



UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA

"Propuesta de implementación de un plan de mantenimiento a planta de osmosis inversa"

Trabajo de Titulación para optar al
Título Profesional de Ingeniero de
Ejecución en Mantenimiento Industrial.

Alumno:

Alonso Albornoz Aravena

Profesor Guía:

Ing. Sr. José Carvallo Basaez

2018

RESUMEN

KEYWORDS: PLAN DE MANTENIMIENTO, PLANTA DE OSMOSIS INVERSA, DIAGRAMA JACK KNIFE, DIAGRAMA ISHIKAWA, EQUIPOS CRÍTICOS, PROGRAMA DE MANTENCIÓN, COSTOS DE MANTENCIÓN.

Este trabajo de titulación propone un plan de mantención para una planta de osmosis inversa de la Mina Maricunga.

En primer lugar se estudia el funcionamiento de la planta y se conocen todos los equipos involucrados en el proceso.

Posteriormente se da a conocer las fallas que afectaron a los equipos durante el año en curso (enero a octubre 2017). Esta información se procesa con herramientas gráficas, diagrama de Jack Knife, para determinar las prioridades de mantención. Los equipos/modos de falla que resultaron agudos y crónicos, fueron analizados con el diagrama de Ishikawa (causa efecto).

Para finalizar, se propone un plan de mantenimiento, definiendo tareas, responsables y frecuencias, se realiza una programación para el año 2018 y se analizan los costos de esta implementación, que resulta económicamente rentable.

ÍNDICE

Introducción.....	1
Objetivo general.....	2
Objetivos específicos.....	2
1 Antecedentes generales y problemática	5
1.1 Antecedentes Generales	5
1.1.1 Faena Maricunga	5
1.1.2 Planta de Osmosis Inversa Operaciones Mina	7
1.2 Presentación de la problemática	18
1.2.1 Situación actual en la planta de osmosis inversa.....	18
1.2.2 Problemática en las instalaciones.....	19
2 Análisis de la información	23
2.1 Información técnica de los equipos de la planta de osmosis inversa	23
2.2 Fallas de los equipos de la planta.....	27
2.3 Procesamiento de los datos de fallas de equipos	28
2.3.1 Diagramas de Pareto.....	29
2.3.2 Diagrama de Jack Knife.....	31
2.4 Definición de equipos críticos	35
2.4.1 Clasificación de criticidad para los equipos de la planta	35
2.4.2 Análisis Causa-Efecto para los equipos críticos.	36
3 Plan de mantenimiento	43
3.1 Definición del tipo de mantenimiento a realizar	43
3.1.1 Mantenimiento correctivo.	43
3.1.2 Mantenimiento preventivo	44
3.2 Definición de tareas de mantenimiento.....	45
3.3 Programa de mantenimiento	49
3.4 Costos.....	51
3.4.1 Repuestos	51
3.4.2 Capacitaciones	52
3.4.3 Mano de Obra	52
3.4.4 Comparación de costos	53
4 Conclusiones y recomendaciones	57
Bibliografía	61
Anexos	63

Índice de Figuras

Figura 1-1: Imagen satelital con la ubicación de la Mina Maricunga.....	5
Figura 1-2: Proceso productivo del oro en Mina Maricunga.....	6
Figura 1-3: Proceso de la planta de osmosis inversa.....	8
Figura 1-4: Sedimentador.....	9
Figura 1-5: Bomba de diafragma 1 (cloro)	9
Figura 1-6: Bomba de diafragma 2 (cloruro férrico).....	10
Figura 1-7: Bomba de diafragma 3 (ácido sulfúrico).....	10
Figura 1-8: Registro fotográfico de las bombas de impulsión.....	11
Figura 1-9: Registro fotográfico de los filtros de carbón y multivía tricapa.....	11
Figura 1-10: Diseño de los tanques multivía tricapa y carbón.....	13
Figura 1-11: Registro fotográfico del Microfiltro.....	15
Figura 1-12: Registro fotográfico de la bomba de alta presión.....	15
Figura 1-13: Diagrama explicativo del proceso de osmosis y osmosis inversa.....	16
Figura 1-14: Registro fotográfico de los cartuchos porta membranas (estación de osmosis inversa).....	17
Figura 1-15: Registro fotográfico de los estanques de 35.000 litros.....	17
Figura 1-16: Registro fotográfico del PLC.....	18

Índice de Tablas

Tabla 1-1: Composición interna del tanque filtro Multivía tricapa.....	12
Tabla 1-2: Composición interna del tanque filtro multivía carbón.....	12
Tabla 1-3: Dimensiones de los tanques Multivía tricapa y carbón.....	13
Tabla 1-4: Límites que debe cumplir el agua cruda para ingresar a los filtros Multivía tricapa y carbón.....	13
Tabla 1-5: Tabla de precios de servicio de alimentación año 2017, Fuente: Compass Group.....	19
Tabla 1-6: Costo indirecto por las detenciones de la planta, asociado al valor neto de las HH del personal de apoyo.....	20
Tabla 2-1: Información técnica de la bomba de diafragma 1 (cloro).....	23
Tabla 2-2: Información técnica de la bomba de diafragma 2 (cloruro férrico).....	24
Tabla 2-3: Información técnica de la bomba de diafragma 3 (ácido sulfúrico).....	24
Tabla 2-4: Información técnica del sedimentador.....	24
Tabla 2-5: Información técnica de la bomba de impulsión.....	25
Tabla 2-6: Información técnica de filtros multivía carbón.....	25
Tabla 2-7: Información técnica de filtros multivía tricapa.....	25
Tabla 2-8: Información técnica Microfiltro.....	26
Tabla 2-9: Información técnica bomba de alta presión.....	26
Tabla 2-10: Información técnica de membranas (osmosis inversa).....	26
Tabla 2-11: Información técnica de estanque de 35.000 litros.....	27
Tabla 2-12: Información técnica de PLC.....	27
Tabla 2-13: Fallas ocurridas en la planta de osmosis inversa desde enero 2017 hasta octubre 2017.....	28
Tabla 2-14: Frecuencia de fallas por equipos de la planta de osmosis inversa.....	29
Tabla 2-15: Frecuencias de falla por modos de falla, en la planta de osmosis	

inversa.....	30
Tabla 2-16: Cálculo del MTTR (Tiempo medio de reparación).....	32
Tabla 2-17: Muestra los valores del trazado de la curva de Isoindisponibilidad del 10%.....	33
Tabla 2-18: Clasificación de criticidad por equipos de la planta.....	35
Tabla 3-1: Plan matriz de mantenimiento para los equipos críticos de la Planta de osmosis Inversa.....	46
Tabla 3-2: Plan matriz de mantenimiento para los equipos semi críticos de la Planta de osmosis Inversa.....	47
Tabla 3-3: Plan matriz de mantenimiento para los equipos bajo control de la Planta de osmosis Inversa.....	48
Tabla 3-4: Extracto del programa de mantenimiento para el año 2018.....	49
Tabla 3-5: Costos de repuestos para mantener en stock.....	51
Tabla 3-6: Costos asociados a la capacitación del personal.....	52
Tabla 3-7: Costos asociados a la mano de obra.....	52
Tabla 3-8: Costo total implementación plan de mantenimiento 1 año.....	53

Índice de Gráficos

Gráfico 2-1: Diagrama de Pareto de la planta de osmosis inversa, por equipo afectado.....	29
Gráfico 2-2: Diagrama de Pareto de la planta de osmosis inversa, por modo de falla.....	31
Gráfico 3-3. Diagrama de Jack Knife para las fallas de la planta de osmosis inversa	34

Índice de Diagramas

Diagrama 1-1: Distribución del agua permeada desde planta de tratamiento.....	7
Diagrama 3-1: Diagrama de Ishikawa o causa-efecto, para análisis de la "rotura de sellos mecánicos" de bomba de impulsión y bomba de alta presión.....	37

SIGLAS Y SIMBOLOGÍAS

A. SIGLAS

S.N.M: Sobre el nivel del mar
ACR: Análisis causa raíz
ADR: Adsorción, desorción y recuperación
pH: Acidez o alcalinidad
NTU: Unidad nefelométrica de turbidez
SDI: Índice de densidad de sedimentos
TK: Tanque
PLC: Controlador lógico programable
D.S.: Decreto supremo
HH: Hora hombre
CLP: Peso chileno
RO: Osmosis inversa
MTTR: Tiempo medio entre fallas
FLASH: Boletín informativo
FLUSHING: Limpieza
OT: Orden de trabajo

B. SIMBOLOGÍAS

Q: Caudal
V: Volumen
": Pulgadas
m³: Metros cúbicos
bar: bares
Km/h: Kilómetros por hora
Volts: Voltaje
Hz: Frecuencia

INTRODUCCIÓN

En Chile, las mayorías de las faenas mineras se encuentran emplazadas en la alta cordillera, donde las condiciones naturales del entorno son agrestes, por lo cual se hace necesaria la construcción de instalaciones adecuadas para que los trabajadores se desempeñen en sus labores en las mejores condiciones posibles. En este contexto, es común el uso de aguas subterráneas para abastecer los servicios básicos de todos los trabajadores. En minera Maricunga, ubicada a 4.200 m s.n.m., el agua subterránea es tratada en plantas de osmosis inversa para su uso en las diferentes instalaciones, como campamentos, oficinas y casinos.

El presente trabajo se desarrolla en una de las plantas de osmosis inversa que existen en Minera Maricunga, ésta es la Planta de Osmosis Inversa de Operaciones Mina.

OBJETIVO GENERAL

Elaborar una propuesta de un plan de mantenimiento en la planta de Osmosis Inversa de Operaciones Mina para mejorar la disponibilidad.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Los Objetivos específicos de este proyecto son:

- Describir el funcionamiento general de la planta de osmosis inversa a través de la observación del proceso de tratamiento de aguas.
- Evaluar los componentes de la planta de osmosis inversa para jerarquizar los equipos a través de herramientas graficas de análisis.
- Proponer actividades de mantenimiento calendarizadas, para el año 2018.
- Establecer costos asociados a la implementación del plan de mantenimiento.

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES Y PROBLEMÁTICA

1 ANTECEDENTES GENERALES Y PROBLEMÁTICA

1.1 ANTECEDENTES GENERALES

1.1.1 Faena Maricunga

La Mina Maricunga, corresponde a una faena perteneciente a la compañía minera canadiense Kinross Gold. Es una mina de oro a cielo abierto que se ubica en la alta cordillera de la Región de Atacama, a 179 Km al este de la ciudad de Copiapó y a 4.200 m sobre el nivel del mar.



Figura 1-1.: Imagen satelital con la ubicación de la Mina Maricunga.

Maricunga inició su explotación comercial el 1 de Octubre de 1996. El 2002 las actividades mineras se suspendieron debido a los bajos precios del oro. Se reinició su producción comercial el cuarto trimestre del 2005 y alcanzó su tasa de producción específica promedio de 40.000 toneladas por día, en noviembre de ese año. Desde agosto del 2016 hasta la actualidad, se encuentran suspendidas la extracción, molienda y acopio de mineral en las pilas. El resto de las operaciones se mantienen dando cumplimiento a obligaciones medioambientales.

En la Mina Maricunga, la roca se tritura y se lixivia en pilas de 3 etapas para la obtención del mineral. El proceso productivo se resume a continuación:

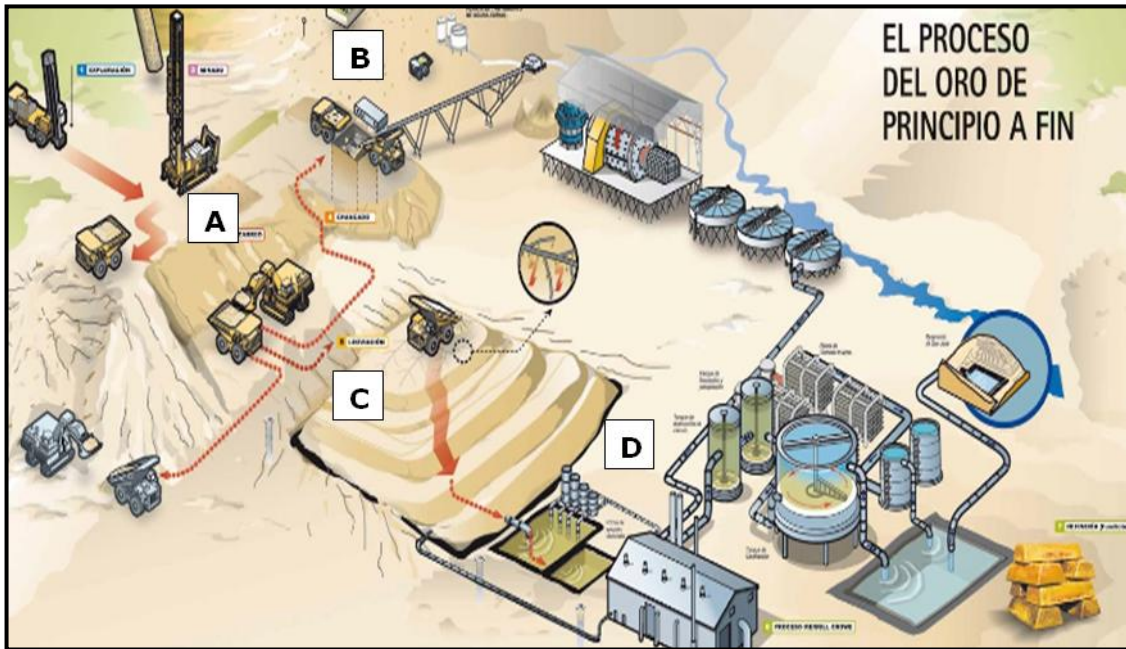


Figura 1-2: Proceso productivo del oro en Mina Maricunga

- A.** Área mina: se explota a rajo abierto en 3 rajos, verde este, verde oeste y pancho. El material estéril se lleva a los botaderos y el mineral se lleva en camiones hasta la planta de chancado.
- B.** Área chancado: corresponde a la trituración del material en chancador primario, secundario y terciario, con el objetivo de lograr un producto de tamaño inferior a 12,7mm.
- C.** Área de lixiviación: el material triturado llega a las pilas de lixiviación en camiones. Una vez depositado el mineral, se procede a regar el material mediante goteos con una solución de cianuro de sodio. A través de la pila percola una solución enriquecida en oro que luego se transporta a la planta ADR (adsorción, desorción y recuperación).
- D.** Área de recuperación de oro, planta ADR y planta SART: En estas plantas el oro se recupera en forma de barro, el que posteriormente es fundido en un horno y moldeado en barras, los que constituyen el producto final llamado metal doré.

