



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias de la Ingeniería
Escuela Ingeniería Civil Mecánica

IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN PILOTO APLICANDO MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD, EN PLANTA DE TRATAMIENTOS DE EFLUENTES, CELULOSA ARAUCO Y CONSTITUCIÓN, VALDIVIA.

Trabajo para optar al Título de:
Ingeniero Mecánico.

Profesor Patrocinante:
Sr. Milton Lemarie Oyarzún.
Ingeniero Civil Mecánico.
Diplomado en Ingeniería Mecánica.

YEISSE LORENA KIESSLING SALAS
VALDIVIA – CHILE
2008

El Profesor Patrocinante y Profesores Informantes del Trabajo de Titulación comunican al Director de la Escuela de Mecánica de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería que el Trabajo de Titulación de la Señorita:

YEISSE LORENA KIESSLING SALAS

ha sido aprobado en el examen rendido este día como requisito para optar al Título de Ingeniero Mecánico. Y, para que así conste para todos los efectos firman:

Profesor Patrocinante:

Ing. Civil Mecánico Sr. Milton Lemarie O. _____

Profesores Informantes:

Ing. Mecánico Sr. Luís Cárdenas G. _____

Ing. Mecánico Sr. Enrique Salinas A. _____

VºBº Director de Escuela:

Ing. Civil Mecánico Sr. Milton Lemarie _____

ÍNDICE

	Página
Resumen	1
Abstract	2
Capítulo 1: Introducción	3
1.1 Objetivo General	4
1.2 Objetivos Específicos	4
1.3 Metodología de trabajo	4
Capítulo 2: Marco Teórico	5
2.1 Introducción	5
2.2 ¿Qué es el MCC y a que interrogantes da respuestas?	6
2.3 Objetivos del mantenimiento Centrado en Confiabilidad	7
Capítulo 3: Descripción de la empresa	9
3.1 Reseña histórica	9
3.2 Celulosa Arauco Planta Valdivia	9
3.3 Organigrama	10
Capítulo 4: Proceso Productivo	11
4.1 Proceso productivo de Planta Valdivia	11
4.2 Área tratamiento de efluentes	11
4.2.1 Función tratamiento primario	12
4.2.1.1 Componentes	13

	Página
4.2.1.2 Flujo de proceso tratamiento primario	15
4.2.2 Función tratamiento secundario	17
4.2.2.2 Componentes	18
4.2.2.3 Flujo de proceso tratamiento secundario	19
4.3.3 Función tratamiento terciario	20
4.3.3.1 Componentes	21
4.3.3.2 Flujo de proceso tratamiento terciario	22
Capítulo 5: Implementación de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC).	25
5.1 Equipo de trabajo	25
5.1.1 Características del equipo de trabajo	26
5.1.2 Rol del facilitador	27
5.2 Selección de criticidad	27
5.3 Análisis de los modos y efectos de fallas (AMEF)	30
5.3.1 Función	32
5.3.2 Falla funcional	33
5.3.3 Modos de fallas	33
5.3.4 Efectos de fallas	34
Capítulo 6: Aplicación de MCC a la planta de efluentes	36
6.1 Selección de los equipos de efluentes	36
6.1.1 Criticidad	36
6.2 Características de los sistemas seleccionados	38
6.2.1 Sistema 1: Torres de enfriamiento	38
6.2.1.1 Objetivo	38
6.2.1.2 Sistema a analizar	39

	Página
6.2.1.3 Descripción del proceso	40
6.2.1.4 Características de los equipos del sistema en estudio	41
6.2.1.5 Principales equipos	42
6.2.1.6 Diagrama entrada-proceso-salida	42
6.2.2 Sistema 2: Bomba de agua dispersada 225	42
6.2.2.1 Objetivo	42
6.2.2.2 Sistema a analizar	43
6.2.2.3 Descripción del proceso	45
6.2.2.4 Características de los equipos del sistema en estudio	46
6.2.2.5 Principales equipos	47
6.2.2.6 Diagrama entrada-proceso-salida	47
6.3 Planilla de información de los equipos	48
6.4 Diagrama de decisión y Hoja de trabajo de los equipos	48
 Capítulo7: Índices de gestión de mantenimiento	 52
7.1 Disponibilidad	53
7.2 Disponibilidad operacional	54
7.3 Mantenibilidad	54
7.4 Confiabilidad	54
 Conclusiones	 56
Bibliografía	59
Anexos	60

ÍNDICE DE FIGURAS

		Página
Figura N°1	Sistema de Tratamiento Primario	13
Figura N°2	Flujos del proceso de Tratamiento Primario	15
Figura N°3	Sistema de Tratamiento Secundario	18
Figura N°4	Flujo del proceso del Tratamiento Secundario	19
Figura N°5	Sistema de Tratamiento Terciario	21
Figura N°6	Flujo del proceso de Tratamiento Terciario	22
Figura N°7	Grupo de trabajo MCC	25
Figura N°8	Matriz General de Criticidad	30
Figura N°9	Esquema de Aplicación de MCC	31
Figura N°10	Torres de enfriamiento	38
Figura N°11	Ducto de entrada del efluente a las torres de enfriamiento	39
Figura N°12	Duchas Aspersoras	39
Figura N°13	Bandejas receptoras	40
Figura N°14	Esquema de torres de enfriamiento	41
Figura N°15	Bomba 225	43
Figura N°16	Cámara de floculación 1	43
Figura N°17	Ducto de entrada del efluente al clarificador de flotación 1	44
Figura N°18	Tanque de agua dispersada 1	44
Figura N°19	Clarificador de flotación 1	45
Figura N°20	Subsistema de Tratamiento Terciario	46
Figura N°21	Clarificador de Flotación 1	48
Figura N°22	Distribución de Fallas.	52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°1	Criterios de Evaluación de Criticidad	28
Tabla N°2	Resultados de Criticidad de los activos	37

