



UNIVERSIDAD **DE ATACAMA**

FACULTAD DE INGENIERIA

**DISEÑO Y PROGRAMACION DE PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN
LA CRITICIDAD PARA PLANTA DE FILTRADO DE RELAVES DE
ATACAMA KOZAN**

**Trabajo de titulación presentado en conformidad a los requisitos para obtener el
título de Ingeniero de Ejecución en Electricidad**

Profesor guía: José Gómez Vega

**Juan Roberto Flores Núñez
Rodrigo Alberto Sepúlveda Cortés**

Copiapó, Chile 2022

AGRADECIMIENTOS

A mis Padres, María Núñez y Roberto Flores quienes fueron pilar fundamental y apoyo emocional en el proceso que culmino y en la nueva etapa de mi vida que estoy comenzando con mis nuevos desafíos en la parte académica y profesional.

En especial quiero agradecer al profesor José Gómez y al profesor Christian Zurita por darme la asesoría y aconsejarme en el desarrollo de este trabajo de titulación, en especial por dedicar profesionalismo llevando los estándares de esta Universidad.

Juan Roberto Flores Núñez

AGRADECIMIENTOS

Agradezco A mi madre Yessica Cortés y a mi padre Juan Sepúlveda por darme la fuerza para alcanzar mis objetivos y apoyarme en cada paso que doy en esta vida.

También agradecer al profesor José Gómez por orientarme en el desarrollo de este proyecto y también en todos los años que he estado estudiando en esta Institución; primero como Tecnólogo en Electricidad y ahora como Ingeniero de Ejecución en Electricidad, esperando a enfrentarme a nuevos desafíos que me ayuden a formarme como especialista de esta área.

Finalmente, quisiera agradecer a todas las personas, dentro y fuera de la Universidad que me apoyaron en mi formación profesional.

Rodrigo Alberto Sepúlveda Cortés

INDICE

AGRADECIMIENTOS	I
RESUMEN	XI
ABSTRACT	XII
CAPITULO I INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivos.....	3
1.1.1 Objetivo General	3
1.1.2 Objetivos Específicos	3
1.2 Metodología de Trabajo.....	3
CAPITULO II MARCO TEORICO	5
2.2 Requerimientos de información para mantenimiento	7
2.3 Normativa para ejecución de mantenimiento	8
2.3.1 ISO 50001.....	8
2.3.2 ISO 55000 Gestión de Activos	11
2.3.3 ISO 13374 sobre Monitoreo de condición y diagnóstico de máquinas....	11
2.3.4 ANSI TAPPI TIP 0305-34: 2008	12
2.4 Antecedentes del depósito de filtrados.....	13
2.5 Operación del Depósito de Relaves para efectuar el cierre del tranque de relaves.....	14
2.6 Fundamento del problema	15
CAPITULO III LEVANTAMIENTO DE PROCESO	17
3.1 Descripción General del Proyecto.....	17
3.2 Instalaciones existente del relave ducto	18
3.3 Inspección de planta en sus sistemas, subsistemas y componentes.....	19
3.4 Espesador HD.....	20
3.5 Unidad hidráulica.....	21
3.6 Motor de la rastra	24
3.7 Bombas de Descarga Espesador	25
3.8 Bombas de Agua recuperada	26
3.9 Equipos de Filtrado	27
3.10 Bombas de alimentación a filtros.....	28
3.11 Filtros cerámicos	29
3.12 Motor del eje de giro de los filtros	30

3.13	Agitadores de la cuba del filtro	31
3.14	Lavado por ultrasonido	32
3.15	Bombas de reimpulsión de agua filtrada	33
3.16	Bombas de vacío	34
3.17	Bombas de vacío auxiliares	35
3.18	Bomba vertical de piso	36
3.19	Transporte del queque desde Filtros.	37
3.20	Motor de la correa transportadora CV-16	39
3.21	Tren de bombas de impulsión de agua clara	40
3.22	Filtro Auto limpiante posicionado en la Línea de proceso TK05	42
3.22.1	Principio de Funcionamiento	43
3.23	Planta de Floculante	45
CAPITULO IV ANALISIS DE LA FILOSOFIA DE CONTROL		47
4.1	Filosofía de control	47
4.2	Definición de control automático	47
4.3	Modos de Operación	48
4.3.1	Típicos de Control de Motores	49
4.4	Típicos de Control de Válvulas Neumáticas	52
4.5	Alarmas	53
4.5.1	Prioridad de Alarmas	54
4.5.2	Grupo de Alarmas	55
4.6	Enclavamientos y Permisivos	57
4.6.1	Enclavamientos, Fallas y Permisivos	57
4.6.2	Enclavamientos de Proceso	57
4.6.3	Enclavamientos de Seguridad	58
4.7	Permisos De Partida	59
4.8	Falla Partidor	60
4.9	Control Operacional	60
4.9.1	Reimpulsión de Relaves a Planta de Filtrado en sala de control	60
4.9.2	Espesador de Relaves y Planta Floculante	62
4.9.3	Descarga/Recirculación del espesador de la planta de relaves	63
4.9.4	Etapas de Recirculación en secuencia de operación para alimentación de planta.	64
4.10	Control de Nivel estanque alimentación filtros cerámicos	65

4.11 Cambio a circuito stand-by (ejecución del operador de terreno)	65
4.12 LOOP de Alimentación filtros cerámicos	66
4.13 Filtros Cerámicos	67
4.14 Control de Nivel Cuba Filtro Cerámico (A Futuro Con Válvulas Pinch) ...	68
4.15 Agua Filtrada.....	68
4.15.1 Filtro 1, 2 y 3	68
4.16 Agua A Planta Concentradora.....	69
4.16.1 Control de Nivel Estanque Agua de Proceso	69
4.16.2 Control Manual Bombas de traspaso agua proceso a tanque Agua Limpia.....	69
4.17 Impulsión.....	70
4.18 Espesador.....	71
4.19 Estanque alimentación a filtros.....	72
4.20 Filtros cerámicos	73
4.21 Estanques de recuperación de aguas	74
4.22 Operación	75
4.23 Monitoreo	76
CAPITULO V EVALUACION UTILIZANDO METODOS ESTADÍSTICOS	77
5.1 Descripción de cada PEM	77
5.1.1 PEM 1	77
5.1.2 PEM 2	77
5.1.3 PEM 3	78
5.1.4 PEM 4	78
5.1.5 PEM 5	78
5.1.6 PEM 6	79
5.1.7 PEM 7	79
5.1.8 PEM 8	79
5.1.9 PEM 9	80
5.1.10 PEM 10.....	80
5.2 Análisis causa y efecto	82
5.3 Determinando la causa raíz de la problemática	83
CAPÍTULO VI EJECUCION DE LOS INDICADORES TALES DE LOS EQUIPOS EVALUADOS EN CADA PUESTA EN MARCHA	85
6.1 Análisis de Pareto.....	85

CAPÍTULO VII DISEÑO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA CRITICIDAD.....	89
7.1 Modelos de riesgo (risk assessment techniques).....	89
7.2 Risk Priority Number (RPN)	92
7.3 Método cuantitativo (Disponibilidad/Confiabilidad/Mantenibilidad).....	94
7.4 El análisis de dispersión Jack knife	97
7.4.1 Fallas agudas.....	105
7.4.2 Fallas crónicas	105
7.5 Desarrollo de planes de mantenimiento a los equipos críticos.....	107
CONCLUSIONES	113
BIBLIOGRAFÍA	115
ANEXOS	116
Anexo A: Programa de mantenimiento planta de concentrado	116
Anexo B: Registro de fallas del departamento eléctrico	116
Anexo C: Secuencia lógica de la planta de filtrado.....	117
Anexo D: Parámetros de espesador.....	118
Anexo E: Operación de filtros cerámicos.....	118
Anexo F: Ajustes de frecuencia de VDF en planta de floculantes.....	119
Anexo G: Diagrama eléctrico de compresor posicionado en plata de acido	119
Anexo H: Gabinete para bloqueo de CV-16 en sala eléctrica.....	120
Anexo I: Planilla de comisionamiento CV-16	120

INDICE DE FIGURAS

Figura N° 1.1:Deposito de relaves a planta mina AK.....	2
Figura N° 2.1: Mapa Geográfico AK.	13
Figura N° 2.2: Cotas.	14
Figura N° 2.3: Terrazas la planta.....	15
Figura N° 2.4: Planta de relaves filtrados.	16
Figura N° 3.1: Esquema del proceso.	18
Figura N° 3.2: Esquema de la línea del relave ducto.	19
Figura N° 3.3: Ingreso a planta.	19
Figura N° 3.4: Espesador de relaves.	20
Figura N° 3.5: Unidad hidráulica.....	22
Figura N° 3.6: Motor de la rastra.....	24
Figura N° 3.7: PP-08 y PP-09.	25
Figura N° 3.8: Estación de bombas.	26
Figura N° 3.9: Planta de relaves filtrados.	27
Figura N° 3.10: PP-10 y PP-11.	28
Figura N° 3.11: Filtro cerámico.....	29
Figura N° 3.12: Motor eje filtro cerámico.....	30
Figura N° 3.13: Agitador cerámico 1,2 y 3.....	31
Figura N° 3.14: Lavado ultrasonido independiente filtro 1, 2 y 3.	32
Figura N° 3.15: PP-25.	33
Figura N° 3.16: Bomba principal de vacío filtro 1.....	34
Figura N° 3.17: Bomba Auxiliar de vacío filtro 3.	35
Figura N° 3.19: Descarga de correa transportadora.	37
Figura N° 3.20: Disposición de obras.	38
Figura N° 3.21: motor CV-16.	39
Figura N° 3.22: Estación de bombas.	40
Figura N° 3.23: Filtro auto limpiante.....	42
Figura N° 3.24: Filtro auto limpiante.	43
Figura N° 3.25: Planta de floculante.	46
Figura N° 4.1: Enclavamiento impulsión de relaves.	70
Figura N° 4.2: Lazos de control espesador de relaves.	71
Figura N° 4.3: Lazos de control estanque alimentación filtros	72

Figura N° 4.4: Lazos de control filtro cerámico.....	73
Figura N° 4.5: Lazos de control estanque agua de procesos.....	74
Figura N° 4.6: Lazos de control estanque agua limpia.....	75
Figura N° 5.1: Tiempos efectivos de operación.....	81
Figura N° 5.2: Diagrama Toma de Decisión.	83
Figura N° 7.1: Matriz de Riesgo.....	91
Figura N° 7.2: Variables de Análisis Cuantitativo.....	95
Figura N° 7.3: Clasificación de Fallas.	99
Figura N° 7.4: Diagrama de Jack Knife.....	105
Figura N° 7.5: Plan de Mantenimiento de la correa cv-16.	110
Figura N° 7.6: Plan de Mantenimiento de la Planta floculante.....	111
Figura N° 7.7: Plan de Mantenimiento de laPP10-PP11.	112

INDICE DE TABLAS

Tabla N° 2.1: Comparación de una empresa sin y con SEG.	10
Tabla N° 3.1: Parámetros de Operación.	18
Tabla N° 3.2: Parámetros de espesador	21
Tabla N° 3.3: Unidad hidráulica.	23
Tabla N° 3.4: Motor de unidad hidráulica.	23
Tabla N° 3.5: Motor de la rastra.	24
Tabla N° 3.6: Parámetros PP-08 y PP-09.	25
Tabla N° 3.7: Parámetros PP-16 y PP-17.	26
Tabla N° 3.8: Parámetros PP-20 y PP-21.	27
Tabla N° 3.9: Parámetros PP-10 y PP-11.	28
Tabla N° 3.10: Parámetros de filtros cerámicos.	29
Tabla N° 3.11: Parámetros de motor de los ejes filtros cerámicos 1,2 y 3.	30
Tabla N° 3.12: Parámetros de motor de los ejes filtros cerámicos.	31
Tabla N° 3.13: Parámetros PP-25, PP-26 y PP-27.	33
Tabla N° 3.14: Parámetros Bombas principales de vacío Filtro 1, 2 y 3.	34
Tabla N° 3.15: Parámetros Bombas Auxiliares de vacío Filtro 1, 2 y 3.	35
Tabla N° 3.16: Bomba vertical sumidero.	36
Tabla N° 3.17: Parámetros de la cinta transportadora.	37
Tabla N° 3.18: Parámetros de la cinta transportadora.	39
Tabla N° 3.19: Parámetros PP-14 y PP-15.	41
Tabla N° 3.20: Parámetros PP-18 y PP-19.	41
Tabla N° 3.21: Parámetros de filtro auto limpiante.	42
Tabla N° 3.22: Componentes de la planta de floculante.	46
Tabla N° 5.1: PEM efectuadas hasta la fecha.	81
Tabla N° 5.2: Ponderación.	84
Tabla N° 6.1: Estudio la frecuencia de fallas en los equipos.	86
Tabla N° 6.2: Porcentaje de Fallas.	87
Tabla N° 7.1: Ponderaciones.	90
Tabla N° 7.2: Ranking.	93
Tabla N° 7.3: Planta Floculante.	93
Tabla N° 7.5: Coordenadas de Grafico de Dispersión.	104
Tabla N° 7.6 de definición de equipos críticos de planta de filtrado de relaves.	109

INDICE DE ECUACIONES

(Ec. N° 7.1) Ecuación de Riesgo.....	89
(Ec. N° 7.2) Ecuación de impacto de posible falla.....	89
(Ec. N° 7.3) Ecuación de N° de prioridad del riesgo	92
(Ec. N° 7.4) Ecuación de tiempo medio de reparación	98
(Ec. N° 7.5) Ecuación de frecuencia a la falla	98
(Ec. N° 7.6) Ecuación de tiempo medio entre fallas	98
(Ec. N° 7.7) Ecuación de indisponibilidad.....	99
(Ec. N° 7.8) Numero de fallas	99
(Ec. N° 7.9) Ecuación de curvas iso-indisponibilidad	99
(Ec. N° 7.10) De Tiempo medio de reparación por equipo	100
(Ec. N° 7.11) Ecuación de frecuencia Relativa	101
(Ec. N° 7.12) Ecuación de frecuencia acumulada	101
(Ec. N° 7.13) Ecuación para frecuencia a la falla para la ordenada x.....	102
(Ec. N° 7.14) Intervalos de operación de la ordenada x.....	102
(Ec. N° 7.15) Ecuación de mantenibilidad.....	102
(Ec. N° 7.16) Intervalos de operación de la ordenada x a las 10 HRS.....	102
(Ec. N° 7.17) Ecuación de indisponibilidad a las 10 HRS evaluada en x1.....	102
(Ec. N° 7.18) Ecuación de indisponibilidad a las 10 HRS evaluada en x2.....	103
(Ec. N° 7.19) Ecuación de indisponibilidad a las 40 HRS evaluada en y2.....	103
(Ec. N° 7.20) Ecuación de indisponibilidad a las 20 HRS evaluada en y1.....	103
(Ec. N° 7.21) Ecuación de indisponibilidad a las 80 HRS evaluada en y1.....	104
(Ec. N° 7.22) Ecuación de indisponibilidad a las 80 HRS evaluada en y2.....	104

RESUMEN

Durante inicios del año 2020 se entrega por parte de Vendor al cliente Atacama Kozan la planta de relaves filtrados ubicada en la Quebrada el Gato, con el objetivo de mantener la continuidad operacional de la planta de concentrado por un periodo de 15 años. A partir de la entrega de la planta de relaves, surgieron una serie de inconvenientes de operación que captaron la atención de la compañía. Uno de esos inconvenientes, es el que da origen a este trabajo de titulación y va enfocado al estudio de la puesta en marcha de la planta.

Este trabajo de titulación propone el diseño de un plan de mantenimiento basado en criticidad para la planta de relaves filtrados, la cual en estos momentos se encuentra en puesta en marcha lo que imposibilita que se pueda realizar un mantenimiento clásico, ya que falta evaluar con el estándar de confiabilidad por la carencia de datos histórico. En base a esto los resultados obtenidos se realizan en consecuencia de la criticidad de los equipos.

Se realiza un estudio de la secuencia de operación, la cantidad de equipos involucrados en el proceso y los datos estadísticos obtenidos en un periodo que comprende desde el 18 de abril hasta el 18 de octubre con los datos de las fallas obtenidas en puesta en marcha.

Se utilizaron herramientas tales como un análisis de Pareto para identificar el 80% del 20% de fallas incidentes de los equipos y se rectificara el análisis con un diagrama de dispersión para identificar la criticidad operacional. En base a esos resultados se entrega al cliente Atacama Kozan un plan de mantenimiento enfocado a la criticidad de operación para lograr la continuidad operacional y salir del periodo de puesta en marcha.

**PLANTA DE RELAVE FILTRADO - MANTENIMIENTO- SECUENCIA DE
OPERACIÓN - DESCRIPCION DE COMPONENTES - ANALISIS DE
MANTENIMIENTO EN BASE A LA CRITICIDAD**

ABSTRACT

During the beginning of 2020, Vendor delivered to the client Atacama Kozan the filtered tailings plant located in Quebrada el Gato, with the aim of maintaining the operational continuity of the concentrate plant for a period of 15 years. After the delivery of the tailings plant, a series of operating problems arose that caught the company's attention. One of these inconveniences is the one that gives rise to this titling work and is focused on the study of the start-up of the plant.

This titling work proposes the design of a maintenance plan based on criticality for the filtered tailings plant, which is currently in operation, which makes it impossible for classical maintenance to be carried out, since it is still necessary to evaluate with the reliability standard due to the lack of historical data. Based on this, the results obtained are carried out in consequence of the criticality of the equipment.

A study of the operation sequence, the amount of equipment involved in the process and the statistical data obtained in a period from April 18 to October 18 with the data of the failures obtained in start-up is carried out.

Tools such as a Pareto analysis were used to identify 80% of the 20% of incident equipment failures and the analysis is rectified with a scatter plot to identify operational criticality. Based on these results, the Atacama Kozan client is given a maintenance plan focused on the criticality of the operation to achieve operational continuity and exit the start-up period.

**FILTERED TAILING PLANT - MAINTENANCE - SEQUENCE OF OPERATION
- DESCRIPTION OF COMPONENTS - MAINTENANCE ANALYSIS BASED ON
CRITICALITY**

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

La planta de filtrado de Atacama Kozan, propiedad del Consorcio formado por el japonés Nittetsu Mining Co. Ltd., con un 60% de la propiedad y capitales nacionales Grupo Errázuriz, con un 40%, se encuentra ubicada en la Región de Atacama a 9 kilómetros al oeste de la ciudad de Tierra Amarilla en terrenos bajo la administración de la comuna de Copiapó. La Construcción de proyecto comenzó el 29 de octubre del 2018 con una inversión de 18 millones de dólares Estadunidenses. La finalidad del Proyecto de Filtrado de Relaves es permitir la continuidad de la operación de Atacama Kozan, una vez copada la capacidad de almacenaje de relaves de la quebrada El Gato. En la **Figura N° 1.1** se detalla la ubicación geográfica de la planta de filtrado. El mantenimiento actual de la planta de relaves filtrados de Atacama Kozan está caracterizado por la búsqueda continua de tareas que permitan eliminar o disminuir la ocurrencia de fallas imprevistas y/o mejoras (paradas forzosas), es decir, se encuentra en una etapa muy preliminar de mantenimientos predictivos en su gran mayoría, además de la poca información de los equipos dispuestos en la operación de la planta ya que se encuentra en puesta en marcha, son consecuentes y se están evaluando con el método del ensayo y error. Los trabajos que se ejecutan son sólo reparaciones menores o locativas tendientes a recuperar la operatividad de los equipos en la secuencia de operación.

Para reducir y/o eliminar estas fallas, es imprescindible diseñar un plan de mantenimiento para mejorar la producción de la planta y lograr salir de la etapa de puesta en marcha con el objetivo de prolongar el funcionamiento de los diversos equipos a lo dispuesto por diseño. El estudio planteado se justifica en cuanto la falta de mantenimiento predictivo planificado en la planta de relaves de filtrados, porque al no tener operatividad se está dando usos al tranque de relaves que se encuentra saturado lo que en consecuencia provoca constantes paradas ocasionando el uso forzado de este recurso que ya no se le puede dar operatividad por que se encuentra en su etapa de cierre por su inminente riesgo ambiental, sobre todo afectando la calidad de servicio de la planta. Aplicando una filosofía de mantenimiento adecuada combinada con controles estadísticos, proporcionara información para obtener variables de comportamiento de los equipos que

permiten diseñar estrategias de mantenimiento predictivo incrementando la disponibilidad de los equipos de la planta de relave filtrado. La aplicación de un sistema organizado de mantenimiento permitirá reducir o eliminar las paradas no programadas de la planta lo que ocasiona el uso forzado del tranque relaves siendo esto un importante aporte. Las frecuencias de mantenimiento que se realizara serán de acuerdo al plan producto del análisis de las fallas funcionales tomadas de muestra en cada puesta en marcha que posteriormente se analizara en base al tipo de criticidad.

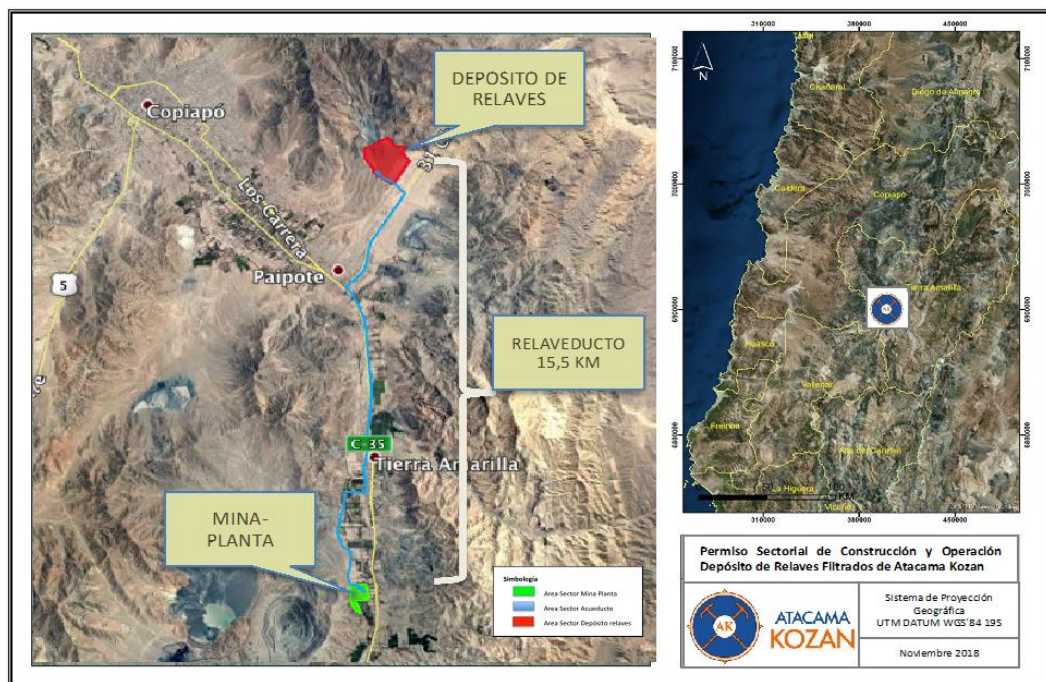


Figura N° 1.1: Depósito de relaves a planta mina AK. Fuente: Atacama Kozan.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo General

- Clasificar y diseñar un plan de mantenimiento basado en la criticidad, para la planta de relaves filtrados de Atacama Kozan en la Quebrada del Gato, para lograr la continuidad operacional.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Diagnosticar y evaluar la situación actual de los sistemas, subsistemas y componentes de la planta.
- Registrar las fallas incidentes en periodo de puesta en marcha con análisis estadístico de adquisición de datos en paradas forzadas en la planta de filtrado de relaves.
- Determinar los intervalos de funcionamiento y paradas forzadas evaluadas en cada puesta en marcha.
- Identificar los componentes críticos de la secuencia de operación.
- Proponer el plan de mantenimiento diseñado, utilizando método de evaluación en base a la criticidad de los equipos para mantener la continuidad operacional.

1.2 Metodología de Trabajo

- I.** Inspección visual de los componentes, sistemas y sub-sistemas de planta de relaves filtrados, documentando las características de los equipos dispuestos.
- II.** Se compara la información documentada en terreno con los planos y diagramas en recolectados, presentes en la planta de filtrado de relaves.
- III.** Se analiza la filosofía de control en función de la instrumentación y equipos registrados y confirmados en los dispuestos del SCADA.

- IV.** Se registran los datos de cada puesta en marcha efectuada en Microsoft Excel, tomando las herramientas comparativas grafica (grafica de barras), y análisis de los eventos y causas de las fallas.
- V.** Se utilizan los indicadores tales como la confiabilidad, la mantenibilidad, la disponibilidad de los equipos evaluados en cada puesta en marcha utilizando el software Microsoft Excel, para analizar los datos registrados y así ejecutar el diseño de un plan de mantenimiento basado en la criticidad para la planta de relaves filtrados de Atacama Kozan.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1 Estrategias de mantenimiento

A continuación, se describen los diferentes tipos de mantenimiento en un proceso:

- **Mantenimiento correctivo (Corrective maintenance):** En esta estrategia de mantenimiento, las reparaciones o sustituciones se realizan después de transcurrido una falla o evento crítico, en donde es evidente y en consecuencia, detectable fácilmente por el personal (el proceso pasa al estado de parada no planificada), cuando el evento no es crítico, las reparaciones o sustituciones en el sistema se pueden postergar, si es que el equipo puede seguir operando, aunque este operara con una condición degradada.
- **Mantenimiento preventivo (Preventive maintenance):** En esta estrategia de mantenimiento, las reparaciones o sustituciones se realizan antes de que ocurra alguna falla o evento crítico a partir de un programa preestablecido. Las inspecciones, revisiones y pruebas también se consideran como partes de las actividades de esta estrategia de mantenimiento (como resultado de las actividades mencionadas, el proceso está en el estado de parada planificada, aunque algunas inspecciones, revisiones y pruebas se pueden realizar mientras el sistema está funcionando).
- **Mantenimiento predictivo (Predictive maintenance):** En esta estrategia de mantenimiento, se utilizan mediciones de sistema, con la finalidad de determinar su condición (modo de operación), estando en funcionamiento (en servicio). A partir de esta información, se puede programar los trabajos de mantenimiento, antes de que ocurran fallas o eventos críticos evidentes, evitando paradas no programadas.

Hoy en día, las empresas apuntan a aumentar la disponibilidad y a disminuir el costo de las fallas de los componentes de los sistemas. Para conseguir los objetivos planteados, la elección de la estrategia de mantenimiento es crucial. En caso que la elección se base en el mantenimiento preventivo, aumentan los costos de mantenimiento (aumentan las

reparaciones o sustituciones), disminuyen las fallas o eventos críticos y, en consecuencia, disminuyen los costos de operación (suponiendo que la duración de las paradas planificadas es menor que las paradas no planificadas). Por el contrario, en caso que la elección sea en base al mantenimiento correctivo, los costos de mantenimiento disminuyen (disminuyen las reparaciones o sustituciones), aumentan las fallas o eventos críticos y, por consiguiente, aumentan los costos de operación. Finalmente, en caso que la elección se base en el mantenimiento predictivo, se podría conseguir teóricamente el costo de falla óptimo, debido a que se puede reducir el número de reparaciones o sustituciones como también el número de fallas o eventos críticos mediante la determinación de condición del sistema. Estos son:

- **Programación del mantenimiento:** Se conoce como programación del mantenimiento predictivo al proceso de correlación de los códigos de los equipos con la periodicidad, cronogramas de ejecución y actividades en programas e instrucciones de mantenimiento, códigos de material, datos de medición y cualquier otro dato juzgado por el operador como necesario para actuar preventivamente en los equipos.
- **Tipos de programación:** Es la programación de actividades del turno, normalmente vinculadas a las órdenes de trabajo para reparaciones menores, o inspecciones de tipo visual.

Estos programas incluyen algunas funciones de tareas, que se deberán realizar periódicamente. Habitualmente las tareas no tienen precedencias ni restricciones importantes, salvo el nivel en el inventario. Estos programas son habitualmente preparados y actualizados por el programador de mantenimiento. Para programar una actividad, que por su complejidad requiere de una apertura en muchas tareas de diversas disciplinas y recursos no solo humanos, sino que también materiales, máquinas y/o equipos auxiliares.

La programación de paradas de planta, en estos programas suman una gran cantidad de los dos tipos de programas mencionados anteriormente y se agrega, además, tareas de proyectos de modificaciones destinadas a la ampliación de capacidad productiva o

mejoras tecnológicas, o modificaciones en preparación de las condiciones de mejoramiento de la seguridad industrial.

La selección de un tipo de mantenimiento en una empresa, depende de las condiciones internas de ésta, su objeto social, equipos utilizados en el desarrollo de sus actividades, infraestructura física, personal disponible y el alcance que pretende lograr.

El plan de mantenimiento de una empresa, debe tener en cuenta ciertos factores importantes al momento de la aparición de fallas en los equipos, dichos factores son:

- **Factores operacionales:** La falla ocasiona retrasos en la producción o en la prestación de un servicio, conllevando a una disminución de la productividad e incumplimientos a los clientes.
- **Factores de costos:** Están íntimamente ligados a las fallas, ya que la reparación de éstas conlleva a gastos innecesarios y generalmente elevados.
- **Factores de seguridad:** Cuando la falla afecta la integridad del personal.
- **Factores ambientales:** El afectado aquí es el medio ambiente, ya sea por altos niveles de ruido, olores desagradables, contaminación del aire, entre otros, afectando de igual manera al personal que allí trabaje.

2.2 Requerimientos de información para mantenimiento

Los requerimientos básicos del sistema de información típico para mantenimiento son:

- **Equipos:** El sistema debe poseer la capacidad para mantener la información de los equipos “Ficha técnica”.
- **Planes de trabajo:** Es vital que el sistema tenga la capacidad para mantener información de los procedimientos “Orden de trabajo”.
- **Información histórica de los equipos:** Toda actividad realizada a un equipo se debe almacenar, por ello el sistema debe tener capacidad de mantener historiales de ellos, para cada orden de trabajo cumplida en los equipos, “Hoja de vida de equipos”
- **Planificación y programación de órdenes de trabajo:** El sistema sería incompleto si no tuviera la capacidad de mantener un archivo de requerimientos pendientes.
- **Ejecución y control:** El sistema de información escogido, debe poseer la capacidad

para registrar cada orden de trabajo, con esto es posible visualizar tendencias de la efectividad de estimación manifestada en la capacidad para comparar recursos planeados con los utilizados.