1.1.2 Planta de Osmosis Inversa Operaciones Mina

Las instalaciones de la Mina Maricunga incluyen campamentos permanentes, (Refugio y Rancho del Gallo), y diversas instalaciones de oficinas. Existen 4 plantas de osmosis inversas y una de ellas es la planta de Operaciones Mina, nombrada así por su ubicación cerca del rajo.

La Planta de Osmosis Inversa de Operaciones Mina, es una planta de tratamiento de aguas que funciona aledaña a las instalaciones de oficina de Operaciones Mina.

El agua tratada en esta planta proviene de la extracción de agua subterránea a través de pozos profundos ubicados en bofedales de la alta cordillera. Esta agua es salina ya que los acuíferos explotados fluyen bajo los grandes salares del sector.

Esta planta abastece de agua a: Campamento Rancho del Gallo, Casino de Operaciones Mina y Oficinas de Gerencia Operaciones Mina.

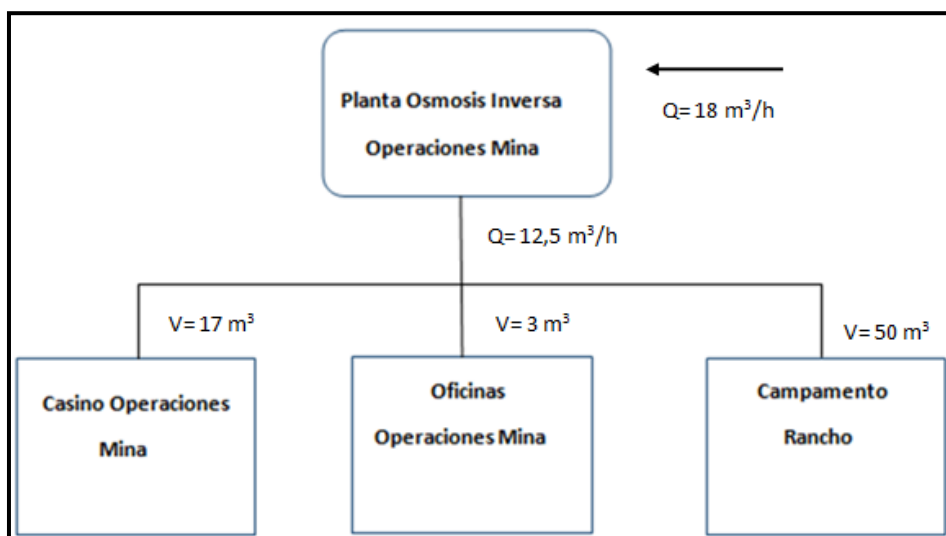


Diagrama 1-1: Distribución del agua permeada desde planta de tratamiento.

El traslado de agua desde la planta de osmosis inversa hacia el campamento Rancho, es a través de camiones aljibe. Se realizan 2 cargas diarias, de 25 metros cúbicos cada una.

El abastecimiento a Casino y a Oficinas de Operaciones Mina, es a través de cañerías de acero carbono. Entre las 2 instalaciones consumen 20 metros cúbicos de agua (17m^3 y 3m^3 respectivamente).

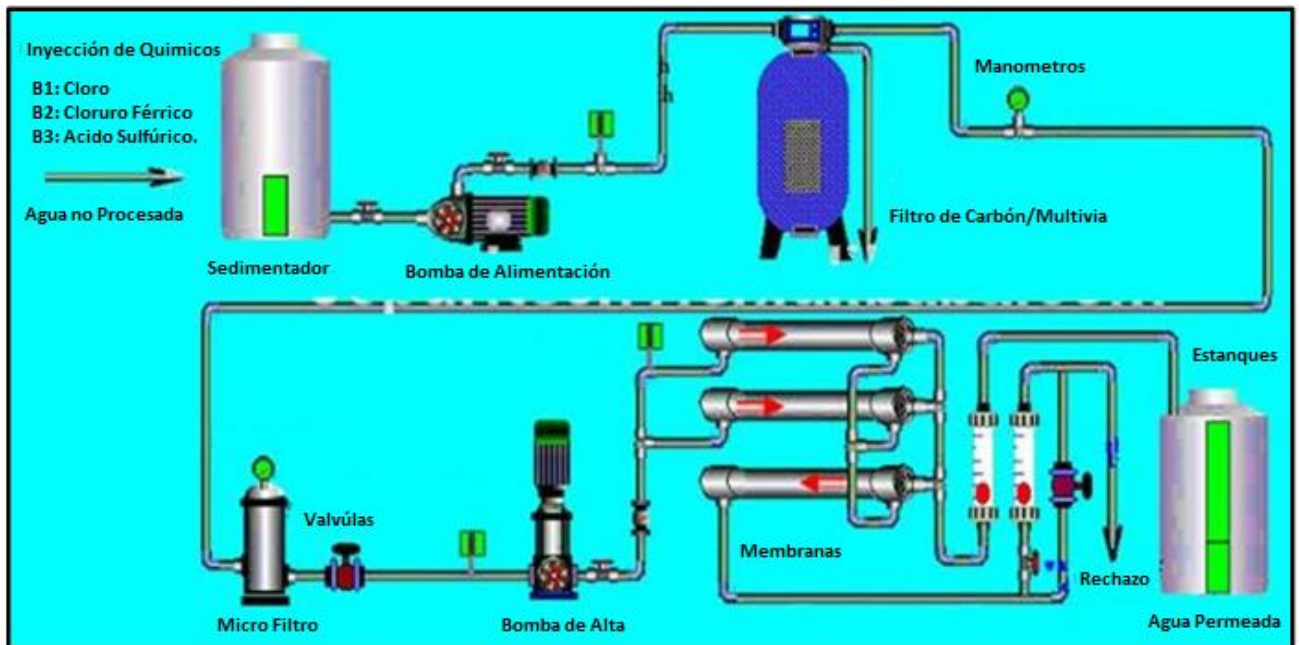
Actualmente, la planta tiene un flujo de alimentación de 18 m³/h y un flujo de agua producto de 12,5 m³/h

La planta opera 24 horas de forma continua y procesa agua cada vez que en los estanques de almacenamiento desciende el nivel.

La planta produce agua desalinizada, también llamada permeado, donde el índice de desalinización es entre 96 y 99%.

Para que el agua ingrese a las membranas de osmosis inversa, se debe realizar un tratamiento previo en diferentes filtros, para la eliminación de partículas en suspensión, cloro, metales, entre otros.

A continuación se detallan las etapas de la planta, para el tratamiento del agua:



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-3: Proceso de la planta de osmosis inversa.

1.1.2.1 Sedimentador

El proceso se inicia con la alimentación de agua al sedimentador. El sedimentador es un estanque con forma de cono invertido en su parte inferior, que cumple con la función de clarificar el agua en primera instancia, a partir de la separación mecánica del líquido y el sólido por acción de la gravedad.

A la entrada del sedimentador, se incorporan al agua 3 compuestos químicos

- Cloro: Es un oxidante fuerte que actúa como desinfectante.
- Cloruro férrico: Se utiliza para reducir la concentración de arsénico
- Ácido sulfúrico: Se utiliza para bajar el pH, hasta lograr pH 7.

Éstos compuestos son agregados al sedimentador a través de 3 bombas de diafragma.



Figura 1-4: Registro fotográfico del sedimentador.

1.1.2.2 Bomba Diafragma 1

La función de la bomba es inyectar cloro para desinfectar el agua en el sedimentador.



Figura 1-5: Bomba de diafragma 1 (cloro)

1.1.2.3 Bomba Diafragma 2

La función de esta bomba es inyectar cloruro férrico para bajar la concentración del arsénico en el sedimentador.

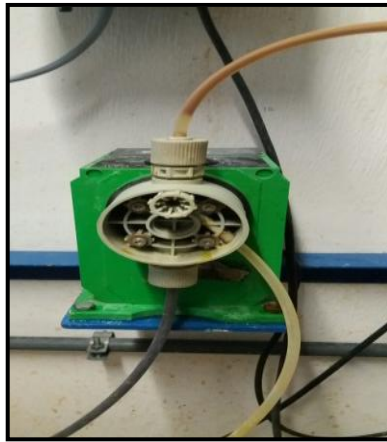


Figura 1-6: Bomba de diafragma 2 (cloruro férrico)

1.1.2.4 Bomba diafragma 3

Cumple la función de inyectar ácido sulfúrico para bajar el pH en el sedimentador.



Figura 1-7: Bomba de diafragma 3 (ácido sulfúrico)

1.1.2.5 Bomba de impulsión

Desde el sedimentador, el agua pasa al circuito de bombas de impulsión, que dan la propulsión necesaria al agua para pasar a los siguientes filtros.



Figura 1-8: Registro fotográfico de las bombas de impulsión

1.1.2.6 Filtros de carbón y Multivia tricapa

Las bombas de impulsión hacen llegar el agua a los filtros de carbón y Multivia tricapa. Estos filtros son unos tanques a presión rellenos con los materiales filtrantes. En estos filtros el agua es "ablandada" o "descarbonizada".



Figura 1-9: Registro fotográfico de los filtros de carbón y multivía tricapa

El filtro Multivia Tricapa se compone de varias capas de material filtrante. La capa superior es la de mayor tamaño y es la que atrapa la mayor parte de las partículas gruesas en suspensión. A medida que el agua pasa a través de las capas filtrantes, los sólidos más finos son eliminados.

Tabla 1-1: Composición interna del tanque filtro Multivia tricapa.

MINERAL		FILTRO MULTIVIA TRICAPA
Material	Unidad	42"
Grava 6x10	Kg	50
Grava 4x6	Kg	75
Grava 2x4	Kg	75
Granate soporte	Kg	100
Granate filtrante	Kg	225
Arena 06x08	Kg	175
Antracita	Kg	175

Por su parte, el filtro Multivia carbón, posee carbón activo granular. El carbón dispone de una gran cantidad de micro poros para la eliminación del cloro, así como el sabor y el olor.

Tabla 1-2: Composición interna del tanque filtro multivia carbón.

MINERAL		FILTRO MULTIVIA CARBÓN
Material	Unidad	42"
Grava 2x4	Kg	54
Grava 6x10	Kg	54
Carbón activado	Kg	330

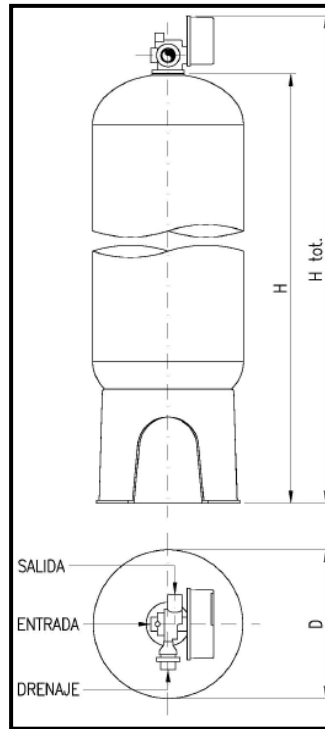


Figura 1-10: Diseño de los tanques multivía tricapa y carbón

Tabla 1-3: Dimensiones de los tanques Multivía tricapa y carbón.

	Unidad	42"
Cuerpo	Pulgada	42x72
Diámetro (D)	mm	914
Altura (H)	mm	1818
Volúmen	Litros	999

Para el funcionamiento óptimo de ambos filtros, Multivía tricapa y Multivía carbón, el agua cruda que ingrese, debe cumplir con los siguientes límites

Tabla 1-4: Límites que debe cumplir el agua cruda para ingresar a los filtros Multivía tricapa y carbón

Características	Máximo	Mínimo
Cloro libre	2 mg/L	-
Sólidos en suspensión	50 mg/L	-
Turbidez	50 NTU	-
Presión	7 bar	2 bar
Temperatura	45°C	4°C

Los efectos en los filtros, al superar los límites del agua cruda, se explican a continuación:

- Cloro libre: A concentraciones superiores de 2 mg/l, el cloro libre es capaz de disolver el material filtrante Carbón Activo. Niveles superiores de cloro libre pueden tolerarse si periódicamente se efectúa un cambio de lecho.
- Sólidos en suspensión: En el caso de los filtros multicapa, el límite de 50 mg/l permite el funcionamiento continuo con un lavado diario. Cargas superiores (hasta 150 mg/l), pueden ser aceptables cuando el periodo de funcionamiento es más corto o el lavado es más frecuente.
- Turbidez: El límite de 50 NTU es aplicable a los filtros multicapa para uso en aplicaciones industriales. En aplicaciones de agua potable, la turbidez no debe superar los 10 NTU para que la dosificación de producto químico y la filtración puedan reducir la turbidez hasta valores inferiores a 2 NTU, que es el límite superior aceptable según la NCh409/1. Para aquellos filtros que contienen material filtrante Carbón, el nivel máximo de turbidez debe ser de 5 NTU para asegurar una vida normal del lecho filtrante. Valores de turbidez superiores podrán ser tolerados siempre y cuando sean efectuados cambios periódicos del lecho filtrante.
- Presión: El filtro está diseñado para operar dentro de un rango de presión que va de 2 a 7 bar. Una presión inferior a 2 bar puede provocar un mal funcionamiento o un contravalado inadecuado, mientras que una presión superior a 7 bar provocar daños y una operación ruidosa de la válvula de control.
- Temperatura: La temperatura es un factor importante. El filtro debe ser instalado en una zona protegida de las temperaturas extremas. No debe permitirse que el filtro se congele, como tampoco debe instalarse cerca de un horno industrial, un calentador de agua o en una zona donde pueda estar expuesto a la luz directa del sol. No se recomienda colocarlo en el exterior salvo que pueda estar protegido de la lluvia, la arena, el polvo y las temperaturas extremas.

1.1.2.7 Micro filtro

La función del micro filtro es retener las partículas de hierro y manganeso.



Figura 1-11: Registro fotográfico del Microfiltro

1.1.2.8 Bomba de alta presión

Desde el micro filtro, el agua ingresa a la bomba de alta presión, que provee el agua a las membranas de osmosis inversa con alta presión constante.



Figura 1-12: Registro fotográfico de la bomba de alta presión.

1.1.2.9 Membranas (osmosis inversa)

Al llegar el agua a estas membranas, ocurre el proceso de desalinización a través de la osmosis inversa.