RESUMEN

El presente trabajo considera la implementación de un plan piloto de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC), a los equipos mecánicos del Área de Tratamientos de Efluente Celulosa Arauco y Constitución-Valdivia.

La aplicación de esta herramienta (MCC), considera la conformación de un equipo de trabajo capacitado en el tema, quienes de acuerdo a un análisis del área de efluentes (área de trabajo), dentro de su contexto de operación, determinarán los equipos considerados críticos.

Posteriormente, se entregan las planillas de mantención de los equipos para ser aplicados por el personal de la empresa capacitado para esa tarea, dando respuesta a los aspectos que rige Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.

ABSTRACT

The following paper considers the implementation of a pilot plan called Reliability Centered Maintaining (RCM) to mechanical equipments of the Treatment Area Effluent from Arauco and Constitución –Valdivia, Cellulose.

The application of this tool called Reliability Centered Maintaining (RCM) considers a group work formation whose will be trained in the topic. Then this group work according to an analysis of the effluent areas (work area) into its context of operation it will determine the equipments critiqued considered.

Finally, in this work all the maintaining format of the equipments to be applied by the workers of the factory trained for that specific task. The latter will give an answer to the aspects that regulate the Reliability Centered Maintaining.

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

A lo largo de los años el mantenimiento industrial ha ido evolucionando a la par con la tecnología, con el objeto de hacer más rápido y continuo los procesos productivos de las empresas. A raíz de esto y a la complejidad de las maquinarias y equipos, se están implementando nuevas técnicas de mantenimiento, con la finalidad, entre otros, de prolongar la vida útil de ellos.

Estos nuevos sistemas de mantenimiento buscan ser más integrales, incorporando con gran importancia los aspectos de seguridad y de medio ambiente, para alcanzar una alta calidad de los productos y disponibilidad de los activos físicos.

En este contexto, surge el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC), que se está utilizando con muy buenos resultados en las grandes industrias del país y del extranjero. Esta herramienta permite analizar los activos dentro de su proceso y ambiente de trabajo, evitando sus fallas y resultados inesperados para la empresa.

La correcta aplicación de este sistema trae consigo una serie de efectos favorables para la empresa, como ser: un buen funcionamiento de las maquinarias, un mayor conocimiento de los activos por parte de los encargados de su aplicación, una mejor comunicación entre el personal involucrado en el proyecto de su implantación y grandes beneficios de ahorro en la conservación operativa de las máquinas y equipos.

1.1 OBJETIVO GENERAL

Aplicar la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad a los equipos críticos (seleccionados por el equipo de trabajo), del área de tratamiento de efluentes, para su adecuado funcionamiento.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Conocer en que consiste Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.
- Identificar los equipos críticos que forman parte del área de efluentes.
- Conocer el historial de los equipos por medio de la información obtenida a través del SAP (Software de aplicación y datos del proceso de la planta).
- Estudiar los equipos críticos seleccionados para un correcto análisis con el grupo de trabajo.
- Aplicar la herramienta de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad a los equipos críticos.

1.3 METODOLOGÍA DE TRABAJO

Para el desarrollo del proyecto, se considera la siguiente metodología:

- Estudio y análisis de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad por medio de revisión bibliográfica e internet.
- Recolección y análisis de información relacionada con los equipos mecánicos del área de efluentes.
- Revisión y análisis de información existentes en base de datos (SAP).
- Definir los equipos críticos
- Reunión con los encargados del proyecto, para establecer parámetros y programas de trabajo para llevar adelante la aplicación de MCC.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1 INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, el mantenimiento ha cambiado tal vez más que cualquier otro método gerencial. Los cambios se deben, principalmente, al gran aumento en número y variedad de los activos físicos existentes, que deben ser sometidos a un riguroso mantenimiento.

El mantenimiento responde a expectativas cambiantes como, por ejemplo, una creciente toma de conciencia para evaluar hasta que punto las fallas en los equipos afectan a la seguridad, al medio ambiente y la presión de alcanzar una alta disponibilidad en la planta y mantener acotados los costos.

Frente a los grandes cambios, los gerentes de todo el mundo están buscando un nuevo acercamiento al mantenimiento, donde se pretende evitar un mal proceso en la implementación y problemas sin soluciones que siempre se vinculan a este tipo de cambios.