- **Mantenimiento preventivo:** Como objetivo principal de un sistema de información para mantenimiento es necesario que el sistema tenga capacidad para mantener un archivo de trabajos de mantenimiento preventivo programado.
- **Información de costos:** Para que un sistema de información sea más efectivo, deberá estar dotado de la capacidad de valorizar los recursos planificados o utilizados de una orden de trabajo y además debe permitir totalizar los costos de las órdenes de trabajo realizadas para un determinado equipo.
- **Entradas para el sistema de información para el mantenimiento:** El sistema de información que se vaya a utilizar en una empresa, debe buscar la satisfacción del usuario, por medio de la recolección y procesamiento de los datos obtenidos de las actividades de mantenimiento, de tal forma, que se logren los objetivos propuestos.

2.3 Normativa para ejecución de mantenimiento

2.3.1 ISO 50001

- La norma ISO 50001, Energy Management Systems, publicada por primera vez en junio de 2011, establece los requisitos que debe tener un sistema de gestión de la energía en una organización para ayudarla a mejorar su desempeño energético, aumentar su eficiencia energética y reducir los impactos ambientales, así como a incrementar sus ventajas competitivas dentro de los mercados en los que participan, todo esto sin sacrificio de la productividad. Esta norma fue publicada oficialmente el 15 de junio de 2011 por la Organización Internacional para la Estandarización (ISO) y fue elaborada por un comité de expertos de más de cuarenta países, incluyendo Chile.
- Antes de aplicar esta norma, lo primero que se tiene que entender es el concepto de eficiencia energética, la cual se describe como la reducción de la cantidad de energía (eléctrica y combustibles) que se utiliza para generar un bien o un servicio, sin afectar la calidad de los productos, el confort de los usuarios ni la seguridad de las personas y bienes. Esta reducción del consumo de energía se puede asociar a incorporación de nuevas tecnologías, ya sea por sustitución de equipos existentes por unidades de alta

eficiencia, por ejemplo, motores eléctricos, o por optimización en los procesos, por ejemplo, automatización de operaciones que presentan alta variabilidad. Si bien se pueden requerir inversiones adicionales, estas se ven compensadas en el mediano plazo por la disminución de costos relacionados con energía. La eficiencia energética también considera las acciones relacionadas con la gestión de energía, que involucra cambios en los hábitos y actitudes. En cualquiera de estos casos, se considera la contribución de la eficiencia energética en el aumento de la competitividad de las empresas, disminuyendo los costos energéticos a corto y largo plazo.

Los principales objetivos de la norma ISO 50001 son:

- Apoyar a las organizaciones en el establecimiento del uso y el consumo de energía más adecuados.
- Crear una comunicación fácil y transparente con respecto a la gestión de los recursos energéticos.
- Promover las mejores prácticas de gestión de la energía y reforzar los beneficios con la aplicación de la gestión energética.
- Apoyar la evaluación y priorización de la implementación de nuevas tecnologías más eficientes en cuanto al uso de la energía.
- Establecer un escenario para la promoción de la eficiencia energética a través de la cadena de suministro.
- Favorecer la mejora de la gestión de la energía en conjunto con proyectos de reducción de los gases de efecto invernadero.
- Permitir la integración con otros sistemas de gestión organizacionales, como el de calidad, medioambiental y salud y seguridad.

A continuación, en la **Tabla N° 2.1** se hace una comparación de algunos factores de una empresa que tiene SEG (Sistema de Gestión de Energía) en comparación con uno que no lo tiene, lo cual podría influir en la PEM del proyecto.

Tabla N° 2.1: Comparación de una empresa sin y con SEG.

Empresas sin SEG	Empresas Con SEG
El consumo de energía no es un tema relevante para la alta dirección.	La alta dirección asume compromiso y liderazgo para mejorar el desempeño energético.
La energía es un costo difícil de gestionar.	Se gestionan los usos significativos de energía de forma permanente.
No se perciben beneficios de la eficiencia energética.	Se cuantifican las reducciones de consumo de energía y los ahorros en costos.
No se invierte en eficiencia energética.	Se evalúan las oportunidades de eficiencia energética y se implementan los proyectos rentables.
No se identifican brechas de competencias en eficiencia energética del personal.	Se identifican las brechas y se capacita.
No se considera el consumo de energía en la operación y el mantenimiento.	Se incorporan el uso eficiente de la energía en procedimientos y registros de operación y mantenimiento.

2.3.2 ISO 55000 Gestión de Activos

La gestión de activos consiste en la coordinación y optimización de los activos en todo su ciclo de vida, incluidos los procesos de selección, adquisición, utilización, mantenimiento, renovación y desincorporación.

Como responsable del mantenimiento de una planta, la ISO 55000 ayuda a garantizar una operación confiable y sostenible de los activos físicos, maximizando su rendimiento y optimizando los costes a lo largo de su ciclo de vida.

- **ISO 55000:** Define los objetivos y el alcance de la gestión de activos, además de los propios términos y definiciones de la norma.
- **ISO 55001:** Especifica los requisitos necesarios para establecer, implementar, mantener y mejorar los sistemas de gestión de activos.
- **ISO 55002:** Es la norma que proporciona las pautas de implementación en los sistemas de gestión de activos que cumplen con los estándares anteriores de esta familia de normas ISO 55000.

Además de ayudar en la implementación de la gestión de activos físicos, la ISO 55000 proporciona la ayuda necesaria para que se pueda auditar la gestión de los activos en materia de integridad, a la vez que sugiere cambios en los procesos.

2.3.3 ISO 13374 sobre Monitoreo de condición y diagnóstico de máquinas

Los procesos y sistemas, tanto del mantenimiento basado en condición, como del mantenimiento preventivo y predictivo, requieren de un eficiente intercambio de información.

La información de los datos es prerequisite de los sistemas y para su implementación con un mínimo esfuerzo de integración.

El principal beneficio de la serie de normas ISO 13374 es que permite combinar una variedad de información, proveyendo formas unificadas e interoperables para el

procesamiento, la comunicación y la presentación de los datos a través de diferentes sistemas de mantenimiento, independientemente del proveedor.

Este conjunto de normas está formado por 4 partes:

- La parte 1 se ocupa de la presentación de las pautas generales para comunicar y procesar los datos de manera correcta.
- La parte 2 expone los requisitos de procesamiento de los datos.
- La parte 3 especifica los requisitos de comunicación de los datos.
- La parte 4 establece los requisitos de presentación de los datos.

Un ejemplo práctico donde resulta muy útil la norma ISO 13374 está en el análisis de las vibraciones y daños. En esta ocasión, los estándares se utilizan para la recogida y procesamiento de los datos del histórico del horómetro y periodos de funcionamientos, como una manera de medir el estado en que se encuentran las máquinas que intervienen en los procesos industriales.

2.3.4 ANSI TAPPI TIP 0305-34: 2008

Estamos ante un protocolo imprescindible en cualquier departamento de Mantenimiento. El ANSI TAPPI TIP 0305-34 es la parte del documento de información técnica TIP 0305-34, y permite crear listas de comprobación para el mantenimiento tanto diario, como semanal e incluso mensual.

Las listas de verificación de mantenimiento son imprescindibles para conseguir focalizar y efectuar el mantenimiento necesario en cada planta.

Y este modelo de ANSI enseña de manera práctica, cómo crear y mantener una checklist con información vital para un correcto mantenimiento. Tan solo tienes que personalizar esta lista de verificación de acuerdo con las necesidades de la planta, los equipos y las máquinas que la componen.

2.4 Antecedentes del depósito de filtrados

La finalidad del depósito es mayor recuperación de agua de proceso (recurso que hoy en día está en escasez). Este recurso es recirculado al proceso de la planta de concentrado mediante la redirección del relave al tranque de relaves por una línea que va desde la planta de una longitud de 17 Km como se aprecia en la **Figura N° 2.1**.



Figura N° 2.1: Mapa Geográfico AK. Fuente: Google Maps.

El depósito de relaves tiene la siguiente disposición como se aprecia en la **Figura N° 2.2**. Actualmente el tranque está en su capacidad máxima comprendiendo una elevación hasta la cota 600, por lo cual este ya no se le puede dar continuidad por los requerimientos que exige Sernageomin.

Actualmente este comprende en su etapa de cierre, y el caudal que estaba dispuesto al depósito del tranque de relaves es dirigido a la planta de relaves filtrados continuando la operación de la planta de concentrado ubicada en la comuna de Tierra Amarilla.

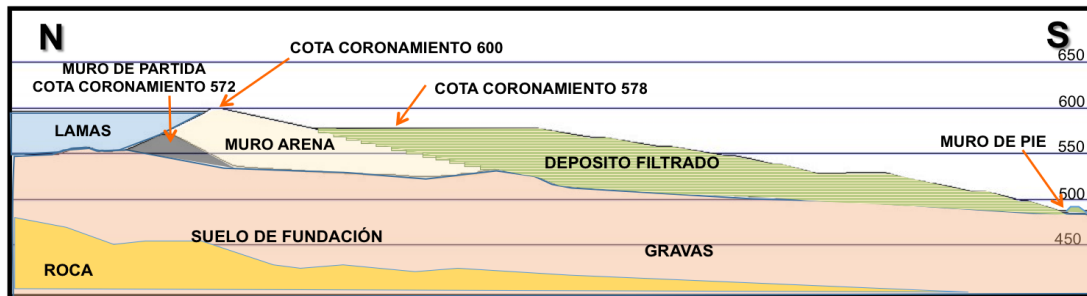


Figura N° 2.2: Cotas. Fuente: Atacama Kozan.

2.5 Operación del Depósito de Relaves para efectuar el cierre del tranque de relaves

La etapa de operación del depósito de relaves filtrado corresponde a la etapa de llenado del depósito propiamente tal, con el objetivo de realizar una construcción más segura y estable. Esta etapa comienza con la siguiente actividad:

- Descarga de relaves desde un sistema mecanizado (camiones). Esparcido de relaves, a través de equipo mecanizado (bulldozer y posteriormente motoniveladora). Compactación de los relaves por capas a través de equipo mecanizado (bulldozer y rodillo compactador) y colocación de cobertura granular con equipo mecanizado (bulldozer) para el cierre progresivo de cada terraza. De acuerdo con la topografía de la quebrada del área de depositación de relaves filtrados (sitio Quebrada El Gato sector bajo), se ha definido la geometría de las “terrazas” con el objetivo de asegurar la estabilidad del depósito. Considerando una densidad final de 2,0 [T/m³], una vez finalizada la compactación, se definieron 9 terrazas con altura de 10 [m] cada una y una altura final del depósito aproximada de 90 [m]. Para comprender la operación en función del cierre del tranque de relave se tiene la **Figura N° 2.3**, que muestra la operación en función del proyecto de clausura de tranque.

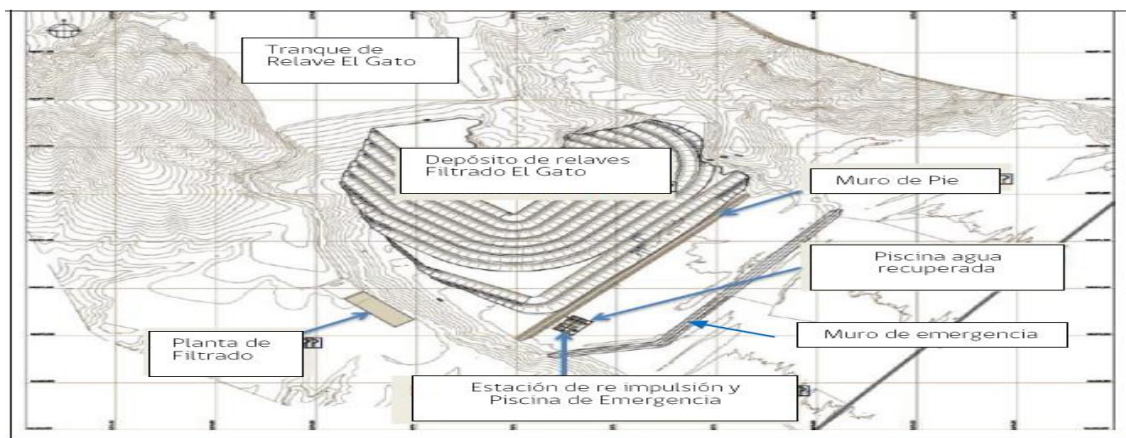


Figura N° 2.3: Terrazas la planta. Fuente: Atacama Kozan.

2.6 Fundamento del problema

En el Depósito de relaves, propiedad de Atacama Kozan el tranque de relaves culminó su vida útil el cual fue proyectado a una duración de 17 años. Actualmente el tranque llegó a la cota 600 lo cual es el 100% de su capacidad.

Uno de los temas importantes asociados a las faenas mineras corresponde a todo aquello relacionado con las obras constructivas de disposición en la superficie de la tierra de los “Depósitos de Relaves”; cuyos residuos que contienen provienen de Plantas de Concentración de minerales por Flotación. Esto se debe a que en la Industria Minera Chilena estos depósitos han ido adquiriendo mayor relevancia, debido principalmente a que las leyes de los minerales en los yacimientos en explotación han disminuido, lo que ha obligado a las empresas mineras extraer grandes volúmenes de minerales para lograr mantener los niveles de producción de finos.

Se han incrementado así la cantidad de desechos que deben ser dispuestos, ya sea como material estéril o en la forma de pulpas de relaves. Por lo tanto, se hace necesario tener muy presente los riesgos asociados a los pequeños, medianos y grandes depósitos de relaves en cuanto a los ámbitos técnicos constructivos como los ambientales. Tal como se menciona en la explicación de la introducción, la planta está recién entregada lo que dispone una complejidad en el diseño de un plan de mantenimiento efectivo ya que aún se está estudiando el funcionamiento de la secuencia de operación en función de pruebas

de ensayo y error, por lo cual es indispensable darle solución a esta problemática ya que la no continuidad de esta planta significa que la operación de la planta de concentrado de Atacama Kozan tenga que dar uso al Tranque de relaves, lo cual es un riesgo ambiental que no se puede permitir dar continuidad. Por dicho motivo se hace vital a pesar de encontrarse en puesta en marcha el ajustar en base a la criticidad de los sistemas y subsistemas un plan para mantener en operación de dichos elementos. La disposición general de la planta de relaves filtrados se detalla a continuación en la **Figura N° 2.4**.

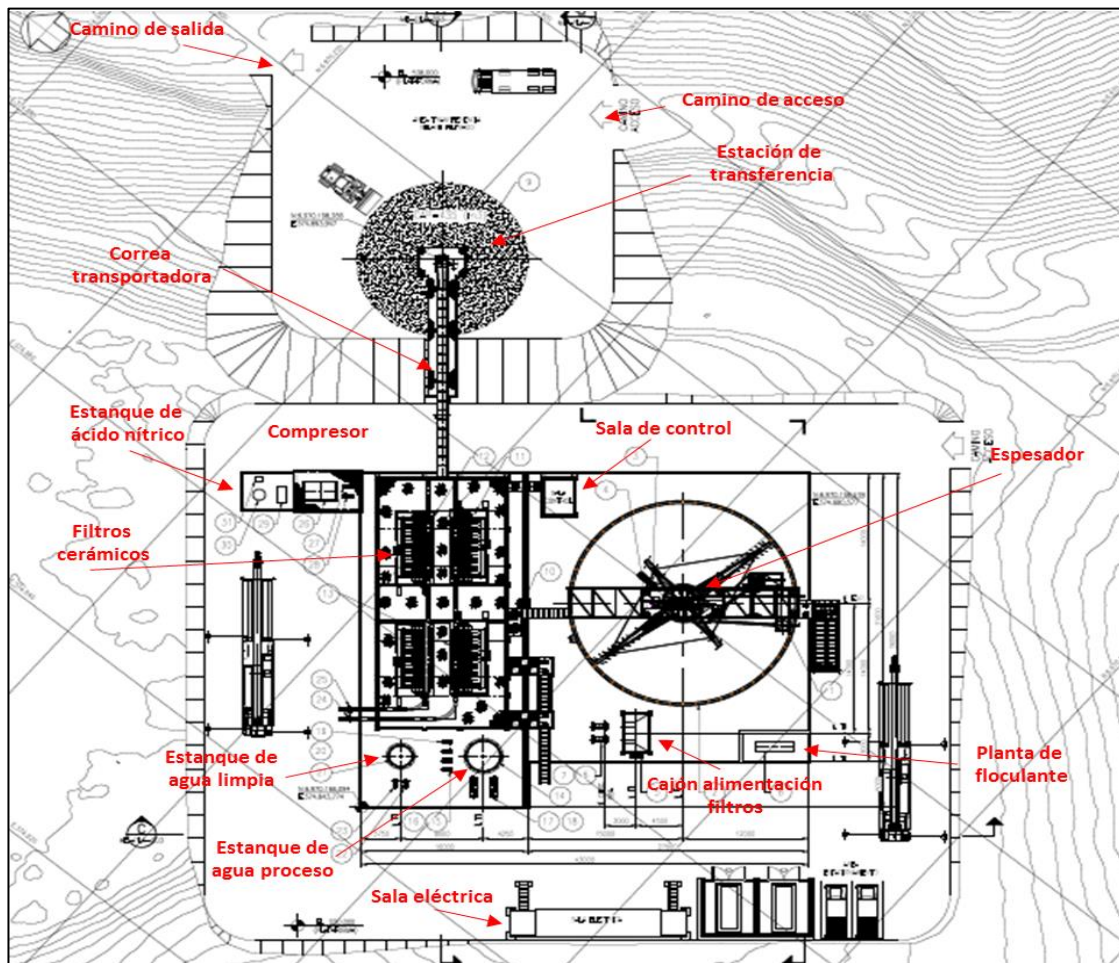


Figura N° 2.4: Planta de relaves filtrados. Fuente Atacama Kozan.

CAPITULO III

LEVANTAMIENTO DE PROCESO

3.1 Descripción General del Proyecto

La operación de la Planta de Filtrado tiene el siguiente layout de proceso como se menciona en el **Capítulo 2** en el **Inciso 2.5** (Fundamento del problema). La operación de la planta de relaves filtrados parte como se muestra en la **Figura N° 3.1**, desde la planta de concentrado donde el espesador por medio de flotación recupera el material y el relave es redireccionando por una línea de 15.7 km a campo traviesa a un caudal 310 m^3 por hora impulsado por un tren de bombas.

La pulpa de relaves recibida desde la planta se descarga en el fider el cual por medio de 2 bombas de impulsión es descargada al espesador de relaves, el cual mediante una planta de floculante dispuesta en la faena suministra la solución a el mencionado espesador que separa el sólido de la interfaz de agua clara manteniéndolo en una masa cama la cual es suministrada por decantación al TK de agua de proceso. Este TK suministra la alimentación a 3 cubas de los filtros cerámicos, los cuales mediante presión inversa succionan el relave en las placas cerámicas las cuales separan el sólido del fluido. Este fluido resultante es impulsado al TK de agua recuperada la cual es usada tanto para el proceso de limpieza de los filtros cerámicos como para recircularla al proceso de operación de planta de concentrado. Los parámetros de diseño de la planta de relaves se mencionan a continuación en la **Tabla N° 3.1**, ubicada en la comuna de Tierra Amarilla.

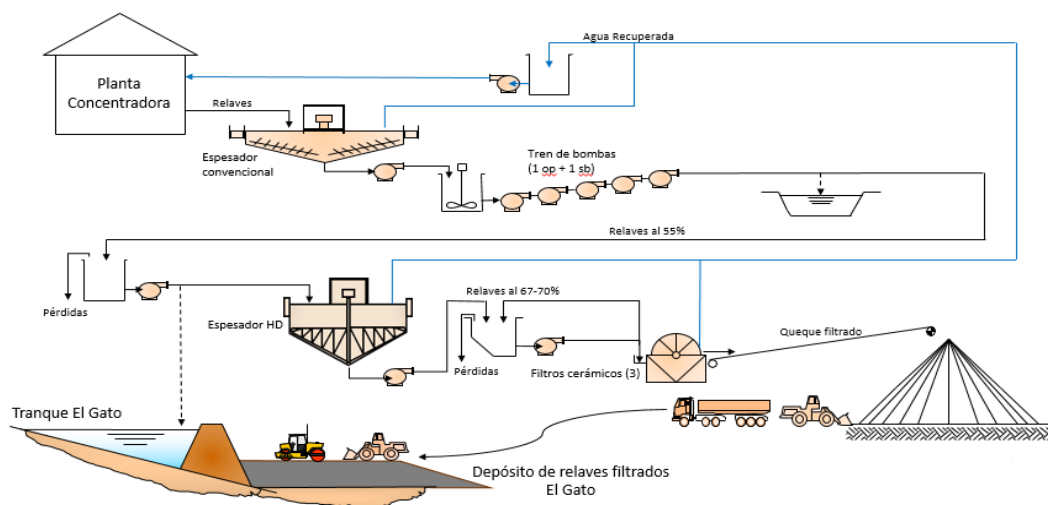


Figura N° 3.1: Esquema del proceso. Fuente: Atacama Kozan.

Tabla N° 3.1: Parámetros de Operación.

Parámetros	Especificaciones
Producción nominal de relaves	1,74 millones de toneladas por año
Vida útil proyectada	15 años
Ritmo puntual de diseño	236 toneladas por hora
Utilización Planta de Filtrado	95 % (difícil el primer año)

3.2 Instalaciones existente del relave ducto

- Relave ducto Campo Traviesa:** Los relaves producidos por la faena minera son conducidos hasta la Quebrada El Gato, por medio de un relave ducto de 15,5 km de longitud a un caudal promedio de 85 l/s (310 m³ ph) y diámetros nominales de 10 y 8 pulgadas, según sea el tramo, respectivamente. Está construido de acero al carbono con denominación API 5L Gr X65. La presión máxima que soporta la primera línea del relave ducto inmediatamente a la salida de las bombas en la Planta es superior a 300 psi y su velocidad de diseño es superior 1,7 m/s, lo cual evita el embancamiento como se aprecia en la **Figura N° 3.2**. Los estanques de almacenamiento pueden alimentarse también con agua, de tal manera de lavar el relave ducto durante el proceso de detención de la impulsión.

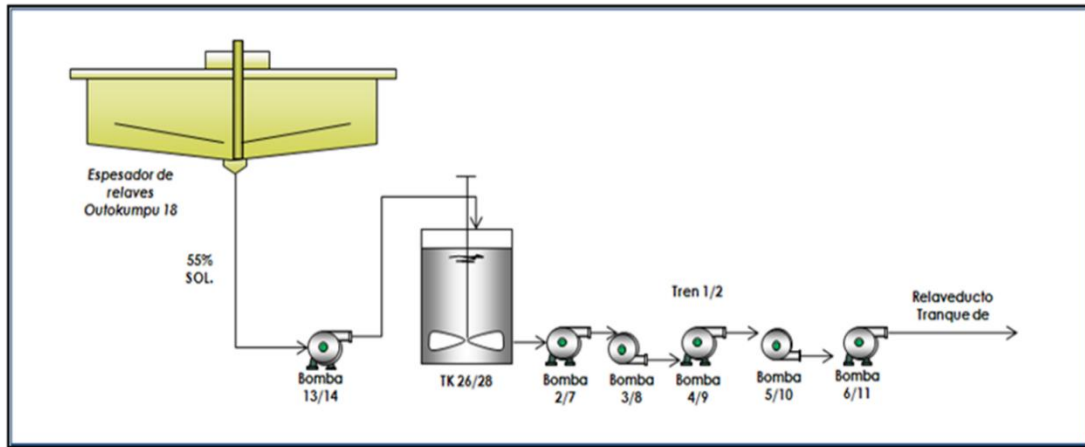


Figura N° 3.2: Esquema de la línea del relave ducto. Fuente: Atacama Kozan.

3.3 Inspección de planta en sus sistemas, subsistemas y componentes

El ingreso a la planta es un paso peatonal frente a las oficinas dispuesta del jefe de turno y jefe de tranque de Relaves. La zona está protegida por barreras duras que son una malla acerada por sujeción de perfiles. El camino de ingreso esta demarcado por flechas en la **Figura N° 3.3**, donde se observa la vista frontal en su ingreso principal.



Figura N° 3.3: Ingreso a planta. Fuente: Propia.

3.4 Espesador HD

El espesador de relaves de la planta de relaves filtrados mostrado en la **Figura N° 3.4** recibe la pulpa con un porcentaje de sólidos cercano al 55% y deberá generar una descarga con un porcentaje de sólidos inferior a 70%. El underflow se dirige hacia el cajón de alimentación de filtros (“loop”) mediante 2 bombas centrífugas horizontales (operando 1+1), a razón de 152 m³/h mientras que el rebalse u “overflow” se dirigirá al estanque de aguas recuperadas para su retorno final a la planta concentradora mediante el acueducto a razón de 238 m³/h. El espesador tiene las siguientes características que están en la **Tabla N° 3.2**.



Figura N° 3.4: Espesador de relaves. Fuente: Propia.

Tabla N° 3.2: Parámetros de espesador.

Parámetros	Especificaciones
Modelo	Outotec
Tipo de Espesador	De alta compresión/compactación (High Compression Thickener)
Diámetro de Estanque (m)	22
Altura de Estanque (m)	4
Armado	Empernado
Soporte	Elevado sobre columnas metálicas
Auto dilución	Vane Feedwell
Torque (kN-m)	650
Factor de torque (pie-libra/pie2)	56,8
Sistema motriz rastra, potencia (KW)	Unidad oleo hidráulica, motor 15 KW
Instrumentación	Panel de Control (PLC) Sensor de masa de cama Sensor de nivel de interface Sensor de torque de rastra

3.5 Unidad hidráulica

La Unidad de Poder hidráulica mostrada en la **Figura N° 3.5** está equipada por un motor eléctrico trifásico de 15 KW, 1450 RPM, 380 VAC, 50 Hz, 3Ø, el cual acciona una bomba hidráulica variable de pistones axiales y a una bomba de engranajes externos ensambladas en tándem (una bomba detrás de otra). La bomba variable de pistones axiales alimenta de aceite al circuito del motor hidráulico del agitador, la bomba posterior (bomba de engranajes externos) es empleada para el movimiento de los cilindros hidráulicos que elevan o bajan el mecanismo del agitador. El sentido de rotación debe ser horario (visto el giro desde la punta del eje). El aceite solo circula entre la bomba y el reservorio, hasta que la electro válvula sea energizada para dar paso al movimiento del motor. Los datos de placa para este motor están registrados en la **Tabla N° 3.3**. Tanto el circuito del motor hidráulico como el circuito de los cilindros hidráulicos poseen válvulas limitadoras de presión (válvulas de alivio), elementos de seguridad en ambos circuitos, ya que limitan la presión máxima del sistema. Los valores regulados en dichas válvulas son distintos y dichos valores se encuentran en el esquema hidráulico. El circuito del motor hidráulico posee además de la válvula limitadora de presión, un transductor de presión, regulado a

la presión hidráulica que corresponde al valor de torque máximo de diseño. Si la presión hidráulica va en aumento y alcanza el valor regulado en el transductor, este enviará una señal que se empleará en el proceso. Si el transductor fallara y no respondiera, la presión seguirá elevándose hasta llegar a la presión regulada en el presóstato, ubicado en el mismo circuito, quien será el encargado de dar la señal de aviso. Si el presóstato tampoco respondiera entonces actuará la válvula de alivio. La bomba variable posee una válvula compensadora de presión, la cual no se activará, ya que la presión máxima está limitada por válvula de alivio de presión. La unidad posee filtros de succión para cada bomba, un filtro de retorno de aceite para ambas bombas, y un filtro de aire o des humidecer. La temperatura media y nivel del aceite en el reservorio se pueden apreciar en el visor de nivel con termómetro y switch. Este elemento enviará una señal de aviso en caso que el aceite se encuentre en el mínimo admisible. La unidad de poder también posee un termostato, cuyo switch cambia de posición cuando la temperatura llega por debajo a la configurada en este elemento y envía una señal al pequeño tablero diseñado para alimentar con una tensión de 460 VAC trifásico a los calentadores de la unidad. Se ha previsto en la parte inferior del tanque un tapón magnético. El cual atrae a las partículas metálicas que puedan encontrarse suspendidas en el aceite.



Figura N° 3.5: Unidad hidráulica. Fuente: Propia.

Tabla N° 3.3: Unidad hidráulica.

Denominación	Unidad de poder hidráulica
Potencia Eléctrica	30KW
Motor eléctrico del grupo de bombeo	15KW
Tipo de bomba	Bomba variable de pistones axiales más bomba de engranajes externos ambos en sentido horario
Caudal	13.8 L/min
Tensión de los solenoides	220 VAC
Volumen de reservorio	160 litros, la cual se debe llenar de aceite al 80% de su capacidad.
Tipo de aceite	ISO VG46
Peso de la unidad Kg	550

Tabla N° 3.4: Motor de unidad hidráulica.

Parámetros	Especificaciones
Fabricante	WEG
Tensión de alimentación V	380
Frecuencia Hz	50
Min ⁻¹	1450
Potencia KW	15
Frame	254/6TD
Eficiencia %	93
Factor de servicio	1
CAT	IP56
Intensidad trabajo A	29.4
Conexión	Estrella
Factor de potencia	0.84
Peso de la unidad Kg	162

3.6 Motor de la rastra

El motor de la rastra observado en la **Figura N° 3.6** cumple la función de mover la rastra contenida dentro del espesador cuyo propósito es mantener el relave en movimiento. El objetivo de esta función es mantener la masa cama y la interfaz de agua clara que separa de la pulpa de relave por acción del floculante. Los parámetros del motor mencionado están detallados en la **Tabla N° 3.5**.