- Osmosis inversa: La osmosis es un proceso natural, donde el agua con una baja concentración de sal pasa a través de una membrana semipermeable a una solución con más alta concentración de sal, balanceando la concentración de sal a ambos lados de la membrana. En la osmosis inversa, éste proceso es revertido. Se impone una mayor presión que la natural de la osmótica, en el lado con mayor concentración de sales y como resultado, agua pura se disipa de la solución a través de la membrana semipermeable. El agua pura producida es llamada "permeado" (producto) y la solución concentrada es llamada "concentrado" (rechazo).

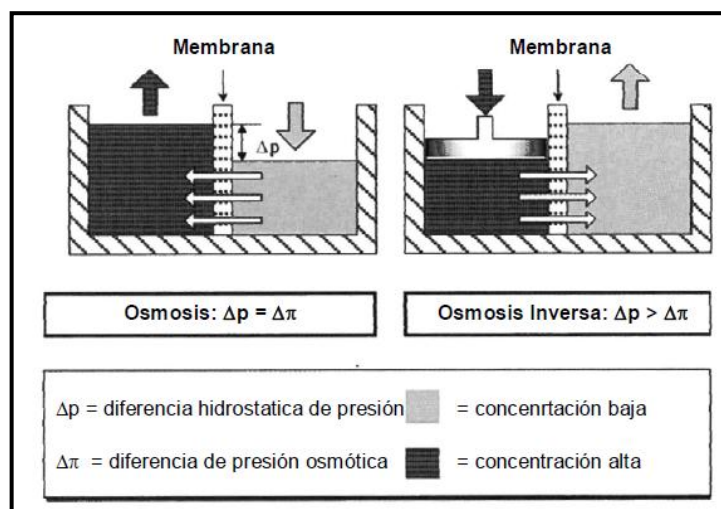


Figura 1-13: Diagrama explicativo del proceso de osmosis y osmosis inversa.

El componente principal de la planta de osmosis inversa es la membrana, que tiene una tasa de desalinización extremadamente alta, a altos índices de flujo de agua. El índice de retención es:

Sal: 96-99%

Gérmenes, Pirógenos: 99,9%

Partículas: <100%

La planta de osmosis inversa, debe ser operada sólo con agua blanda, que no posee aluminio, hierro y manganeso. Principalmente se requiere un SDI menor a 3., condición que se logra con los filtro que preceden a las membranas.



Figura 1-14: Registro fotográfico de los cartuchos porta membranas (estación de osmosis inversa).

1.1.2.10 Estanques de 35.000

El agua producto sale de las membranas y se almacena en dos TK de 35.000 litros cada uno. Los estanques están provistos de controladores de nivel, los cuales envían una señal al PLC cuando desciende el nivel del agua, pasando a modalidad operación (proceso) de la planta.



Figura 1-15: Registro fotográfico de los estanques de 35.000 litros.

1.1.2.11 PLC

Es una computadora utilizada para automatizar procesos electromecánicos en la planta de osmosis inversa.



Figura 1-16: Registro fotográfico del PLC

1.2 **PRESENTACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA**

1.2.1 Situación actual en la planta de osmosis inversa

La planta de osmosis inversa de operaciones mina, opera desde el año 2013. En esa ocasión, el fabricante *Veolia* montó la planta, entregó las especificaciones técnicas, las instrucciones de operación y las recomendaciones generales de su mantenimiento.

Desde entonces, *Veolia* está a cargo del contrato de operación de la planta, contando con un operador por turno. El personal fue capacitado solo para las tareas de operación.

Las actividades de mantenimiento las realiza un equipo de mantención de otra área, de manera informal, ya que no hay un contrato de por medio para éstas labores. Por esta razón, el mantenimiento es correctivo y consiste principalmente en atender la falla en el momento de su ocurrencia.

Cuando falla un equipo y la planta se detiene, se interrumpe el abastecimiento de agua a las 3 instalaciones: Casino Operaciones Mina, Campamento Rancho y Oficina de Operaciones Mina.

Desde enero del 2017 a la fecha, de acuerdo a la información entregada por *Compass Group*, empresa encargada del servicio de alimentación en Maricunga, han ocurrido 4 eventos de detención total de la planta por fallas, que han dejado sin abastecimiento de agua al casino durante horario de elaboración de los alimentos.

1.2.2 Problemática en las instalaciones

El casino de Operaciones Mina deja de prestar el servicio de alimentación cuando no hay abastecimiento de agua ya que el D.S. N°594 del servicio de salud sobre "Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas en los lugares de trabajo", en sus artículos 12 al 15, establece que *"todo lugar de trabajo debe contar con agua potable destinada al consumo humano y necesidades básicas de higiene y aseo personal, de uso individual o colectivo. Las instalaciones, artefactos, canalizaciones y dispositivos complementarios de los servicios de agua potable, deberán cumplir con las disposiciones legales vigentes sobre la materia."*

Cuando el casino no presta el servicio de alimentación a los trabajadores, que son 200 personas diariamente, se les entrega una colación de terreno en reemplazo del almuerzo.

Tabla 1-5: Tabla de precios de servicio de alimentación año 2017, valor UF 31/12/2017. Fuente: Compass Group

SERVICIO DE ALIMENTACIÓN	PRECIO UNITARIO EN TRAMO DE 150 A 200 PERSONAS	Nº DE PERSONAS	TOTAL NETO (CLP)	TOTAL NETO (UF)
Almuerzo	\$ 5.299	200	\$ 1.059.800	\$ 39,55
Colación de terreno	\$ 8.100	200	\$ 1.620.000	\$ 60,45

Por cada detención de la planta de osmosis inversa por falla, se está generando una pérdida de \$1.620.000, ya que el servicio de almuerzo igualmente debe ser pagado en su totalidad.

De enero a la fecha, se han producido 4 eventos, con lo cual la pérdida asciende a el monto de $4 \times \$1.620.000 = \$6.480.000$

Además, en estos 4 eventos, los alimentos preparados en el casino para dar el servicio de almuerzo, son desechados porque no se pueden termalizar nuevamente.

Adicionalmente a las pérdidas por los alimentos, existe un costo indirecto relacionado a las HH del personal de apoyo que debió intervenir informalmente en las reparaciones de los equipos que presentaron fallas deteniendo la planta por completo.

Tabla 1-6: Costo indirecto por las detenciones de la planta, asociado al valor neto de las HH del personal de apoyo de mantención que reparan las fallas.

Cargo	Precio HH neto CLP	Horas	Total
Supervisor de mantención	\$ 17.154	24	\$ 411.696
Mecánico	\$ 10.434	24	\$ 250.416
Electricista	\$ 10.434	24	\$ 250.416
			\$ 912.528

El costo indirecto, durante el periodo enero 2017 a la fecha, por concepto de HH del personal de apoyo, ha sido de \$912.528 neto. Esto, en base a las horas que se utilizaron en reparar las fallas de los equipos (24 h totales), en los 4 eventos que detuvieron la planta. Este costo lo asume la compañía Maricunga.

Por otro lado, en el Campamento Rancho, cuando la planta de osmosis inversa deja de funcionar, los camiones que trasladan agua hasta el campamento, extraen agua de la planta RO7 Refugio, con una capacidad de 7m³/h. La planta RO7 es una planta de osmosis inversa que funciona sólo para estos eventos, ya que su destino era abastecer el campamento Refugio, actualmente cerrado.

En Oficina de Operaciones Mina no se genera un problema de mayor trascendencia, ya que disponen de baños químicos con agua para la higiene del personal.

CAPÍTULO 2: ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

2 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

En este capítulo se presentarán las características técnicas de los equipos de la planta de osmosis inversa, la información recopilada sobre las fallas ocurridas a los equipos desde enero de este año a la fecha y el procesamiento y análisis de éstos datos a través de gráficos que llevan a definiciones de criticidad de los equipos. Finalmente se hará un análisis causa efecto a través de un diagrama de ishikawa.

2.1 INFORMACIÓN TÉCNICA DE LOS EQUIPOS DE LA PLANTA DE OSMOSIS INVERSA

A continuación, se presentan las características técnicas de los equipos de la planta, de acuerdo a lo informado por cada fabricante.

Tabla 2-1: Información técnica de la bomba de diafragma 1 (cloro)

	Marca: Grundfos
	Modelo: A9772092810007408P11716
	Tipo: DDE6- 10B-PVC-/V/C-X31/1001FG
	Voltaje: 100/240 volts.
	Potencia: 19 watts
	Q: 6 lts/hora
	Presión: 10 bar.

Tabla 2-2: Información técnica de la bomba de diafragma 2 (cloruro férrico)

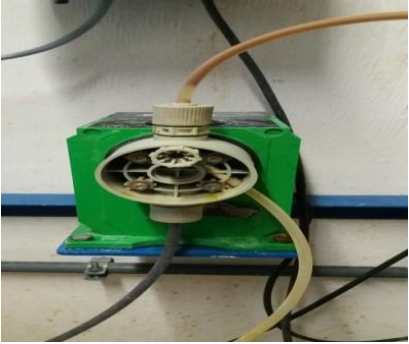
	Marca: Grundfos
	Tipo: DMI5-0-6B-PP/V/C-X-G133
	Voltaje: 220/240 volts
	Potencia: 0,01 KW
	Tipo: DMI5-0-6B-PP/V/C-X-G133F
	Q: 5 lts/hora
	Presión: 6 bar

Tabla 2-3: Información técnica de la bomba de diafragma 3 (ácido sulfúrico)

	Marca: Grundfos
	Modelo: A9772092810006978P11649
	Tipo: DDE-610BPVC/V/C-X-31/1001FG
	Voltaje: 100/220 volts
	Potencia: 19 watts
	Q: 6lts/hora
	Presión: 10 bar.

Tabla 2-4: Información técnica del sedimentador

	Fabricante: Fiberglass S.A
	Capacidad 5.000 litros
	Resina utilizada: Palatal a 400 barrera

Tabla 2-5: Información técnica de la bomba de impulsión


	Marca: Grundfos
	Tipo: CNR20
	Modelo: A97566728P31145
	Potencia: 7,5 KW
	Caudal (Q): 21m ³ /h
	Revoluciones: 2919 minuto ⁻¹
	Marca: Grundfos
	Modelo: MG132SB2-38FF265-H3
	Voltaje: 380-415/660-690 volts
Amperaje: 14,4- 14/8.30-8,10 A	
RPM: 2910/2920 minuto.	
Frecuencia: 60Hz	
Potencia: 7,5 KW.	

Tabla 2-6: Información técnica de filtros multivía carbón


	
	Nº de parte: ch33427
	Capacidad tanque: 999 litros
	Tamaño: 42x72
	Máxima presión 150
	Máxima temperatura: 150

Tabla 2-7: Información técnica de filtros multivía tricapa

	
	Serie: 2791001
	Nº de parte: CH34343
	Capacidad tanque: 999 litros
	Tamaño: 42x72
	Máxima presión: 150
Máxima temperatura: 150	

Tabla 2-8: Información técnica Microfiltro

	Marca: Metalúrgica Pucará
	Porta filtro: 12FE2
	Nº de elementos filtrantes: 12
	Material: AISI 304L

Tabla 2-9: Información técnica bomba de alta presión

	Marca: Grundfos
	Tipo: CNR32
	Modelo: A98098351P11145
	Potencia: 30 KW
	Caudal (Q): 30m ³ /h
	Revoluciones : 2947 minuto ⁻¹
	Marca: Siemens
	Modelo: 1LG6206-2AA91-Z
	400/690 volts
	Amperes: 53.5/31 A
RPM: 2960 minutos	

Tabla 2-10: Información técnica de membranas (osmosis inversa)



	Fabricante: Veolia
	Tubos de 8"
	495 PSI
	5° Celsius de operación

Tabla 2-11: Información técnica de estanque de 35.000 litros

	Fabricante: Fiberglass S.A
	Equipo: 996-TK-06
	Capacidad: 35 m3
	Peso específico: 1000 Kg/m3
	Resina utilizada: Palatal a 400 barrera
	Contenido: Agua potable

Tabla 2-12: Información técnica de PLC

	Marca: ALLEN BRADLEY
	Micrologix 1400
	Voltaje: 220-24 volts continuo

2.2 FALLAS DE LOS EQUIPOS DE LA PLANTA

Las fallas que ocurren a los equipos de la planta de osmosis inversa, son detectadas por el personal una vez que se evidencian ya sea por la detención total de la planta o por alguna consecuencia visible como filtraciones, derrames, etc.

La empresa que se encarga de la operación de la planta (Veolia), tiene como protocolo generar un "flash" (boletín informativo, ANEXO 1), cada vez que ocurre una falla en un equipo de la planta con alguna consecuencia en la producción y/o calidad y/o medio ambiente. Este boletín se envía a través de correo electrónico a la empresa mandante (Maricunga Kinross). De esta forma se recopiló la información de los eventos ocurridos en la planta.

La información recopilada muestra que hay equipos que han fallado por un solo motivo (un modo de falla) y otros equipos que tienen más de un modo de falla.

A continuación se presenta la tabla 2-13, con las fallas ocurridas a los equipos desde enero del 2017 a la fecha.

Tabla 2-13: Fallas ocurridas en la planta de osmosis inversa desde enero 2017 hasta octubre 2017.

EQUIPO	MODOS DE FALLA	Nº DE FALLAS
Bomba de alta presión	Rotura de sellos mecánicos	3
	Conexión eléctrica	1
Bombas de diafragma 1 (cloro)	Rotura de membrana	2
	Rotura de manguera	2
	Inyector sucio	1
Bomba de diafragma 2 (cloruro férrico)	Rotura de manguera	1
	Inyector sucio	1
Bomba de diafragma 3 (ácido sulfúrico)	Rotura de membrana	1
	Rotura de manguera	2
	Inyector sucio	1
Bomba de impulsión	Rotura de sellos mecánicos	4
	Conexión eléctrica	1
PLC	Contactos eléctricos sueltos	3
Microfiltro	Cartucho sucio	2
	Filtración de agua por tapa	3
Membrana	Acumulación de sedimentos en la membrana	1
Sedimentador	Falla en sensor de nivel	4
	Congelamiento de red de agua	2
Estanques de 35.000	Falla en sensor de nivel	5
Filtros de carbón	Congelamiento	1

2.3 PROCESAMIENTO DE LOS DATOS DE FALLAS DE EQUIPOS

A continuación se analizará la información de las fallas, a través de las herramientas gráficas diagrama de Pareto y Jack Knife, para lograr una jerarquización de los equipos y posteriormente realizar un análisis causa raíz a los equipos críticos.

2.3.1 Diagramas de Pareto

El diagrama de Pareto se realiza para visualizar el ranking de fallas y ver cuáles son los equipos que más contribuyen al total de fallas.