Es por esto que ha principio de los 70 se comienza a trabajar con la aplicación de MCC en los sectores de la aeronáutica, minería y manufacturas, a su vez que el medio ambiente se convierte en un tema trascendental para las empresas. En un comienzo, se aconsejó a los facilitadores (personas con gran conocimiento en MCC, encargadas de guiar al equipo de trabajo) que trataran del mismo modo los riesgos al medio ambiente como a los de seguridad. Sin embargo, esto significaba en la práctica que muchos problemas ambientales que no eran una amenaza inmediata y directa a la seguridad, fueran dejados de lado. El medio ambiente puede ser, también, un tema altamente conflictivo que no se presta a una evaluación subjetiva tal como pudiera serlo para la seguridad.

2.2 ¿QUÉ ES EL MCC Y A QUÉ INTERROGANTES DA RESPUESTAS?

El MCC es un proceso sistemático y analítico, desarrollado inicialmente en la industria aeronáutica, que ayuda a las personas a determinar las políticas para mejorar las funciones de los sistemas o equipos en su contexto operacional, a través de la determinación de las tareas de mantenimiento apropiados. Estos objetivos se consiguen mediante la revisión de fallas operacionales con la evaluación de aspectos de seguridad, medio ambiente, producción, y poniendo mucha atención en las tareas de mantenimiento que más incidencia tienen en el funcionamiento del sistema o equipo.

El MCC se centra en la relación entre la organización y los elementos físicos que la componen. Antes de que se pueda explorar esta relación detalladamente, se necesita saber qué tipos de elementos físicos existen en la empresa y decidir cuáles deben ser sometidos al proceso de MCC. En la mayoría de los casos, esto significa que se debe realizar un registro de equipos completos. Una vez seleccionados los equipos, la metodología de MCC, propone un procedimiento que permite identificar las necesidades reales de mantenimiento a los equipos en su contexto operacional, a partir de las siguientes siete preguntas básicas [2]:

- 1) ¿Cuáles son las funciones y los estándares de funcionamiento en cada sistema?
- 2) ¿Cómo falla cada activo?
- 3) ¿Cuál es la causa de cada falla funcional?
- 4) ¿Qué pasa cuando ocurre cada falla?
- 5) ¿Cuál es el impacto real de cada falla?
- 6) ¿Cómo se puede prevenir cada falla?
- 7) ¿Qué debe hacerse si no es posible prevenir una falla funcional?

La implementación de esta metodología, se especifica en diagrama de flujo de la figura N°9.

2.3 OBJETIVOS DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD.

Los objetivos de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad son los siguientes [2]:

Mayor seguridad e integridad ambiental: consiste en minimizar o eliminar todos los riesgos identificables relacionados con la seguridad de los equipos y el medio ambiente.

Mejor funcionamiento operacional (*cantidad, calidad de producto y servicio al cliente*): MCC reconoce que todos los tipos de mantenimiento tienen algún valor y proveen reglas para decidir cual es el más adecuado en cada situación, lo que significa que actúan para minimizar o eliminar todos los riesgos identificables relacionados con la seguridad de los equipos y el medio ambiente.

Mayor costo-eficiencia del mantenimiento: si MCC es aplicado correctamente a los sistemas de mantenimiento ya existentes, reduce la cantidad de tareas de mantenimiento hechas cíclicamente de cada período entre un 40 y un 70% [1]. En el caso de que MCC se utilice para desarrollar un nuevo programa de mantenimiento, la cantidad de trabajo resultante será mucho más baja, así el programa se desarrolla con los procedimientos habituales.

Mayor vida útil de componentes costosos: por el cuidadoso énfasis en el uso de las técnicas de mantenimiento.

Una base de datos global: permite a quienes utilizan el equipo demostrar que sus programas de mantenimiento, están hechos sobre una base

racional. La información almacenada en las hojas de trabajo de MCC reduce los efectos de la rotación de personal y la pérdida de experiencia que esto provoca. Provee una clara visión de las habilidades necesarias para mantener cada activo físico, y para decidir qué repuestos deben tenerse en stock.

Mayor motivación del personal: lleva a un mayor entendimiento general del activo en su contexto operacional, con un sentido de pertenencia más amplio de los problemas de mantenimiento y sus soluciones, al igual que aumenta la posibilidad de que las soluciones perduren.

Mejor trabajo de equipo: ya que el lenguaje técnico es fácil de entender para cualquier persona que esté relacionada con mantenimiento.

CAPÍTULO 3: DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

3.1 RESEÑA HISTÓRICA

Celulosa Arauco y Constitución S.A. es una sociedad anónima abierta que se formó en septiembre de 1979, tras la fusión de industrias de Celulosa Arauco S.A. y Celulosa Constitución S.A. Ambas empresas fueron creadas en 1967 y 1969, respectivamente, por la entidad estatal chilena CORFO (Corporación de Fomento de la Producción), con el fin de desarrollar los recursos forestales del país, mejorar la calidad del suelo en terrenos agrícolas degradados y fomentar el empleo en zonas aisladas.

Una década después, en 1977 y 1979, respectivamente, las compañías fueron privatizadas por CORFO y adquiridas, y luego fusionadas, por la Compañía de Petróleos de Chile S.A. (hoy Empresas Copec), entidad que hasta el día de hoy es el principal propietario y controlador de la empresa, con un 99.9% de las acciones.