Figura N° 3.6: Motor de la rastra. Fuente: Propia.

Tabla N° 3.5: Motor de la rastra.

Parámetros	Especificaciones
Fabricante	SEW EURODRIVE
Factor de servicio	26
Tensión de alimentación V	380
Frecuencia Hz	50
CAT	IP65
Cos ϕ	0.73
Potencia del motor	1.1
Intensidad nominal A	2.45
Tipo de lubricación	ISOVG220
Cantidad de lubricación Litros	13.8
Peso de la unidad Kg	12.3
Min ⁻¹	176

3.7 Bombas de Descarga Espesador

En la **Figura N° 3.7** se visualiza la PP-8 y PP-9 configurados también en paralelo a fin de mantener la disponibilidad por proyecto. Su objetivo es mantener la recirculación del espesador a fin de mantener torque estable. Los parámetros están presentados en la **Tabla N° 3.6** que son Bombas Descarga Espesador HD. El relave del underflow del espesador es enviado al estanque de alimentación de filtros, mediante 2 bombas WEIR 6"x6" de 20 [HP] con un caudal nominal de 152 [m3/h]. Las bombas de underflow operan en sistema 1+1.



Figura N° 3.7: PP-08 y PP-09. Fuente: Propia.

Tabla N° 3.6: Parámetros PP-08 y PP-09.

Parámetros	Especificaciones
Fabricante	WEG W22
Sistema	Trifásico
Tensión V	380
Intensidad A	28.8
Eficiencia %	93
Factor de potencia	0.85
Potencia Hp(KW)	20(15)
Min ⁻¹	1465
Conexión	Estrella
CAT	IP55
Frecuencia Hz	50
Tem °C	40
Factor de servicio	1

3.8 Bombas de Agua recuperada

A continuación, se visualiza en la **Figura N° 3.8**, la PP-16 y PP-17, que son bombas en configuración en paralelo, cuyo fin es realizar impulsión del flujo de agua recuperada (overflow) desde el TK-05 al espesador con el objetivo de bajar la turbidez del espesador bajo los 200 PPM. Las características de estos equipos están en la **Tabla N° 3.7**:



Figura N° 3.8: Estación de bombas. Fuente: Propia.

Tabla N° 3.7: Parámetros PP-16 y PP-17.

Parámetros	Especificaciones
Fabricante	WEG W22
Tensión V	380/660
Intensidad A	271/156
Min ⁻¹	2980
Frecuencia Hz	50
Factor de potencia	0.89
Peso de la unidad (Kg)	1018
CAT	IPW55
FRAME	315SM
Amb °C	40
Forma de conexión	Delta
Potencia KW(HP)	150(200)
Factor de servicio	1.15
Sistema	Trifásico

3.9 Equipos de Filtrado

En la **Figura N° 3.9** se evidencia las bombas PP-20 y PP-21. Son equipos que se encuentran en paralelo, cuya función es impulsar el agua sello del TK-6 de agua sello a fin de transportar el fluido a la línea de retro lavado. Cabe mencionar que en este proceso se considera agua sello al fluido con una disposición <60 partes por millón (PPM). Los parámetros de los equipos son están detallados en la **Tabla N° 3.8**.



Figura N° 3.9: Planta de relaves filtrados. Fuente: Propia.

Tabla N° 3.8: Parámetros PP-20 y PP-21.

Parámetros	Especificaciones
Fabricante	WEG W22
Tensión V	380/660
Intensidad A	41.2/23.7
Min ⁻¹	2945
Frecuencia Hz	50
Factor de potencia	0.88
Peso de la unidad (Kg)	168
CAT	IPW55
FRAME	180M
Amb °C	40
Forma de conexión	Estrella
Potencia KW(HP)	22(33)
Factor de servicio	1.15
Sistema	Trifásico

3.10 Bombas de alimentación a filtros

En la **Figura N° 3.10** se visualiza la PP-10 y PP-11 configuradas en paralelo cuya función es reimpulsar el fluido desde el TK-03 a los filtros cerámicos a fin alimentar los filtros cerámicos JBX y realizar la etapa de filtrado de relaves. Los parámetros están registrados en la **Tabla N° 3.9**. El Estanque de Alimentación a Filtro de 25 [m3] recibe el underflow del espesador de relaves y lo descarga a través de 2 bombas WEIR 10”x10” de 100 [HP] con caudal nominal de 454 [m3/h], operando 1+1, hacia el loop de alimentación de los filtros cerámicos.



Figura N° 3.10: PP-10 y PP-11. Fuente: Propia.

Tabla N° 3.9: Parámetros PP10 y PP11.

Parámetros	Especificaciones
Fabricante	WEG W22
Tensión V	380
Intensidad A	145
Min ⁻¹	1480
Frecuencia Hz	50
Factor de potencia	0.85
Peso de la unidad (Kg)	830
CAT	IP55
FRAME	315SM
Amb °C	40
Forma de conexión	Delta
Potencia KW(HP)	75(100)
Factor de servicio	1.15
Sistema	Trifásico
Eficiencia %	95.4

3.11 Filtros cerámicos

El proceso de filtrado de relaves se realizará a través de 3 filtros cerámicos JBX modelo CC-120 (operando inicialmente 2+1) mostrado en la **Figura N° 3.11**, con espacio para un cuarto equipo, cuyas características son las presentadas en la **Tabla N° 3.10**:



Figura N° 3.11: Filtro cerámico. Fuente: Propia.

Tabla N° 3.10: Parámetros de filtros cerámicos.

Parámetros	Especificaciones
Tipo de filtro	Por vacío con placas cerámicas (medio filtrante)
Área de filtrado, [m ²]	120
Descarga	Gravitacional a correa transportadora de 30 [pulgadas] de ancho
Número de placas	240
Dimensiones, L:H:A, [m]	8,8:3,9:3,2
Control	Panel (PLC) por cada filtro
Bombas de vacío	Liquid ring
Bombas de ácido	Diafragma
Peso lleno, [T]	24,5

3.12 Motor del eje de giro de los filtros

El motor de los ejes de los filtros está controlado por un variador de frecuencia incluido en el gabinete mostrado en la **Figura N° 3.12**, el cual opera a revolución controladas según lo estime la operación. Inicialmente lo ejecutan a 100 RPM ya que como se evalúa su situación actual en puesta marcha este indicador aún está en prueba, ya que la succión del Queque filtrado es más homogénea y seca.

Los parámetros del motor están mencionados en la **Tabla N° 3.11**.



Figura N° 3.12: Motor eje filtro cerámico. Fuente: Propia.

Tabla N° 3.11: Parámetros de motor de los ejes filtros cerámicos 1,2 y 3.

Parámetros	Especificaciones
Fabricante	WEG
Sistema	trifásico
CAT	IP95
Tensión de alimentación V	380
Tipo de conexión	Estrella
Frecuencia Hz	50
Min ⁻¹	1460
Intensidad de trabajo A	22.2
Factor de potencia	0.84
Peso de la unidad Kg	144
Potencia KW	11
Temperatura °C	40
Conexión	Delta

3.13 Agitadores de la cuba del filtro

La función de estos equipos es realizar el movimiento de la rastra de la cuba dispuesta en la descarga del agua a filtrar para evitar que se embanque el sólido. Esta se mantiene siempre en operación enclavada al botón partir. Este equipo esta mostrado en la **Figura N° 3.13** y los parámetros de este motor se mencionan en la **Tabla N° 3.12**.



Figura N° 3.13: Agitador cerámico 1,2 y 3. Fuente: Propia.

Tabla N° 3.12: Parámetros de motor de los ejes filtros cerámicos.

Parámetros	Especificaciones
Fabricante	WEG
CAT	IP55
Tensión de trabajo V	380
Sistema	Trifásico
Frecuencia Hz	50
Potencia KW	15
Min ⁻¹	1770
Factor de servicio	1.15
Factor de potencia	0.83
Conexión	Delta
Eficiencia %	91.3
Intensidad de trabajo A	25.8
Peso del equipo Kg	163

3.14 Lavado por ultrasonido

El filtro cerámico antes cada 5 ciclos de funcionamiento nominal procede con la etapa de lavado. Esta comprende en una primera etapa realizada por un lavado con ultrasonido ejecutada por los equipos dispuestos en la **Figura N° 3.14**. Esta operación es la antesala a la segunda etapa de lavado que tienen los filtros que se le conoce como retro lavado, donde en esta etapa mediante la operación de la planta de ácido suministra una solución de 30% de ácido sulfúrico y 70% de agua de proceso el cual se suministra por medio de la línea de ácido impulsada por las bombas de ácido dispuesta en las afuera de la planta.



Figura N° 3.14: Lavado ultrasonido independiente filtro 1, 2 y 3. Fuente: Propia.

3.15 Bombas de reimpulsión de agua filtrada

En la **Figura N° 3.15** se visualiza la PP-25, la PP-26 y PP-27 que son totalmente idénticas. Estas son bombas de reimpulsión de agua filtrada captadas de los filtros cerámicos a fin de elevar el líquido filtrado al TK-06. Los parámetros de los equipos están registrados en la **Tabla N° 3.13**.



Figura N° 3.15: PP-25. Fuente: Propia.

Tabla N° 3.13: Parámetros PP-25, PP-26 y PP-27.

Parámetros	Especificaciones
Fabricante	WEG W22
Sistema	Trifásico
Frame	90L
Min ⁻¹	1440
Intensidad A	3.43
Frecuencia Hz	50
Factor de potencia	0.80
Potencia KW(Hp)	1.5(2)
Tem °C	40
Factor de servicio	1.15
CAT	IPW55
Conexión	Delta
Factor de servicio	1.15

3.16 Bombas de vacío

En la **Figura N° 3.16** se observa la bomba de vacío principal del filtro cerámico número 1, donde las otras 2 bombas de los demás filtros son idénticas. Su función es realizar la presión de vacío succionando el fluido a fin de que el relave se compacte en las placas cerámicas y procesa la etapa de filtrado. Los parámetros de los equipos están expuestos en la **Tabla N° 3.14**.



Figura N° 3.16: Bomba principal de vacío filtro 1. Fuente: Propia.

Tabla N° 3.14: Parámetros Bombas principales de vacío Filtro 1, 2 y 3.

Parámetros	Especificaciones
Fabricante	WEG
Sistema	Trifásico
Tensión de servicio V	380
Potencia KW	15
Intensidad de trabajo A	28.1
Cos ϕ	0.86
Frecuencia Hz	50
Tem Amb °C	40
Peso del equipo Kg	200
Min ⁻¹	975
CAT	IP55
Conexión	Delta
Factor de servicio	1

3.17 Bombas de vacío auxiliares

Para la **Figura N° 3.17** corresponde al filtro cerámico de las otras 2 bombas que son totalmente iguales y son bombas de vacío auxiliares. Su función es mantener la presión de retro lavado a 0.30 M.Pascales, que es el rango de trabajo. Operan bajo un mecanismo de By pass. Los parámetros de estos equipos están detallados en la **Tabla N° 3.15**.



Figura N° 3.17: Bomba Auxiliar de vacío filtro 3. Fuente: Propia.

Tabla N° 3.15: Parámetros Bombas Auxiliares de vacío Filtro 1, 2 y 3.

Parámetros	Especificaciones
Fabricante	WEG
Sistema	Trifásico
Tensión de servicio V	380
Potencia KW	7.5
Intensidad de trabajo A	15.3
Cos ϕ	0.80
Frecuencia Hz	50
Tem Amb °C	40
Peso del equipo Kg	69
Min ⁻¹	1470
CAT	IP55
Conexión	Delta
Factor de servicio	1

3.18 Bomba vertical de piso

También conocida como bomba de sumidero de tipo "columna" o "vertical". La bomba de sumidero de pedestal tiene un motor abierto apoyado en la parte superior de una columna fijada a la cubierta de la bomba. Una vez instalada, el motor se coloca fuera del sumidero y por encima del piso de la losa. Impulsa el sólido que se rebalzo en la losa hacia el espesador para volver a filtrar el relave. Se puede ver a continuación en la **Figura N° 3.18**.



Figura N° 3.18: PP22 Bomba vertical sumidero. Fuente: Propia.

Tabla N° 3.16: Bomba vertical sumidero.

Parámetros	Especificaciones
Fabricante	Metzo
Tensión de alimentación V	380
Frecuencia Hz	50
Potencia KW	15
Min ⁻¹	975
Intensidad de trabajo A	25
Cos ϕ	0.86
Factor de servicio	1
Tem Amb °C	40
Protección	IP55
Conexión	Delta

3.19 Transporte del queque desde Filtros.

El relave filtrado (queque) con una humedad de 14% a 16%, será traspasado a una correa transportadora central, la cual finalmente descargará en un acopio abierto de transferencia de relave filtrado (capacidad de 435 [m³]). En la **Figura N° 3.19** se observa la correa de descarga y en la **Figura N° 3.20** se observa la disposición para descarga del material para la construcción de la terraza.

La correa transportadora es la encargada de recepcionar el relave ya filtrado proveniente de los filtros cerámicos, para ser descargados posteriormente en la estación de transferencia. Sus principales características son las presentadas en la **Tabla 3.17**:



Figura N° 3.19: Descarga de correa transportadora. Fuente: Propia.

Tabla N° 3.17: Parámetros de la cinta transportadora.

Parámetros	Valor
Largo, [m]	49
Ancho, [pulgadas]	30
Capacidad, [T/h]	360
Velocidad, [m/s]	1,6
Potencia motora, [HP]	20
Ángulo inclinación, [°]	0
Ángulo polines, [°]	35
Diámetro polines, [pulgadas]	6

En la **Figura N° 3.20** se visualiza la operación de la descarga de la CV-16 en la pila de descarga que a su vez es transportada para la compactación de las terrazas de relaves.

El queque seco o relave filtrado obtenido de los 3 filtros cerámicos será traspasado a una correa transportadora y posteriormente descargada a un acopio de transferencia de 2.500 ton, a partir de la cual, se iniciará el proceso de transporte hacia el depósito mediante camiones tolva. Una vez dispuesto el material en las zonas de disposición transitoria en el mismo depósito, un equipo bulldozer irá moviendo el material formando capas sucesivas con espesores entre 30 y 50 [cm], las cuales posteriormente serán perfiladas mediante motoniveladora y finalmente serán compactadas por rodillos compactadores hasta alcanzar la compactación comprometida en el proyecto, equivalente al 95% del Proctor Standard.

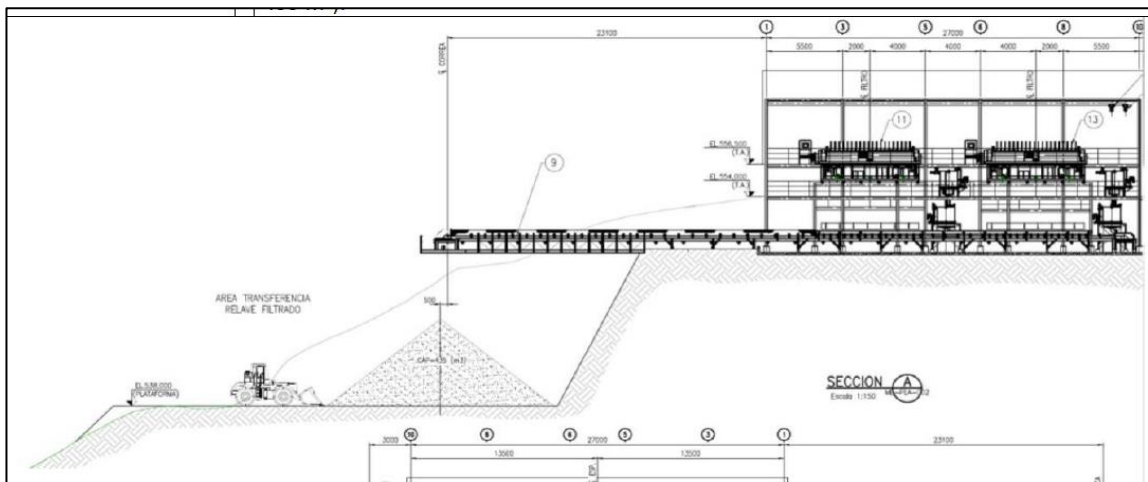


Figura N° 3.20: Disposición de obras. Fuente: Atacama Kozan.

3.20 Motor de la correa transportadora CV-16

Como antecedente por proyecto llego un motor de 20 HP, el cual por problemas de diseño fue cambiado por un motor de 37 KW. En la **Figura N° 3.21** se observa la posición de esta correa y los nuevos parámetros del motor son mencionados en la **Tabla N° 3.18**. En el **Anexo H** se visualiza el gabinete de la CV-16 en reposición.



Figura N° 3.21: motor CV-16. Fuente Propia.

Tabla N° 3.18: Parámetros de la cinta transportadora.

Parámetros	Especificaciones
Fabricante	NORD
Sistema	Trifásico
Protección	IP66
Frecuencia Hz	50
Potencia KW	37
Tensión de alimentación V	380
Min ⁻¹	1485
Cos φ	0.83
Intensidad nominal A	68.2
Eficiencia %	94.1
Peso de la unidad Kg	350
Conexión	Delta

3.21 Tren de bombas de impulsión de agua clara

A continuación, se visualiza las PP-14, PP-15, que son bombas que se encuentran en paralelo para mantener la disponibilidad por diseño del 50%. Su objetivo es reimpulsar el agua filtrada de los filtros cerámicos y depositarla en el TK-05 de agua de proceso. Cabe mencionar que para esta planta se define agua de proceso a un fluido superior a 60 Partes por millón desde ahora conocido como PPM. Las características están detalladas en la **Tabla N° 3.19**.

Se visualiza también las PP-18 y PP-19, las cuales corresponden a bombas de impulsión. También por proyecto vienen en configuración en paralelo a fin de mantener la disponibilidad del 50% y cumplen la función de retirar el agua de proceso del TK-05 hacia el filtro auto limpiantes a fin de llenar el TK-06 de agua sello. Cabe mencionar que en esta planta se considera agua sello al fluido con índice menor a 60 PPM. Las características están detalladas en la **Tabla N° 3.20**.



Figura N° 3.22: Estación de bombas. Fuente: Propia.

Tabla N° 3.19: Parámetros PP-14 y PP-15.

Parámetros	Especificaciones
Fabricante	WEG W22
Tensión V	380/660
Intensidad A	29.1/16.7
Min ⁻¹	2940
Frecuencia Hz	50
Factor de potencia	0.86
Peso de la unidad (Kg)	11.7
CAT	IPW55
FRAME	160M
Amb °C	40
Forma de conexión	Estrella
Potencia KW(HP)	15(20)
Factor de servicio	1.15
Sistema	Trifásico

Tabla N° 3.20: Parámetros PP-18 y PP-19.

Parámetros	Especificaciones
Fabricante	WEG W22
Tensión V	380/660
Intensidad A	18.8/10.8
Min ⁻¹	1465
Frecuencia Hz	50
Factor de potencia	0.83
Peso de la unidad (Kg)	10.6
CAT	IPW55
FRAME	160M
Amb °C	40
Forma de conexión	Estrella
Potencia KW(HP)	9.2(12.5)
Factor de servicio	1.15
Sistema	Trifásico

3.22 Filtro Auto limpiante posicionado en la Línea de proceso TK05

A continuación, en la **Figura N° 3.23** se visualiza el filtro auto limpiante cuya función es filtrar el agua de proceso del TK-05 y filtrarla en función de la lo admitido por proceso para ser considerada agua sello menor a 60 PPM. Los parámetros están en la **Tabla N° 3.21**.

Tabla N° 3.21: Parámetros de filtro auto limpiante.

Parámetros	Diseño
Presión mínima de trabajo Bar	2
Presión máxima de trabajo	10
Modelo	OME8304L
Sistema	Trifásico
Tensión V	220
Frecuencia Hz	50
Potencia KW	0.25
Intensidad A	1.2



Figura N° 3.23: Filtro auto limpiante. Fuente: Propia.

3.22.1 Principio de Funcionamiento

En la **Figura N° 3.24** explica la composición física del aparato y en el siguiente apartado se explica su principio de funcionamiento en los incisos posteriores desde el punto A al punto H.

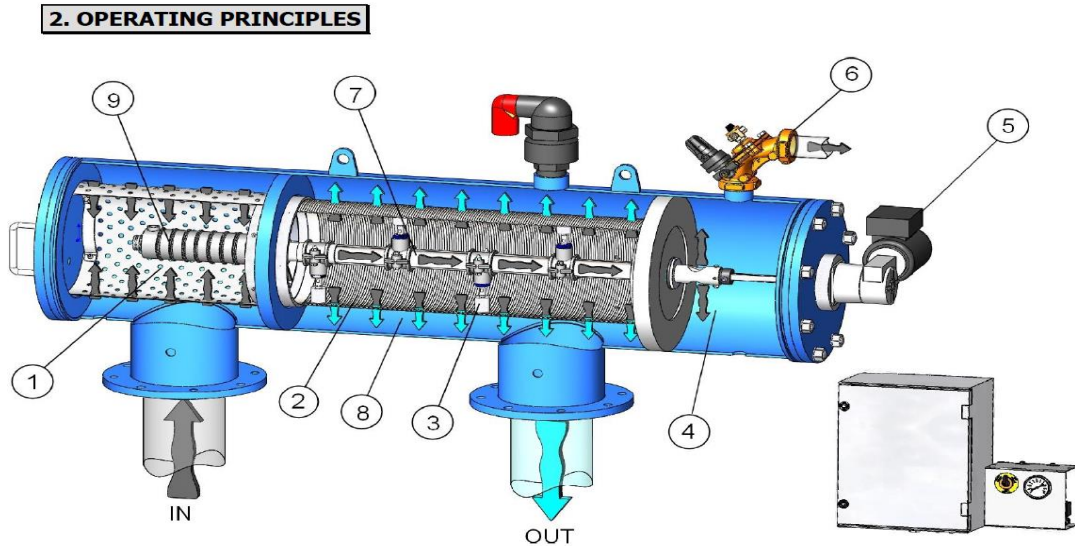


Figura N° 3.24: Filtro auto limpiante. Fuente: datasheet.

- A. El patrón de flujo normal Primera etapa de filtración: El agua cruda ingresa al filtro a través de la entrada y pasa a través de la malla gruesa (1) hacia el interior del filtro. Esto evita el paso de partículas grandes que pueden dañar el interior del filtro.
- B. Segunda etapa de filtración: Luego el agua fluye a través del interior del filtro hacia el lado interno de la fina sinterizada pantalla (2). Esta pantalla consta de una multicapa sinterizado (Pantalla de malla tejida de acero inoxidable sinterizada entre sí).
- C. El agua pasa por la rejilla de adentro hacia afuera hasta la cámara de agua filtrada (8) y sale por la salida. A medida que el agua pasa a través de la malla fina, los sólidos se acumulan creando una "torta" de suciedad en la superficie interna de la malla; como resultado, aumenta la caída de presión a través de la pantalla.
- D. Cuando la caída de presión en la pantalla alcanza un nivel preestablecido (0,5 bar -

7,5 psi), el controlador del filtro activa el ciclo de descarga. B. (Ciclo de lavado). Cuando se activa el comando de lavado, el controlador activa:

- E. La válvula de lavado (6) (la abre). 2. El motorreductor (5). El diferencial de presión entre la presión dentro del filtro y en la válvula abierta a la atmósfera en la cámara de lavado (4) produce un efecto de reflujo en las exclusivas boquillas SA (patente pendiente) (3), eliminando los sólidos acumulados de la malla al drenaje. El diseño único de las boquillas SA logra una mayor succión y una disminución significativa en el consumo de agua durante el lavado, debido a la precisión punto de contacto entre la boquilla SA única y la pantalla.
- F. El movimiento en espiral de las boquillas, como se mencionó anteriormente, limpia toda el área de la pantalla. El conjunto del colector es impulsado por un motor eléctrico que gira en una dirección. El motor eléctrico está conectado a través del colector (7) a un eje de movimiento inverso (9) que permite un movimiento lineal continuo (hacia adelante y hacia atrás) del conjunto colector.
- G. El ciclo de lavado se activará de acuerdo con una de la siguiente razón. Cuando se alcanza la presión diferencial predeterminada entre la entrada y la salida del filtro (como está preestablecido en el interruptor DP, generalmente 0,5 bar).
- H. Intervalo de tiempo entre un lavado y el siguiente (prefijado en el controlador - puede ser cambiado por el operador) - garantiza que el tiempo transcurrido desde el último proceso de autolimpieza no será mayor que el valor preestablecido determinado por el operador. 3. Lavado iniciado manualmente.

3.23 Planta de Floculante

En la **Figura N° 3.25** se muestra la planta de floculantes la cual se compone de 3 cámaras internas. La primera donde se combina el agua con el floculante se llama preparación. En esta cámara el agua clara es suministrada por medio de la línea de alimentación, la cual opera por un solenoide y un presostato.

Este equipo va suministrando el floculante por medio de un tornillo el cual va decantando el floculante combinándolo con el agua clara. Una vez llenado este estanque la solución decanta a la siguiente cámara llamada modulación. En esta cámara el fluido se va mezclando por medio de un agitador con el agua hasta que complete su secuencia. Esta última vuelve a caer por decantación a la última cámara llamada solución madre. En esta cámara el floculante ya preparado con el líquido es suministrado por medio de una bomba de impulsión llamada PP-30 al espesador por una línea que la comunica directamente. En la **Tabla N° 3.22** se muestra los componentes que conforman esta planta.

El método usado para aumentar la velocidad de sedimentación es provocar la unión entre partículas utilizando floculantes. Estos reactivos son polímeros de cadena larga y alta masa molecular, solubles en agua, que al establecer puentes entre partículas forman una partícula con un mayor tamaño aparente, solución que es elevada al espesador con el objetivo de aumentar la interfaz de agua para el proceso de recuperación de agua de proceso.

Tabla N° 3.22: Componentes de la planta de floculante.

Número de componentes	Nombre del componente
1	Depósito de Preparación
1	Depósito de Maduración
1	Depósito de Trasiego
2	Agitadores
1	Filtro
1	Presostato
1	Manómetro
1	Caudalímetro
1	Válvula solenoide
1	Válvula de nivel de compuerta
1	Sensor de ultrasonido ubicado en el depósito del trasiego
1	Tablero eléctrico
1	Rebosadero
3	Drenajes
1	Tolva dosificadora
1	Dosificador de polvo
1	Tornillo sin fin
1	Cámara de homogenización
1	Sensor de carga
1	Calefactor



Figura N° 3.25: Planta de floculante. Fuente: Propia.

CAPITULO IV

ANALISIS DE LA FILOSOFIA DE CONTROL

4.1 Filosofía de control

El principal objetivo de la operación del depósito de relaves filtrados es favorecer la construcción de las terrazas de relaves con un alto nivel de seguridad y que permita almacenar la capacidad total de los relaves generados durante la vida útil considerada.

En efecto, para el logro de tal objetivo, durante la operación se debe tratar de maximizar el volumen de relaves a obtener mediante la eliminación de agua, mediante los filtros cerámicos, con la condición de que el producto obtenido no exceda el 16% de humedad.

En este capítulo se menciona las operaciones relacionadas con el control de procesos, desde un punto de vista de la instrumentación y lazos de control, sin perjuicio de ediciones posteriores en término de reemplazos, mejoras o comentarios posteriores a la modificación de operación.

4.2 Definición de control automático.

Como consideración básica, se contempla el diseño de un sistema “SEMI-AUTOMATICO”, donde la operación del proceso se realiza principalmente en forma remota por operadores desde la sala de control de la Planta de Filtrado. Ocasionalmente, para efectos de pruebas y mantención, se podrá hacer partir y parar en forma momentánea los equipos con una botonera Normal abierta en terreno. El selector remoto/local para el uso de esta botonera se encuentra en los cubículos del Centros de Control de Motores o en la interfaz gráfica de los accionamientos por los Variadores de Frecuencia.

El control del proceso considera los siguientes aspectos de diseño:

- Monitoreo de las principales variables y alarmas de las áreas en la consola de operación de la planta de espesamiento/filtrado de relaves, ubicada en la sala de control.

- Control automático de equipos mayores mediante sistemas de control propio integrado al equipo y proporcionado por el proveedor del mismo, con monitoreo de las variables más importantes desde el sistema de control central. Los equipos mayores corresponden al espesador, a la planta de floculante, y a los Filtros Cerámicos, todos ellos con su propio panel de control local y un PLC independiente, y con su lógica programada en el PLC por el fabricante del equipo.
- Se contempla un PLC remoto ubicado en la sala eléctrica de la estación de Reimpulsión, el cual se comunica con el sistema de control mediante fibra óptica.

4.3 Modos de Operación

La operación normal de los equipos y sistemas de la planta será en modo remoto (REM), con las maniobras activadas y monitoreados desde la estación de operación de la sala de control. Las operaciones de equipos y sistemas, en modo local (LOC) estarán reservadas sólo para circunstancias especiales tales como maniobras de mantenimiento, pruebas durante la puesta en marcha y situaciones de emergencia.

En operación desde el modo remoto, se tienen las siguientes modalidades:

- **Automático:** En modo Automático el motor/equipo partirá en forma automática dentro de una secuencia de partida. El operador podrá actuar, dando inicio o detención sobre el conjunto de equipos que participan de una secuencia dada.
- **Manual:** En modo Manual el motor/equipo partirá por orden del operador de la sala, siempre y cuando no hay enclavamientos de seguridad ni de proceso.

En ambos modos la presencia de enclavamientos de seguridad, proceso y/o permisivos impedirán la partida de equipos individualmente o en secuencia. De igual forma se provocará la detención de equipos en funcionamiento. Para la operación en terreno (LOC), sólo se dispondrá de una botonera de Parada de Emergencia del tipo mantenida y alambrada directamente al partidor, por lo tanto, estará siempre habilitada, y será supervisada desde el sistema de control.

Toda la lógica de control, así como los enclavamientos de proceso y algunos de seguridad serán desarrollados mediante programación en el sistema de control. Las

únicas excepciones a lo anterior serán los dispositivos de seguridad a las personas, que son alambrados directamente al CCM (ej.: “Pull Cord” y botonera Parada de Emergencia), botón partir de correas y el relé de sobrecarga de los motores. Aun así, estos elementos se monitorean en el Sistema de Control.