Primero se realiza un diagrama con los **equipos** en el eje "X" (gráfico 2-1) y a continuación un diagrama con los **modos de falla de los equipos** en el eje "X"(gráfico 2-2).

Tabla 2-14: Frecuencia de fallas por equipos de la planta de osmosis inversa.

Equipo afectado	N° DE FALLAS	FRECUENCIA DE FALLAS	FRECUENCIA DE FALLA ACUMULADA
Bomba diafragma	11	33,33%	33,33%
Sedimentador	6	13,33%	46,67%
Bomba de impulsión	5	11,11%	57,78%
Micro Filtro	5	11,11%	68,89%
T.K 35000	5	11,11%	80,00%
Bomba de Alta Presión	4	8,89%	88,89%
PLC	3	6,67%	95,56%
Filtro de Carbón	1	2,22%	97,78%
Membrana	1	2,22%	100,00%
TOTAL	41	100%	

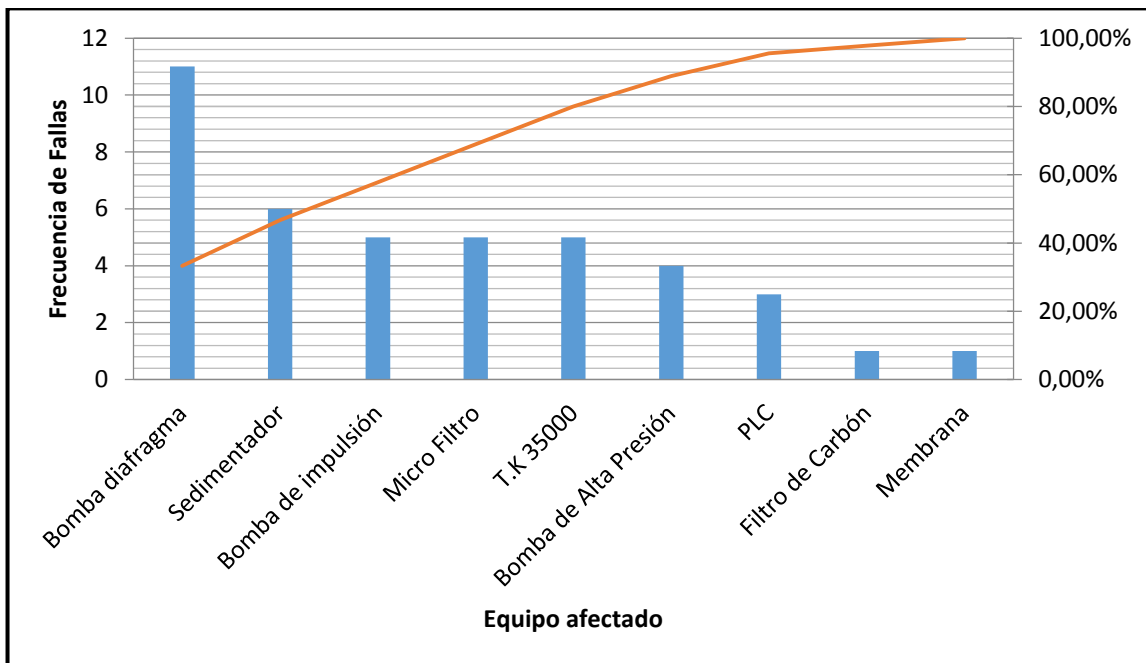


Gráfico 2-1: Diagrama de Pareto de la planta de osmosis inversa, por equipo afectado.

En el gráfico 2-1 se puede observar que 5 equipos de un total de 9 (~55%), contribuyen con un 80% al total de las fallas registradas. Éstos equipos son bomba de diafragma, sedimentador, bomba de impulsión, micro filtro y TK 35.000. A simple vista, no se cumple la regla de Pareto del 80/20. En este caso, el 55% de los factores es responsable del 80% de las fallas. Por lo tanto, como estrategia no será útil concentrarse en más de la mitad de los equipos para buscar solución al problema.

Utilizando la información de modos de falla, se realiza el gráfico 2-2.

Tabla 2-15: Frecuencias de falla por modos de falla, en la planta de osmosis inversa.

Equipo Afectado	Modo de Falla	Nº de fallas	Frecuencia de falla	Frecuencia de falla acumulada
TK 35.000	Falla en sensor de nivel TK35	5	12,20%	12,20%
Bomba de Impulsión	Rotura de sellos mecánicos BI	4	9,76%	21,95%
Sedimentador	Falla en sensor de nivel SD	4	9,76%	31,71%
Bomba de Alta Presión	Rotura de sellos mecánicos BAP	3	7,32%	39,02%
PLC	Contactos eléctricos sueltos PLC	3	7,32%	46,34%
Microfiltro	Filtración de agua por tapa MF	3	7,32%	53,66%
Bomba de diafragma 1	Rotura de membrana BD1	2	4,88%	58,54%
Bomba de diafragma 1	Rotura de manguera BD1	2	4,88%	63,41%
Bomba de diafragma 3	Rotura de manguera BD3	2	4,88%	68,29%
Microfiltro	Cartucho sucio MF	2	4,88%	73,17%
Sedimentador	Congelamiento de red de agua SD	2	4,88%	78,05%
Bomba de Alta Presión	Conexión eléctrica BAP	1	2,44%	80,49%
Bomba de diafragma 1	Inyector sucio BD1	1	2,44%	82,93%
Bomba de diafragma 2	Rotura de manguera BD2	1	2,44%	85,37%
Bomba de diafragma 2	Inyector sucio BD2	1	2,44%	87,80%
Bomba de diafragma 3	Rotura de membrana BD3	1	2,44%	90,24%
Bomba de diafragma 3	Inyector sucio BD3	1	2,44%	92,68%
Bomba de Impulsión	Conexión eléctrica BI	1	2,44%	95,12%
Membranas Osmosis Inversa	Acumulación de sedimentos en la membrana MOI	1	2,44%	97,56%
Filtro de Carbón	Congelamiento FC	1	2,44%	100,00%
	TOTAL	41	100%	

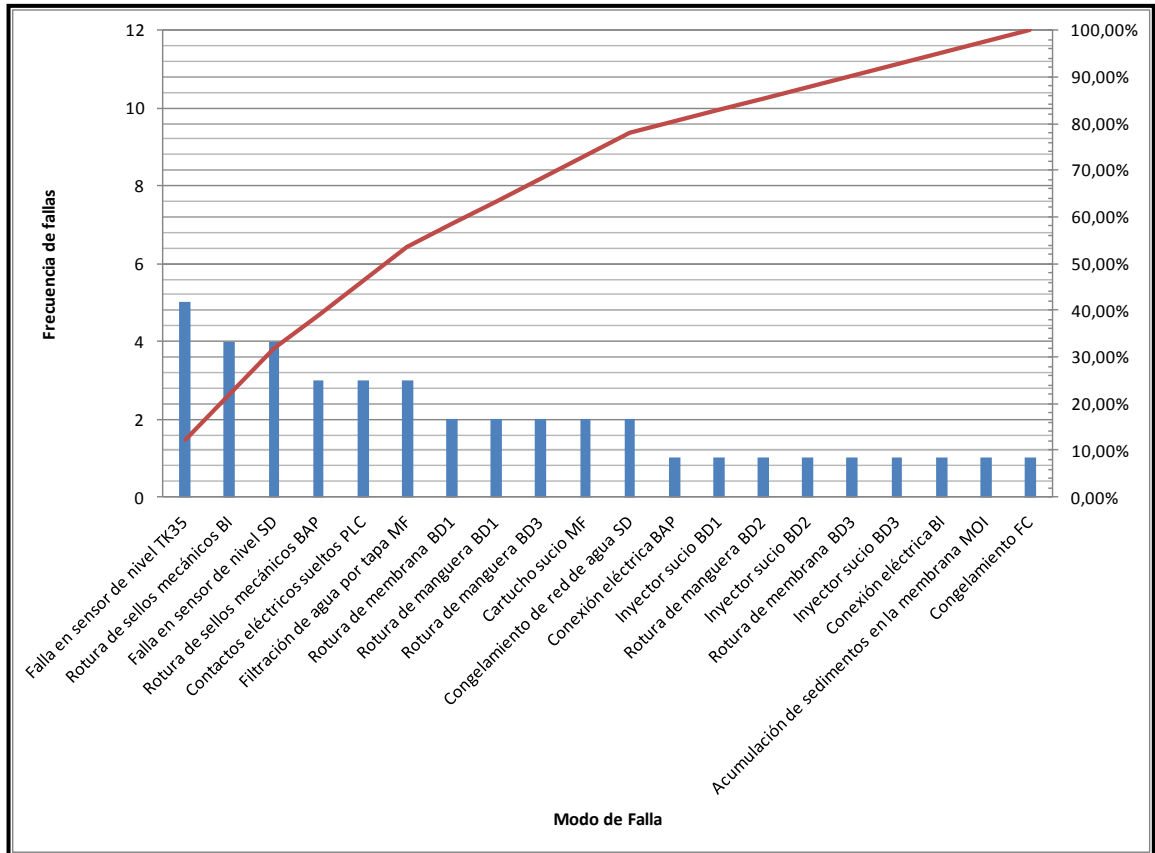


Gráfico 2-2: Diagrama de Pareto de la planta de osmosis inversa, por modo de falla.

En el gráfico 2-2, se puede observar que 12 modos de falla de un total de 20 (60%), generan el 80% de las fallas registradas. Nuevamente, más del 50% de los factores contribuyen al 80% del total. A pesar de haber detallado los modos de falla de los equipos de la planta, el diagrama de Pareto, en este caso, no permite acotar ni definir los focos principales a los cuales enfocar análisis más complejos para solucionar el problema.

Por lo tanto, en este contexto, surge la necesidad de incorporar mayor información para la jerarquización de los equipos, con el objetivo de definir claramente el foco de atención.

2.3.2 Diagrama de Jack Knife

El diagrama de Jack Knife es un método para analizar el tiempo de inactividad o indisponibilidad de equipos o sistemas usando diagramas de dispersión. La elaboración de este diagrama mantiene el esquema de clasificación de los diagramas de Pareto y a su vez aporta contenidos adicionales con respecto a la frecuencia de fallas y Tiempo Medio de Reparación (MTTR). Mediante la aplicación de valores límites, los diagramas de dispersión pueden ser divididos en cuatro cuadrantes que permiten que las fallas sean clasificadas en: Agudas, Crónicas, Agudas/Crónicas y Bajo Control.

Éste diagrama permite fácilmente la identificación de los problemas que afectan a la confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad del sistema o equipo.

Para complementar el gráfico, se traza la curva de isoindisponibilidad, que sirve para identificar los modos de falla que generan una indisponibilidad mayor a la planteada/esperada.

A continuación se analizarán los modos de falla de la planta de osmosis inversa mediante esta herramienta gráfica, para jerarquizar las fallas de los equipos y más adelante determinar las prioridades de mantenimiento.

En la siguiente tabla se muestra el cálculo del MTTR para cada modo de falla, lo que es la base para el trazado del gráfico Jack Knife.

Tabla 2-16: Cálculo del MTTR (Tiempo medio de reparación)

EQUIPO	MODOS DE FALLA	Nº DE FALLAS	DURACIÓN TOTAL (horas)	TIEMPO (%)	TIEMPO ACUMULADO (%)	MTTR (h)	LIMITE Nº	LIM. MTTR
Bomba de alta presión	Rotura de sellos mecánicos B.A.P.	3	12	11,21	11,21	4,0	2,1	2,7
	Conexión eléctrica B.A.P.	1	2	1,87	13,08	2,0	2,1	2,7
Bombas de diafragma 1	Rotura de membrana B.D.1	2	3	2,80	15,88	1,5	2,1	2,7
	Rotura de manguera B.D.1	2	2	1,87	17,75	1,0	2,1	2,7
	Inyector sucio B.D.1	1	2	1,87	19,62	2,0	2,1	2,7
Bomba diafragma 2	Rotura de manguera B.D.2	1	1	0,93	20,56	1,0	2,1	2,7
	Inyector sucio B.D.2	1	2	1,87	22,42	2,0	2,1	2,7
Bomba diafragma 3	Rotura de membrana B.D.3	1	1,5	1,40	23,83	1,5	2,1	2,7
	Rotura de manguera B. D. 3	2	2	1,87	25,70	1,0	2,1	2,7
	Inyector sucio B. D. 3	1	2	1,87	27,57	2,0	2,1	2,7
Bomba de impulsión	Rotura de sellos mecánicos B.I	4	12	11,21	38,78	3,0	2,1	2,7
	Conexión eléctrica B.I.	1	1,5	1,40	40,18	1,5	2,1	2,7
PLC	Contactos eléctricos sueltos PLC	3	6	5,61	45,79	2,0	2,1	2,7
Microfiltro	Cartucho sucio MF	2	4	3,74	49,53	2,0	2,1	2,7
	Filtración de agua por tapa MF	3	3	2,80	52,33	1,0	2,1	2,7
Membrana	Acumulación de sedimentos en la membrana MOI	1	3	2,80	55,14	3,0	2,1	2,7
Sedimentador	Falla en sensor de nivel SD	4	8	7,48	62,61	2,0	2,1	2,7
	Congelamiento de línea de agua SD	2	20	18,69	81,30	10,0	2,1	2,7
Estanques de 35.000	Falla en sensor de nivel TK35	5	10	9,35	90,65	2,0	2,1	2,7
Filtros de carbón	Congelamiento F.C.	1	10	9,35	100,00	10,0	2,1	2,7
	20	41	107	100,00		54,5		

En la tabla 2-16, las columnas "Nº de fallas" y "Duración Total (h)", corresponde a la información recopilada en terreno, obtenida de las ordenes de trabajo (OT), del equipo de apoyo a mantención.

La columna Tiempo (%), se refiere a la relación que cada modo de falla tiene respecto del total de tiempo fuera de servicio, en el lapso de tiempo estudiado (enero 2017 - octubre 2017).

La columna MTTR o "Tiempo medio de reparación", es calculado dividiendo la "duración total" por el "nº de fallas".

Las columnas "Límite N°" y "Límite MTTR", corresponden al promedio de Número de Fallas y promedio MTTR respectivamente.

A continuación se muestra el diagrama de Jack Knife, gráfico 2-3, construido para analizar los equipos y modos de falla de la planta de osmosis inversa.

En el gráfico Jack Knife se traza una curva de isoindisponibilidad de 11 horas, que corresponde al 10% de indisponibilidad total de los equipos durante los 10 meses. El total fue de 107 horas de no disponibilidad de los equipos por ese periodo de tiempo.