Hoy, con más de 40 años de existencia, Celulosa Arauco y Constitución S.A. agrupa a un conjunto de empresas forestales, industriales y comerciales conocidos bajo el nombre de ARAUCO. Su sede principal se encuentra en Santiago de Chile. Sus actividades industriales se distribuyen entre Chile, Argentina y Brasil, y cuenta con patrimonio forestal en estos tres países y también Uruguay, donde aún no ha desarrollado actividades industriales [1].

3.2 CELULOSA ARAUCO PLANTA VALDIVIA

La planta de celulosa Valdivia inició sus operaciones en febrero del año 2004, culminando un proceso iniciado hace 20 años, cuando ARAUCO desarrolló un programa de plantaciones forestales en la Región de los Ríos. La construcción y puesta en marcha de la planta contempló la evaluación de

diferentes ubicaciones posibles, la elaboración y aprobación de dos Estudios de Impacto Ambiental y la obtención de los correspondientes permisos y autorizaciones lo que culminó con una instalación industrial, que consta con los más altos estándares ambientales.

Desde su puesta en operación, ARAUCO dedicó tanto recursos humanos como financieros al mejoramiento continuo del desempeño ambiental de esta planta, poniendo especial énfasis en la gestión de sus efluentes, materia de la mayor preocupación para la empresa, la comunidad y las autoridades, debido a la sensibilidad del ecosistema vecino a la planta, el Santuario de la Naturaleza Carlos Anwandter, en el río Cruces [1].

3.3 ORGANIGRAMA

Celulosa Arauco y Constitución planta Valdivia se compone por una Gerencia de planta la que subdivide en cuatro Subgerencias (Mantenimiento e Ingeniería, Administración, Producción y Medio Ambiente) y Jefe de Prevención de riesgos, la Subgerencia de Mantenimiento e Ingeniería tiene cuatro Superintendencias (Mantenimiento Mecánica, Electro-Control, Planificación e Ingeniería), la Subgerencia de Administración tiene una Superintendencia (Abastecimiento y Contratos que incluye Recursos Humanos y Contabilidad y Costos), la Subgerencia de Producción tiene tres Superintendencias (Línea de Fibra, Línea de Licor y Técnica) (Anexo N°2).

La Superintendencia de Mantenimiento Mecánica se compone de cinco jefaturas Efluente y madera, Fibra y Secado, Licor, Servicio y Obras Civiles y Maestranza (Anexo N°1).

CAPÍTULO 4: PROCESO PRODUCTIVO

4.1 PROCESO PRODUCTIVO DE PLANTA VALDIVIA

El proceso de elaboración de celulosa se esquematiza en el Anexo N°3, donde se muestra desde la entrada del rollizo hasta la entrega de los fardos de celulosa, que luego son llevados para su comercialización.

Si bien resulta importante conocer todo el proceso de elaboración de la celulosa, se dará a conocer sólo en el que acontece la aplicación del MCC (Área de tratamientos de efluentes).

4.2 ÁREA TRATAMIENTO DE EFLUENTES

La función del Tratamiento de Efluentes es adecuar los efluentes tal que permita satisfacer los requerimientos y parámetros ambientales exigidos por la legislación Chilena y, en particular, de las exigencias propias de la Planta Valdivia.

Este sistema de Tratamiento de Efluentes tiene como objetivo [5]:

- Clarificar el Efluente, sedimentando los Lodos.
- Neutralizar el Efluente.
- Bajar la temperatura del Efluente.
- Disminuir la carga Orgánica y los compuestos Clorados del Efluente, disminuir nitrógeno y fósforo.
- Disminuir el Color del Efluente.
- Tratar los lodos Primarios, Secundarios y Terciarios.

Los sistemas que son parte de la planta de Tratamiento de Efluentes se presentan a continuación:

Tratamiento Primario: la finalidad de este sistema es la Clarificación, Neutralización y Enfriamiento del Efluente.

Tratamiento Secundario: este sistema tiene por finalidad reducir la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) del Efluente mediante un proceso de degradación biológica. Además, cuenta con un Clarificador Secundario, el cual sedimenta los Lodos y obtiene un Efluente Clarificado.

Tratamiento Terciario: este sistema tiene por finalidad decantar los Coloides (Partículas que no decanta) suspendidos en el Efluente y que son responsables del color del Efluente, obteniendo un Efluente Clarificado con bajo color, el cual es enviado al Parshall de Efluente Tratado y luego derivado al río Cruces. Además cuenta con un sistema de tratamiento de Lodos. Estos Lodos se prensan en las dos Líneas de Prensas, para obtener un Lodo bastante seco, el cual es enviado al Galpón de Corteza e incinerado en la Caldera de Biomasa.

4.2.1 Función tratamiento primario

La función principal del Sistema Tratamiento Primario es la separación de sólidos, neutralización y enfriamiento del Efluente.

La separación de sólidos se realiza en dos etapas:

- Separación mecánica gruesa.
- Separación fina por diferencia de densidad de las partículas con respecto al agua.

La neutralización del Efluente se realiza adicionando soda o ácido sulfúrico, y la etapa de enfriamiento se realiza a través de dos Torres de Enfriamiento.