Los relés de protección de motores serán del tipo inteligentes, conectados al sistema de control a través de bus de campo.

4.3.1 Típicos de Control de Motores

Los tipos de operación posible de motores y equipos eléctricos se han resumido en los siguientes:

- **Tipo M1:** Son todos aquellos motores eléctricos de baja tensión, de velocidad fija, no reversibles en sentido de giro, que no son comandados ni monitoreados desde el sistema de control. Su operación es exclusivamente local.
- **Tipo M2:** Son todos aquellos motores eléctricos de baja tensión, de velocidad fija, no reversibles en sentido de giro, de potencia inferior a 160 KW que son comandados y monitoreados desde el sistema de control. Disponen de los siguientes monitoreos y comandos:
 - 1) Estado de botonera PARADA DE EMERGENCIA.
 - 2) Estado del relé de SOBRECARGA.
 - 3) Estado del motor FUNCIONANDO/DETENIDO.
 - 4) Estado de la TENSIÓN DE CONTROL.
 - 5) Comando PARTIR / PARAR.
 - 6) Estado de los ENCLAVAMIENTOS CONFIGURADOS.
 - 7) Partidor en FALLA.
 - 8) Indicación configurada LISTO PARA PARTIR.
 - 9) Selector configurado en Pantalla AUTO / MANUAL.
 - 10) Corriente Motor.

- **Tipo M3:** Son todos aquellos motores eléctricos de baja tensión, de velocidad variable que incorporan variadores de frecuencia para el control de velocidad no reversibles en sentido de giro, de potencia inferior a 160 KW, que son comandados y monitoreados desde el sistema de control. Disponen de los siguientes monitoreos y comandos:

- 1) Estado de botonera PARADA DE EMERGENCIA.
- 2) Estado del motor FUNCIONANDO/DETENIDO.
- 3) Estado de la TENSIÓN DE CONTROL.
- 4) Estado FALLA del Variador de Frecuencia.
- 5) Comando PARTIR / PARAR.
- 6) Estado de los ENCLAVAMIENTOS CONFIGURADOS.
- 7) Indicación configurada LISTO PARA PARTIR.
- 8) Selector configurado en Pantalla PARTIR / PARAR.
- 9) Selector configurado en Pantalla AUTO / MANUAL.
- 10) Referencia de Velocidad.
- 11) Indicación de Velocidad.
- 12) Corriente Motor.
- 13) Potencia Activa.

- **Tipo M4:** Son todos aquellos motores eléctricos de baja tensión de velocidad variable que incorporan variadores de frecuencia para el control de velocidad, no reversibles, de potencia mayor a 160 KW, que son comandados y monitoreados desde el sistema de control. Estos motores poseen protección y control a través del relé de protección y variador de frecuencia. Se dispone a lo menos de los siguientes monitoreos y comandos:

- 1) Estado de botonera PARADA DE EMERGENCIA.
- 2) Estado del motor FUNCIONANDO/DETENIDO.
- 3) Estado de la TENSIÓN DE CONTROL.
- 4) Estado FALLA del Variador de Frecuencia.
- 5) Comando PARTIR / PARAR.

- 6) Estado de los ENCLAVAMIENTOS CONFIGURADOS.
- 7) Indicación configurada LISTO PARA PARTIR.
- 8) Selector configurado en Pantalla PARTIR / PARAR.
- 9) Selector configurado en Pantalla AUTO / MANUAL.
- 10) Referencia de Velocidad.
- 11) Indicación de Velocidad.
- 12) Corriente por Fase.
- 13) Potencia Activa.
- 14) Tensión entre fases.
- 15) Alarma de temperatura devanados motor.
- 16) Alarma de temperatura descansos motor.
- 17) Trip por temperatura devanados motor.
- 18) Trip por temperatura descansos motor.

- **Tipo M5:** Son todos aquellos motores eléctricos de baja tensión, de velocidad fija, con arranque suave, de potencia mayor a 160 KW, que son comandados y monitoreados desde el sistema de control. Estos motores poseen protección y control a través del relé de protección y partidor suave. Se dispone a lo menos de los siguientes monitoreos y comandos:

- 1) Estado de botonera PARADA DE EMERGENCIA.
- 2) Estado de botonera JOG.
- 3) Estado del relé de SOBRECARGA.
- 4) Estado del motor FUNCIONANDO/DETENIDO.
- 5) Estado de la TENSIÓN DE CONTROL.
- 6) Comando PARTIR / PARAR.
- 7) Estado de los ENCLAVAMIENTOS CONFIGURADOS.
- 8) Partidor en FALLA.
- 9) Indicación configurada LISTO PARA PARTIR.
- 10) Selector configurado en Pantalla PARTIR / PARAR.
- 11) Selector configurado en Pantalla AUTO / MANUAL.

- 12) Corriente Motor.
- 13) Alarma de temperatura devanados motor.
- 14) Alarma de temperatura descansos motor.
- 15) Trip por temperatura devanados motor.
- 16) Trip por temperatura descansos motor.

Sin embargo, si alguno de estos motores, por consideraciones de proceso o de seguridad, requiriera que algún otro estado que sea monitoreado por el sistema de control. Se mostrarán estos estados adicionales explícitamente en el **Anexo C**.

4.4 Típicos de Control de Válvulas Neumáticas

- **Tipo V1:** Son todas aquellas válvulas On/Off con actuador neumático doble efecto de dos solenoides, con posición de falla indeterminada y que son comandadas y monitoreadas desde el sistema de control. Disponen de los siguientes comandos y monitoreos:

- 1) Estado ABIERTA de la válvula.
- 2) Estado CERRADA de la válvula.
- 3) Indicación EN TRANSITO.
- 4) Indicación FALLA AL ABRIR.
- 5) Indicación FALLA AL CERRAR.
- 6) Comando ABRIR / CERRAR.
- 7) Selector configurado AUTO / MANUAL.
- 8) Estado de los ENCLAVAMIENTOS CONFIGURADOS.

- **Tipo V2:** Son todas aquellas Válvulas On/Off con actuador neumático simple efecto de una solenoide y retorno por resorte. Con posición de falla abierta o cerrada y que son comandadas y monitoreadas desde el sistema de control. Disponen de los siguientes monitoreos y comandos:

- 1) Estado ABIERTA de la válvula.
- 2) Estado CERRADA de la válvula.
- 3) Indicación EN TRANSITO.

- 4) Indicación FALLA AL ABRIR.
- 5) Indicación FALLA AL CERRAR.
- 6) Comando ABRIR / CERRAR.
- 7) Selector configurado AUTO / MANUAL.
- 8) Estado de los ENCLAVAMIENTOSCONFIGURADOS.

- **Tipo V3:** Son todas aquellas válvulas moduladas con posicionador neumático (I to P) que son comandadas y monitoreadas desde el sistema de control. Disponen de los siguientes monitoreos y comandos:

- 1) Posición de la válvula.
- 2) Indicación EN TRANSITO.
- 3) Indicación FALLA AL ABRIR.
- 4) Indicación FALLA AL CERRAR.
- 5) Referencia de Apertura/Cierre.
- 6) Selector configurado AUTO / MANUAL.
- 7) Estado de los ENCLAVAMIENTOSCONFIGURADOS.

4.5 Alarmas

La alarma es una indicación que advierte de alguna condición anómala en equipos, procesos o sistema. Cuando una variable o condición del proceso sale de sus parámetros normales, entonces el sistema de control genera una alarma en la estación de la sala de control. La lógica de comparación y/o monitoreo de estado de las variables está programada en los procesadores de control. En general, se usa lógica directa para todas las alarmas de proceso (cero condiciones normales y uno condición de alarma).

La aplicación de alarmas es para:

- Ayudar al operador, mantenedor o ingeniero en el diagnóstico y solución de problemas.
- Alertar de Fallas de equipos, procesos o sistemas.

- Alertar de problemas potenciales y que requieran de pronta atención, antes que se produzca un enclavamiento.
- La cantidad y presentación de alarmas está priorizada según su criticidad.
- El operador es avisado de la ocurrencia de una alarma prioritaria, mediante sonidos definidos.

4.5.1 Prioridad de Alarmas

Los tipos de alarmas definidos son:

- Críticas: o de prioridad alta (color rojo).
- Alertas: o de prioridad media (color amarillo)
- Intermitentes: o alarma espontánea (Color Verde).

En la configuración están definidas las características anexas de cada una de ellas, que son las siguientes:

- 1) Alarmas Críticas o de Prioridad Alta: Todas llevan asociadas un sonido fuerte, generan mensajes emergentes al operador en su monitor, donde él debe reconocer esta alarma. Se visualizan de color rojo en los mímicos, en el resumen de alarmas, en los campos de los faceplate y en los símbolos asociados.
- 2) Alarmas de Alerta o de Prioridad Media: Algunas llevan sonido de aviso, otras no los usan y no generan mensajes emergentes al operador en su monitor. Se visualizan de color amarillo en los mímicos, en el resumen de alarmas, en los campos de los faceplate y en los símbolos asociados.
- 3) Alarmas Espontáneas: Algunas veces ciertas variables presentan inestabilidad y suben o bajan espontáneamente y rápido en sus valores. Entonces generan alarmas que aparecen y se van rápidamente. El SC las deja registradas con color Verde flash a modo de informar al operador su ocurrencia, desaparece su indicación con el reset del operador.

4.5.2 Grupo de Alarmas

El grupo de alarmas es un conjunto de tags asociados con alarmas específicas, el objetivo es dividir en grupos para hacer más fácil y rápida la reacción del operador.

Sería casi impracticable que todas las alarmas encendieran la indicación de una sola forma. El operador no podría a priori saber dónde fue la ocurrencia de la falla o qué condición está generando problemas. En la pantalla el operador puede ver cada vez que se genere una alarma, el grupo al cual pertenece y de esta manera puede dirigir su atención al sector correspondiente para verificar lo que sucede.

Las alarmas se clasifican por grupos y de una manera ordenada, de esta forma el operador puede identificar de inmediato en qué lugar del proceso se ha activado una alarma. Cada tag de alarma está asociado a un grupo específico y para la configuración se tiene los siguientes grupos de alarmas:

- 1) Alarmas Generales y del Sistema de Control.
- 2) Alarmas de la Estación de Reimpulsión.
- 3) Alarmas del Espesador de Relaves.
- 4) Alarmas de la Planta de Floculante.
- 5) Alarmas de cada uno de los Filtros Cerámicos.
- 6) Alarmas del área de Aguas de Proceso.
- 7) Alarmas de los sistemas de detección de Incendio, otros.

Los grupos de alarmas permiten rápidamente acomodar su asignación, por lo tanto, durante la puesta en marcha los números de los grupos podrán ser modificados si los operadores requieren una numeración más nemotécnica.

Cuando una alarma ocurre, en el Banner de alarmas se activará el grupo correspondiente y se iluminará de forma intermitente y con el color según la prioridad que tiene esa alarma. Si el operador de sala de control hace un click en un recuadro donde aparece la alarma, aparecerá la ventana emergente del resumen de alarmas.

La representación de las alarmas en el sistema de control es la siguiente:

- 1) Alarmas Críticas o con prioridad alta:
 - a. Color rojo “intermitente” (flash) representa una alarma activada que no ha sido reconocida por el operador.
 - b. Color rojo fijo representa una alarma reconocida pero donde su condición de alarma sigue presente.
- 2) Alarmas de Alerta o con Prioridad Media:
 - a. Color amarillo “intermitente” (flash) representa una alarma activada que no ha sido reconocida por el operador.
 - b. Color amarillo fijo representa una alarma reconocida pero donde su condición de alarma sigue presente.
- 3) Un cuadro color verde flash significa que la condición que generó alarma ha desaparecido y falta que el operador la reconozca para desaparecer totalmente del resumen de alarmas.

El registro histórico de alarmas despliega todas las alarmas incluyendo la actual y alarmas anteriores, incluyendo los acontecimientos de alarmas. Es decir, acusa recibo de alarmas y vuelta de las alarmas a situación normal. La historia de alarmas es una visualización a pantalla completa. El operador de sala de control puede filtrar y clasificar las alarmas por grupo de alarma y campos de alarmas.

Se registran los siguientes datos para cada alarma:

- 1) Fecha y hora de activación de la alarma.
- 2) Fecha y hora de reconocimiento de la alarma por el Operador.
- 3) Fecha y hora en que la alarma vuelve a condición normal después de ser reconocida.
- 4) Fecha y hora en que la alarma vuelve a condición normal sin ser reconocida.

4.6 Enclavamientos y Permisivos

4.6.1 Enclavamientos, Fallas y Permisivos

Todos los enclavamientos y permisivos tendrán un faceplate donde se muestra los estados de cada uno con sus respectivos feedbacks (retornos). En estos faceplate dedicados y asociados a los equipos, se muestra los diversos enclavamientos, fallas y permisivos que se deben monitorear. Por ejemplo, cuando un motor en su primer nivel de faceplate indica que no está listo para partir, el operador deberá verificar cada una de las condiciones en el segundo nivel del faceplate.

En el faceplate se marcarán claramente las señales que bloquean la partida de un motor o aquellas fallas o enclavamientos que lo han llevado a detenerse. Además, en la parte superior se visualizará el botón de RESET, este botón se podrá presionar para borrar las fallas, enclavamientos o permisivos sólo una vez que estos estados sean levantados, de lo contrario el modo lo cambiará el botón seguirá presente.

4.6.2 Enclavamientos de Proceso

Estos enclavamientos son todas aquellas condiciones de proceso que deben cumplirse para que un equipo se coloque en funcionamiento y/o se mantenga funcionando confiablemente. En la lógica pueden ser evitados (by pass) si se cuenta con los atributos de administrador del sistema de control.

Tienen las siguientes características:

- 1) Si el equipo está en funcionamiento, se detiene cuando se activa el enclavamiento de proceso, por ejemplo, nivel bajo-bajo del estanque.
- 2) El equipo podría partir de nuevo en forma automática, sin intervención del operador, una vez que se ha normalizado el enclavamiento y el motor está en modo auto.
- 3) Si el equipo está detenido, no permiten partida con el enclavamiento activado.
- 4) En este proyecto las lógicas de enclavamientos de proceso se ejecutan en el sistema de control vía software.
- 5) Están habilitados sólo en operación normal, ya sea en Modo MANUAL o AUTO.

4.6.3 Enclavamientos de Seguridad

Estos enclavamientos son todas aquellas condiciones que comprometen la seguridad de personas y/o equipos, no son evitables (by pass). Tienen las siguientes características:

- 1) Si el equipo está en funcionamiento, se detiene cuando se activa uno de estos enclavamientos.
- 2) Se requiere acción por el operador para hacer funcionar el equipo de nuevo. Una vez que se ha normalizado el enclavamiento (donde el ícono de alarma está desactivado), el control se podrá reiniciar apretando el botón ACK (acknowledge).
- 3) Si el equipo está por enclavamiento detenido, no se permite partida.

A modo de ejemplo, los siguientes medios pueden efectuar una parada de emergencia de un motor o enclavamientos a través del Sistema de Control:

- 1) Cables alambrados directamente al partidador del motor.
- 2) Enclavamiento por lógica de control en la sala de control.

Los más típicos enclavamientos de seguridad son los siguientes:

- 1) RMF Listo: Es la señal que nos indica que el cubículo de Centro de conexión de motores está energizado y el partidador está listo para partir, la señal si es un cero lógico, significa enclavamiento por “No Listo”.
- 2) VDF Listo: Es la señal que nos indica que el VDF está energizado y está listo para partir, la señal si es un cero lógico, significa enclavamiento por “No Listo”.
- 3) Parada de Emergencia. Es un contacto cerrado que se abre al presionar un botón con retención, detiene y bloquea la partida del motor o equipo.
- 4) Falla Comm: Corresponde a falla de comunicación con el partidador RMF (Relé inteligente o relé multifunción), también cuando se pierde comunicación con un VDF.
- 5) Falla General: Corresponde a fallas que entregan los VDF o los RMF, que son distintas a la falla de comunicación y tampoco corresponden a sobrecargas, por ejemplo desbalance de las fases del motor, pérdida de una fase, eje de motor trabado.

- 6) Falla de Partida: Corresponde a un enclavamiento que se genera cuando la orden de partir a un motor ha sido dada por el controlador y este no ha respondido al comando, el control espera un tiempo y si el feedback “funcionando” no llega después de un tiempo se produce un enclavamiento.
- 7) Sobrecarga: Corresponde a la sobre corriente del motor.
- 8) Desalineamiento: Se produce cuando la cinta de la correa se desplaza hacia el lado y acciona uno de estos sensores.
- 9) Pull Cord. Corresponde al cordón de emergencia que se instala por el costado de las correas y alimentadores, de manera que las personas puedan tirarlo para detener y bloquear los motores respectivos.
- 10) Velocidad Cero: Corresponde al sensor de velocidad que detecta el atascamiento de los mecanismos de una correa o alimentador.
- 11) Corte de Correa: Es el sensor que viene con las correas para detectar una rasgadura de correa que generalmente producen caída de material a las partes móviles y el respectivo daño.

4.7 Permisos De Partida

Los permisivos son todas aquellas condiciones que deben cumplirse para que un equipo quede habilitado para partir, pero después que el equipo está en marcha, su presencia o ausencia no afecta el funcionamiento. Los permisivos se mostrarán en los respectivos diagramas lógicos, por ejemplo, un permisivo podría ser la condición de un motor el hecho de estar en modo AUTO y seleccionado para operar por una secuencia, otro permisivo podría ser la restricción de otro equipo funcionando en lo siguiente:

- 1) Si el equipo está detenido con un permisivo bloqueando, no se permite partida.
- 2) Si el equipo está en funcionamiento y aparece un bloqueo de permisivo, el motor no se detiene.
- 3) Los permisivos aparecen por lógica del sistema de control.

4.8 Falla Partidor

Estas fallas corresponden a las recibidas desde el partidor del motor. Son señales que vienen desde un partidor inteligente, variador de frecuencia o partidor suave. Tienen las siguientes características:

- 1) Si el equipo está en funcionamiento, se detiene cuando una de estas fallas se activa.
- 2) Se requiere llamar al mantenedor eléctrico de turno para que revise el motivo de la falla. Una vez normalizado el sistema por el eléctrico (reconociendo también que la alarma en el ícono de la campana no esté activada), se debe presionar el botón del faceplate ACK (acknowledge) para reiniciar el control.
- 3) Si el equipo está detenido por falla, no se permite la partida.

4.9 Control Operacional

Consiste en las secuencias, lazos de control, monitoreo y seguridad para la operación de la planta de Reimpulsión, Espesado y Filtrado.

4.9.1 Reimpulsión de Relaves a Planta de Filtrado en sala de control

La planta de Reimpulsión dispone de dos trenes de bombas en serie para la Reimpulsión del relave en el cajón receptor de relaves hacia el espesador ubicado en la planta de Espesado en la comuna de Tierra Amarilla y Filtrado de Relaves en la Quebrada el Gato.

- Secuencia de Partida para operación en planta de filtrado:
 - 1) Selector Local-Remoto en Remoto, de todos los equipos.
 - 2) Selector Manual - Automático en Automático, de todos los equipos.
 - 3) Selección por el operador del tren de bombas (se considera el tren A).
 - 4) Si se selecciona “Circuito A”, entonces verificar que los equipos del circuito A, bombas detenidas y Válvulas cerradas, incluyendo solenoide agua sello. Los equipos del circuito B pueden estar en manual y/o con falla.

- 5) Comprobar existencia de advertencia por nivel alto en TK-06 de Agua limpia (LAH-126: Sobre 80 % valor ajustable), entonces continuar.
- 6) Si Nivel Cajón Receptor de Relaves LIT-220 > 50% (Valor ajustable), entonces continuar.
- 7) Set Point LIC-220, PP-02 en 70% (Valor ajustable) de nivel de TK-01.
- 8) Cerrar válvula retorno YV-256.
- 9) Partir bomba PP-12A o PP-12B.
- 10) Partir bomba PP-13A o PP-13B.
- 11) Abrir válvula SV-257 (agua sello primera bomba del tren) y SV258 (Agua sello segunda bomba del tren).
- 12) Verificar switch de flujo FSL-231 y FSL-232.
- 13) Abrir válvula YV-252; alimentación de bomba PP-01.
- 14) Partir bomba de Reimpulsión PP-01.
- 15) Verificado el funcionamiento de PP-01, continuar.
- 16) Partir bomba de Descarga PP-02, con control de nivel LIC-220.
- 17) Abrir válvula descarga YV-254 de tren de bombas.

Todas las fallas en equipos o alarmas de muy alta presión, se generan las alarmas correspondientes y se detiene la secuencia.

- La Secuencia de Detención en operación de planta de filtrado es:

- 1) Cerrar válvula alimentación YV-252.
- 2) Detener Bombas PP-01 y PP-02 y cerrar válvula descarga YV-254.
- 3) Cierre de las válvulas de agua de sello SV-257 y SV-258.
- 4) Detención de las bombas de agua de sello PP-12A y PP-13A.

4.9.2 Espesador de Relaves y Planta Floculante

El espesador de relave es suministrado con un panel de control (PLC), visualizado en el **Anexo D** para el monitoreo, supervisión y control del equipamiento propio (Nivel de interfase, presión de la cama, unidad hidráulica para la rastra, torque). A su vez la planta de floculante también es suministrada con su propio panel de control con PLC, como el que se visualiza en el **Anexo F**, para el monitoreo, supervisión y control de su equipamiento. Ambos Paneles (PLC) se encuentran integrados por comunicaciones al PLC principal de la Planta, que será el encargado de comunicar los requerimientos entre ambos PLC.

- La Secuencia de Partida:

- 1) La partida y la detención del espesador será realizada en forma local desde la HMI.
- 2) Activación del lazo de control para la dosificación de floculante con orden enviada desde el PLC del espesador hacia el PLC de la planta de floculante.

La planta de floculante en el deberá ser configurada desde su HMI local para ser operada en forma remota desde el SCADA Siemens. Los pasos son los siguientes:

- 1) Selector Local-Remoto en Remoto, de todos los equipos.
- 2) Selector Manual -. Automático en Automático, de todos los equipos.
- 3) Dispone de una entrada digital “Permisivo DCS” permitirá dar partida desde el SCADA.

Una vez en operación se continuará con la partida de las bombas de dosificación (extracción):

- 1) La partida de las bombas se dará desde el SCADA a las variables “Orden de marcha remota bomba 1” o “Orden de marcha remota bomba 2”.

- 2) La consigna o Set point de velocidad se dará desde el SCADA a las variables “Consigna velocidad Variador 1” o “Consigna velocidad Variador 2”.
 - 3) El valor de la consigna o set point de velocidad de las bombas será dato por el LIT-400, correspondiente al Nivel de interface LIT-400. El nivel entregado por el LIT-400 implica que con el nivel interface bajo se aumenta la velocidad de la bomba de floculante, más floculante (no debe bajar del feedweel), nivel alto quito floculante considerando 10 gr/ton nominal, se regulará por terreno en forma empírica los valores mínimos y máximo. el sistema de control debe permitir ingresar en forma manual estos valores.
- Secuencia de Detención del espesador de relaves:
 - 1) El espesador de relave no se detiene, excepto que su detención sea programada para actividades de mantenimiento. Será detenido desde la HMI de su propio panel de control.
 - 2) La detención de la planta de floculante se realiza desde el SCADA, luego deteniendo las bombas de extracción, llevando su consigna a cero y luego realizando la detención.

4.9.3 Descarga/Recirculación del espesador de la planta de relaves

- Secuencia de Partida:
 - 1) Selección de circuito: “CIRCUITO A UNDERFLOW” o “CIRCUITO B UNDERFLOW”, ambos tienen la misma lógica de control.
 - 2) Asumiendo circuito A para el análisis.
 - 3) Selector Local-Remoto en Remoto, de todos los equipos del circuito A.
 - 4) Selector Manual - Automático en Automático, de todos los equipos del circuito A.
 - 5) Verificar que los equipos del circuito A, bombas detenidas y Válvulas cerradas, incluyendo solenoide agua sello. Los equipos del circuito B pueden estar en manual y/o con falla.
 - 6) Comprobar existencia de advertencia por nivel alto en TK-06 de Agua limpia (LAH-126: Sobre 80 % valor ajustable), entonces continuar.

- 7) Partir bomba PP-20 o PP-21 de agua sello.
- 8) Abrir válvula solenoide SV-170 agua de sello del circuito hacia bomba PP-08 de relaves.
- 9) Verificar FAL-133 (Presencia de Flujo agua sello).
- 10) Abrir Válvula YV-161 (descarga espesador).
- 11) Partir Bomba PP-08 y Abrir válvula YV-162 (descarga bomba PP-08).
- 12) Set point al valor indicado por la función de nivel cama. La velocidad será realizada mediante el PIT-8013 del espesador. Los rangos del PIT-8013 deben ser ajustados por medio de la densidad de las muestras (balanza marcy) en forma empírica, generando una curva lineal entre porcentaje de sólidos/presión de la cama del espesador. El PID deberá ser configurado como directamente proporcional.
- 13) Abrir válvula YV-165 (alimentación estanque Filtros).

4.9.4 Etapa de Recirculación en secuencia de operación para alimentación de planta.

- Recirculación modo automático:

- 1) $LT-120 > 90\%$.
- 2) Abrir válvula YV-164 (recirculación espesador).
- 3) Luego de tiempo de transición, (5 segundos).
- 4) Cerrar válvula YV-165 (alimentación estanque filtros).
- 5) Ajuste de velocidad de la bomba PP-08 por el operador (Inicial 40%, valor final en forma empírica por terreno).
- 6) Reanudara la secuencia de ALIMENTACIÓN una vez $LT-120 < 80\%$ (valores ajustables).

- Recirculación modo forzado:

- 1) Selección de Forzado de recirculación desde SCADA.
- 2) Abrir válvula YV-164 (recirculación espesador).
- 3) Luego de tiempo de transición, (5 segundos).
- 4) Cerrar válvula YV-165 (alimentación estanque filtros).
- 5) Ajuste de velocidad de la bomba PP-08 por el operador (Inicial 40%, valor final en forma empírica por terreno).

- Secuencia de Detención de la recirculación de agua a planta: La secuencia de recirculación o envío no se detiene abruptamente, excepto que su detención sea programada (Parada Emergencia desde SCADA), exista Trip de presión o nivel muy bajo en TK-06 de agua limpia. La detención en secuencia para ambos circuitos es la misma:

- 1) Asumiendo circuito A en operación y circuito B stand-by.
- 2) La detención del circuito actual se realizará en forma manual por el operador desde el SCADA. La secuencia es la siguiente:
- 3) Cerrar YV-161.
- 4) Cerrar al mismo tiempo las válvulas YV-165, YV-164 y YV-162 y simultáneamente detener PP-08.
- 5) Cerrar SV-170.

4.10 Control de Nivel estanque alimentación filtros cerámicos

El nivel del estanque se controla con el LIT-120, cuando el valor excede el 90% se cierra la alimentación de la válvula YV-165 y se abre la válvula de recirculación YV-164, la velocidad de la bomba PP-08 o PP-09 deja de ser controlada por el PID de presión de cama del espesador y cambia a velocidad fija; modificable desde SCADA visualizada en el **Anexo E**.

4.11 Cambio a circuito stand-by (ejecución del operador de terreno)

La detención del circuito actual y partida del circuito Stand-by se realizará en forma manual por el operador:

- 1) El operador ejecutará la secuencia de detención.
- 2) El operador ejecutará la secuencia de partida, ítem para el Circuito B.

4.12 LOOP de Alimentación filtros cerámicos

El Loop de alimentación Filtros Cerámicos se realizará mediante dos circuitos en paralelo (uno stand-by), con las bombas PP-10 o PP-11, ambas con accionamiento por variador de velocidad, y en loop de recirculación permanente. Este circuito en recirculación se mantiene aun cuando no se tenga ningún filtro en operación, con una velocidad mínima impidiendo el embanque de la tubería y controlando el nivel del TK-03. La carga de cada filtro se realiza con una derivación desde la línea de recirculación con una válvula pinch modulada y en una segunda etapa mediante válvula ON-OFF, ambas en forma independiente para cada filtro:

- Secuencia de Partida:

- 1) Selección de circuito: “CIRCUITO A LOOP” o “CIRCUITO B LOOP”, ambos tienen la misma lógica de control.
- 2) Asumiendo circuito A para el análisis.
- 3) Selector Local-Remoto en Remoto, de todos los equipos del circuito A.
- 4) Selector Manual - Automático en Automático, de todos los equipos del circuito A.
- 5) Si se selecciona “Circuito A”, entonces verificar que los equipos del circuito A, bombas detenidas y Válvulas cerradas, incluyendo solenoide agua sello. Los equipos del circuito B pueden estar en manual y/o con falla.
- 6) Comprobar existencia de advertencia por nivel alto en TK-06 de Agua limpia (LAH-126: Sobre 80 % valor ajustable), entonces continuar.
- 7) Detección de nivel mínimo (LT-120) en estanque alimentación Filtros. Para partir la secuencia se exige al menos un 50% de nivel (Valor ajustable).
- 8) Partir bomba PP-20 o PP-21.
- 9) Abrir válvula solenoide SV-172 agua de sello a bomba PP-10.
- 10) Confirmar flujo agua de sello FSL-132.
- 11) Abrir válvula YV-166 (alimentación PP-10).
- 12) Partir PP-10 y simultáneamente abrir válvula YV-168 (descarga bomba PP-10).

13) Regulación de velocidad de la bomba PP-10 con LIC-120, manteniendo el mínimo de flujo de retorno que impida embancamiento. La consigna del LIC-120 depende del nivel del TK-03, será definida en terreno por el operador.

- **Secuencia de Detención:** La secuencia LOOP Filtros, no se detiene abruptamente, excepto que su detención sea programada (Parada Emergencia desde SCADA), exista Trip de presión o nivel muy bajo en TK06 de agua limpia. La detención en secuencia para ambos circuitos es la misma:

- 1) Asumiendo circuito A en operación y circuito B stand-by para el análisis.
- 2) La detención del circuito actual se realizará en forma manual por el operador desde el SCADA. La secuencia es la siguiente:
- 3) Cerrar válvula YV-166.
- 4) Cerrar válvula YV-168 y detener bomba PP-10, simultáneamente.
- 5) Cerrar válvula SV-172.