Tabla 2-17: Muestra los valores del trazado de la curva de Isoindisponibilidad del 10%.

CURVA ISO (D 10%)	
X	Y
1	11,0
2	5,5
3	3,7
4	2,8
5	2,2
6	1,8

Sobre esta curva se ubican 3 modos de falla: Congelamiento de la línea de agua del sedimentador, la rotura de sellos de la bomba de alta presión y la rotura de sellos de la bomba de impulsión.

En el gráfico se observa que en el **cuadrante Agudo** se ubican 3 modos de falla: Congelamiento del filtro de carbón, congelamiento de la línea de agua del sedimentador y acumulación de sedimentos en la membrana. Estas fallas involucran que los equipos estén detenidos o fuera de servicio por un tiempo prolongado, afectando el funcionamiento de la planta.

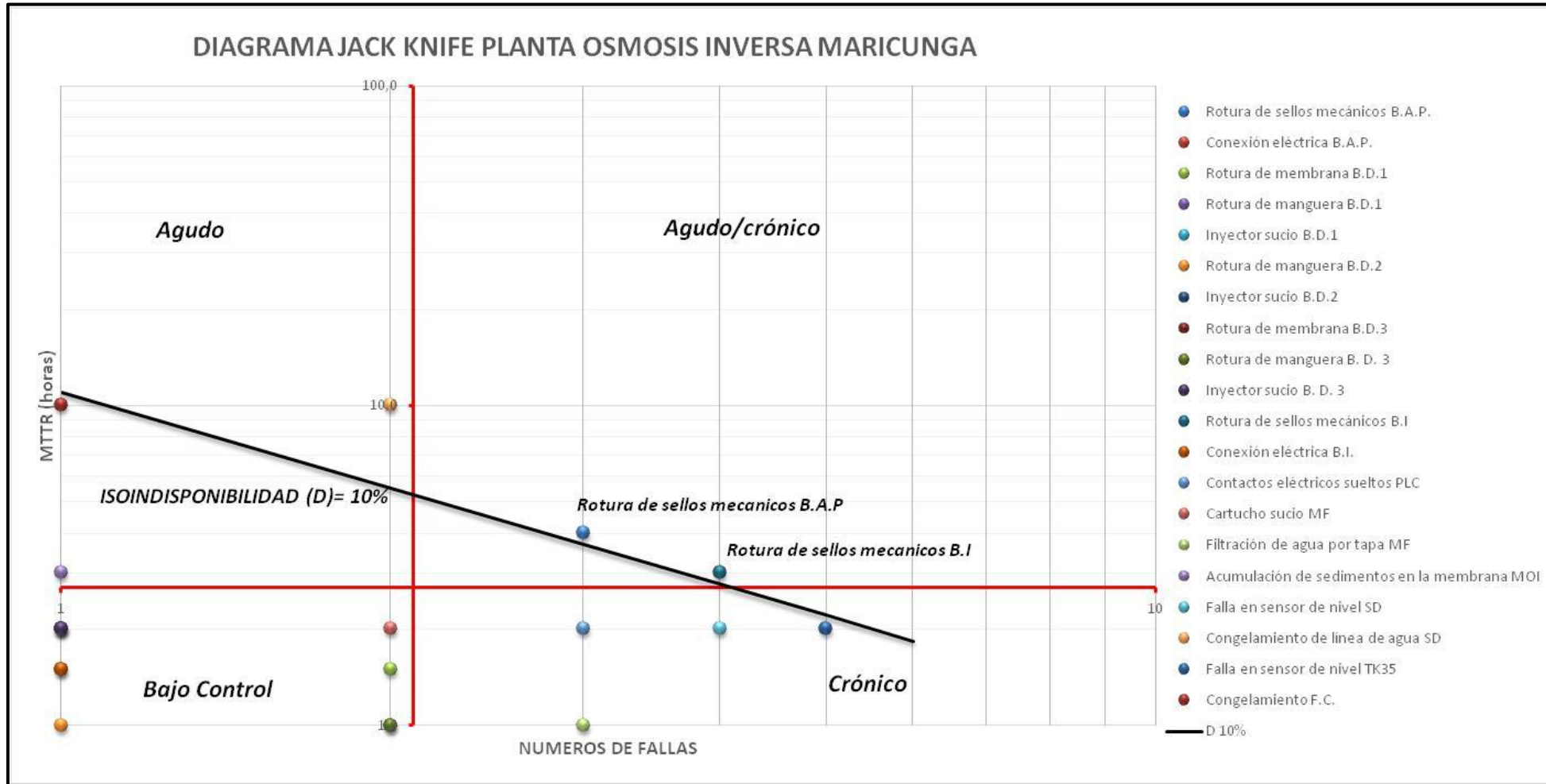


Gráfico 2-3. Diagrama de Jack Knife para las fallas de la planta de osmosis inversa

En el **cuadrante crónico**, se ubican 4 modos de falla, que son: Contactos eléctricos sueltos PLC, falla en sensor de nivel del sedimentador, falla en sensor de nivel del TK 35.000 y filtración de agua por tapa del microfiltro. Estas fallas son las más frecuentes, por lo tanto la confiabilidad es baja.

En el **cuadrante agudo-crónico**, se ubican 2 modos de fallas: Rotura de sellos mecánicos de la bomba de alta presión y rotura de sellos mecánicos de la bomba de impulsión. Este es el cuadrante crítico, en el cual se enfocará el posterior análisis causa-efecto.

2.4 DEFINICIÓN DE EQUIPOS CRÍTICOS

2.4.1 Clasificación de criticidad para los equipos de la planta

Como resultado del análisis de criticidad realizado con la herramienta gráfica Jack Knife, con base en la información de frecuencia de fallas y MTTR, se define la criticidad de los equipos de la planta de osmosis inversa, según se observa en la tabla 2-18.

Los equipos que están en el cuadrante agudo/crónico se definen como críticos.

Los equipos que están en el cuadrante agudo y en el cuadrante crónico, se definen como semi críticos

Los equipos en el cuadrante bajo control, no son críticos.

Tabla 2-18: Clasificación de criticidad por equipos de la planta.

EQUIPO	CRITICIDAD
Bomba de Alta Presión	Crítico
Bomba de Impulsión	Crítico
Sedimentador	Semi crítico
Filtro de Carbón	Semi crítico
Membranas de Osmosis Inversa	Semi crítico
Estanque 35.000	Semi crítico
PLC	Semi crítico
Microfiltro	Semi crítico
Bomba de Diafragma 1	Bajo Control
Bomba de Diafragma 2	Bajo Control
Bomba de Diafragma 3	Bajo Control

2.4.2 Análisis Causa-Efecto para los equipos críticos.

Realizada la jerarquización de los equipos, se hace necesario evaluar más acuciosamente los equipos clasificados como críticos, para identificar sus puntos débiles.

Cuando se identifica un problema en un equipo o componente, se utiliza el diagrama de causa efecto o diagrama de Ishikawa ya que es un instrumento eficaz para el análisis de las diferentes causas que ocasionan el problema. Esta herramienta consiste en poder visualizar las diferentes cadenas que pueden estar presentes en un problema, facilitando los estudios posteriores de evaluación del grado de aporte de cada una de estas causas.

El diagrama causa efecto (Ishikawa), simplifica la recopilación de las numerosas opiniones expresadas por el grupo de trabajadores sobre las posibles causas que generan el problema, en este caso, la rotura de los sellos mecánicos de la bomba de alta presión y de la bomba de impulsión. Esta técnica estimula la participación y aumenta el conocimiento de los participantes sobre el proceso que se estudia.

A continuación se analizarán las fallas: rotura de sellos mecánicos en la bomba de alta presión y en la bomba de impulsión. Éstas fallas se denominan fallas críticas de acuerdo al gráfico jack knife, por ser agudas-crónicas.

El método para completar las causas de la fallas en el diagrama, fue la lluvia de ideas. Esta actividad se realizó en conjunto con el equipo de operadores de la planta de osmosis inversa, donde cada persona involucrada en el análisis, aportó con ideas desde su conocimiento y experiencia en la planta.

El equipo de operadores de la planta que participaron en la lluvia de ideas son:

- Eugenio Germain de Ferrari, RUT: 7.042.346-4, Operador Planta.
- José Luis Rodríguez, RUT: 15.671.810-2, Operador Planta

Para la definición de las causas principales se utilizó el método de las "6M", que consiste en agrupar las causas en 6 familias principales que son: Mano de Obra, Método, Materiales, Maquinaria, Medio Ambiente y Medición.

- Mano de Obra: Todos los aspectos asociados a la gente, al personal, a la mano de obra. Una de las interrogantes frecuentes es ¿está capacitada la mano de obra?, ¿es el personal idóneo?.
- Método: Se evalúa la forma en la que se hacen las tareas. Al evaluar los métodos se mide si la forma en que se desarrollan las actividades está obteniendo resultados.

- **Materiales:** Se evalúa todo lo que tiene relación con los materiales e insumos de la planta, una de las interrogantes frecuentes es ¿es el repuesto adecuado para el equipo?.
- **Maquinaria:** Se trata de la infraestructura, todas las herramientas con las que contamos para dar salida al producto final. Una de las preguntas frecuentes es ¿tiene capacidad suficiente para cumplir su función?, ¿el mantenimiento es el adecuado?.
- **Medio ambiente:** Es el entorno con el que se trabaja, se debe conocer la existencia de patrones medioambientales que puedan afectar.
- **Medición:** Se requiere tener la disponibilidad de los instrumentos y la calibración de éstos. Deben estar establecidos los parámetros que se deben medir, presión, temperatura, longitud, etc.

A continuación se presenta el diagrama de ishikawa para el problema "Rotura de sellos mecánicos".

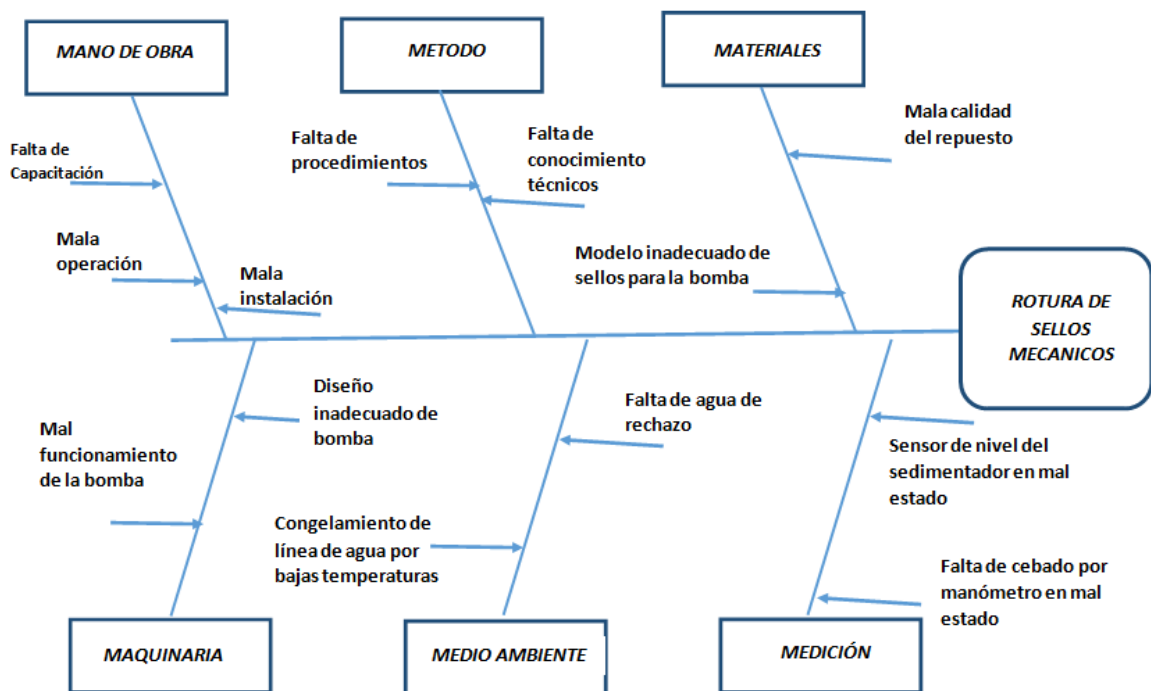


Diagrama 2-1: Diagrama de Ishikawa o causa-efecto, para análisis de la "rotura de sellos mecánicos" de bomba de impulsión y bomba de alta presión.

Validación o refutación de las causas que producen la rotura de los sellos mecánicos de la bomba de impulsión y de la bomba de alta presión.

A continuación se realiza el análisis de validación o refutación de las ideas surgidas en la actividad con los operadores. De esta manera se establecerá cuál de todas las posibles causas en la correcta

Mano de Obra:

- Falta de capacitación: Todos los operadores de la planta tienen una amplia experiencia en operación y han sido capacitados. Por lo tanto esta idea se refuta.
- Mala operación: El operador no incide en el funcionamiento de la bomba porque la planta está automatizada. Esta idea se refuta.
- Mala instalación: Se objeta, ya que las bombas están montadas de acuerdo al procedimiento y al manual del fabricante.

Método

- Falta de procedimientos: Existen procedimientos de operación junto con el manual del fabricante de la planta y se aplican, por lo tanto se objeta esta idea.
- Falta de conocimientos técnicos: Esta causa es injustificada, debido a que existe información técnica y manual de operación entregado por el fabricante.

Materiales

- Modelo inadecuados de sellos para la bomba: Esta causa es refutada, ya que los sellos mecánicos son proporcionadas por el fabricante.
- Mala calidad de los repuestos: Esta causa se objeta, ya que los sellos son originales. No se usan sellos alternativos.

Maquinaria

- Mal funcionamiento de la bomba: Es injustificado, ya que el equipo opera en forma correcta con las presiones de acuerdo al manual.
- Diseño inadecuado de la bomba: Esta idea se refuta, porque la bomba fue seleccionada de acuerdo a ingeniería y fue montada por el fabricante.

Medio Ambiente

- Falta de agua de rechazo: Se refiere a falta de agua en la red. Esta causa se valida, ya que los operadores la nombran en forma reiterada.
- Congelamiento de línea de agua por bajas temperaturas: Esta idea se refuta, porque existe cinta calefactora y aislación térmica en la red.