Además, cuenta con una Piscina de Derrames, para canalizar emergencias operacionales [5].

4.2.1.1 Componentes

Los componentes del Sistema de Tratamiento Primario se muestran en la siguiente figura:

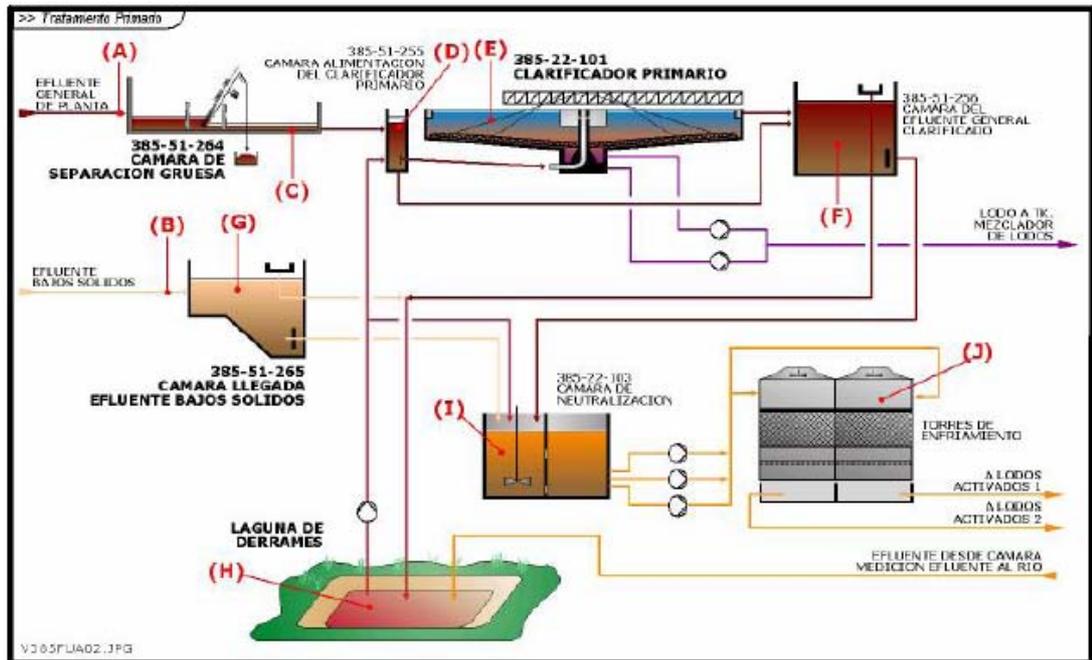


Figura N°1, Sistema de Tratamiento Primario

(A) *Ducto Descarga Gravitacional Efluente General Planta*: conduce el Desagüe General de Planta al Sistema de Tratamiento Primario, específicamente a la Cámara de Separación Gruesa.

(B) *Ducto Descarga Gravitacional Efluente Bajos Sólidos*: conduce el Desagüe de Bajos Sólidos al Sistema de Tratamiento Primario, específicamente a la Cámara Compuerta Control Remoto Desagüe Bajos Sólidos.

(C) *Cámara Separación Gruesa*: se realiza la extracción de los sólidos en suspensión (Clasificación Mecánica).

(D) *Cámara Alimentación del Clarificador Primario*: deriva el Efluente General de Planta hacia la Cámara de Neutralización permitiendo aislar el Clarificador Primario.

(E) *Clarificador Primario*: separa los sólidos por decantación.

(F) *Cámara del Efluente General Clarificado*: deriva el Efluente del Clarificador Primario hacia la Laguna de Derrames cuando el PH esté fuera de rango, aislando de esta forma la Cámara de Neutralización.

(G) *Cámara Llegada Efluente de Bajos Sólidos*: deriva el Efluente Bajos Sólidos a la Laguna de Derrames cuando el PH esté fuera de rango, aislando el Efluente ácido que va hacia la Cámara de Neutralización.

(H) *Laguna de Derrames*: piscina artificial que almacena los rebases y by-pass de algunos equipos, además se recibe el Efluente cuando existen anomalías en el proceso.

(I) *Cámara de Neutralización*: neutraliza el Efluente ajustando el PH con la adición de soda o ácido sulfúrico.

(J) *Torres de Enfriamiento*: bajan la temperatura del Efluente antes de ingresar al Tratamiento de Lodos Activados [5].

4.2.1.2 Flujo de proceso tratamiento primario

A continuación, describiremos los flujos del proceso.