4.13 Filtros Cerámicos

La filtración del relave se podrá realizar con tres unidades de filtro tipo cerámico, cada uno con su propio panel de control con PLC y HMI local disponible para operación en sitio. El o los filtros cerámicos pueden operar según elección del operador de la planta.

Las acciones propias de cada filtro como son: filtrado, lavado y retro lavado son controladas por el PLC propio de cada filtro.

Antes de iniciar la operación de los filtros debe estar operativo uno de los circuitos del Loop alimentación filtros. Actuadores de proceso adyacentes:

- 1) Partida a la cinta transportadora CV-016.
- 2) A Futuro (cuando se implemente la Válvula Modulada FV-174, FV-175, FV-176)
- 3) Habilitar modo automático de la válvula moduladora, al mismo tiempo se activará el control PID del nivel de la cuba del filtro.

4.14 Control de Nivel Cuba Filtro Cerámico (A Futuro Con Válvulas Pinch)

- LIC174-FL1 Control de apertura/cierre válvula moduladora FV-174.
- LIC175-FL2 Control de apertura/cierre válvula moduladora FV-175.
- LIC176-FL2 Control de apertura/cierre válvula moduladora FV-176.

- 1) Set point: AA % nivel de la cuba filtro cerámico.
- 2) Salida: 0 a 100 %.

4.15 Agua Filtrada

El agua que es producto de la filtración del relave se almacena en tres estanques (TK-13, 14 y 15) uno para cada filtro. Cada una de las líneas de transporte del agua filtrada incluye una medición de turbidez, de acuerdo a tal valor, dicha agua puede ser almacenada en el estanque de agua de proceso TK-05 (turb. > 50 ppm) o en el estanque de agua limpia TK-06 (turb. $\leq$ 50 ppm). La explicación siguiente es el principio de funcionamiento de los tres filtros.

4.15.1 Filtro 1, 2 y 3

- 1) Todos los equipos indicados en este punto deben estar en modo automático. El modo automático será seleccionado uno por uno por el operador de consola.
- 2) El Nivel de estanque de líquido filtrado TK-13 será un interlock para las bombas de descarga del tanque. Si la alarma LAL-122 no está activa, entonces la bomba puede partir.
- 3) El switch de nivel LAH-122 activo, indica que puede partir la bomba PP-25 y permanece hasta que se activa el switch LAL-122 o hasta que las válvulas YV-177 y YV-180 estén cerradas.
- 4) Si AIT-150 $\leq$ 50 ppm, entonces se cerrará la válvula YV-177 y abrirá la válvula YV-180.
- 5) Si AIT-150 > 50 ppm, entonces la lógica abrirá la válvula YV-177 y cerrará válvula YV-180.

- 6) Si $AIT-150 > 300$ ppm, entonces la lógica cerrará válvula YV-177 y YV-180 y detendrá la bomba PP-25.
- 7) Si $LIT-125 > 100\%$ se mantendrá todo como está y el rebose será enviado al sumidero por gravedad.

4.16 Agua A Planta Concentradora

El agua almacenada en el estanque de agua de proceso (TK-05) será transportada hacia la planta de concentrado mediante dos bombas centrífugas, ambas con variador de frecuencia. La velocidad de la bomba se establece para mantener un nivel de operación el estanque, a su vez que debe asegurar el nivel mínimo para el uso en la etapa de lavado de los filtros y agua para dilución del floculante.

4.16.1 Control de Nivel Estanque Agua de Proceso

- 1) Las bombas: PP-16 y PP-17 operan al estar en modo de control automático.
- 2) El control PID del nivel LT-125 comienza una vez que la bomba seleccionada comienza a funcionar.
- 3) $LIT-125 < 10\%$ (valor ajustable para alarma LALL-125), produce interlock en bombas.

4.16.2 Control Manual Bombas de traspaso agua proceso a tanque Agua Limpia

Esta acción será ejecutada manualmente por el operador:

- 1) Las bombas: PP-14 y PP-15 operan al estar en modo de control automático.
- 2) El control PID del nivel LT-126 comienza una vez que la bomba seleccionada comienza a funcionar.
- 3) $LIT-126 < 10\%$ (valor ajustable para alarma LALL-126), produce interlock en bombas.

4.17 Impulsión

En la operación de impulsión, como se muestra en el P&ID de la **Figura N° 4.1** los lazos de control presentes en el 2025-TK-01 obedecen a mantener el nivel de líquido en este tanque, de manera de no generar una acumulación de relaves. Por lo cual, el lazo de control asociado a este proceso es bastante simple. La velocidad de las bombas (variable manipulada) será la que se verá modificada en el caso de una variación del nivel del 2025-TK-01 (variable controlada), frente a cualquier perturbación del caudal de relave proveniente de la planta concentradora o desde la piscina de emergencia (variable de perturbación). Se cuenta además de un indicador de presión en terreno para la descarga de las bombas 2025-PP-01 y 2025-PP-03 y un indicador de presión en terreno y transductor de presión del caudal de descarga de las bombas 2025-PP-02 y 2025-PP-04, junto con un indicador y transductor de flujo a la salida del tren.

Se presenta a continuación, un diagrama simplificado del PID del área del circuito de impulsión de las bombas, mencionado anteriormente.

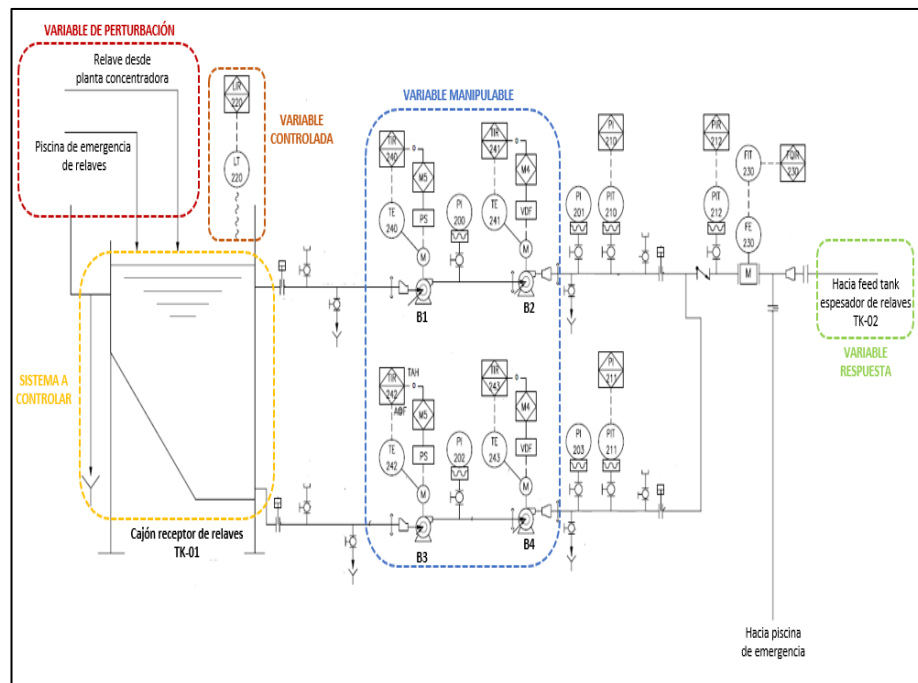


Figura N° 4.1: Enclavamiento impulsión de relaves. Fuente: Propia.

4.18 Espesador

En el espesador de relaves como se muestra en el P&ID de la **Figura N° 4.2**. Existen lazos de control para la modulación del caudal de descarga del espesador, el cual está en función del porcentaje de sólidos obtenidos en la descarga, la que a su vez está en directa relación con la alimentación de floculante alimentado al espesador.

Así, la velocidad de las bombas (variables manipulables) será la que modificará el caudal que será enviado hacia el 2025-TK-03, frente a cualquier modificación asociado al nivel cama y al de torque (relacionado con el porcentaje de sólidos; variable controlada) para evitar acumulación de sólidos en la alimentación (variable de perturbación).

Se cuenta además de un indicador de presión en terreno para la descarga de las bombas 2025-PP-08 y 2025-PP-09 y un indicador de presión en terreno y transductor de presión del caudal de descarga de las bombas 2025-PP-08 y 2025-PP-09, junto con un indicador y transductor de flujo a la salida del tren.

Se presenta a continuación, un diagrama simplificado del PID del área del circuito de impulsión de las bombas, mencionado anteriormente.

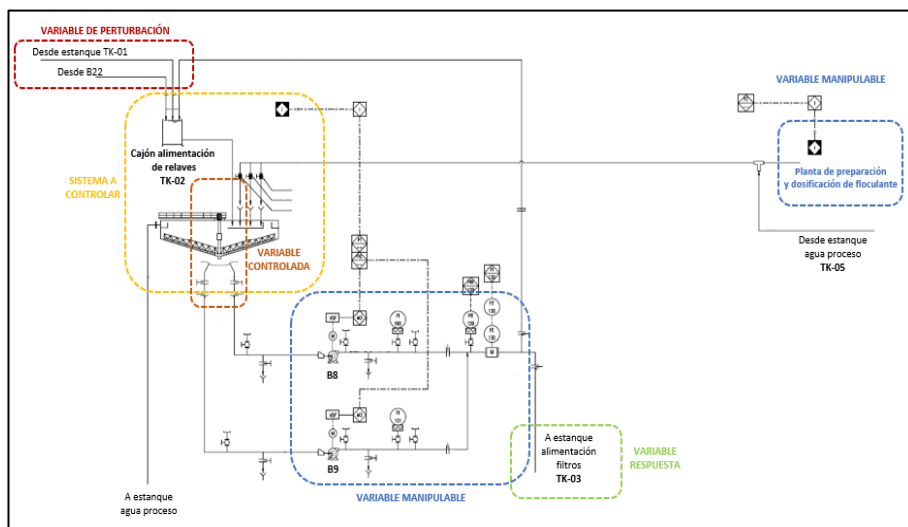


Figura N° 4.2: Lazos de control espesador de relaves. Fuente: Propia.

4.19 Estanque alimentación a filtros

Por otra parte, en el P&ID de la **Figura N° 4.3** la alimentación a los filtros cerámicos tiene su propio lazo de control, el cual es similar al de los trenes de impulsión A y B.

En la operación de impulsión, los lazos de control presentes en el 2025-TK-03 obedecen a mantener el nivel de líquido en este tanque, de manera de no generar una acumulación de relaves por lo cual, el lazo de control asociado a este proceso, es bastante simple. La velocidad de las bombas, o sea, el caudal de descarga (variable manipulada) será la que se verá modificada en el caso de una variación del nivel del TK-03 (variable controlada), frente a cualquier perturbación del caudal de relave proveniente de la planta concentradora o desde la piscina de emergencia (variable de perturbación). Se cuenta además de un indicador de presión en terreno para la descarga de las bombas 2025-PP-10 y 2025-PP-11 y un indicador de presión en terreno y transductor de presión del caudal de descarga de las bombas 2025-PP-10 y 2025-PP-11, junto con un indicador y transductor de flujo a la salida del tren.

Se presenta a continuación, un diagrama simplificado del PID del área del circuito de impulsión de las bombas, mencionado anteriormente.

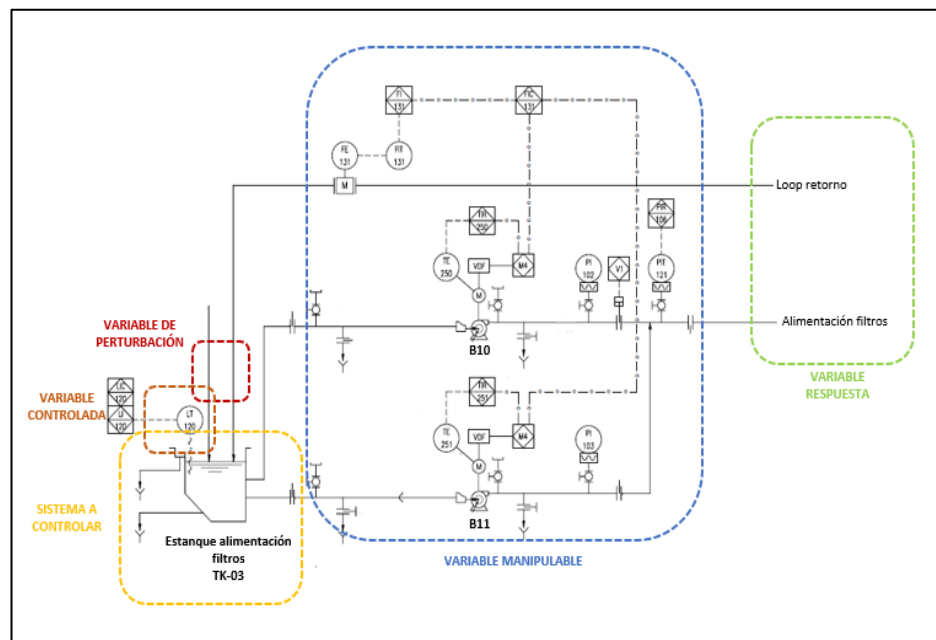


Figura N° 4.3: Lazos de control estanco alimentación filtros. Fuente: Propia.

4.20 Filtros cerámicos

Los filtros cerámicos cuentan con su propio sistema de instrumentación y control, en el siguiente P&ID como se observa en la **Figura N° 4.4** y como principal objetivo controlar el nivel de humedad del relave obtenido en los filtros. Así, la variable de perturbación en este caso, corresponde a la pulpa alimentada a los filtros mediante los loop; las variables controladas es el porcentaje de humedad del relave filtrado, modificando los parámetros operacionales propios del filtro cerámico: velocidad de rotación, nivel de la cuba y presión de vacío (variables manipulables). Se presenta a continuación un diagrama simplificado del PID asociado al filtro cerámico. En el **Anexo G** se visualiza el esquema eléctrico de la planta de ácido consecuente a la acción de retro lavado en filtro cerámico.

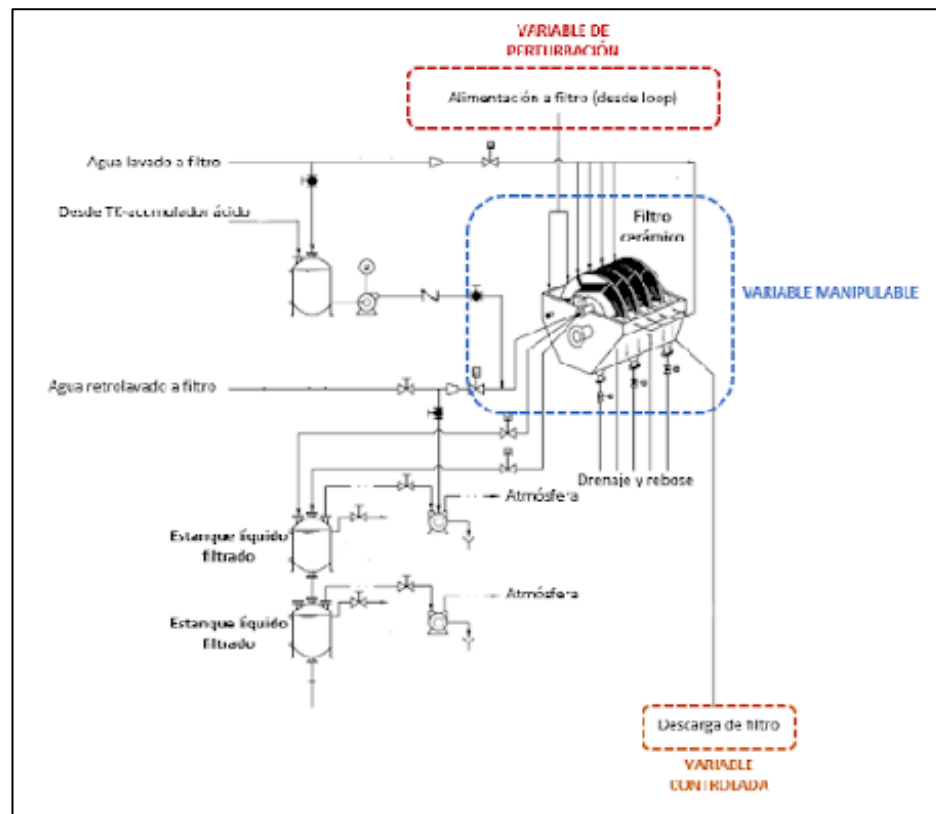


Figura N° 4.4: Lazos de control filtro cerámico. Fuente: Propia.

4.21 Estanques de recuperación de aguas

Las lógicas de control atribuibles al estanque de aguas de proceso y de agua limpia, corresponden al mantenimiento de los valores de set-point asociados a los niveles de aguas en los TKs. Así, la lógica de control asociada a estos estanques, es similar a los de los trenes de impulsión, donde se modifica la velocidad de rotación del impulsor para modificar consecuentemente el caudal de impulsión, a través de un VDF (modificando su velocidad), para mantener el nivel en estos estanques. Además, se cuenta con el lazo de control correspondiente a la calidad del agua recirculada, la que según el grado de turbidez. A valores mayor que 50 [ppm] el agua será recirculada al 2025-TK-06 como se aprecia en el P&ID de la **Figura N° 4.5**. En caso contrario, será enviada al estanque TK-07 como se observa el P&ID de la **Figura N° 4.6**, para ser utilizada como agua de sello en los procesos de la planta del depósito de relaves y como agua de retro lavado del filtro.

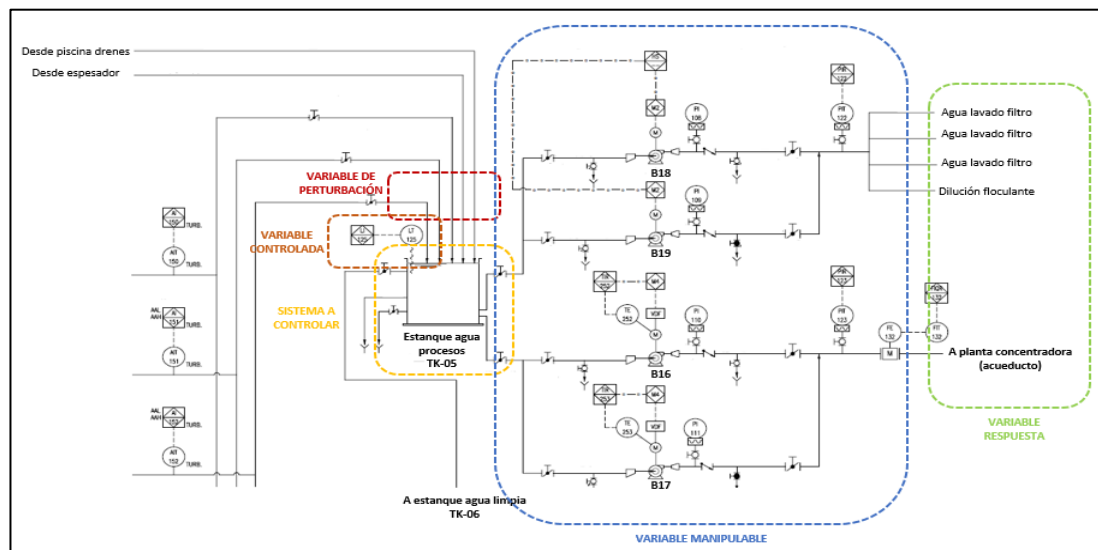


Figura N° 4.5: Lazos de control estanque agua de procesos. Fuente: Propia.

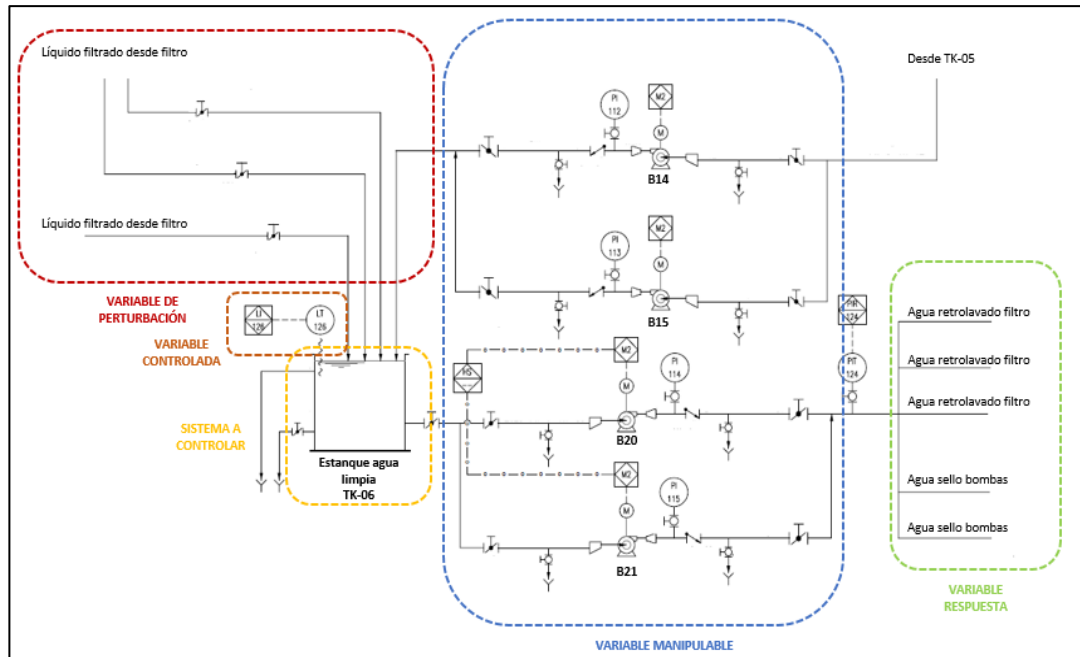


Figura N° 4.6: Lazos de control estanque agua limpia. Fuente: Propia.

4.22 Operación

La puesta en operación del sistema de PLC de la planta de relaves filtrados, en su primera oportunidad, deberá ser ejecutada por personal externo junto a personal de Atacama Kozan, quien deberá definir y afinar los parámetros de control para cada proceso de la planta de filtrado. No obstante, la puesta en operación y posterior operación del sistema debe considerar, al menos, los siguientes puntos:

- Chequeo de señales entre la sub-estación eléctricas y el equipo en terreno.
- Verificar la lectura correcta de cada uno de los instrumentos.
- Calibración de los instrumentos, en caso de ser necesario.

4.23 Monitoreo

Independiente del proceso en particular del proceso de filtrado de relaves, es que el monitoreo debe considerar al menos lo siguiente:

- Verificar la comunicación entre la sala de control (HMI) y los instrumentos localizados en terreno en la planta de relaves filtrados.
- Verificar la lectura correcta de cada uno de los instrumentos, en relación a lo señalado en terreno y los valores que se muestran en cada una de las pantallas de la sala de control.
- Personal calificado deberá monitorear la programación del desarrollo del algoritmo de control y acondicionamiento de señales y deberá actualizar las variables programables de control, según los parámetros operacionales definidos en la ingeniería básica y las condiciones operacionales en terreno, cada vez que sea necesario.
- Se deberá hacer monitoreo de la PV y la CV, en relación a la variable de salida a monitorear. Lo anterior, para localizar tempranamente, cualquier descalibración instrumental del proceso.
- Los instrumentos de campo deberán estar incorporados en el programa de mantención semanal, mensual y anual.

CAPITULO V

EVALUACION UTILIZANDO METODOS ESTADÍSTICOS

5.1 Descripción de cada PEM

5.1.1 PEM 1

La planta fue entregada por VENDOR el 17 de abril del año 2020. Al día siguiente se comenzó con los preparativos para efectuar la puesta en marcha número 1, la cual comenzó el 18 de abril del presente en el cual se alimentó el espesador con un sólido del 40% para comenzar a evaluar su operatividad. La planta de filtrado mantuvo su funcionabilidad durante un periodo de 8 horas efectivas y tuvo que detenerse ya que tanto el filtro cerámico 1, filtro 2 y el filtro 3 presentaron fallas mecánicas por la alimentación ya que no pudieron completar el proceso de filtrado de manera óptima, además de los errores de ajuste de operación y cantidad de floculante suministrado al espesador fueron incidentes a la detención de la operación.

5.1.2 PEM 2

Durante un Periodo de 7 días se realizaron los preparativos para la PEM 2, donde se realizaron y ejecutaron mantenimientos y mejoraras tanto en operación como en seguridad que fueron por ejemplo la mejora de la iluminación en el área de secado del queque filtrado.

Las mejoras que fueron concedidas fue la habilitación de las paradas de emergencias a las bombas y motores presentes donde se entregaron la PP-20, PP-21, PP-14, PP-15, PP-18, PP-19, que eran las que faltaba entregar durante este periodo se llegó a una operatividad funcional de 5 horas las cuales fueron detenidas por la elevación del torque del espesador donde alcanzó una magnitud de 70% y un sólido de 50%, el cual indujo en la determinación de detener el servicio para chequear el estado de la planta en todo su proceso.

5.1.3 PEM 3

Durante un periodo de 8 días se estuvieron chequeando y continuando con las mejoras en el diseño de la planta donde se incluyeron cambio de la línea de ácido de la planta de ácido que cumple la función de alimentar a los filtros para su respectivo lavado. El material por diseño era ineficiente el cual fue retirado por el departamento mecánico. Dentro de las mejoras se incluye el conexionado al sensor de atollo dispuesto en la cabeza de descarga de la correa CV-16, elemento que estuvo faltante.

Una vez entregado y mejoras las condiciones de operación se comenzó con la alimentación al espesador para comenzar con el filtrado. En este nivel se alcanzó una operatividad por un periodo de 9 horas y la causa de la detención fue las filtraciones presentes en las PP-10 y PP-11 que fueron conmutadas para ver cuál mantenía el régimen óptimo de operación.

5.1.4 PEM 4

Durante un periodo de 6 días la planta se mantuvo mejorando los valores nominales de operación, ajuste en la velocidad de las bombas, disposición de barreras duras en las fuentes de peligro de las partes móviles, para aislar las fuentes de potencial de los operadores, en el cual durante este periodo el mayor cambio fue en la dilución de alimentación de floculante para bajar la masa cama en un nivel que mantuviera el torque estable a un sólido de un 70%. El motivo de la detención fue el atollo de la CV-16 ya que la descarga del queque filtrado se estuvo acumulando en el chute de descarga la cual procedió a efectuar la detención por dicha condición. En este periodo se alcanzó una operatividad funcional de 5 horas.

5.1.5 PEM 5

Durante un periodo de 14 días se ejecutaron mantenimientos y mejoras como pintar el chute de descarga de la CV-16 con pintura para reducir el roce del queque filtrado y evitar otro atollo como incidente, pero un nuevo incidente mostro precedente y la capacidad del TK-03 se vio superada por la capacidad de filtrar de los filtros por lo cual se detuvo la operación para mejorar los parámetros de operación para ajustarse al caudal de alimentación.

5.1.6 PEM 6

Durante un periodo de 14 días se volvieron a ejecutar pruebas con los parámetros de operación para ajustarse al caudal de alimentación, pero el incidente que ocasiono la detención fue el diseño de la PP-30 ya que por el nivel de floculación ocasiono que la línea de alimentación al espesador se embancara y la alimentación de floculante quedo suspendida. Por dicho motivo se detuvo la planta para ejecutar la limpieza de la línea de alimentación de floculante para continuar con el proceso.

5.1.7 PEM 7

Ya con la mantención ejecutada se mantuvo en operación por 25 horas como a su vez el motivo de la detención fue la elevación del torque del espesador por el nivel de solido que estaba alimentando. Por dicho motivo se incide en detener la planta, ya que al sufrir la elevación de este parámetro era incidente en que la capacidad de los filtros para filtrar no era lo suficiente. Por dicho motivo se detuvo para realizar los ajustes de operación.

5.1.8 PEM 8

Durante un periodo de 7 días se ejecutaron pruebas para poder estimar los parámetros óptimos ya que se desconocía en ese momento los datos técnicos para continuar con una operación continua y al encontrarse la planta deficiente por no encontrarse por algún procesista fueron incidente en el nivel de planificación y en este periodo de pruebas solo se ejecutaban maniobras de ensayo y error, pero se continuaba observando que la eficiencia de los filtros no era la óptima para proceder a filtrar ya que la masa del queque filtrado estaba presentado nivel inadecuado en humedad lo que evidenciaba lo perjudicial que era para el proceso por los cual se detuvo la operación. En este pedido se logró una continuidad operacional de 72 horas.

5.1.9 PEM 9

Durante un periodo de 29 días se ejecutaron en todo Atacama Kozan obras de mantenimiento y en lo que ejecuta a la planta de relaves filtrado se ejecutó las pruebas de la Estación de impulsión y bombeo de relaves planta que se termina de actuar obra gruesa como el posicionamiento de la línea de alimentación a la planta de filtrado y obra fina que comprende en la culminación de trabajos de conexonado de los equipos de instrumentación. Luego de esto la planta logro una continuidad operacional de 152 horas, verdadero hito si se analiza el ineficiente nivel de planeación de las actividades ya que se ejecutaban las actividades con la metodología del ensayo y error.

5.1.10 PEM 10

Esta última puesta en marcha en análisis ha sido hasta el momento la más efectiva ya que desde la mantención que se le realizo a la PP-10 y PP-11, equipos dispuestos en la alimentación de los filtros cerámicos se ha logrado una continuidad operacional de 730 horas y contando, pero queda demostrado que la baja eficiencia en una planificación mal lograda es incidente en el nivel de cumplimiento de los objetivos de continuidad operacional. No se dice que esta etapa es fácil pero si es imperativo planificar las actividades para realizar un levantamiento a fondo para cumplir con los objetivos.

En la **Tabla N° 5.1** se detallan las PEM efectuadas hasta la fecha y el motivo de la detención y en la **Figura N° 5.1** se muestran los tiempos efectivos de operación. En el **Anexo B** esta un registro de las fallas registradas por el departamento eléctrico.

Tabla N° 5.1: PEM efectuadas hasta la fecha.