Medición

- Falta de cebado en bomba por manómetro en mal estado: Esta causa es injustificada ya que existe un cebado en forma automática en el equipo.
- Sensor de nivel del sedimentador en mal estado: Esta causa fue la más nombrada por el equipo de operadores que participo en la lluvia de ideas, debido a que este componente se encuentra en el interior del sedimentador bajo condiciones climáticas extremas, expuesto al sedimento del agua, enviando señales erróneas al PLC. La consecuencia de esto es que las bombas de impulsión y bomba de alta presión trabajan sin carga es decir sin agua y en consecuencia los sellos se rompen por falta de lubricación.

CAPÍTULO 3: PLAN DE MANTENIMIENTO

3 PLAN DE MANTENIMIENTO

3.1 DEFINICIÓN DEL TIPO DE MANTENIMIENTO A REALIZAR

Para llevar a cabo el plan de mantenimiento, se realizarán tareas de mantenimiento correctivo y preventivo.

Cada tipo de mantenimiento tiene ventajas y desventajas y su correcta y eficiente aplicación dependerá de las condiciones existentes, del contexto en que se encuentre el sistema/equipo a mantener.

El mantenimiento en la Planta de Osmosis Inversa se enfocará en los modos de falla ya observados, en el periodo de enero a octubre del año en curso, en cada equipo de la Planta de Osmosis Inversa.

3.1.1 Mantenimiento correctivo.

Este mantenimiento es aquel en que sólo se interviene el equipo después de su falla. Su principal objetivo es poner rápidamente en funcionamiento el sistema/equipo, sin analizar mayormente el porqué de la falla. Se realiza un cambio de piezas para la restitución de su función. La ventaja de este tipo de mantenimiento para ciertos equipos, sería que se aprovecha el máximo de la vida útil de los repuestos. La desventaja es que si el equipo es crítico en la línea de producción, los tiempos de reparaciones largos podrían afectar la productividad.

En la Planta de Osmosis Inversa, se continuará con el mantenimiento correctivo para la bomba de impulsión (BI), bomba de alta presión (BAP) y con las membranas de osmosis inversa (MOI).

Según el fabricante de los sellos de las bombas (BI y BAP), Grundfos, no existe un tiempo determinado para cambiarlos, ya que depende de la buena operación del equipo, es decir, trabajar dentro de las presiones, temperaturas y tipo de fluido adecuado. Por lo tanto, los sellos pueden fallar después de 1 día de ser reemplazados o después de años. Dada la incertidumbre en la vida útil de este repuesto, lo más adecuado es tenerlos en stock y reponerlos cuando fallen.

Con respecto a las membranas, se les realizará tareas de mantenimiento preventivo (limpiezas o flushing) y el cambio de pieza será una vez que falle. Esto dependerá de la calidad del agua que ingresa a ellas y no se tiene información histórica para presuponer un tiempo promedio de vida útil en base a un análisis estadístico. Por lo tanto será adecuado reaccionar posterior a la falla.

3.1.2 Mantenimiento preventivo

Este mantenimiento es un conjunto de actividades que tienen como objetivo la disminución o eliminación de las reparaciones, con tal de asegurar la disponibilidad y rendimiento de los equipos y/o sistemas al menor costo posible.

El mantenimiento preventivo se lleva a cabo realizando actividades de inspección o chequeo y cambio de piezas.

La inspección consiste en revisar un elemento con la visión, oído y manos. Se puede desmontar parcial o totalmente el elemento para llevar a cabo la revisión.

Por otro lado, el cambio de piezas se realiza cuando éstas no cumplan con los requisitos de funcionamiento del equipo y/o sistema, o también cuando cumpla su vida útil según el fabricante, de manera de reducir su riesgo de falla.

El mantenimiento preventivo también incluye al mantenimiento rutinario, conjunto de técnicas que sin llegar al desmontaje de los equipos los conserva en el mejor estado posible por medio de engrases, limpiezas, reaprietes, sustituciones periódicas, etc.

Para tener éxito con el mantenimiento preventivo, será de suma importancia la definición de los periodos de inspección, ya que un periodo muy corto traerá costos innecesarios, mientras que un periodo muy largo aumentará el riesgo de falla. Además, en algunos casos la detención del equipo y/o sistema puede traer pérdidas significativas y realizar un desmontaje e inspección de un equipo que funciona correctamente puede ser excesivo. Luego, la correcta programación de las actividades será la clave del éxito o fracaso del plan de mantenimiento.

Por lo tanto, el mantenimiento preventivo se aplicará cuando éste sea económicamente rentable frente a uno de tipo correctivo. En algunas situaciones es posible que se dé la situación contraria, pero es frecuente que una falla en algún componente conduzca a deterioros y fallas en otros elementos del sistema.

En la Planta de Osmosis Inversa se hará mantenimiento preventivo a todos los equipos, excepto a algunas partes de los equipos mencionados en el mantenimiento correctivo. El objetivo del mantenimiento preventivo será evitar los modos de falla eliminando o mitigando los factores que influyen en la ocurrencia de las fallas.

Utilizando las recomendaciones del fabricante y las recomendaciones de los expertos (operadores de la planta), se definirán las tareas específicas de mantenimiento para cada equipo.

3.2 DEFINICIÓN DE TAREAS DE MANTENIMIENTO

Para cada equipo de la planta de osmosis se realizarán las tareas de mantenimiento definidas a continuación:

- **Inspección visual:** Consiste en una revisión visual del componente o equipo, para verificar que estén en buen estado. Para todos los equipos esta actividad será diaria. La inspección diaria se traduce en una ronda de recorrido por toda la planta, actividad que tendría una duración aproximada de 30 minutos.
- **Chequeo o inspección completa:** Consiste en realizar una revisión del componente o equipo a través de herramientas manuales y/o instrumentos para verificar el buen funcionamiento de éste.
Esta actividad será de frecuencia mensual en los equipos críticos y permitirá recopilar información sobre algunas piezas importantes de los equipos. El chequeo consistirá en un desarme total o parcial.
En caso de encontrar una pieza defectuosa en el chequeo se hará un cambio de repuesto.
En el caso de encontrar piezas sueltas, se realizará un reapriete.
- **Cambio de repuesto:** Consiste en el reemplazo de repuestos según el manual del fabricante.
- **Limpieza:** Consiste en mantener el componente o equipo libres de sedimentos, aceites, grasas, etc., que dificulten el buen funcionamiento de este, como por ejemplo, envío de señales erróneas de los equipos electrónicos, tales como sensores de nivel y pH o lecturas erróneas de manómetros. La limpieza es una tarea de mantenimiento rutinario.
- **Reapriete:** Esta actividad también forma parte de un mantenimiento rutinario. Consiste en apretar tuercas y pernos que se pueden ir soltando sistemáticamente con las vibraciones de los equipos. Esta actividad es especialmente importante en los componente eléctricos ya que se puede traducir en pérdida del contacto eléctrico.

Tabla 3-1: Plan matriz de mantenimiento para los equipos críticos de la Planta de osmosis Inversa

PLAN MATRIZ DE MANTENIMIENTO										
PLANTA	Osmosis Inversa 12,5 Operaciones Mina									
EQUIPOS	Críticos									
Sistema	Equipos	Tareas de Mantenimiento	Frecuencia	Nº PERS	Especialidad	DURACION	Herramientas & Instrumentos	Repuestos	Cantidad	
Planta de Osmosis Inversa	Bomba de alta Presión B. A.P	Actividades								
		Chequeo eléctrico al motor	1 vez x mes	1	Eléctrico	1 Hora	H. Manuales / Tester		0	
		Chequeo a conexiones eléctricas	1 vez x mes	1	Eléctrico	1 Hora	H. Manuales / Tester		0	
		Inspección de sellos mecánicos	1 vez x mes	1	Mecánico	0,5 Hora			0	
		Inspección de cañerías por posible fugas	1 vez x día	1	Mecánico	1 Hora				
		Cambio de Repuestos								
	Cambio de rodamientos	1 vez x cada 4 meses	2	Mec/ Eléct.	3 Horas	H. Manuales / Tester	Rodamientos	2		
	Cambio de sellos mecánicos	a la falla	2	Mec/ Eléct.	3 Horas	H. Manuales / Tester	S. Mecánicos	1		
	Bomba de Impulsión B. I	Actividades								
		Chequeo eléctrico al motor	1 vez x mes	1	Eléctrico	1 Hora	H. Manuales / Tester		0	
		Chequeo a conexiones eléctricas	1 vez x mes	1	Eléctrico	1 Hora	H. Manuales / Tester		0	
		Inspección de sellos mecánicos	1 vez x mes	1	Mecánico	0,5 Hora			0	
Inspección de cañerías por posible fugas		1 vez x día	1	Mecánico	0,5 Hora			0		
Cambio de Repuestos										
Cambio de rodamientos	1 vez x cada 4 meses	2	Mec. / Eléct.	3 Horas	H. Manuales / Tester	Rodamientos	2			
Cambio de sellos mecánicos	a la falla	2	Mec. / Eléct.	3 Horas	H. Manuales / Tester	S. Mecánicos	2			

Tabla 3-2: Plan matriz de mantenimiento para los equipos semi críticos de la Planta de osmosis Inversa

PLAN MATRIZ DE MANTENIMIENTO										
PLANTA	Osmosis Inversa 12.5 Operaciones Mina									
EQUIPOS	Semi críticos									
Sistema	Equipos	Tareas de Mantenimiento	Frecuencia	Nº PERS	Especialidad	DURACION	Herramientas & Instrumentos	Repuestos	Cantidad	
Planta de Osmosis Inversa	Sedimentador SD	ACTIVIDADES								
		Limpieza de sensor de nivel e insp.conex. Eléct.	2 veces x mes	1	Eléctrico	2 Horas	H. Manuales/ Tester		0	
		Chequeo a conex. de cinta calefact.	1 vez x semana	1	Eléctrico	1 Hora	H. Manuales/ Tester			
		Inspección de estado de cañerías y aislación ter.	1 vez x día	1	Mecánico	1 Hora			0	
	Filtro de carbón F.C	ACTIVIDADES								
		Inspección visual de flanges y cañerías	1 vez x semana	1	Mecánico	0,5 Hora	H. Manuales		0	
		Limpieza a manómetros	1 vez x mes	1	Mecánico	2 Horas	H. Manuales		0	
	Filtro multivia tricapa F.M.T	ACTIVIDADES								
		Inspección de flanges y cañerías	1 vez x semana	1	Mecánico	1 Hora	H. Manuales		0	
		Limpieza de manómetros	1 vez x mes	1	Mecánico	1 Hora	H. Manuales		0	
	Membranas MOI	ACTIVIDADES								
		Limpieza de membranas (Flushing).	1 vez x día	1	Mecánico	0,5 Hora	H. Manuales		0	
		Limpieza y reapriete de tablero eléctrico	1 cada 2 meses	1	Eléctrico	1 Hora	H. Manuales/ Tester		0	
		Inspección de cañerías por posibles fugas	1 vez x día	1	Mecánico	0,5 Hora	H. Manuales		0	
		Limpieza a sensores PH, conductímetros, Transmisor De presión y manómetros.	1 vez x mes	2	Mec. / Eléct.	2 Horas	H. Manuales/ Tester		0	
		Cambio de Repuestos								
	Membranas semi permeable de 16x8"	a la falla	2	Mec. / Eléct.	3 Horas	H. Manuales/ Tester	Mem. 8"	16		
Estanque de 35.000 L TK-35	ACTIVIDADES									
	Limpieza a sensores de nivel	1 vez x mes	1	Eléctrico	1 Hora	H. Manuales/ Tester		0		
	Limpieza a manómetros	1 vez x mes	1	Mecánico	1 Hora	H. Manuales/ Tester		0		
	Inspección visual de cañerías por posibles fugas	1 vez x día	1	Mec. / Eléct.	1 Hora	H. Manuales/ Tester		0		
PLC	ACTIVIDADES									
	Limpieza y reapriete de componentes eléctricos	1 vez x cada 2 meses	1	Eléctrico	1 Hora	H. Manuales/ Tester		0		
Microfiltro MF	Cambio de Repuestos									
	Cambio de filtros	1 vez x semana	1	Mecánico	2 Hora	H. Manuales	Filtros tipo cartucho	12		
	Actividades									
	Limpieza externa e interna de carcasa	1 vez x 2 meses	1	Mecánico	1 Hora	H. Manuales		0		

Tabla 3-3: Plan matriz de mantenimiento para los equipos bajo control de la Planta de osmosis Inversa

PLAN MATRIZ DE MANTENIMIENTO									
PLANTA	Osmosis Inversa 12.5 Operaciones Mina								
EQUIPOS	Bajo control								
Sistema	Equipos	Tareas de Mantenimiento	Frecuencia	Nº PERS	Especialidad	DURACION	Herramientas & Instrumentos	Repuestos	Cantidad
Planta de Ososmosis Inversa	Bomba diafragma 1 B.D 1	ACTIVIDADES							
		Chequeo de membrana	1 vez x mes	1	Mecánico	0,5 Hora	H. Manuales		0
		Chequeo de inyectores	1 vez x mes	1	Mecánico	0,5 Hora	H. Manuales		0
		Chequeo eléctrico al motor y conexiones eléctricas	1 vez x mes	1	Eléctrico	0,5 Hora	H. Manuales/ Tester		0
		Inspección por posibles fugas	1 vez x día	1	Mecánico	0,5 Hora	H. Manuales		0
		CAMBIO DE REPUESTOS							
		Cambio de membrana	1x cada 4 meses	1	Mecánico	1 Hora	H. Manuales	Membrana	1
		Cambio de mangueras	1x cada 3 meses	1	Mecánico	1 Hora	H. Manuales	Manguera 4/62m	2 Mts
		Cambio de inyectores	1x cada 6 meses	1	Mecánico	1 Hora	H. Manuales	Inyector	1
		Bomba diafragma 2 B.D 2	ACTIVIDADES						
	Chequeo de membrana		1 vez x mes	1	Mecánico	0,5 Hora	H. Manuales		0
	Chequeo de inyectores		1 vez x mes	1	Mecánico	0,5 Hora	H. Manuales		0
	Chequeo eléctrico al motor y conexiones eléctricas		1 vez x mes	1	Eléctrico	0,5 Hora	H. Manuales/ Tester		0
	Inspección por posibles fugas		1 vez x día	1	Mecánico	0,5 Hora	H. Manuales		0
	CAMBIO DE REPUESTOS								
	Cambio de membrana		1x cada 4 meses	1	Mecánico	1 Hora	H. Manuales	Membrana	1
	Cambio de mangueras		1x cada 3 meses	1	Mecánico	1 Hora	H. Manuales	Manguera 4/62m	2 Mts
	Cambio de inyectores		1x cada 6 meses	1	Mecánico	1 Hora	H. Manuales	Inyector	1
	Bomba diafragma 3 B.D.3		ACTIVIDADES						
		Chequeo de membrana	1 vez x mes	1	Mecánico	0,5 Hora	H. Manuales		0
		Chequeo de inyectores	1 vez x mes	1	Mecánico	0,5 Hora	H. Manuales		0
		Chequeo eléctrico al motor y conexiones eléctricas	1 vez x mes	1	Eléctrico	0,5 Hora	H. Manuales/ Tester		0
		Inspección por posibles fugas	1 vez x día	1	Mecánico	0,5 Hora	H. Manuales		0
		CAMBIO DE REPUESTOS							
Cambio de membrana		1x cada 4 meses	1	Mecánico	1 Hora	H. Manuales	Membrana	1	
Cambio de mangueras		1x cada 3 meses	1	Mecánico	1 Hora	H. Manuales	Manguera 4/62m	2 Mts	
Cambio de inyectores		1x cada 6 meses	1	Mecánico	1 Hora	H. Manuales	Inyector	1	

3.4 **COSTOS**

En este capítulo se analizarán los costos de implementar el plan de mantenimiento. Esto conlleva analizar los costos de los repuestos que se deberán mantener en stock, los costos de las capacitaciones a los operadores que se desempeñarán como mantenedores y los costos de la mano de obra.