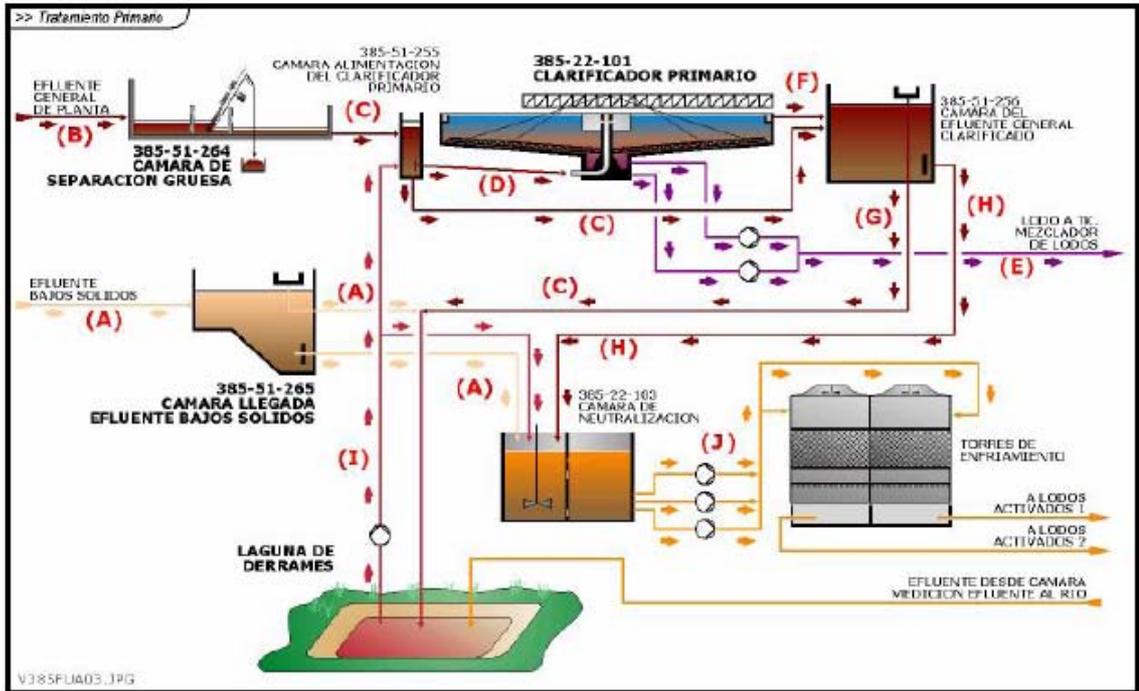


Figura N°2, Flujos del proceso de Tratamiento Primario

El tratamiento primario se encarga de recibir los efluentes Bajos sólidos y el efluente general de planta.

1. El Desagüe Bajos Sólidos (A) es conducido al Área de Efluentes por un ducto gravitacional, el que descarga en la Cámara de Neutralización. Antes pasa por una Cámara con una válvula de compuerta control remoto, en la cual se mide el PH. Cuando el PH esta fuera de norma, se cierra la compuerta y por rebase se envía el Efluente a la Laguna de Derrames.

2. El Efluente General de Planta (B) llega a la Cámara de Separación Gruesa. Aquí se realiza una separación mecánica, a través de un Harnero de barras que retiene los sólidos de sobre-tamaño (astillas, corteza o cuerpos extraños del proceso). Estos sólidos son retirados del Harnero mediante un sistema de

barras limpiadoras, las cuales, toman el sobre-tamaño del Harnero retirándolo hacia el Bunker de Rechazos. El efluente libre de sólidos de sobre tamaño se envía al Clarificador Primario donde se realizará una segunda separación de sólidos antes que el Efluente ingrese al Clarificador Primario existe una Cámara Alimentación del Clarificador Primario (C), esta cámara cuenta con una compuerta que permite aislar el Clarificador Primario (D) alimentando directamente a la cámara de neutralización.

En el Clarificador Primario se realiza una separación por decantación de los sólidos de menor tamaño, por diferencia de densidad de las partículas con el agua (arena, fibra, restos de fibra, arcilla). El sobrenadante (partículas que no decantan) es enviado a la Cámara de Neutralización y el lodo (E) decantado se extrae en la parte inferior del Clarificador Primario y es bombeado al tanque Mezclador de Lodos.

El Efluente que sale del Clarificador Primario (F), va a la Cámara del Efluente general Clarificado, la cual cuenta con una compuerta motorizada enclavada con el PH; si éste está alto (G), esta compuerta se cierra y por rebase se envía a la laguna de derrame, de lo contrario sigue su curso a la Cámara de Neutralización (H).

En la Cámara de Neutralización se mezclan los Efluentes General de Planta y Bajos Sólidos, para así ajustar el PH del Efluente a los rangos de operación. Para lograr esto se cuenta con un medidor de PH en línea que está enclavado a un sistema de adición de soda o ácido, de tal forma de asegurar siempre el rango de operación del PH en el Efluente, antes de ser bombeado a las Torres de Enfriamiento.

En la laguna de derrames (I) se almacena el Efluente que tiene el PH y/o la conductividad fuera de norma, producto de alguna anomalía en los procesos de Planta, mientras se corrige esta desviación de proceso, el Efluente se deriva a esta Laguna de Derrames para luego ser bombeado nuevamente a

Proceso de Tratamiento Primario. La Laguna cuenta con un sistema de recuperación de los derrames almacenados en ésta. Esta bomba de recuperación adicionará, en forma controlada, los derrames a proceso.

Las Torres de Enfriamiento (J) son las encargadas de bajar la temperatura del desagüe. Esta variable es de vital importancia, para garantizar el éxito del Tratamiento Secundario (Lodos Activados) [5].