PEM	Duración (hrs)	Motivo de detención	Área de mantención
18-abr	8	Falla con Filtro 01,02,03	Elec/Mec
25-abr	5	Torque elevado Espesador	Operaciones/MEC
04-may	9	PP10/11	MEC
11-may	5	pp29 planta de floculante	Elec/MEC
25-may	15	Capacidad del TK03	Operaciones/MEC
08-jun	32	Planta de floculante	Operaciones/MEC
15-jun	25	Torque elevado Espesador	Operaciones
22-jun	72	Falla con Filtro 01,02,03	MEC
20-jul	152	Mantenimiento general	Operaciones/MEC/Elec
18-oct	730	PP 10/011	MEC

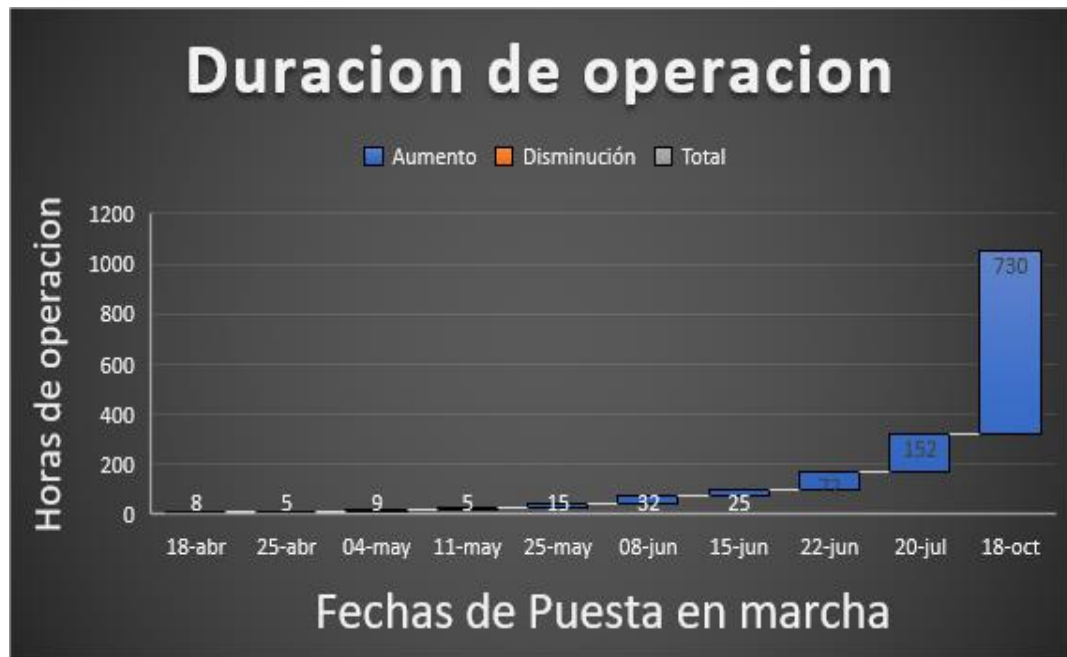


Figura N° 5.1: Tiempos efectivos de operación. Fuente: Propia.

5.2 Análisis causa y efecto

Para desarrollar un diagrama de causa y efecto, es primordial cuestionarse las problemáticas existentes dentro del periodo de puesta en marcha ya que por la cantidad de detenciones ha sido perjudicial para mantenerse en operación.

Uno de los métodos utilizados para poder llegar a las problemáticas de operación es utilizar el método de los ¿Por qué? El modo consiste en coordinar una reunión de trabajo con los operadores y departamentos involucrados para cuestionarse la problemática existente.

Para comenzar se ejemplará uno de las situaciones que fueron incidentes en este trabajo de desarrollo.

- **Método de los ¿Por qué?**

Problema: **Discontinuidad Operacional de la planta de filtrado de relaves.**

- Infraestructura: ¿Por qué no hay continuidad operacional?

Hay mala iluminación en el turno nocturno.

- Operación/Mantenedores: ¿Por qué no hay continuidad operacional?

No conocen bien el sistema de operación.

- **Método:** ¿Por qué no hay continuidad operacional?

La planta fue entregada atrasada y sin culminar el montaje.

- ¿Por qué fue entregada sin culminar el montaje?

Les corresponde a los mantenedores terminar el montaje.

- ¿Existe planes de mantenimiento?

No existe plan de mantenimiento aún.

- Equipos: ¿Por qué no hay continuidad operacional?

-Los equipos han presentado baja eficiencia.

- ¿Por qué han presentado baja eficiencia?

¿Por qué en periodo de pruebas aún no se conoce los parámetros de operación?

En la **Figura N° 5.2** se grafica el producto de este análisis.

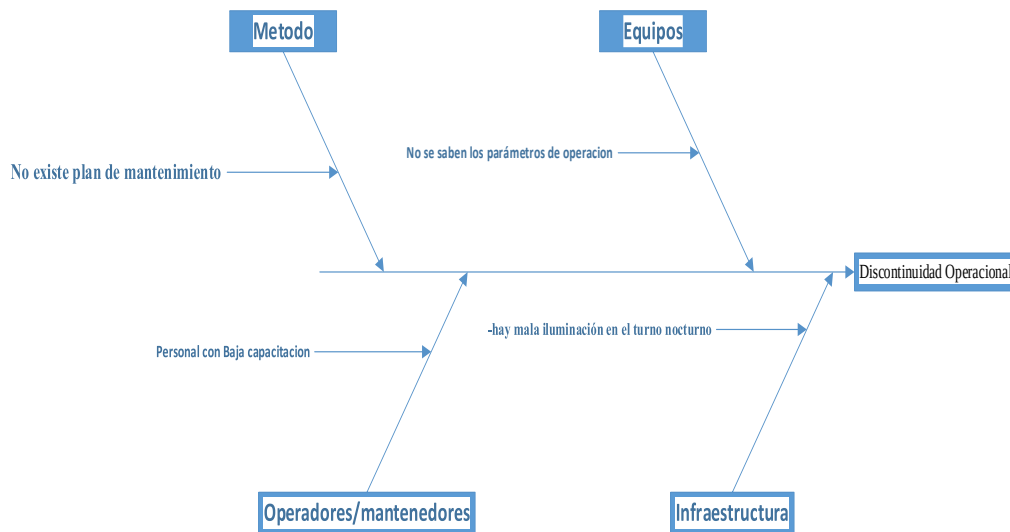


Figura N° 5.2: Diagrama Toma de Decisión. Fuente: Propia.

5.3 Determinando la causa raíz de la problemática

Para determinar la causa raíz de la problemática es necesario es plantear criterios para separar las problemáticas evidenciadas, los criterios a evaluar serán los siguientes:

¿Es un factor?, ¿es causa directa?, ¿tiene solución directa?, ¿solución factible?, ¿es medible? y ¿es de bajo costo? Dado los criterios mencionados se establecerá una escala de calificación con el cual se planteará la causa raíz con el puntaje mayor. Un Si equivale a un 1 y un No a un 0 y la calificación será sumada para obtener dicha calificación como la mostrada en la **Tabla N° 5.2**.

Tabla N° 5.2: Ponderación.

Causa Raíz		Criterios						Total
Causas	Solución	¿Es factor?	¿Causa directa?	¿Solución directa?	¿Solución Factible?	¿Es medible?	¿Bajo Costo?	
Metodo								
No existe plan de mantenimiento	Diseñar plan de mantenimiento	1	1	1	1	1	1	6
Infraestructura								
mala iluminación en turno nocturno	Mejorar la iluminación.	1	1	1	1	0	0	4
Equipos								
No saben los parámetros de operación	Capacitar al personal	1	1	1	1	1	0	5
Operadores/Mantenedores								
Personal con baja capacitación	Asesorar al personal en el proceso	1	1	1	1	1	0	5

En base a la conclusión de la calificación se observa que la causa raíz de la problemática es la inexistencia de un plan de mantenimiento, por lo cual por las competencias del personal incidente en la planta de filtrado se encomienda diseñar un análisis de mantenimiento con el objetivo de mantener la continuidad operación.

Aunque los demás objetivos si se realizaran a corto plazo, pero queda en detalle que la causa raíz será el primer problema a atacar.

CAPÍTULO VI

EJECUCION DE LOS INDICADORES TALES DE LOS EQUIPOS EVALUADOS EN CADA PUESTA EN MARCHA

6.1 Análisis de Pareto

El análisis de Pareto es una técnica estadística sencilla que permite discriminar los actores o parámetros más influyentes en alguna variable de estudio, mediante un método de análisis gráfico; por ende, permite identificar los elementos críticos de un sistema. Esta técnica se basa en el principio de que los problemas son ocasionados por un pequeño grupo de causas de un total posible (pocos significativos). Es conocido como la regla del ochenta veinte; ya que postula que el 80% de los efectos son provocados por el 20% de los factores. Vilfredo Pareto demostró que esta regla empírica se puede aplicar a muchos aspectos de la vida; siendo algunos de estos; el análisis de fallas de un sistema y el control de calidad de los productos. Para su ejecución es necesario elaborar un diagrama que combina dos curvas estadísticas: el histograma (representación de la frecuencia absoluta) y la ojiva (representación de la frecuencia relativa acumulada). Este diagrama puede ser referenciado como diagrama Pareto, diagrama A-B-C o diagrama ochenta veinte. Las variables de estudio pueden ser: cantidad de fallas, tiempo de reparación, costo de las fallas, etc. Sin embargo, sólo permite el análisis de una variable a la vez. La metodología para su elaboración considera la realización de las siguientes etapas:

1. Definir el problema y su alcance.
2. Definir la variable más representativa del problema.
3. Listar el histórico de las causas relacionadas con el problema y su respectiva frecuencia absoluta.
4. Ordenar la lista de causas de mayor a menor (según su frecuencia absoluta).
5. Obtener las frecuencias relativas de cada causa (porcentaje que representa cada evento respecto al total) y obtener la columna de frecuencia acumulada.
6. Confeccionar un diagrama de barras (Histograma), con el porcentaje de incidencia en el problema de cada causa ordenado de mayor a menor. En el mismo diagrama debe graficarse los valores obtenidos en la columna de frecuencia acumulada (Ojiva).
- 7.

Seleccionar los eventos o causas cuya suma acumulada sea igual o mayor al 80% de las causas respecto al total. Estos eventos corresponderán al veinte por ciento postulados por Pareto. El siguiente ejemplo muestra el uso de esta herramienta tomando como posibles variables de estudio la frecuencia de fallas en los equipos y su tiempo de detención en la **Tabla N° 6.1**.

Tabla N° 6.1: Estudio la frecuencia de fallas en los equipos.

N°	Equipo/Subsistema	Cantidad de fallas	Tiempo de detención [hrs]
1	CV-16/Correa transportadora	19	43,16
3	PP-11/bomba de descarga	9	15
2	PP-10/bomba de descarga	7	10
7	Planta floculante	6	8,5
12	Filtro N°3	3	8
5	PP-26/filtro 1	2	5
6	PP-27/filtro 3	2	5
8	PP-08/descarga espesador	3	5
11	Planta Acido	1	4
9	PP-16/agua proceso	1	2
13	Filtro N°1	2	1,5
4	PP-25/filtro 2	1	1
10	PP-22/vertical sumidero	1	1
14	Filtro N°2	1	1

Para el desarrollo del ejemplo, la variable en estudio es la cantidad de fallas. Realizando los procedimientos descritos en el punto cuatro y cinco se obtiene la siguiente tabla.

Tabla N° 6.2: Porcentaje de Fallas.

N°	Equipo/Subsistema	Cantidad de fallas	Tiempo de detención [hrs]	% tiempo falla total Fre/rela.	% de falla acumulado Fre. acom.
1	CV-16/Correa transportadora	19	43,16	39%	39%
3	PP-11/bomba de descarga	9	15	14%	53%
2	PP-10/bomba de descarga	7	10	9%	62%
7	Planta floculante	6	8,5	8%	70%
12	Filtro N°3	3	8	7%	77%
5	PP-26/filtro 1	2	5	5%	81%
6	PP-27/filtro 3	2	5	5%	86%
8	PP-08/descarga espesador	3	5	5%	90%
11	Planta Acido	1	4	4%	94%
9	PP-16/agua proceso	1	2	2%	96%
13	Filtro N°1	2	1,5	1%	97%
4	PP-25/filtro 2	1	1	1%	98%
10	PP-22/vertical sumidero	1	1	1%	99%
14	Filtro N°2	1	1	1%	100%
Total		58	110,16		

Una vez elaborada la tabla con todas las frecuencias requeridas, se puede obtener el diagrama Pareto e identificar cuáles son las causas críticas; las cuales en este caso son todas aquellas que en conjunto provocan al menos el 80% de las fallas. La **Figura N° 6.1** donde muestra el diagrama Pareto obtenido del análisis de los datos de la **Tabla N° 6.2**.

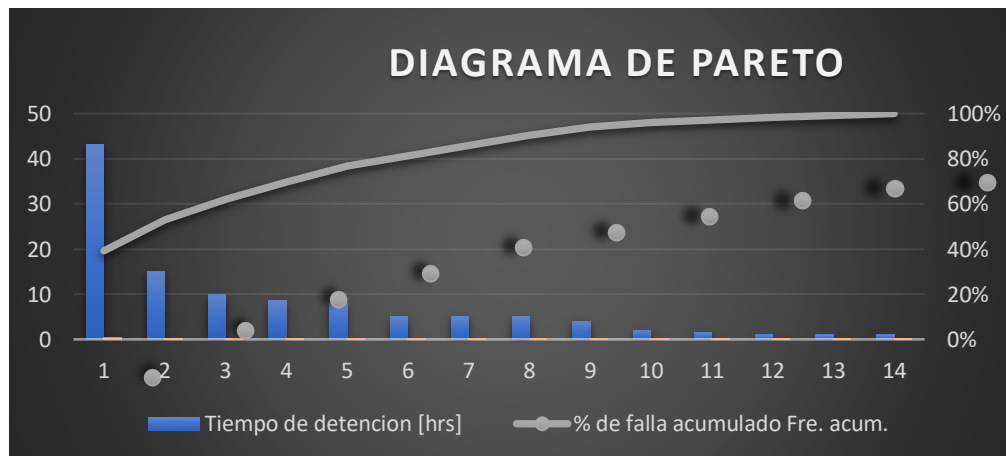


Figura N° 6.1: Diagrama de Pareto. Fuente: Propia.

El diagrama muestra que el 80% de las fallas son provocadas por tres equipos. En este caso, ellos son: CV-16, PP-10, PP-11, Si se hubiese realizado el diagrama analizando el tiempo de detención en vez de la cantidad de fallas, los equipos que hubiesen incidido de mayor manera en los tiempos de detención serían: Planta de floculante, Filtro N°3, PP-08 y la planta de ácido. De este análisis se concluye que: el uso de esta técnica permite al usuario un rápido y fácil análisis de los datos, sin embargo, al requerir evaluar varias variables simultáneamente; el análisis se torna complejo ya que para cada variable se debe realizar un diagrama y se obtendrán distintos resultados. Otra desventaja que presenta el método; es que no incorpora un mecanismo que permita saber qué variable es más determinante en la jerarquización, por ende, dificulta determinar cuál de todos los factores que impacta más negativamente en el proceso. Al igual que en todos los métodos cuantitativos, la veracidad de los resultados entregados por el diagrama dependerá directamente de la confiabilidad de los datos compilados.

CAPÍTULO VII

DISEÑO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA CRITICIDAD

7.1 Modelos de riesgo (risk assessment techniques)

Los modelos de riesgo son técnicas de priorización cualitativos y/o mixtos. Esto depende de la información histórica existente relacionada a las fallas de los equipos. Estas técnicas son una herramienta de uso frecuente para determinar equipos y/o componentes críticos de un sistema. En mantenimiento, el riesgo puede ser definido como el impacto potencial que genera un activo, proveniente de alguna falla futura. Se vincula directamente a la probabilidad de ocurrencia de un suceso. Algunos de los principales métodos existentes son: el método de criticidad total por riesgo y el risk priority number o RPN, los cuales se detallan a continuación.

La Criticidad total por Riesgo, donde para aplicar cualquier técnica de evaluación de riesgo; es necesario cuantificar el riesgo de cada elemento en análisis; asignándoles así una prioridad. La manera general de cuantificar este riesgo combina la probabilidad de que un evento ocurra con el impacto que puede causar. De esta manera el riesgo puede quedar expresado de la siguiente manera:

$$R = P * I$$

(Ec. N° 7.1) Ecuación de Riesgo.

donde R es el valor de riesgo, P la probabilidad de ocurrencia e I es el posible impacto del evento. P representa la probabilidad de falla del elemento en un determinado tiempo. Este valor se obtiene con la frecuencia de falla. Las frecuencias se obtienen mediante análisis estadístico de datos históricos y en su defecto se puede utilizar opinión de expertos en el área, relacionando así, el conocimiento empírico con una variable cuantitativa.

El impacto posible de la falla I se evalúa de la siguiente manera:

$$I = (I_{oper} * F_{resp}) + C_{mto} + I_{seg} + I_{amb}.$$

(Ec. N° 7.2) Ecuación de impacto de posible falla.

en donde I_{oper} representa el impacto operacional, F_{resp} la disponibilidad de repuesto (flexibilidad de respuesta), C_{mto} los costos de mantenimiento, I_{seg} el impacto sobre la

seguridad de las personas y *Iamb* el impacto sobre el medio ambiente. Cada variable o factor debe ser evaluado por personal con conocimiento del contexto operacional del equipo o sistema. Posterior a esto se realiza una ponderación de cada una de ellas para finalmente obtener su puntuación final. La **Tabla N° 7.1** ejemplifica una tabla posible de ponderaciones de los eventos a analizar:

Tabla N° 7.1: Ponderaciones.

Frecuencia de fallas	
Ponderación	Descripción del intervalo
1	Menor igual a 0,5 fallas/año
2	Mayor a 0,5 y menor a 1 fallas/año
3	Mayor a 1 y menor a 2 fallas/año
4	Mayor a 2 fallas/año
Impacto operacional	
Ponderación	Descripción del intervalo
1	Falla no genera impacto operacional
3	Falla detiene de manera temporal la operación
5	Falla detiene completamente el equipo/sistema.
Flexibilidad en adquisición de repuestos	
Ponderación	Descripción del intervalo
1	Repuesto disponible de manera instantánea.
3	Repuesto de rápida adquisición.
5	Repuesto no disponible en el mercado nacional.
Costo de mantenimiento	
Ponderación	Descripción del intervalo
1	Costo menor a \$2000000 pesos Chilenos
2	Costo entre \$2000000 y \$5000000 pesos Chilenos
3	Costo entre \$5000000 y \$10000000 pesos Chilenos
4	Costo mayor a \$10000000 pesos Chilenos.
Impacto en seguridad y medio ambiente	
Ponderación	Descripción del intervalo
1	No afecta a la seguridad operacional ni del medio ambiente
3	Provoca daños menores al personal y/o medio ambiente
5	Provoca daños mayores al medio ambiente
6	Provoca daños mayores a la operación.

Dependiendo de los valores de ponderación asignados a cada variable se obtiene el máximo valor de riesgo, que en este caso es de 100. Luego se establecen intervalos de criticidad de manera de clasificar los valores de riesgo. Finalmente se construye la matriz de riesgo; la cual, toma las ponderaciones de frecuencia en el eje de las ordenadas y los valores de impacto en el eje de las abscisas.

Frecuencia	4	Criticidad Media	Criticidad Media	Critico	Critico	Critico
	3	No Critico	Criticidad Media	Criticidad Media	Critico	Critico
	2	No Critico	No Critico	Criticidad Media	Criticidad Media	Critico
	1	No Critico	No Critico	No Critico	Criticidad Media	Criticidad Media
		20	40	60	80	100
Impacto						

Figura N° 7.1: Matriz de Riesgo. Fuente: ROS, A.M. Mantenimiento Industrial.

La matriz de riesgo facilita el análisis e interpretación del valor numérico obtenido; permitiendo relacionar el resultado con el nivel de criticidad que proporciona el riesgo evaluado a un sistema. Nos permite clasificar los activos en tres categorías: no críticos, de criticidad media y críticos.

Este método puede ser utilizado para determinar los equipos o componentes críticos de un determinado sistema; priorizando así los esfuerzos en los activos más influyentes del proceso en cuanto al mantenimiento. Por ende, permite generar planes de mantenimiento eficientes, ya que considera múltiples factores; como el impacto a la seguridad y el medio ambiente, los costos de mantenimiento y el impacto a la operación productiva, sin embargo, el método no permite discernir cuál o cuáles son los factores más influyentes a la hora de evaluar la criticidad, por lo que la ecuación que resume el total ponderado de riesgo.

7.2 Risk Priority Number (RPN)

Es un método bastante similar al de criticidad total por riesgo. En éste también se tiene como objetivo obtener algún índice de riesgo del activo. A diferencia del método anteriormente descrito, el RPN tiene relación directa con otra técnica de análisis. La técnica FMEA o AMFE (análisis de modos de fallas y de sus efectos) emplea al RPN para obtener un valor numérico del riesgo potencial de cada modo de falla, por ende, su aplicación tiende a ser de priorización de componentes dentro de un equipo o conjunto. La técnica FMEA tiene aplicación principalmente en análisis de confiabilidad en equipos industriales. Se dará mayor referencia a esta técnica en apartados posteriores de este trabajo de título. El cálculo del RPN se realiza con la siguiente expresión matemática.

$$RPN = S * O * D$$

(Ec. N° 7.3) Ecuación de N° de prioridad del riesgo.

S es la severidad de la falla. Esta variable representa el impacto previsto de la falla. Dichos impactos o consecuencias pueden a la vez clasificarse en distintos tipos; como, por ejemplo: ambientales, económicos, etc. Su valor numérico deriva de estimaciones subjetivas de un grupo de expertos. Para esto se deben elaborar previamente tablas que permitan al grupo de expertos dar un valor ponderado a cada una de los impactos. *O* es el grado de ocurrencia de la falla. Se relaciona con la probabilidad de que un fallo se produzca en el equipo. Requiere datos para poder aproximar la probabilidad de ocurrencia por unidad de tiempo. Al igual que en la variable anterior, se recomienda elaborar una tabla en donde, las probabilidades de fallos se estratifiquen en intervalos de distinta ponderación según su nivel de ocurrencia. De no existir una data histórica, la probabilidad puede ser estimada mediante opinión de expertos.

La siguiente tabla muestra un ranking estratificado según la norma SAE J1739.

Tabla N° 7.2: Ranking.

Probabilidad de falla	Posibles tasas de falla	Clasificación
Muy alto: falla casi inevitable	≥ 1 en 2	10
	1 en 3	9
Alta: fallos repetidos	1 en 8	8
	1 en 20	7
Moderada: falla ocasionales	1 en 80	6
	1 en 400	5
	1 en 2000	4
Baja: falla relativamente poco frecuente	1 en 15000	3
	1 en 150000	2
Remota: La falla es poco probable	≤ 1 en 1500000	1

D es el grado de detectabilidad de la falla. Esta variable representa la posibilidad de poder detectar alguna falla de manera previa a que se produzca. Para la valorizar el grado de detección de la falla puede utilizarse una escala basada en el intervalo de detección de cada una de las técnicas, denominado como intervalo P-F.

Una vez ponderada cada una de las variables; el valor total (RPN); debe ser ordenado de mayor a menor, permitiendo identificar de manera rápida los componentes de mayor riesgo en el equipo. La tabla adjunta resume los resultados obtenidos a partir de esta técnica; analizando los componentes de la planta de Floculante vista en la **Tabla N° 7.3**.

Tabla N° 7.3: Planta Floculante.

Orden	Montaje	RPN	S	D	O
1	Presostato	900	10	10	9
2	PP-30/ alimentación a espesador	900	10	10	9
3	Electro válvula	810	10	9	9
4	Bomba de extracción 1	800	10	10	8
5	Bomba de extracción 2	800	10	10	8
6	Mezclador	500	10	10	5
7	Sensor de nivel de tolva	400	10	10	4
8	Válvula de bola	100	10	10	1
9	Válvula de Control y cierre	100	10	10	1
10	Sistema de aspiración de polvo	100	10	10	1
11	Válvula reguladora de presión	90	10	9	1
12	sistema de calefacción	70	10	7	1

En esta tabla se aprecia que los componentes de mayor riesgo en la planta de floculante son: el presostato, la PP-30, la electroválvula de alimentación de la planta y las bombas de extracción 1 y 2. Esta técnica ha sido validada por diversos autores, debido a que entrega resultados similares a los obtenidos con análisis de confiabilidad más complejos.

La norma SAE J1739 recomienda algunos tipos de tablas para ponderar todas las variables requeridas para aplicar la técnica RPN. En éstas, pueden realizarse las modificaciones que sean necesarias para satisfacer las necesidades del contexto o proyecto.

7.3 Método cuantitativo (Disponibilidad/Confiabilidad/Mantenibilidad)

Este método de jerarquización tiene un enfoque numérico- probabilístico; el cual busca cuantificar las variables que definen la criticidad del subsistema, equipo o componente.

Considera el impacto directo de cada elemento sobre el sistema en términos de indisponibilidad esperada (confiabilidad y mantenibilidad) y sus costos asociados (directos e indirectos). Para realizar un correcto análisis; es necesario obtener datos de: costos directos de mantenimiento o reparación (repuestos, HH., insumos, etc.), impactos económicos por indisponibilidad de producción (costos de ineficiencia), tiempos medios de buen funcionamiento (MTBF) y tiempos medios de reparación (MTTR). El cálculo del MTBF depende de en qué etapa del ciclo de vida se encuentre el activo, por ende, se debe disponer de una base de datos que entregue un resumen histórico del comportamiento de las fallas en cuanto al número de ocurrencias y al tiempo entre cada una de ellas (desde el inicio de una avería hasta la ocurrencia de la avería posterior). Una vez determinada la etapa del ciclo de vida del activo, se debe aplicar el modelo de probabilidad de fallos respectivo que determinará el método de cálculo o aproximación del MTBF. La obtención del MTTR es sólo a través de datos históricos. Una vez obtenidos los tiempos medios; se puede calcular la disponibilidad del elemento. Adicionalmente, debe existir claridad en la configuración lógica funcional del sistema. Esto permite evaluar correctamente el impacto de cada indisponibilidad de equipo o subsistema y dentro de la indisponibilidad sistémica total. El o los equipos que tengan la

mayor indisponibilidad serán considerados como los equipos críticos del sistema, direccionando correctamente los esfuerzos y recursos técnico-económicos a los elementos de mayor impacto dentro del negocio. En caso de plantas productivas que tengan líneas de producción independientes entre sí; trabajando de manera paralela, se deberá realizar adicionalmente el análisis de los costos globales entre líneas; permitiendo así una comparación económica entre líneas independientes. Las variables de análisis cuantitativo necesarias para la ejecución de esta técnica se resumen en la **Figura N° 7.2**.



Figura N° 7.2: Variables de Análisis Cuantitativo.

Al ser un método basado en su totalidad en variables estadísticas; su aplicabilidad dependerá de la existencia de una base de datos históricos confiables en cuanto a las variables de gestión del mantenimiento. Una vez comprendidas todas las técnicas de jerarquización; en cuanto a sus exigencias, ventajas y desventajas; éstas deben de ser contrastadas con el contexto operacional de la planta en análisis.

Dependiendo del tipo de técnica de jerarquización; es necesario disponer de información estadística confiable referente a las actividades de mantenimiento ya sea de tiempo y/o de costos. La necesidad de datos históricos depende de la técnica de jerarquización a implementar. Cabe mencionar que la principal limitante en estos análisis: es la existencia de esta información. La información requerida debiese ser obtenida de algún sistema informático de administración y gestión del mantenimiento; de lo contrario su veracidad no será comprobable. La confiabilidad de los datos tiene completa relación a la existencia y cumplimiento de un procedimiento que entregue una normativa clara de cómo proceder ante una eventual falla de los equipos y registrar la mayor cantidad de información de ésta. Los campos mínimos que debiesen ser registrados al ocurrir alguna

avería son:

- Fecha ocurrencia.
- Hora ocurrencia.
- Duración de la intervención.
- Tipo de intervención (estrategia).
- Código de equipo o ubicación técnica.
- Especificar si la falla contempla detención de producción. De manera adicional es recomendable que también se registre información acerca de:
 - Modo de falla.
 - Síntoma.
 - Costo de la intervención.
 - Componente defectuoso.

Los equipos determinados como críticos, de manera posterior, se someterán a algún método analítico de gestión que permita establecer mejores estrategias de mantenimiento. Esto busca aumentar la disponibilidad individual de cada elemento y por ende del sistema, logrando así disminuir sus costos globales, sin embargo, en bastantes ocasiones, ninguna estrategia convencional logra aumentar la disponibilidad del equipo. En estos casos, la solución tiende a ir de la mano con aumentar la confiabilidad del equipo. Esto puede lograrse mediante mejoras/cambios de sus componentes o bien el cambiando el activo por uno que garantice mayor confiabilidad.

7.4 El análisis de dispersión Jack knife

Es un método multicriterio que representa los distintos modos de falla, equipos de un proceso, elementos de un equipo, etc, en un diagrama que relaciona la frecuencia de fallas (tasa de falla " λ "); con algún otro indicador de su consecuencia. Entre estos indicadores se encuentra el tiempo medio entre fallas (MTBF) y el tiempo medio de reparación (MTTR), por nombrar algunos. Esta representación permite identificar de manera visual los elementos que causan el mayor tiempo de inactividad en los procesos, por lo cual es un método bastante usado para jerarquizarlos según su criticidad. El mecanismo de su construcción corresponde en primer lugar en definir la cantidad de variables en estudio; éstas pueden ser dos o más. Una vez definido el número de dimensiones del diagrama, se debe definir las variables a estudiar. Para análisis de criticidad de elementos en cuanto al mantenimiento; el diagrama Jack knife más frecuentemente usado contempla sólo la representación de dos variables, teniendo la frecuencia de falla en el eje de la abscisa y el tiempo medio de reparación en el eje de la ordenada. Posteriormente a esto, se debe obtener los promedios de los datos a representar en el esquema en ambas variables. Estos promedios se grafican en el diagrama generando dos rectas paralelas a los ejes coordenados, generando así cuatro cuadrantes. Adicionalmente, se puede trazar curvas de iso-indisponibilidad, identificando los elementos que generan una mayor indisponibilidad a la planteada/esperada. Estas curvas son determinadas multiplicando los siguientes factores: la frecuencia de las intervenciones (" λ ") y el promedio de tiempo fuera de servicio en un periodo determinado de tiempo, que, en el caso de una falla, corresponde al tiempo medio de reparación, sin embargo, existe la posibilidad de linealizar estas curvas aplicando escalas logarítmicas. Esto transforma las curvas en rectas de iso indisponibilidad, facilitando así la construcción e interpretación del diagrama.