3.4.1 Repuestos

En la tabla 3-5 se presentan los costos asociados a la mantención de repuestos en stock, para 1 año.

El costo total se ha calculado en \$2.868.500, suponiendo que se hace necesario el cambio de membrana de osmosis inversa y cambio de sellos mecánicos de las BI y BAP.

Tabla 3-5: Costos de repuestos para mantener en stock. Valor UF del 01/01/2018 \$26.799.

DESCRIPCIÓN	VALOR U/KIT	CANTIDAD ANUAL REQUERIDA	VALOR NETO TOTAL (CLP)	VALOR NETO (UF)
Junta de cabezal dosificador, v/v de succión, membrana, v/v de inyección, set de conectores	\$ 52.500	3	\$ 157.500	\$ 5,88
5 mts de tubo flexible de aspiración y presión 4/6 2m	\$ 6.000	5	\$ 30.000	\$ 1,12
Rodamientos 6208-6209	\$ 14.000	2	\$ 28.000	\$ 1,04
RodamientoS 6206-6207	\$ 5.500	2	\$ 11.000	\$ 0,41
Kit de filtros (48 F) POLYKLEAN	\$ 96.000	12	\$ 1.152.000	\$ 42,99
Membrana semi permeable 16x 8"	\$ 80.000	16	\$ 1.280.000	\$ 47,76
Sellos mecánicos	\$ 130.000	1	\$ 130.000	\$ 4,85
Sellos mecánicos	\$ 80.000	1	\$ 80.000	\$ 2,99
		TOTAL	\$ 2.868.500	\$ 107,04

3.4.2 Capacitaciones

En la tabla 3-6 se muestra el costo asociado a las capacitaciones que deberán tener los operadores.

Los operadores tienen especialidades de electricidad y mecánica, por lo cual el objetivo de la capacitación será principalmente la introducción al plan de mantenimiento, para que comprendan el objetivo que se persigue y para que conozcan la programación anual. Se considera que para comenzar la implementación será suficiente 16 horas de capacitación (2 jornadas).

El costo calculado suma un total de \$608.352.

Tabla 3-6: Costos asociados a la capacitación del personal. Valor UF del 01/01/2018 \$26.799.

COSTOS DE CAPACITACION HH	CANTIDAD HORAS	COSTO (CLP)	COSTO (UF)
Supervisor	16	\$ 274.464	\$ 10,24
Mantenedor Eléctricista	16	\$ 166.944	\$ 6,23
Mantenedor Mecánico	16	\$ 166.944	\$ 6,23
Total		\$ 608.352	\$ 22,70

3.4.3 Mano de Obra

El costo de la mano de obra para cumplir con el Plan de mantenimiento durante el año 2018, se muestra en la tabla 3-7.

Se considera que habrá un supervisor en turno 4x3, 1 mantenedor eléctrico por turno 7x7 y 1 mantenedor mecánico por turno 7x7.

Los operadores que actualmente se desempeñan en la operación de la planta, serán los encargados de ejecutar el plan de mantenimiento. Éstos cumplirán con ambas funciones, operación y mantención.

Tabla 3-7: Costos asociados a la mano de obra. Valor UF del 01/01/2018 \$26.799.

COSTOS DE MANO DE OBRA	N° DE PERSONAS	COSTO EMPRESA SALARIO MENSUAL	TOTAL ANUAL (CLP)	TOTAL ANUAL (UF)
Supervisor	1	1.750.000	\$ 21.000.000	\$ 783,61
Mantenedor Eléctricista	2	1.225.000	\$ 29.400.000	\$ 1.097,06
Mantenedor Mecánico	2	1.225.000	\$ 29.400.000	\$ 1.097,06
Total			\$79.800.000	\$ 2.977,72

3.4.4 Comparación de costos

En la tabla 3-8 se muestra el costo de implementación de 1 año del Plan de Mantenimiento para la Planta de Osmosis Inversa.

Tabla 3-8: Costo total implementación plan de mantenimiento 1 año.

COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN AÑO 2018	COSTO (CLP)	COSTO (UF)
Repuestos en stock	\$ 2.868.500	\$ 107,04
Capacitación del personal	\$ 608.352	\$ 22,70
Total Implementación Plan de Mantenimiento	\$ 3.476.852	\$ 129,74

En el cálculo del costo total de implementación del Plan de Mantenimiento para el año 2018, no se incluye el costo de la mano de obra indicado en la tabla 3-7, ya que este precio actualmente se desembolsa en la operación de la planta.

Si el programa de mantenimiento de 1 año resulta efectivo (se deberá evaluar), el costo de los repuestos se repetiría para el segundo año de implementación (más porcentaje IPC). Por otro lado, el costo de la capacitación solo sería para el primer año.

De acuerdo a lo analizado en la problemática (Capítulo 1.2.2), el costo o pérdida por las detenciones de la planta de osmosis inversa durante el año 2017 (de enero a octubre), fue de \$6.480.000. Además, el costo indirecto de las HH del equipo de apoyo a mantención asciende a \$912.528. Por lo tanto, el total de pérdida por las detenciones de la planta de osmosis inversa durante el año 2017 fue de \$6.480.000 + \$ 912.528 = \$7.392.528.

En consecuencia, implementar el plan de mantenimiento el primer año versus los costos por detenciones de la planta en un año, significa un 47% de ahorro o disminución de costos. Esto corrobora la efectividad de implementar un plan de mantenimiento en la planta de osmosis inversa.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Para finalizar con el presente trabajo de titulación, a continuación se exponen las conclusiones obtenidas y se propondrán recomendaciones para la continuidad en el tiempo del plan de mantenimiento de la Planta de Osmosis Inversa.

Como conclusiones, se ha determinado que:

- Se ha conocido cabalmente el funcionamiento de la Planta de Osmosis Inversa de Operaciones Mina a través de la observación del proceso productivo.
- La Planta de Osmosis Inversa presenta en la actualidad un problema de ausencia absoluta de un plan de mantención.
- Se analizaron los modos de falla de este último año (enero a octubre 2017) a través de herramientas gráficas.
- El diagrama de Pareto no es adecuado para el análisis de las fallas ya que integra poca información.
- El diagrama de Jack Knife resulta ser el más adecuado en este caso para analizar los modos de falla de los equipos de la planta, ya que involucra el tiempo medio de reparación y hace una jerarquización más asertiva para los equipos.
- Existen 2 componentes críticos que son los sellos mecánicos de la bomba de impulsión y los sellos mecánicos de la bomba de alta presión.
- A través del diagrama causa-efecto se logra identificar que los sellos mecánicos fallan por causa del mal funcionamiento de los sensores del sedimentador.
- Existen 7 equipos semi críticos y 2 bajo control.
- Se propone un Plan de Mantenimiento donde se ha identificado que equipos y componentes hay que abordar y de qué manera, para mantener en buenas condiciones la planta.
- En este plan de mantenimiento es adecuado implementar actividades correctivas y preventivas. Las correctivas consistirán en cambio de piezas o repuestos cuando fallen, aprovechando toda su vida útil, por sus altos

costos. Las actividades preventivas se realizarán de acuerdo a programa realizado con base en recomendaciones del fabricante y de los expertos (operadores de la planta)

- Implementar este Plan de mantenimiento es económicamente rentable ya que significa un ahorro de un 47% en comparación con los gastos del año 2017 producto de las detenciones de la planta.

Como recomendaciones, se propone:

- Se debe realizar una evaluación del primer año de implementación del Plan de Mantenimiento, para abordar todos los aspectos mejorables.
- Todas las desviaciones deben ser controladas.
- Se debe mantener la información de las fallas de la planta guardadas y los datos deben ser lo más fiable posibles ya que posteriormente servirán para realizar nuevos análisis y complementar el presente análisis.
- A futuro se propone incorporar más variables al análisis de criticidad y eventualmente lograr realizar un análisis del ciclo de vida de los equipos. Esto, para completar las etapas de una buena gestión del mantenimiento, según lo han definido los expertos.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

1. MOUBRAY, John. RCMII Mantenimiento centrado en Confiabilidad. Aladon LLC Edición en español 2004
2. VIVEROS, Pablo et al. Propuesta de un modelo de gestión del mantenimiento y sus principales herramientas de apoyo
3. VEOLIA WATER, Manual de Operaciones y Mantenimiento Proyecto L1906-01,
4. PISTARELLI, Alejandro. Manual del Mantenimiento Industrial.

ANEXOS

ANEXO 1

REPORTE FLASH DE INCIDENTES**KINROSS** Maricunga

Fecha: 14-06-2017	Hora: 18:30 hrs. aprox.	Lugar: RO 12.5 Óp.- Mina
Empresa : VEOLIA	Superintendencia: RRHH	Área: INDUSTRIAL

Descripción:

AL revisar planta se encuentra funcionando en modo automático con rebalse de agua industrial en el Sedimentador.
 Planta se detiene y se controla fuga de agua.
 Problema se produce por congelamiento de la línea de agua producto entre la salida de planta y los TK, dado que cinta calefactora dejó de funcionar al parecer por corte de energía eléctrica producido durante la noche en el sector.

Consecuencia:

- Derrame de agua industrial, aproximadamente 3 m³
- Detención de la planta.

Acción Inmediata:

- Se informa a supervisión Veolia.
- Se informa a Jefe de campamento CMM.
- Se solicita apoyo personal eléctrico para reestablecer cinta calefactora.
- Se procede a descongelamiento de línea.



LA SEGURIDAD REQUIERE EL INVOLUCRAMIENTO DE TODOS, **SI NO ES SEGURO HAZLO SEGURO**

REPORTE FLASH DE INCIDENTES**KINROSS** Maricunga

Fecha: 01-09-2017	Hora: 11:00 hrs. aprox.	Lugar: RO Óp. Mina
Empresa : VEOLIA	Superintendencia: RRHH	Área: Industrial

Descripción: Al realizar revisión de sistema hidráulico de planta para la realización de retro lavado y puesta en marcha de planta, operador encuentra fuga de agua en bomba de alimentación, al realizar una inspección mas específica, se encontró que fuga provenía de falla de sello mecánico. Esta falla se provoco debido a trabajo en vacío de bomba por bajo caudal de agua de entrada a planta.

Consecuencia:

- TK con un 10 % de llenado.
- Detención de la planta Óp.. Mina.
- Cierre Casino (alimentación) Operaciones Mina

Acción Inmediata:

- Se informa a supervisión Veolia.
- Se informa a Jefe de campamento CMM.
- Se informa a Dep. de calidad ESS.



LA SEGURIDAD REQUIERE EL INVOLUCRAMIENTO DE TODOS, **SI NO ES SEGURO HAZLO SEGURO**

REPORTE FLASH DE INCIDENTES**KINROSS** Maricunga

Fecha: 02-05-2017	Hora: 11:00 hrs. aprox.	Lugar: RO Óp. Mina
Empresa : VEOLIA	Superintendencia: RRHH	Área: Industrial

Descripción: En mantención semanal se implementos de bombas dosificadoras de plantas, al realizar la limpieza y posterior puesta de inyector de cloruro férrico, al estar realizando apreté de inyector en collarín de línea, este se rompe y queda sin reparación.

Consecuencia:

- Rotura de inyector bomba cloruro férrico.
- Detención planta osmosis Óp.. Mina
- Paralización de labores de alimentación en casino.

Acción Inmediata:

- Se informa a supervisión Veolia de esta falla.
- Se informa a Jefe de campamento CMM.
- Se cambia un inyector nuevo.
- Medición de agua por alto concentración de Arsénico.
- Se informa a Calidad ESS.



LA SEGURIDAD REQUIERE EL INVOLUCRAMIENTO DE TODOS, **SI NO ES SEGURO HAZLO SEGURO**

REPORTE FLASH DE INCIDENTES**KINROSS** Maricunga

Fecha: 14-07-2017	Hora: 10:45 hrs. aprox.	Lugar: RO Óp. Mina
Empresa : VEOLIA	Superintendencia: RRHH	Área: Industrial

Descripción: Al poner en funcionamiento planta 12,5 para probar descongelamiento de línea permeado. Se encuentra que línea de permeado se encuentra desacoplada y con americana y rota en exterior de planta. Esta línea es de Acero Carbono. TK mantiene un 30 % de almacenamiento de agua permeada.

Consecuencia:

- Caída a piso de agua potable (30 m3).
- Se detiene planta RO para reparación de la línea.