4.2.2 Función tratamiento secundario

La Etapa de Lodo Activado tiene por finalidad reducir la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) del Efluente mediante un proceso de degradación biológica, es decir, disminuye la carga orgánica del Efluente, a través de una degradación microorgánica. Además, cuenta con un Clarificador Secundario el cual sedimenta los Lodos y obtiene un Efluente Clarificado.

Las principales características del Sistema de tratamiento Secundario son: la descomposición (reducción) del BOD, la descomposición del Clorato proveniente del efluente del área de Blanqueo. Todo lo anterior con una mínima generación de lodo biológico [5].

4.2.2.2 Componentes

Los componentes del Sistema de Tratamiento Secundario se muestran en la siguiente figura:

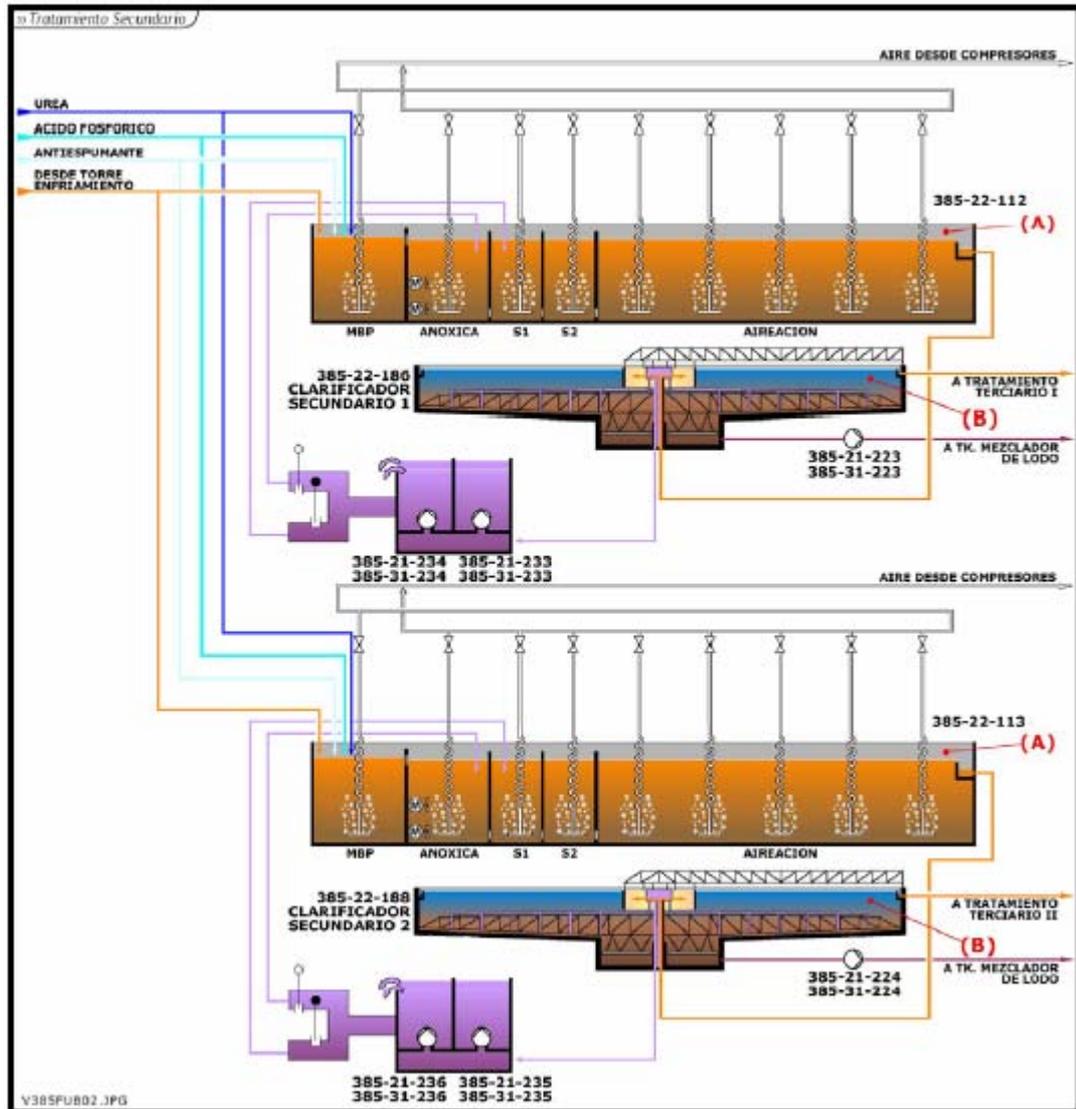


Figura N°3, Sistema de Tratamiento Secundario

Lodos Activados: se produce la degradación de la carga orgánica del Efluente, mediante un proceso biológico, aquí se produce la reducción de la DBO.

Clarificador Secundario: se realiza una clarificación del Efluente de biodegradado. Se obtiene una decantación de los Lodos Activados y un Efluente Clarificado [5].

4.2.2.3 Flujo del proceso tratamiento secundario

El flujo del proceso se describe a continuación.