Cada curva o recta se asocia a un porcentaje de indisponibilidad asociada a la falla del elemento. Se espera que los datos se acerquen mayormente a curvas/rectas con una baja indisponibilidad. Para una fácil comprensión de las gráficas, se definen a continuación las variables que se incluyen en el modelo:

- **MTTR:** Tiempo medio en cual se vuelve a restablecer la función productiva de un determinado componente. En estricto rigor, corresponde a la media de la mantenibilidad de un componente.

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo entre fallas}}{\text{Numero de fallas}}$$

(Ec. N° 7.4) Ecuación de tiempo medio de reparación.

- **Frecuencia de Fallas (fj):** Media de fallas, asociadas al modo de falla j durante un intervalo de tiempo dado.

$$fj = \frac{\text{falla}}{\text{numeros de falla}}$$

(Ec. N° 7.5) Ecuación de frecuencia a la falla.

- **Número de Intervenciones (Nj):** Cantidad de veces que se hace necesario intervenir un equipo frente al modo de falla j.
- **Número de modos de falla, elementos, componentes o códigos de falla (Q):** Corresponde al número de distintos modos de falla u elementos a evaluar en el análisis.
- **MTBF:** Tiempo medio entre fallas. Corresponde al recíproco de la frecuencia de falla, y se mide en [tiempo/falla].

$$MTBF = \frac{1}{fj}$$

(Ec. N° 7.6) Ecuación de tiempo medio entre fallas.

- **Indisponibilidad (Di):** Frecuencia ponderada de falla multiplicada por el MTTR. Es la fracción de tiempo bajo la cual el elemento se encuentra fuera de servicio. Se mide en porcentaje (%).

$$D_i = \text{Frecuencia ponderada} * MTTR$$

(Ec. N° 7.7) Ecuación de indisponibilidad.

- **Número total de fallas en el sistema (N):** Sumatoria de todas las fallas asociadas a cada modo de falla en el sistema.

$$N = \sum \text{Fallas}$$

(Ec. N° 7.8) Numero de fallas

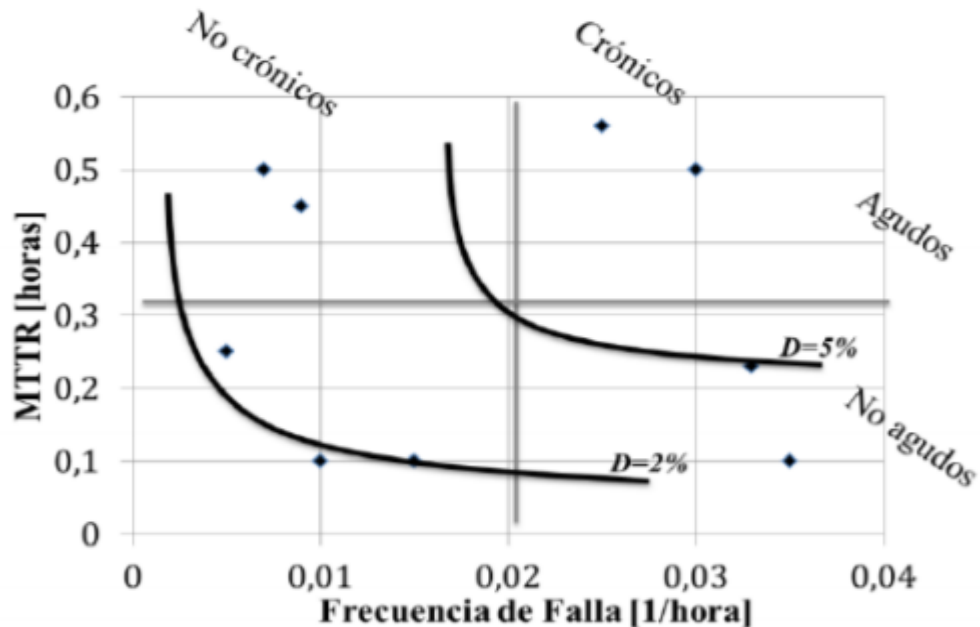


Figura N° 7.3: Clasificación de Fallas. Fuente: ROS, A.M.Mantenimiento Industrial.

Las curvas de iso-indisponibilidad se vuelven rectas a través de la siguiente expresión:

$$\log(MTTR_i) = -\log \log(F_i) + \log(D_i)$$

(Ec. N° 7.9) Ecuación de curvas iso-indisponibilidad.

Los elementos mencionados en la **Figura N° 7.3** ubicados en el primer cuadrante son aquellos que poseen una frecuencia mayor al promedio (crónicos) y un tiempo fuera de servicio mayor al promedio (agudos), por lo que los elementos situados en este cuadrante son los candidatos a ser considerados críticos. El segundo cuadrante; se relaciona con aquellos elementos de baja frecuencia de ocurrencia (No crónicos), pero que implican un elevado tiempo de detención (Agudos). Su criticidad dependerá de la relevancia que tenga el tiempo de detención en el proceso. El tercer cuadrante representa los elementos que tienen un bajo impacto al fallar (No agudos) y poca frecuencia (No crónicos). Este cuadrante suele ser obviado muchas veces por los analistas de mantenimiento. El cuarto cuadrante representa las fallas crónicas (alta frecuencia), pero de bajo impacto de detención. Finalmente, para hacer completa la interpretación de los datos, se toma la cercanía que tiene cada uno de los puntos a las rectas de iso-indisponibilidad. Las ventajas de este método es que nos permite evaluar las fallas desde el punto de vista de la confiabilidad debido al análisis de su frecuencia de falla o desde el punto de vista de la mantenibilidad, producto que pueden analizarse los tiempos de reparación. Además, se puede discriminar los equipos que causan el mayor tiempo de inactividad, gracias a la incorporación de las rectas de indisponibilidad. Las desventajas que presenta esta herramienta son que incorpora sólo variables basadas en el tiempo, dejando de lado los efectos económicos; los cuales son muy influyentes en la toma de decisiones y que sólo permite hacer comparaciones a un mismo nivel, es decir, en componentes o modos de falla que generan un impacto proporcional o equivalente en el sistema. No contempla la configuración lógica en la que cada elemento funciona en el proceso, por lo que un equipo en serie o en redundancia parcial es medido de igual manera en el diagrama.

$$MTTR \text{ por equipo} = \frac{\text{tiempo de detencion}}{\text{numero de falla}}$$

(Ec. N° 7.10) De Tiempo medio de reparación por equipo.

$$Frecuencia\ relativa = \frac{tiempo\ de\ detencion\ del\ equipo}{total\ de\ tiempos\ de\ detencion\ de\ todos\ los\ equipos}$$

(Ec. N° 7.11) Ecuación de frecuencia Relativa

$$Frecuencia\ acumulada = \frac{frecuencia\ relativa}{frecuencia\ relativa\ anterior}$$

(Ec. N° 7.12) Ecuación de frecuencia acumulada.

Tabla N° 7.4: MTTR Componentes equipos ´planta.

N°	Equipo/Subsistema	Cantidad de fallas	Tiempo de detención [hrs]	% tiempo falla total Fre/rela.	% de falla acumulado frecuencia acum.	MTTR
1	CV-16/Correa transportadora	19	43,16	39%	39%	2,272
2	PP-11/bomba de descarga	9	15	14%	53%	1,667
3	PP-10/bomba de descarga	7	10	9%	62%	1,429
4	Planta floculante	6	8,5	8%	70%	1,417
5	Filtro N°3	3	8	7%	77%	2,667
6	PP-26/filtro 1	2	5	5%	81%	2,5
7	PP-27/filtro 3	2	5	5%	86%	2,5
8	PP-08/descarga espesador	3	5	5%	90%	1,667
9	Planta Acido	1	4	4%	94%	4
10	PP-16/agua proceso	1	2	2%	96%	2
11	Filtro N°1	2	1,5	1%	97%	0,75
12	PP-25/filtro 2	1	1	1%	98%	1
13	PP-22/vertical sumidero	1	1	1%	99%	1
14	Filtro N°2	1	1	1%	100%	1
Total		58	110,16			

Coordenadas en la Frecuencia a la falla

Coordenada X

$$\text{Frecuencia en la falla} = \frac{\text{cantidad de fallas}}{\text{numero de equipos}}$$

(Ec. N° 7.13) Ecuación para frecuencia a la falla para la ordenada x.

Coordenada Y

Va de 0,1 a 1000

Coordenadas en la Mantenibilidad

Coordenada en X

$$\text{Intervalos de } x = 1 \leq x \leq 100$$

(Ec. N° 7.14) Intervalos de operación de la ordenada x.

Coordenadas en Y

$$\text{Mantenibilidad} = \frac{\text{tiempo de detencion hrs}}{\text{numero de fallas}}$$

(Ec. N° 7.15) Ecuación de mantenibilidad.

Coordenada en la indisponibilidad a las 10 HRS.

Coordenada en X

$$\text{Intervalos de } x = 1 \leq x \leq 100$$

(Ec. N° 7.16) Intervalos de operación de la ordenada x a las 10 HRS

Coordenada en Y

$$\text{Indisponibilidad a las 10 hrs} = \frac{\text{hora de evaluacion}}{\text{ordenada}} = \frac{10\text{hrs}}{1 \text{ ordenada}} = 10$$

(Ec. N° 7.17) Ecuación de indisponibilidad a las 10 HRS evaluada en x1.

$$\text{Indisponibilidad a las 10 hrs} = \frac{\text{hora de evaluacion}}{\text{ordenada}} = \frac{10\text{hrs}}{100 \text{ ordenada}} = 0,1$$

(Ec. N° 7.18) Ecuación de indisponibilidad a las 10 HRS evaluada en x2.

Coordenada en la indisponibilidad a las 20 HRS.

Coordenada en X

$$\text{Intervalos de } x = 1 \leq x \leq 100$$

Coordenada en Y

$$\text{Indisponibilidad a las 20 hrs} = \frac{\text{hora de evaluacion}}{\text{ordenada}} = \frac{20\text{hrs}}{1 \text{ ordenada}} = 20$$

$$\text{Indisponibilidad a las 20 hrs} = \frac{\text{hora de evaluacion}}{\text{ordenada}} = \frac{20\text{hrs}}{100 \text{ ordenada}} = 0,2$$

Coordenada en la indisponibilidad a las 40 HRS.

Coordenada en X

$$\text{Intervalos de } x = 1 \leq x \leq 100$$

Coordenada en Y

$$\text{Indisponibilidad a las 40 hrs} = \frac{\text{hora de evaluacion}}{\text{ordenada}} = \frac{40\text{hrs}}{1 \text{ ordenada}} = 40$$

(Ec. N° 7.19) Ecuación de indisponibilidad a las 40 HRS evaluada en y2.

$$\text{Indisponibilidad a las 40 hrs} = \frac{\text{hora de evaluacion}}{\text{ordenada}} = \frac{40\text{hrs}}{100 \text{ ordenada}} = 0,4$$

(Ec. N° 7.20) Ecuación de indisponibilidad a las 20 HRS evaluada en y1.

Coordenada en la indisponibilidad a las 80 HRS.

Coordenada en X

$$\text{Intervalos de } x = 1 \leq x \leq 100$$

Coordenada en Y

$$\text{Indisponibilidad a las 80 hrs} = \frac{\text{hora de evaluacion}}{\text{ordenada}} = \frac{80\text{hrs}}{1 \text{ ordenada}} = 80$$

(Ec. N° 7.21) Ecuación de indisponibilidad a las 80 HRS evaluada en y1.

$$\text{Indisponibilidad a las 80 hrs} = \frac{\text{hora de evaluacion}}{\text{ordenada}} = \frac{80\text{hrs}}{100 \text{ ordenada}} = 0,8$$

(Ec. N° 7.22) Ecuación de indisponibilidad a las 80 HRS evaluada en y2.

Coordenadas para el grafico de dispersión.

Tabla N° 7.5: Coordenadas de Grafico de Dispersión.

Frecuencia de fallas	4,142857143	0,1		
	4,142857143	1000		
Mantenibilidad	1	1,89931		
	100	1,89931		
Indisponibilidad	10		20	
	1	10	1	20
	100	0,1	100	0,2
	40		80	
	1	40	1	80
	100	0,4	100	0,8

Entonces nuestro diagrama de Jack Knife queda de la siguiente forma ver **Figura N° 7.4.**

7.4.1 Fallas agudas

Se entiende que son las que tienen una mayor duración en tiempos de detención, estas fallas apuntan a problemas con prácticas de inspección, mantenimiento preventivo, o problemas de diseño o disponibilidad de recursos (repuestos, mano de obra o herramientas especializadas). Partes de las acciones de control es disminuir los tiempos de trabajo

7.4.2 Fallas crónicas

Son las que más se repiten, estas apuntan a fallas en la operación del equipo o calidad de materiales usados el diagrama de dispersión logarítmica queda como se ve representado en la **Figura N° 7.4**.

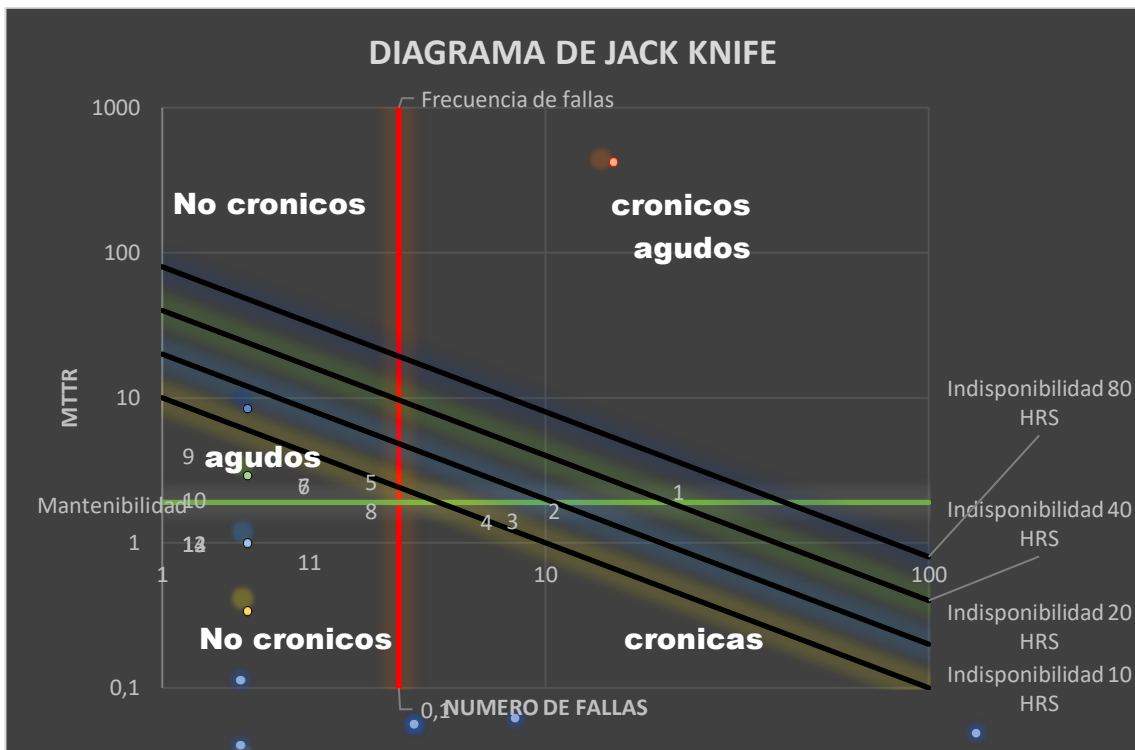


Figura N° 7.4: Diagrama de Jack Knife. Fuente: Propia.

El diagrama de dispersión logarítmica los indica que tenemos una falla crónica aguda con una indisponibilidad a las 40 hrs de operación. El equipo que mencionamos es la CV-16 equipo que presenta en gran medida problemas de diseño ya que una de sus mayores fallas es el atollo por caída de material

Luego se puede observar que tenemos fallas crónicas con PP-10 y PP-11, donde sufren indisponibilidad a las 20 hrs de operación y a las 10 hrs de operación tenemos la planta de floculante con problemas, lo que se puede analizar en terreno es que lo más preocupantes son las fallas operación.

Según el análisis realizado se obtiene que los equipos críticos son: CV-16, PP-10, PP-11, Planta de floculante. Además de estos, se destaca la PP-16 agua de proceso por ser el equipo más cercano al intervalo de valores ponderados como equipos críticos y por tener un valor ponderado bastante alto en comparación a sus pares de estrato. Para tener una visión amplia del análisis; se compara los resultados.

7.5 Desarrollo de planes de mantenimiento a los equipos críticos.

Ya determinados los equipos críticos para la Planta de filtrado de relaves; sólo queda finalizar el proceso generando un conjunto de estrategias de mantenimiento por cada equipo. El conjunto de estrategias de mantenimiento que se aplicarán a cada uno de los equipos se les denominará plan de mantenimiento o plan maestro de mantención. La elaboración de cada uno de los planes se realizó aplicando la metodología RCM; en específico usando la herramienta FMEA.

El uso de esta herramienta exige conocer todos los componentes del equipo; sus funciones y conocer las fallas funcionales/potenciales. Una vez definida las funciones del equipo se debe identificar cada uno de los modos de fallas, sus efectos y consecuencias. Una vez se haya evaluado cada modo de falla y sus consecuencias; se debe realizar el análisis de qué actividad o estrategia logrará prevenir de manera eficiente la falla potencial detectada. Cada plan maestro divide al equipo en componentes o subsistemas.

A los que se les detalla los siguientes ítems:

- Actividad de mantenimiento a realizar.
- Frecuencia.
- Duración estimada.
- Tipo de estrategia.
- Necesidad de repuestos.
- Implicancia de detención para su ejecución.
- Técnico ejecutor.
- Complicación adicional

Para la elaboración de cada uno de los planes, se incluyeron los criterios de disponibilidad de recursos humanos y recursos técnicos existentes dentro del área de Mantenimiento y energías. El personal existente dentro del área tiene poco tiempo muerto. Al estar todas las áreas de la compañía bajo estrategias de mantenimiento correctivo no planificado; la cantidad de avisos de averías es muy alta por día, lo cual dificulta la planificación de un grupo de trabajo. Es por esta razón que los planes fueron diseñados para ser ejecutados por dos técnicos (un mecánico y un eléctrico), los cuales dediquen el cien por ciento de su tiempo en la ejecución del conjunto de actividades, su correcto reporte y registro histórico. El modelo contempla apoyo ocasional de técnicos de automatización y control (área con mayor disponibilidad de personal). De ser necesario se debe contratar personal adicional, ya que con los recursos humanos existentes se hace inviable su ejecución. En cuanto a la disponibilidad técnica, el taller cuenta con distinta instrumentación, bancos de pruebas y máquinas. Se hizo un levantamiento de todas las herramientas e instrumentos existentes para generar actividades acordes con la disponibilidad de equipamiento del taller. En ciertos casos se generaron actividades que deben ser realizadas por empresas externas, ya que no se cuenta con la instrumentación necesaria y ésta tiene un elevado nivel de inversión; por lo que no se justifica su adquisición antes de realizar una correcta puesta en marcha del trabajo. Adicionalmente se incluyó criterios de mantenibilidad de los componentes y/o subsistemas para evitar la generación de costos por sobre mantención de los equipos y/o posibles complicaciones innecesarias.

Algunos de los factores de mantenibilidad considerados en el análisis fueron: accesibilidad del componente, complejidad técnica, fragilidad de los componentes, peso, disponibilidad de repuestos, etc. En el **Anexo A** se detalla los programas de mantenimientos existente en la planta de concentrados de ejemplo. A continuación, se presentan breves extractos de los planes de mantenimiento desarrollados, como la planilla de comisionamiento del **Anexo I**, para ver el detalle de cada uno de los planes elaborados en base a los componentes levantados en el **Capítulo 3** y la secuencia de operación levantada en el **Capítulo 4** para poder definir el plan de mantenimiento para los siguientes equipos críticos mencionados en la **Tabla N° 7.6**.

Tabla N° 7.6 de definición de equipos críticos de planta de filtrado de relaves

Equipo Críticos de operación planta de filtrados	Ver en figura
CV-16	Figura N° 7.5
PP-10	Figura N° 7.6
PP-11	Figura N° 7.6
Planta de floculante	Figura N° 7.7

CV-16									
Sub sistema	Componente	actividad	Frecuencia	Duracion estimada	Estrategia	Stock necesario	Detencion	Ejecutor	Complicacion/precaucion
Descarga de relaves	Chute de descarga	Revisión y limpieza con agua	1 día	1 h	Preventivo fecha constante	no	no	Operaciones	solo por los bordes fuera de las barreras duras
	Pull core	accionamiento	6 meses	15 minutos	Preventivo fecha constante	no	si	Electricistas	Solo accionamiento correa detenida.
	Sensor velocidad cero	accionamiento y ajuste de separacion	6 meses	30 minutos	Preventivo fecha constante	si	si	Electricistas	Correa bloqueada, ajuste de posicionamiento del sensor inductivo
	posicionamiento de correa	Inspeccion visual	1 día	15 minutos	Preventivo fecha constante	no	no	Mecanicos	Mantener distancia de seguridad, no sobrepasar barreras duras.
	Estructura de descarga a cinta transportadora	Trabajos de pintura antideslizante	6 meses	4 hrs	Preventivo fecha constante	si	si	Operaciones	Tener cinta bloqueada departamento electrico y departamento mecanico para bloqueo mecanico
	Motor de cinta transportadora	inspeccion de variables fisicas en sala de operación	1 día	15 minutos	Preventivo fecha constante	no	no	Operaciones	corriente de trabajo y inspeccion visual del queque filtrado.

Figura N° 7.5: Plan de Mantenimiento de la correa cv-16. Fuente: Propia.

Planta floculante									
Subsistema	Componente	Actividad	Frecuencia	Duración estimada	Estrategia	Stock necesario	Detención	Ejecutor	Complicación y precaución
Descarga de relaves	Deposito de preparación	Revisión y limpieza eliminación de grumos	1 día	15 minutos	Preventivo	no	no	Operadores	atrapar los bordes fuera de las barras duras
	Deposito de endurecimiento	Revisión y limpieza eliminación de grumos	1 día	15 minutos	Preventivo	no	no	Operadores	atrapar los bordes fuera de las barras duras
	Deposito de trasiego	Revisión y limpieza eliminación de grumos	1 día	15 minutos	Preventivo	no	no	Operadores	atrapar los bordes fuera de las barras duras
	agitadores	Inspección visual	4 meses	1 hora	Preventivo fijo constante	si	si	Electricistas	Queque de corriente de trabajo y inspección del montaje
	Filtro	Revisión y limpieza eliminación de grumos	4 meses	15 minutos	Preventivo fijo constante	si	no	Operadores	Queque visual que no se encontraron grumos
	Presostato	Inspección de Presión de alimentación a planta floculantes	1 día	15 minutos	Preventivo fijo constante	no	no	Operadores	Si el requerimiento que no se encuentra dentro del rango de trabajo, trabajar en 4,5 bar en alta
	Caudalímetro	Inspección visual	1 día	15 minutos	Preventivo fijo constante	si	no	Operadores	queque que se encuentre a 1.800 litros por hora sugiere de caudal
	Valvula de entrada	Inspección de aceleramiento	4 meses	1 hora	Preventivo	no	no	Electricistas	Queque en conjunto de aceleramiento por parte de personal de operaciones y electricistas que la calidad del agua puede afectar la sensibilidad del analizador
	Valvula de derivación de compuesta	Inspección visual	6 meses	1 hora	Preventivo fijo constante	si	si	Operadores/ Electricistas	Queque de sensor derivación de compuestas que poseen una zona de trabajo
	Sensor de ultrasonido ubicado en el deposito de trabajo	Inspección visual	1 día	15 minutos	Preventivo fijo constante	si	si	Operadores	Evitar abrir la compuerta por activación del dispositivo de seguridad
	Tablero eléctrico	Inspección de variables físicas en el área de operación	4 meses	15 minutos	Preventivo fijo constante	con sistema gráfico	no	Electricistas	Queque de puntos críticos dentro del tablero eléctrico que pueden indicar errores de terminales físicos o cortos en la cableada
	Rebasador	Inspección y limpieza	1 día	15 minutos	Preventivo fijo constante	no	no	Operadores	Limpieza de rebasador por inspección de grumos dentro del floculante
	Drainajes	Inspección y limpieza	1 día	15 minutos	Preventivo	no	no	Operadores	Limpieza de áreas de drenaje para evitar el desbordamiento
	Tolva de clasificación	Inspección y limpieza	4 meses	15 minutos	Preventivo fijo constante	si	si	Mecánicos	Limpieza de tolva de clasificación que por el intercambio de temperaturas puede causar grumos que afectan al azar de descarga del colante
	Dosificador de polvo	Inspección y limpieza	4 meses	15 minutos	Preventivo	si	si	Operadores	Limpieza de tolva de clasificación que por el intercambio de temperaturas puede causar grumos que afectan al azar de descarga del colante
	Tornillos finos	Inspección y limpieza	4 meses	15 minutos	Preventivo	si	si	Mecánicos	Bloqueo de departamento eléctrico y mecánico para ejecutar actividad
	Cámara de homogenización	Inspección y Retiro de grumos	1 día	15 minutos	Preventivo fijo constante	no	no	Operadores	Limpieza y retiro de calidad de solución a través de algunos para evitar que se evaporen las líneas de descarga
	Sensor de carga	Inspección de aceleramiento	4 meses	15 minutos	Preventivo fijo constante	si	si	Electricistas	Queque de aceleramiento y sensor dentro de los parámetros de operación
	Calefactor	Inspección de aceleramiento	4 meses	15 minutos	Preventivo fijo constante	no	no	Operadores	queque si el calefactor se encuentra operativo evitando que el floculante de descarga este frío
	AP30	Inspección de líneas y objetos de la bomba	4 meses	15 minutos	Preventivo	no	no	Operadores/ Electricistas/ Mecánicos	Queque de corriente de trabajo y objetos de la bomba de alimentación a espesador de floculante que el flujo no se encuentra en el nivel de carga

Figura N° 7.6: Plan de Mantenimiento de la Planta floculante. Fuente: Propia.

PP-10 Y PP-11									
Sub sistema	Componente	Actividad	Frecuencia	Duración Estimada	Estrategia	Stock Necesario	Detección	Ejecutor	Complicación/precaución
Impulsión Agua de Proceso	Ejes	Lubricación de los cojinetes.	6 meses	2 horas	Parada Programada	SI	SI	Mecánicos	Realizar bloqueo eléctrico y mecánico.
	Impulsor	Limpieza y retiro de residuos producto de la calidad del agua.	6 meses	1 día	Parada Programada	SI	SI	Mecánicos	Realizar bloqueo eléctrico y mecánico, verificar eficiencia y caudal de la bomba.
	Rotor	Comprobación de la eficiencia y posición del eje.	1 año	1 hora	Parada Programada	SI	SI	Mecánicos	Realizar bloqueo eléctrico y mecánico
	Sellos Mecánicos	Inspeccionar sellos mecánicos y filtración de agua de proceso.	1 día	5 minutos	Preventiva fecha constante	SI	NO	Mecánicos	Realizar bloqueo eléctrico y mecánico.
	Puntos de Montaje	Comprobación de los puntos de montaje con respecto a la base.	6 meses	10 minutos	Preventiva fecha constante	NO	NO	Mecánicos	Verificación fuera de las barreras duras.
	Motor	Eliminar acumulación de polvo y suciedad de los motores.	2 semanas	1 hora	Preventiva fecha constante	SI	NO	Electricistas	Realizar bloqueo eléctrico y mecánico, verificar corriente de trabajo.
	Acoplamientos	Cambio de Acoplamiento o reparación por filtración.	6 meses	1 día	Parada Programada	SI	SI	Mecánicos	Realizar bloqueo eléctrico y mecánico.
	Parada de emergencia	Verificar funcionamiento de puesta en marcha y paro.	6 meses	5 minutos	Preventiva fecha constante	SI	NO	Electricistas	Solo bloqueo mecánico.

Figura N° 7.7: Plan de Mantenimiento de laPP10-PP11. Fuente: Propia.

CONCLUSIONES

En el presente trabajo de titulación se realizó el estudio completo de la planta de relave de filtrado. Para el cumplimiento de los objetivos propuestos para el desarrollo de este trabajo de titulación, se realizaron trabajos de diagnóstico y evaluación de los actuales sistemas, subsistemas y componentes de la planta.

Los objetivos se cumplieron parcialmente, ya que faltó analizar la instrumentación más en cabalidad debido a que no se mantenía suficiente material técnico en ese concepto. Para el equipamiento físico de los subsistemas y sistemas se registraron en buena forma, tal y como fue presentado en el **Capítulo 2**, **Capítulo 3** y en el **Capítulo 4**.

El **Capítulo 4** es muy importante, ya que se define el procedimiento que se debe efectuar para poder poner en servicio la planta y también como detenerla. Factores muy importantes para la toma de decisión de programar mantenimiento y realizar respectivos bloqueos de energías.

Para el objetivo de registrar y realizar un análisis estadístico básico de las fallas incidentes en cada puesta en marcha, podemos informar que fue completado en un 50% ya que los turnos dispuestos en la operación de la planta de tranques de relaves no compartían la información de forma clara y concisa ante lo expuesto en este trabajo de titulación fue el registro personal realizado por los estudiantes de este proyecto durante sus funciones en operación de planta de filtrado. Este registro y análisis se detalla en el **Capítulo 5**, el cual da indicios de la operación intermitente claramente por su operación inicial desde puesta en marcha; esto los ayuda a definir los intervalos de operación cumpliendo este objetivo en un 90%.