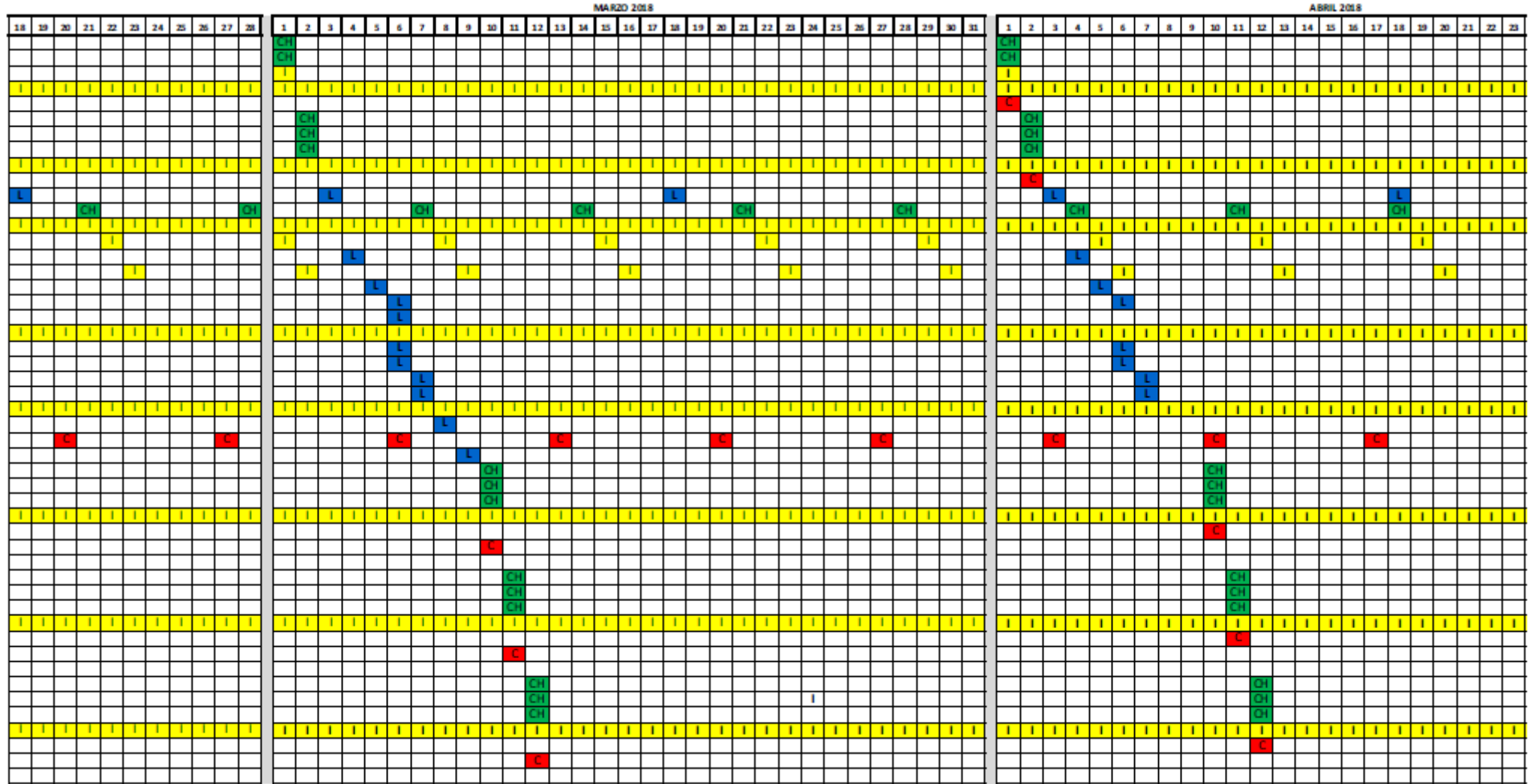
Acción Inmediata:

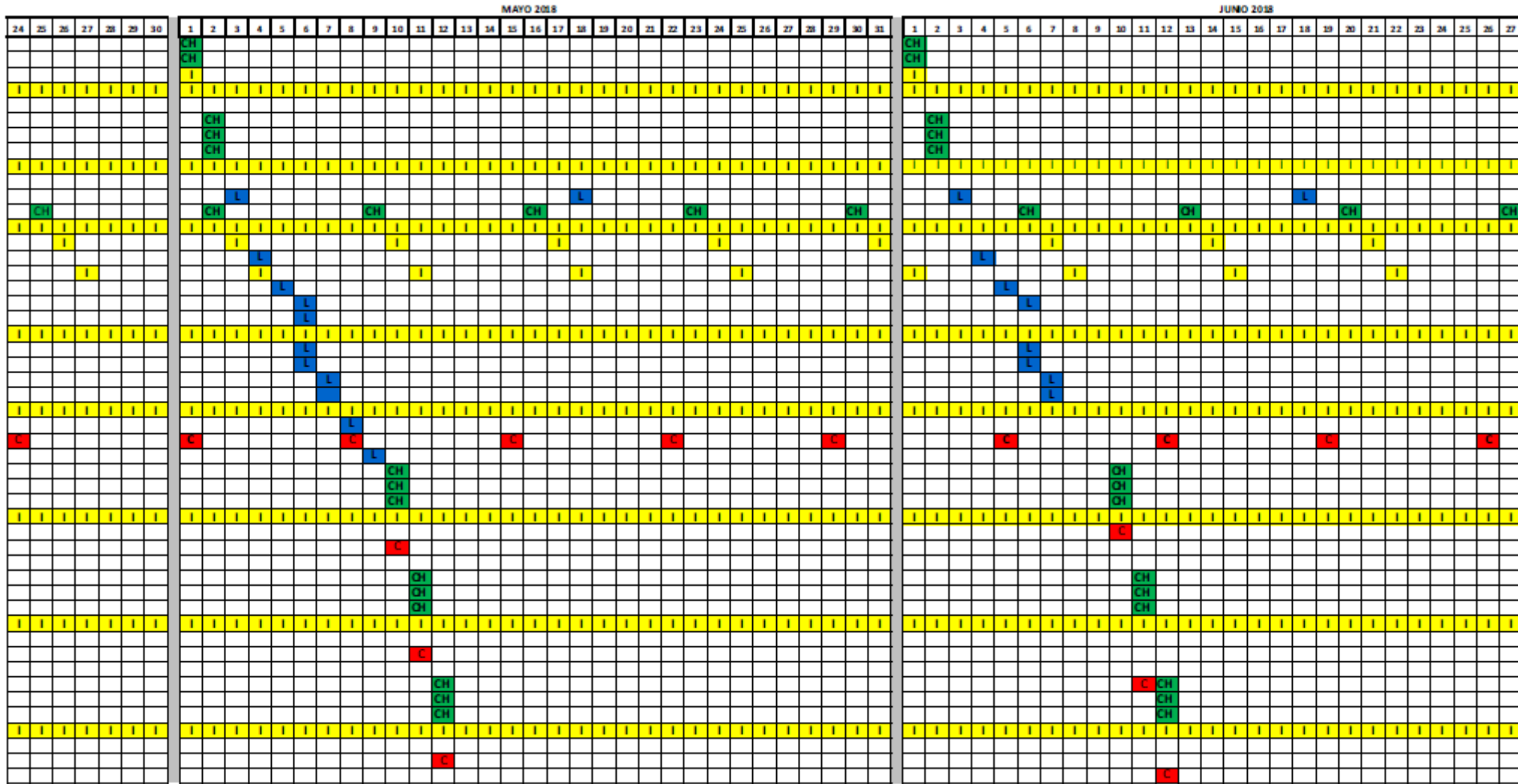
- Se informa a supervisión Veolia de esta falla.
- Se informa a Jefe de campamento CMM.

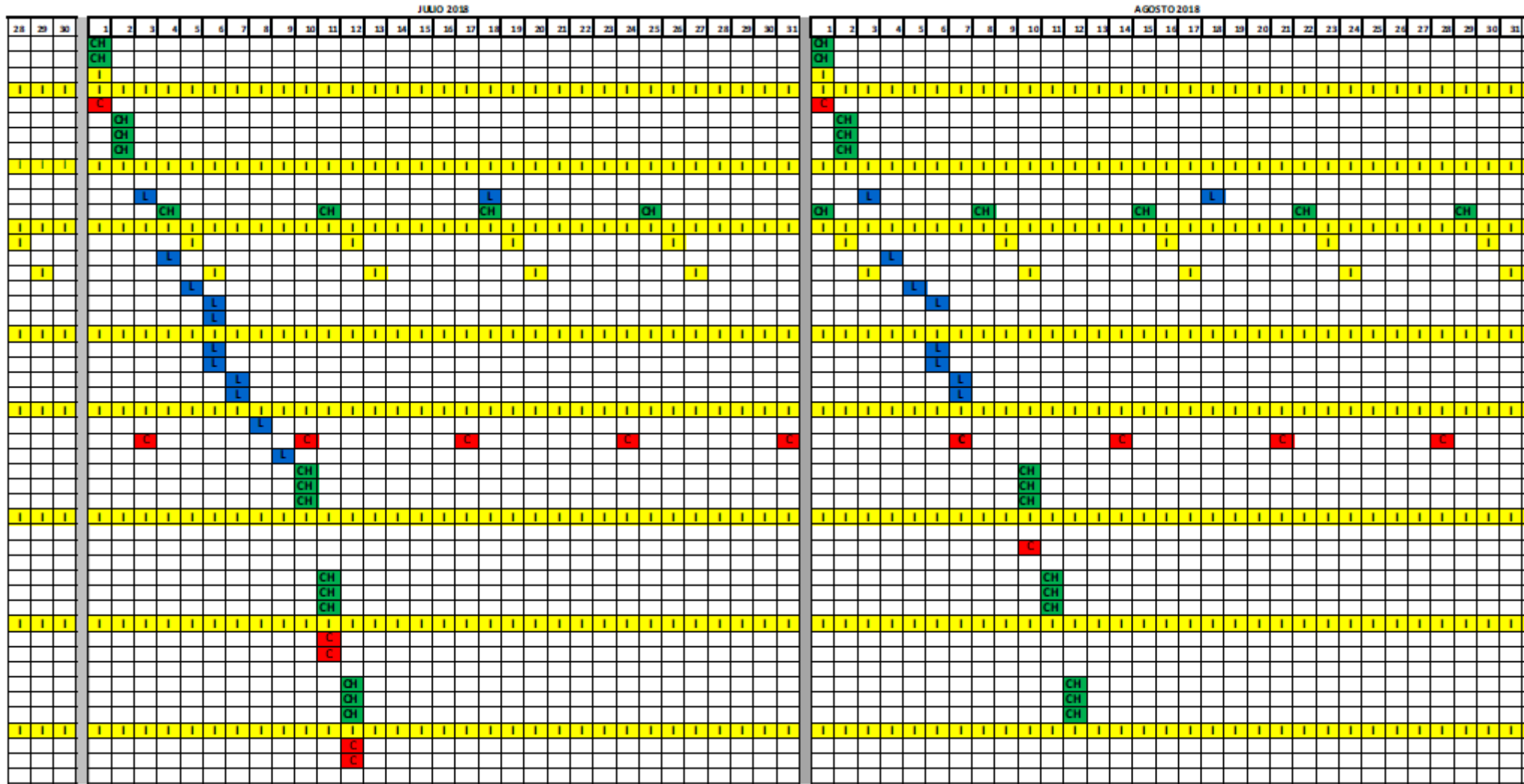


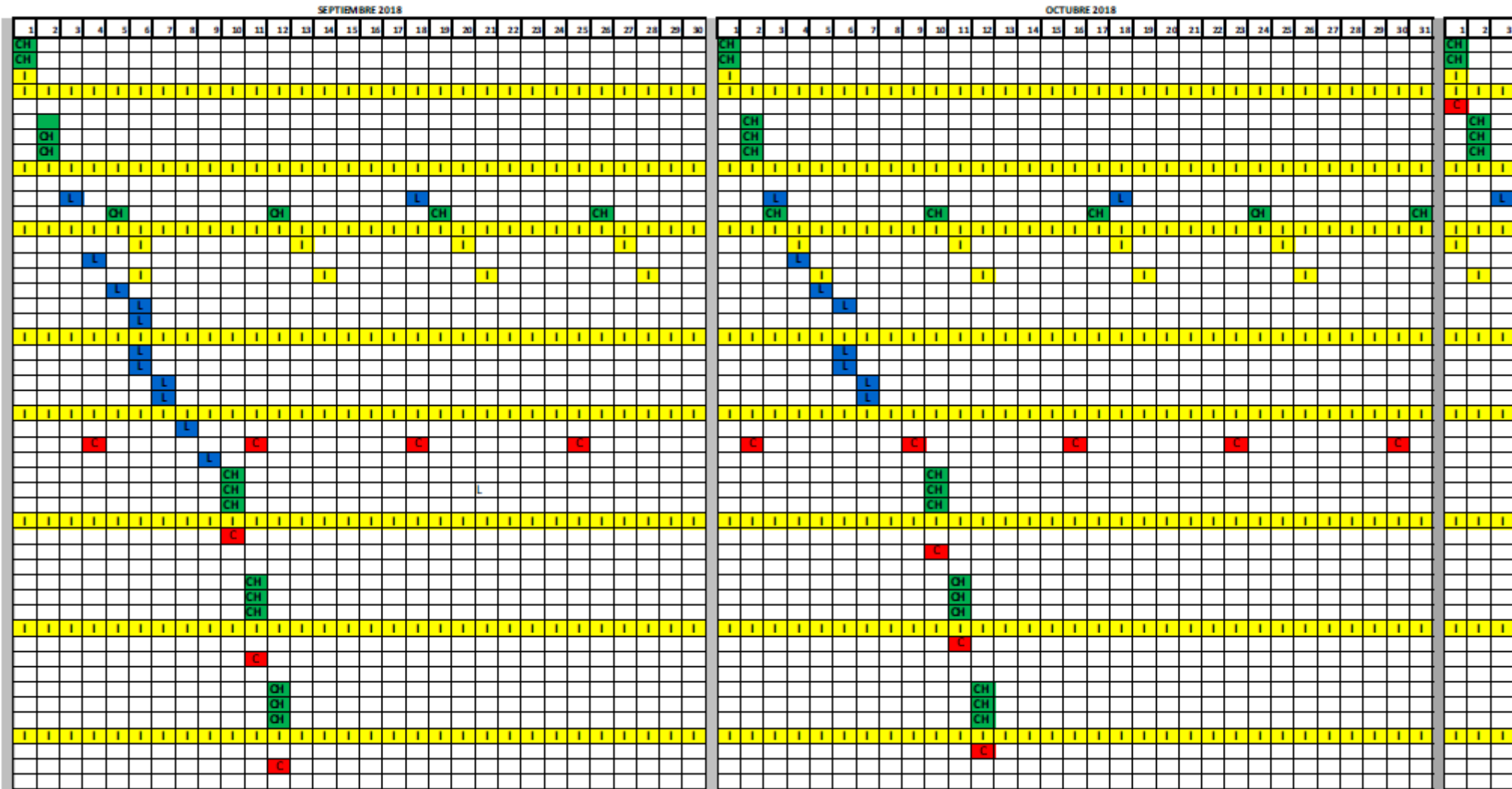
LA SEGURIDAD REQUIERE EL INVOLUCRAMIENTO DE TODOS, **SI NO ES SEGURO HAZLO SEGURO**

ANEXO 2









ANEXO 3

