0,5	72	\$ 330.000	\$ 630.000	B	B	B	\$ 1100.000	BB	3	2	8	\$ 35.000	350.000	RECONOCIMIENTO DE RUMORES	RECONOCIMIENTO DE RUMORES	RECONOCIMIENTO DE RUMORES	6	1	0,5	\$ 35.000	\$ 17.500	\$ 150.000
Una de las represas de Estación de Bombeo de Agua Potable	Accionar manualmente con un interruptor de emergencia	5	Falla de la represa	5	Empuje accidental de boton de emergencia	Acción: El operador de la represa presiona accidentalmente el boton de emergencia	0,5	6	\$ 330.000	\$ 450.000	B	B	B	\$ 1100.000	BB	2	2	5	\$ 35.000	350.000	RECONOCIMIENTO DE RUMORES	RECONOCIMIENTO DE RUMORES	RECONOCIMIENTO DE RUMORES	12	1	1	\$ 35.000	\$ 35.000	\$ 420.000
					Empuje accidental de boton de emergencia	Acción: El operador de la represa presiona accidentalmente el boton de emergencia	0,5	6	\$ 330.000	\$ 450.000	B	B	B	\$ 1100.000	BB	2	2	5	\$ 35.000	350.000	RECONOCIMIENTO DE RUMORES	RECONOCIMIENTO DE RUMORES	RECONOCIMIENTO DE RUMORES	12	1	1	\$ 35.000	\$ 35.000	\$ 420.000
Una de las represas de Estación de Bombeo de Agua Potable	Accionar manualmente con un interruptor de emergencia	6	Falla de la represa	6	Empuje accidental de boton de emergencia	Acción: El operador de la represa presiona accidentalmente el boton de emergencia	0,3	72	\$ 330.000	\$ 1.150.000	B	B	C	\$ 800.000	BC	2	2	14	\$ 35.000	350.000	RECONOCIMIENTO DE RUMORES	RECONOCIMIENTO DE RUMORES	RECONOCIMIENTO DE RUMORES	0,5	2	5	\$ 35.000	\$ 350.000	\$ 260.000
					Empuje accidental de boton de emergencia	Acción: El operador de la represa presiona accidentalmente el boton de emergencia	0,3	72	\$ 330.000	\$ 1.150.000	B	B	C	\$ 800.000	BC	2	2	14	\$ 35.000	350.000	RECONOCIMIENTO DE RUMORES	RECONOCIMIENTO DE RUMORES	RECONOCIMIENTO DE RUMORES	0,5	2	5	\$ 35.000	\$ 350.000	\$ 260.000
Una de las represas de Estación de Bombeo de Agua Potable	Accionar manualmente con un interruptor de emergencia	7	Falla de la represa	7	Empuje accidental de boton de emergencia	Acción: El operador de la represa presiona accidentalmente el boton de emergencia	0,5	12	\$ 330.000	\$ 3.500.000	B	B	B	\$ 3700.000	BB	3	2	8	\$ 35.000	350.000	RECONOCIMIENTO DE RUMORES	RECONOCIMIENTO DE RUMORES	RECONOCIMIENTO DE RUMORES	2	2	4	\$ 35.000	\$ 280.000	\$ 1.100.000
					Empuje accidental de boton de emergencia	Acción: El operador de la represa presiona accidentalmente el boton de emergencia	0,5	12	\$ 330.000	\$ 3.500.000	B	B	B	\$ 3700.000	BB	3	2	8	\$ 35.000	350.000	RECONOCIMIENTO DE RUMORES	RECONOCIMIENTO DE RUMORES	RECONOCIMIENTO DE RUMORES	2	2	4	\$ 35.000	\$ 280.000	\$ 1.100.000
Una de las represas de Estación de Bombeo de Agua Potable	Accionar manualmente con un interruptor de emergencia	8	Falla de la represa	8	Empuje accidental de boton de emergencia	Acción: El operador de la represa presiona accidentalmente el boton de emergencia	2	5	\$ 330.000	\$ 630.000	B	B	B	\$ 3300.000	BB	3	1	1	\$ 35.000	350.000	RECONOCIMIENTO DE RUMORES	RECONOCIMIENTO DE RUMORES	RECONOCIMIENTO DE RUMORES	4	1	1	\$ 35.000	\$ 35.000	\$ 340.000
					Empuje accidental de boton de emergencia	Acción: El operador de la represa presiona accidentalmente el boton de emergencia	2	5	\$ 330.000	\$ 630.000	B	B	B	\$ 3300.000	BB	3	1	1	\$ 35.000	350.000	RECONOCIMIENTO DE RUMORES	RECONOCIMIENTO DE RUMORES	RECONOCIMIENTO DE RUMORES	4	1	1	\$ 35.000	\$ 35.000	\$ 340.000
Una de las represas de Estación de Bombeo de Agua Potable	Accionar manualmente con un interruptor de emergencia	9	Falla de la represa	9	Empuje accidental de boton de emergencia	Acción: El operador de la represa presiona accidentalmente el boton de emergencia	0,5	24	\$ 330.000	\$ 630.000	B	B	B	\$ 4150.000	BB	1	2	6	\$ 35.000	350.000	RECONOCIMIENTO DE RUMORES	RECONOCIMIENTO DE RUMORES	RECONOCIMIENTO DE RUMORES	12	1	0,5	\$ 35.000	\$ 17.500	\$ 230.000
					Empuje accidental de boton de emergencia	Acción: El operador de la represa presiona accidentalmente el boton de emergencia	0,5	24	\$ 330.000	\$ 630.000	B	B	B	\$ 4150.000	BB	1	2	6	\$ 35.000	350.000	RECONOCIMIENTO DE RUMORES	RECONOCIMIENTO DE RUMORES	RECONOCIMIENTO DE RUMORES	12	1	0,5	\$ 35.000	\$ 17.500	\$ 230.000
Una de las represas de Estación de Bombeo de Agua Potable	Accionar manualmente con un interruptor de emergencia	10	Falla de la represa	10	Empuje accidental de boton de emergencia	Acción: El operador de la represa presiona accidentalmente el boton de emergencia	1	24	\$ 330.000	\$ 180.000	B	B	B	\$ 7000.000	BB	1	2	2	\$ 35.000	350.000	RECONOCIMIENTO DE RUMORES	RECONOCIMIENTO DE RUMORES	RECONOCIMIENTO DE RUMORES	4	2	3	\$ 35.000	\$ 280.000	\$ 900.000
					Empuje accidental de boton de emergencia	Acción: El operador de la represa presiona accidentalmente el boton de emergencia	1	24	\$ 330.000	\$ 180.000	B	B	B	\$ 7000.000	BB	1	2	2	\$ 35.000	350.000	RECONOCIMIENTO DE RUMORES	RECONOCIMIENTO DE RUMORES	RECONOCIMIENTO DE RUMORES	4	2	3	\$ 35.000	\$ 280.000	\$ 900.000

Imagen 10: Análisis de modo , efecto de falla y criticidad.
Fuente: Tablas propias de Excel.