Para identificar los componentes críticos en la secuencia de operación se realiza un análisis con indicadores tales como mantenibilidad, indisponibilidad, tomando nota de que no se puede realizar análisis Weibull, ya que el presente trabajo está carente de datos históricos por motivo de operación inicial. Este objetivo se cumple en el **Capítulo 6** donde se definen los equipos críticos y la indisponibilidad a las 20, 40 y 80 hrs utilizando el diagrama de dispersión logarítmica Jack Knife.

En el **Capítulo 7** se proponen por los autores los siguientes planes de mantenimiento para los equipos críticos definidos en el **Capítulo 6** con el objetivo de poder definir las características del mantenimiento basado en la criticidad de equipos usando una política predictiva.

Con el siguiente desarrollo de objetivos específicos planteados se cumple el objetivo general que fue clasificar y diseñar un plan de mantenimiento basado en la criticidad en un 70, con el objetivo de poder mantener continuidad operacional en la planta de relaves de filtrados y así evitar el uso forzado de el tranque de relaves, como lo mostrado en el **Capítulo 1**. Esta culmino su vida útil siendo un inminente riesgo ambiental dando incumplimiento a las políticas de la ISO 50001 y esto justifica que la planta de concentrado, mantenga sus estándares utilizando el recurso de la planta de relaves filtrados para la recuperación hídrica “agua sello” y retirando el sólido del “agua de proceso” para su posteriormente transportarlo a la descarga de la correa CV-16 para su posterior compactación en forma de terrazas en el muro del tranque de relaves en proceso de cierre.

Como planes a futuros se propone mejorar la calidad de succión de descarga de la CV-16, ya que esta metodología de la detección sintomática mediante Jack Knife lo muestra como equipo crítico y el problema no es el equipo, sino la alimentación del queque de filtrado y su densidad en la descarga.

BIBLIOGRAFÍA

Nachlas, Joel. A. (1995). Fiabilidad. Madrid España: Isdefe.

Moubray, J. (2004). Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (Reliability Centred Maintenance). Buenos Aires- Argentina: aladon llc.

Knezevic, J. (1996). Mantenibilidad (Edicion 4 ed.). madrid españa: isdefe.

Matías Castro Arias. (2018). Nuevas Tecnologías Para El Uso Y Dispocion De Relaves Mineros Aplicado A Codelco, División El teniente (Informe de Memoria de Título.) Universidad De Concepción: Facultad De Ingeniería.

ROS, A.M.” Mantenimiento Industrial”, Press, España.2011.

ARATA.A;” Ingeniería y Gestión de la Confiabilidad Operacional en Plantas Industriales”,Ril Editores, Valparaiso-Chile.2009.

ANEXOS

Anexo A: Programa de mantenimiento planta de concentrado



PROGRAMA SEMANAL

Semana : 29

13-07-2020 INICIO

19-07-2020 RN

Item	Día	Fecha	Área	Equipo	Clase de Mantenimiento	Descripción	Duración (hrs)	N° Pts	Esp.	Observaciones
LUNES										
MANTENCIÓN MECÁNICA										
1	Lunes	13-07-2020	MINA	AREA	Mantenimiento Preventivo	Chequear Torque de Pernos de Bearing Housing Feeder	2	1	INS	
2	Lunes	13-07-2020	MINA	AREA	Mantenimiento Preventivo	Inspección área Mina	4	1	INS	
3	Lunes	13-07-2020	MINA	AREA	Mantenimiento Preventivo	Apoyo Mecánico Soldador Trabajos Mina	6	2	SOL/MEC	
4	Lunes	13-07-2020	MINA	AREA	Mantenimiento Preventivo	Inspección Correas Mina Ruta 1	4	2	INS	
5	Lunes	13-07-2020	SECA	AREA	Reto Lubricación	Lubricación Área Mina Ruta 1	4	2	INS	
6	Lunes	13-07-2020	MOJUEÑA	Moñino Bolas	Monitores de Condiciones	Medición de Temperatura Radiómetros Descargas /Cortejeo día 1	4	1	INS	
7	Lunes	13-07-2020	MOJUEÑA	Moñino Bolas	Monitores de Condiciones	Medición de Temperatura Radiómetros Descargas	1	1	INS	
8	Lunes	13-07-2020	MOJUEÑA	Moñino Bolas	Apoyo Camión Pluma ICC	Transporte de Tambores /Bolas // Reactivos Internos // Asso General 1/2 día	4	1	INS	CAMION PLUMA
9	Lunes	13-07-2020	FLATACIÓN	Moñino Remoladora	Medición de Temperatura Radiómetros Descargas /Reengrase Manual día 1	1	1	INS		
10	Lunes	13-07-2020	IMPULSIÓN	AREA	Mantenimiento Preventivo	Mantenimiento Tanque de Inyección y Agua de Sello	8	2	MEC	GRUA
11	Lunes	13-07-2020	TRANQUE	AREA	Mantenimiento Preventivo	Preparación y Armado Hidroclorados D-15, D-30	8	2	MEC	
12	Lunes	13-07-2020	TALLER	AREA	Mantenimiento Preventivo	Preparación de Yema Soportación Carro Tensio CV2.	8	1	SOL	
13	Lunes	13-07-2020	TALLER	AREA	Mantenimiento Preventivo	Fabricación de Fricción de Chancador Secundario	8	2	SOL/MEC	
14	Lunes	13-07-2020	TALLER	AREA	Mantenimiento Preventivo	Reparación de Bombas de Lubricación de Chancador HP-400	8	2	MEC	
15	Lunes	13-07-2020	TALLER	AREA	Mantenimiento Preventivo	Armado de Grasas de Chancador Terciario N°1	8	2	SOL/MEC	CAMION PLUMA
16	Lunes	13-07-2020	TALLER	AREA	Mantenimiento Preventivo	Fabricar Cajón Guía Correa CV25 (25 mts)	8	1	SOL	
17	Lunes	13-07-2020	TALLER	AREA	Mantenimiento Preventivo	Realizar Hauler Hooping Talla	3	2	MEC	CAMION PLUMA
MANTENCIÓN ELÉCTRICA										
18	Miércoles	13-07-2020	IMPULSIÓN	AREA	Detenciones Manten programadas	Mantenimiento a caja de control(botones y selector)	4	2	ELEC	
19	Lunes	13-07-2020	FLATACIÓN	AREA	Mantenimiento Preventivo	Realizar mantenimiento externo a los motores de preparación y distribución de lechada de cal.	1	1	ELEC	
20	Lunes	13-07-2020	IMPULSIÓN	AREA	Mantenimiento Preventivo	Inspección de equipos de rescate y extintores de las salas electricas, de 3	1	1	ELEC	
21	Lunes	13-07-2020	FILTRO	AREA	Mantenimiento Preventivo	Engrasar rodamientos y realizar limpiezas de motores de primer piso de filtro cerámico/agua lavada, bomba pisa bomba asido.	2	1	ELEC	

MARTES

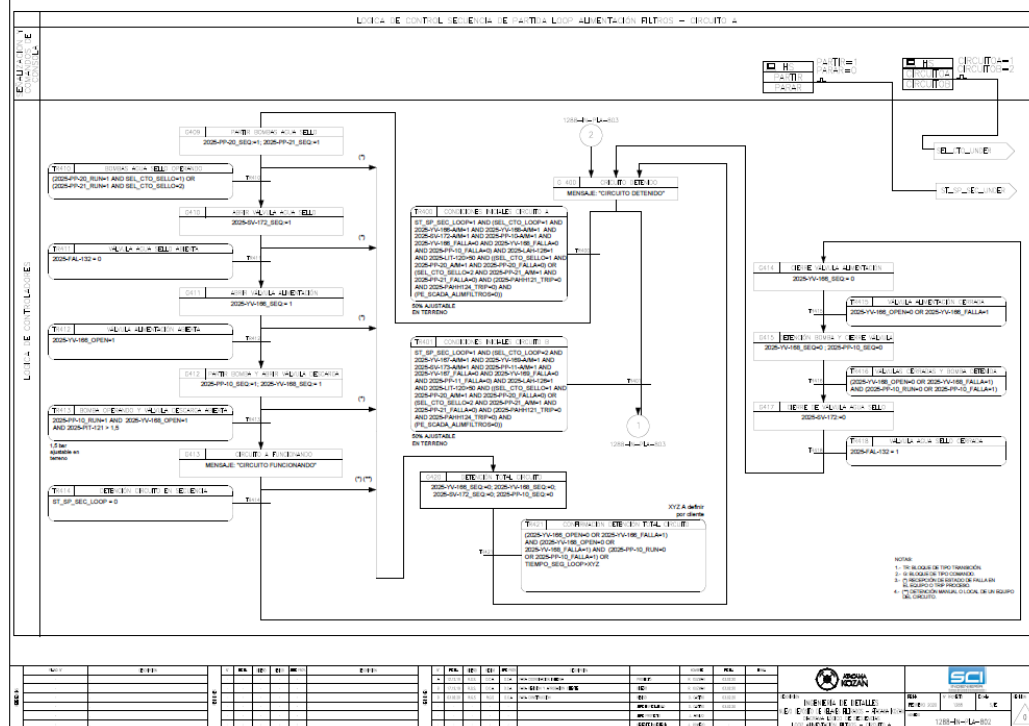
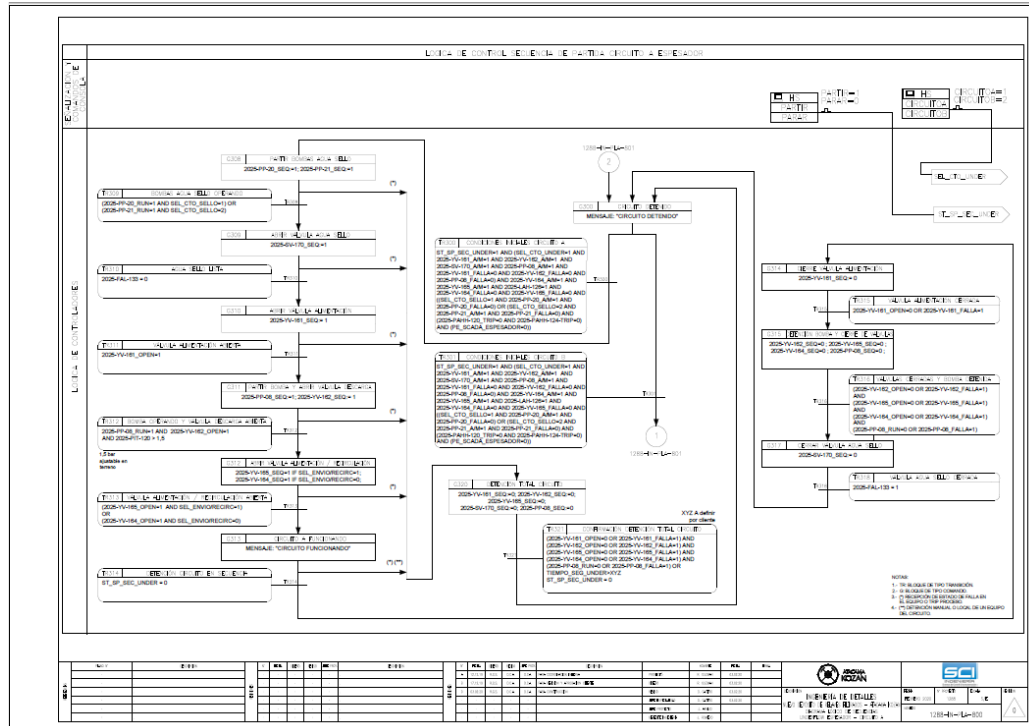
MANTENCION MECANICA

1	Martes	14-07-2020	MINA	AREA	Detección Programada	Mantenimiento Estructural Area de Chacarado Guezo	8	20	SOL/MEC
2	Martes	14-07-2020	SECA	AREA	Ruta Lubricación	Puerta Lubricación y Tomas de Muestra Area Chacarado Mina	3	2	INS
3	Martes	14-07-2020	SECA	AREA	Ruta Lubricación	Lubricación Area Seca Ruta 2	4	2	INS
4	Martes	14-07-2020	SECA	AREA	Mantenimiento Preventivo	Inspección Area Seca 2	6	1	INS
5	Martes	14-07-2020	FLOTAÓN	AREA	Monitoreo de Condiciones	Medición de Temperatura Rodamientos Descargas /reengrase manual dia 1	1	1	INS
6	Martes	14-07-2020	TRANQUE	AREA	Mantenimiento Preventivo	Mantenimiento Tren de Impulsión y Agua de Sello	4	4	MEC
7	Martes	14-07-2020	TRANQUE	AREA	Mantenimiento Preventivo	Traslado de 3 Bombas de Transferencia (Aceite y Grasa)	1	2	MEC
8	Martes	14-07-2020	TALLER	AREA	Mantenimiento Preventivo	Realizar House keeping Taller y Ordenamiento de Áreas	3	2	MEC
MANTENCIÓN ELECTRICA									
7	Martes	14-07-2020	MINA	AREA	Detecciones Manto programadas	Chequeo Mediciones, Respete , Aspirado de conductos, Soplado de unidad de enfriamiento(bv-cv2-cu3)	2	1	ELEC
8	Martes	14-07-2020	MINA	AREA	Detecciones Manto programadas	Chequeo de motor chancador Primario(Verificar respatro de conoconexión, inspección de tapa del ventilador)	1	1	ELEC
9	Martes	14-07-2020	MINA	AREA	Detecciones Manto programadas	Inspección, Regulación de tapy Torque parámetros de las subestaciones nivel 136-160f corriente,voltaje	4	2	ELEC
10	Martes	14-07-2020	MINA	AREA	Detecciones Manto programadas	Inspección y mantenimiento de anillo rotor nte,carbones,puerta carbones y resarte de correa # 1-2-3	4	2	ELEC
11	Martes	14-07-2020	MINA	AREA	Mantenimiento Preventivo	Pruebas de control general (Inspección de sistema de control pulcritud, Velocidad corra, Parada de emergencia), CV 1-2-3, chancado, feedler	4	4	ELEC
12	Martes	14-07-2020	MINA	AREA	Mantenimiento Preventivo	Inspección de Aire Planta e Instrumentación	4	2	INSTRU
13	Martes	14-07-2020	MINA	AREA	Mantenimiento Preventivo	Mantenimiento Alarmas Correas Mina	4	2	INSTRU

Anexo B: Registro de fallas del departamento eléctrico

Operaciones Kozan	Julio	Registro de actividades diarias operaciones eléctricas de planta	Tipo de trabajo	Horas hombre	Nombre	Personal que interviene	Equipo	OBSERVACIONES
Planta de filtrado y ensamblado	20	7	chequeo de equipos e instalaciones eléctricas	Paseo	1	Fabian Villalón	Analisis	se realiza cura de inspección a equipos e instalaciones del sector filtro y ensamblado, se realiza limpieza de puntos de conexión
Tanque de relaves	20	7	confección de extensión para alimentación 300V de bomba filtradora (50 mm) sector torn 7	Reactor	0.5	Fabian Villalón	Analisis	por solicitud de operador tanque, se confecciona extensión con cable 4/8 ag de 300v, se apaga
Tanque de relaves	21	7	chequeo de relaves de planta y prueba a energía	Reactor	1	Fabian Villalón	Analisis	por control y alimentación de bomba, se realiza chequeo de relaves, se encuentran en condiciones
Planta de filtrado y ensamblado	20	7	se realiza prueba a energía con cables conectados por 50 mm mundica	programado	3	Fabian Villalón	Analisis	se realiza prueba a energía con cables conectados por 50 mm mundica
Planta de filtrado y ensamblado	20	7	se realiza bloqueo prueba emergencia con o desbloqueo de CV-16	programado	1	Fabian Villalón	Analisis	se realiza bloqueo prueba emergencia con o desbloqueo de CV-16 para trabajos de empresa EMC, instalación de relaves
planta de filtrado	21	7	Chequeo de equipos en emisorio e instalaciones	Paseo	1	Vicior Pavez	Pavez	se realiza inspección de área filtrado y argente de tanque, solo se revisa el esparador, se mantiene condición del área desahogada
tanque de relaves	21	7	Uso de procedimientos de trabajo (Usado convalido de placas filtro cerámico / faldón de relaves)	programado 7	Vicior Pavez	Pavez	Pavez	se realiza uso de procedimientos por jefe de tanque
Instalación personal de operaciones	21	7	instalación de alamburdo	programado	1	Vicior Pavez	Pavez	se realiza canalizado, cableado, instalación de anclajes a equipo fusor en 300v, se avanza
Planta de filtrado y ensamblado	21	7	se realiza bloqueo prueba emergencia con o desbloqueo de CV-16	programado	3	Fabian Villalón	Analisis	se realiza bloqueo prueba emergencia por personal de empresa EMC, N° para trabajos de empresa EMC, instalación de fallidos en sistema desahoga control
Instalación personal de operaciones	21	7	instalación de alamburdo y línea corriente	programado	3	Fabian Villalón	Analisis	se continúa de termino a trabajos realizados por Sr. Vicior Pavez, se instala enchufe alimentador interruptor, conexión cablea 1 línea, se afina cable, se instala operario, avance 80%
Planta de filtrado y ensamblado	21	7	trastado de cables de cable eléctrico	programado	3	Fabian Villalón	Analisis	se trasladan cables de control, desde el sector de áreas de control se transfieren los salientes (CC), hacen contacto alamburdo a un control y se trasladan bombas para traslados a un control
sal eléctrica N° filtrado y ensamblado	21	7	instalación granele de bloqueo	programado	3	Fabian Villalón	Analisis	se realiza granele de bloqueo de CV-16, se instala granele de bloqueo multipole, para evitar el aglomerado y exceso de personal en sala eléctrica para realizar bloqueo
Planta de Filtrado y Ensamblado	21	7	Chequeo de equipos e instalaciones eléctricas	Programado	0.86	Luz Mundica	Godoy	Se realiza caminata de inspección a equipos e instalaciones del área planta de filtrado y ensamblado, solo está en servicio esparador de relaves, Se mantiene condición del área desahogada
Planta de Filtrado y Ensamblado	21	7	Se realiza identificación de protecciones	Programado	1hr	Luz Mundica	Godoy	Se realiza identificación de protecciones de tablero de empuje en planta de filtrado, tablero 09.002.051.084, con apoyo de Felipe olivero
Planta de Filtrado y Ensamblado	21	7	se realiza caminata de identificación de equipos	Programado	1.33	Luz Mundica	Godoy	Se realiza caminata guiada para identificación y ubicación de equipos e instalaciones de planta filtrado a eléctrico planta Felipe olivero
Planta de Filtrado y Ensamblado	21	7	Se difunde de procedimiento de trabajo (Usado convalido de placas filtro cerámico Y Se realiza limpieza sala eléctrica m 1)	Programado	0.5	Luz Mundica	Godoy	Se participa en uso de procedimientos y UDI relatada por jefe tanque Jose Baranca
Planta de Filtrado y Ensamblado	21	7	Se realiza limpieza sala eléctrica m 1	Programado	2.5	Luz Mundica	Godoy	Se limpia sala eléctrica m 1 en filtrado y ensamblado
Bloqueo de BB 1-3	21	7	Bloqueo de bomba de prueba a energía con	Programado	12	Juan Flores	Muñoz	se realiza bloqueo de bb 1 y 3 en instalación de bombas
Bloqueo de CV-16	21	7	Bloqueo de correa transportadora en planta de filtrado	Programado	2	Juan Flores	Muñoz	Se realiza bloqueo de CV-16 en planta de filtrado
Cambio de sensor de flujo	21	7	Cambio de sensor de flujo de línea de alimentación a filtro cerámico	Programado	0.5	Juan Flores	Muñoz	Se realiza cambio de sensor de flujo en línea de alimentación a filtro cerámico
Planta de Filtrado y Ensamblado	22	7	Desbloqueo CV-16	Programado	2	Luz Mundica	Godoy	Se apaga o desbloqueo CV-16
Planta de Filtrado y Ensamblado	23	7	Chequeo de Equipos e Instalaciones eléctricas	Programado	1	Luz Mundica	Godoy	Se realiza caminata de inspección a áreas filtrado y esparador
Planta de Filtrado y Ensamblado	23	7	Bloqueo de bombas 205-PP08 (9) y PPI	Programado	1	Luz Mundica	Godoy	Se realiza bloqueo y prueba a energía en áreas filtrado y esparador
Tanque Relaves	23	7	Chequeo tablero de bombas 205-PP08 (9) y PPI	Programado	1	Luz Mundica	Godoy	Se realiza chequeo a bomba para intervención mecánica (cambio de palin), posterior de desbloqueo y energización
Planta de Filtrado y Ensamblado	23	7	Desbloqueo CV-16	Programado	1	Luz Mundica	Godoy	Por solicitud de operador tanque se inspecciona lámpara fusora bomba filtrante en sector torn 8
Planta de Filtrado y Ensamblado	23	7	Energización de Filtro cerámico 1	Programado	1	Luz Mundica	Godoy	Se realiza inspección a lámpara, sensorio
Planta de Filtrado y Ensamblado	23	7	Energización de Filtro cerámico 1	Programado	1	Luz Mundica	Godoy	Se energiza filtro cerámico 1 para que operador realice pruebas en filtros
Planta de Filtrado y Ensamblado	23	7	Chequeo de CV-16	Programado	1	Luz Mundica	Godoy	Se realiza sensorio de CV-16 en planta de filtrado
Estación de Relaves de relaves	23	7	Chequeo de CV-16	Programado	4	Juan Flores	Muñoz	con comunicación con sala de operador, realiza: Se ajustan parámetros Smart Pelt en gamma de
Planta de Filtrado y Ensamblado	23	7	Ajuste de VFD 360 en sala eléctrica de estación de bombas	Programado	3	Juan Flores	Muñoz	Se realiza revisión de frecuencias y variador por solicitud de operador en pruebas para puesta en
Planta de Filtrado y Ensamblado	23	7	Ajuste a operador sala de control	Programado	1	Luz Mundica	Godoy	Se realiza apoyo a sala de control de operador de CV-16 en pruebas cerámicas
Tanque Relaves	24	7	se chequeo Bombas filtrantes	Programado	1	Luz Mundica	Godoy	Se realiza inspección a bombas filtrantes en sector 7 de la laguna
Tanque Relaves	24	7	se chequeo Bombas Limas	Programado	1	Luz Mundica	Godoy	Se realiza inspección a bomba Limas en sector control
Tanque Relaves	24	7	se chequeo Bombas giratorias pasadora 2	Programado	1	Luz Mundica	Godoy	Se inspecciona y puesta en servicio bomba giratoria desahogada pasadora 2 a esparador planta filtrado
Planta de Filtrado y Ensamblado	24	7	chequeo de tanque de bombe de acido de filtro cerámico numero 3	Programado	1	Luz Mundica	Godoy	Se realiza chequeo de tanque de bombe de acido de filtro cerámico numero 3

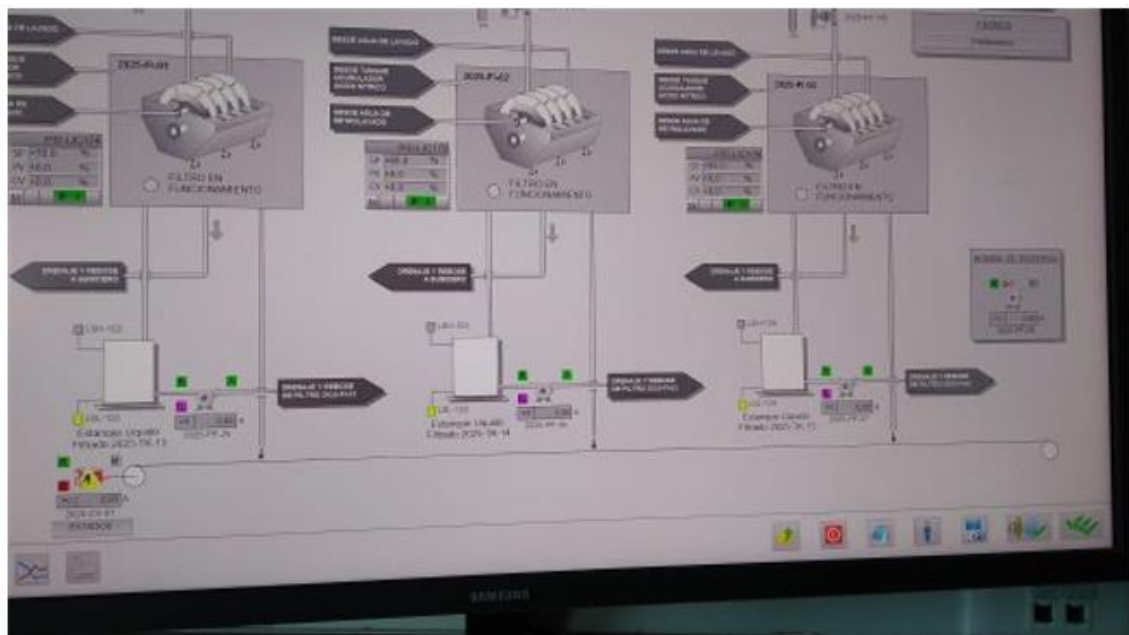
Anexo C: Secuencia lógica de la planta de filtrado



Anexo D: Parámetros de espesador.



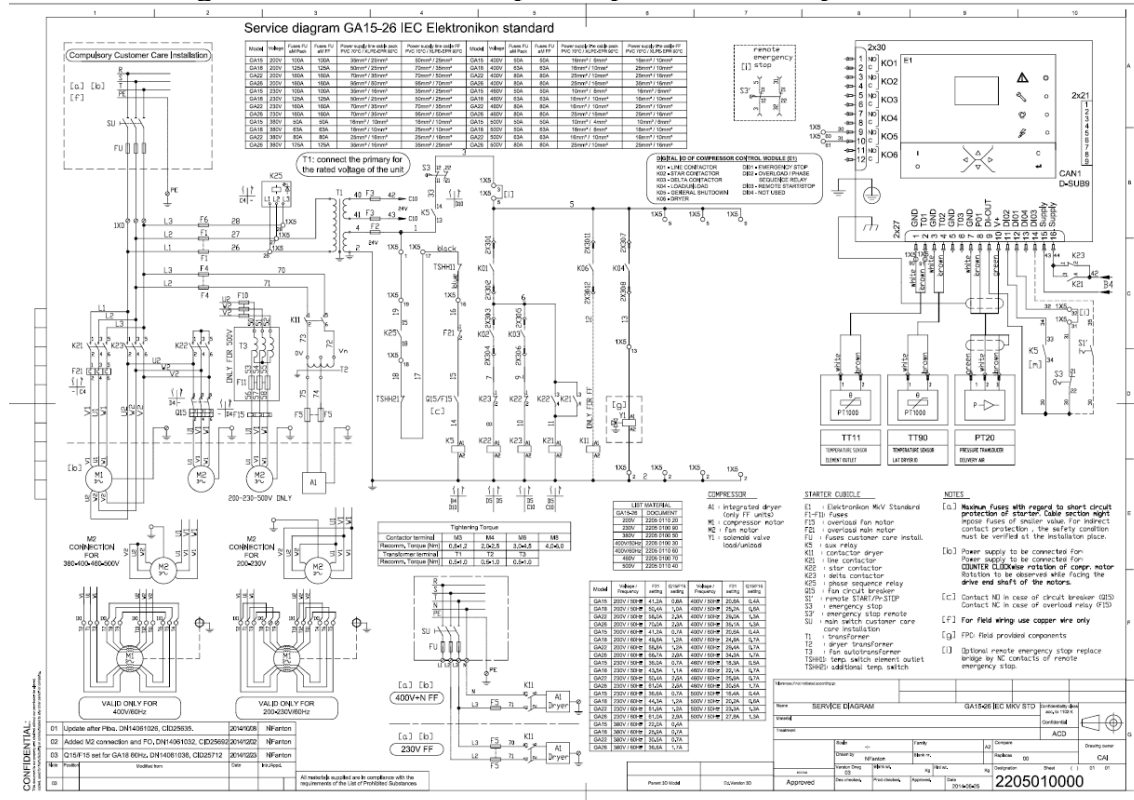
Anexo E: Operación de filtros cerámicos



Anexo F: Ajustes de frecuencia de VDF en planta de floculantes



Anexo G: Diagrama eléctrico de compresor posicionado en plata de acido



Anexo H: Gabinete para bloqueo de CV-16 en sala eléctrica



Anexo I: Planilla de comisionamiento CV-16

ATACAMA KOZAN						
Comisionamiento planta , reempulsion, espesador y filtrado						
Codigo	AK03209	Versión		1 Fecha	2 de mayo Pagina	1
Nombre del equipo		Correa transportadora filtrado de relave				
TAG		2020-CV16-B10				
Datos de Placas						
KW	37					
HP	50					
VOLTAJE	380					
CORRIENTE	68.2					
RPM	1485					
FRAME	N/A					
PF	0.83					
SF	94.1					
Interrupcion	30					
Ir	N/A					
It	N/A					
Pruebas de Funcionamiento						
	partida (A)	trabajo (A)	Voltaje entre Fases	Voltaje Fase	Fecha prueba 1	Fecha prueba 2
Prueba en Vacio	60	68(100%)	381	235	02-may	
Prueba con Agua						
Prueba en Pulpa						
PARTIR LOCAL					N° cubiculo	16
PARADA DE EMERGENCIA					Automatico CCM	70 A
PARAR LOCAL					Regulacion Termic	1
ELECTOR LOCAL - REMOTO	ok				Ruptura	0.5
PARTIR PARAR REMOTO	ok					
OL (SOBRECARGA)	ok	1	0.5			
CORRIENTE (A)	ok	70				
T POINT VELOCIDAD (0-100)	ok					
Juan Flores	Miguel Viera	Moises Diaz				
Realizada por Nombre y	Revisada por Nombre y Firma	Recibida por Nombre y Firma				