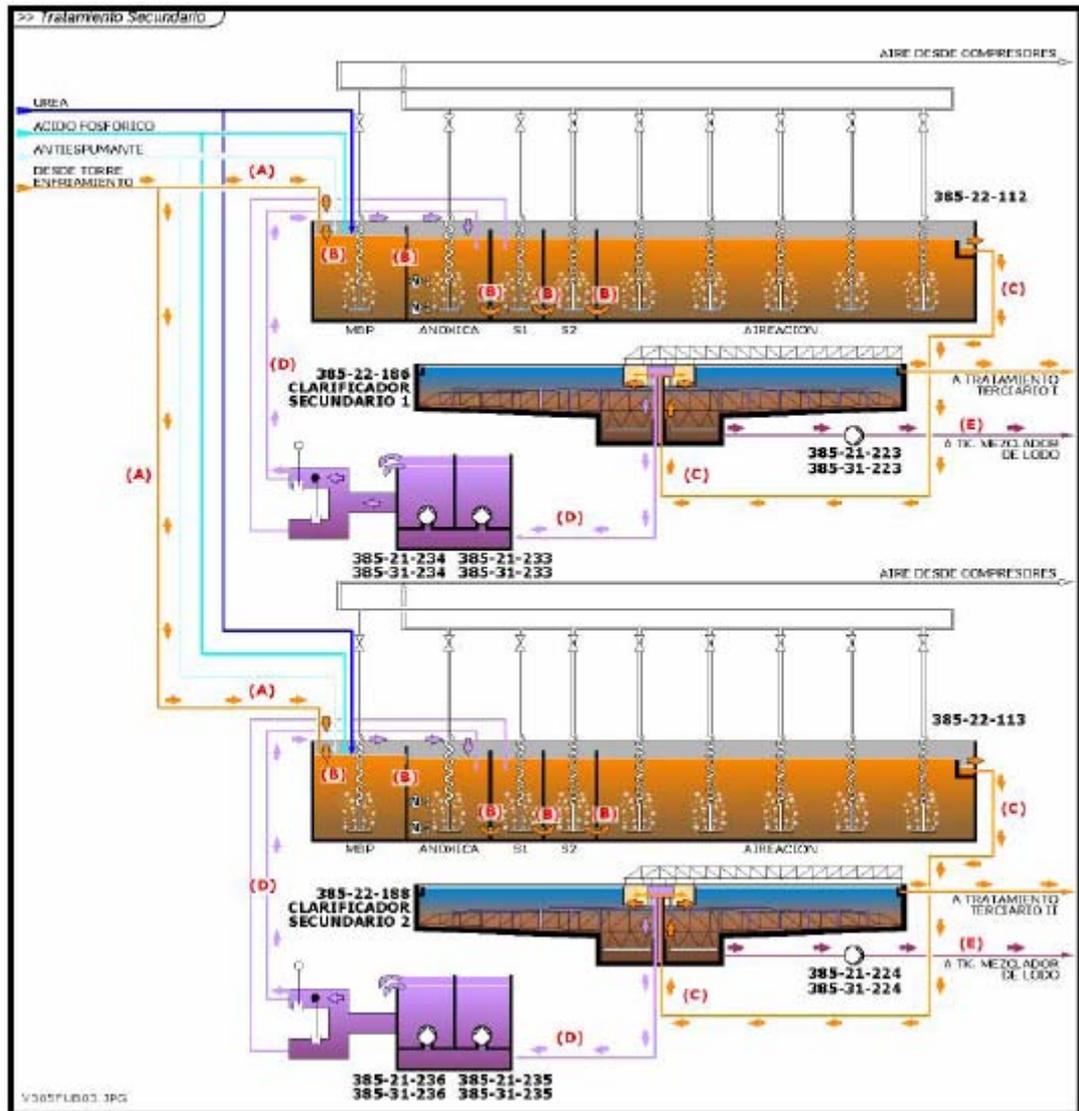


Figura N° 4, Flujo del proceso del Tratamiento Secundario

El Efluente (A) ingresa desde la Torre de Enfriamiento a la Línea de Lodo Activado 1 y 2 en forma paralela.

El Efluente (B) ingresa específicamente a la Cámara de Mínima Producción de Lodo Biológico (MPB), aquí se desplaza en forma gravitacional hacia las Cámaras Anóxicas, Selector 1 y 2 y Cámara de Aireación.

Descargando, finalmente, al Clarificador Secundario, en el cual el Efluente Clarificado (C), ingresa al Tratamiento Terciario.

Los Lodos (D) más livianos son recirculados al Tratamiento de Lodos Activados, en cambio los Lodos (E) decantados en Clarificador son enviados al tanque Mezclador de Lodos [5].

4.3.3 Función tratamiento terciario

La función del Tratamiento Terciario es decantar los Coloides (Partículas que se mantienen en suspensión debido a que tienen igual carga eléctrica) suspendidos en el Efluente y que son responsables de dar el color del Efluente, obteniendo un Efluente Clarificado con bajo color, el cual es enviado al Parshall de Efluente Tratado y luego derivado al río Cruces.

Los Lodos extraídos desde el Clarificador de Flotación, se espesan y se prensan en las dos Líneas de Prensas, para obtener un Lodo a 25 a 30% seco, el cual es depositado en un vertedero. Se preparan los aditivos y químicos a dosificar en los distintos puntos del Efluente [5].

4.3.3.1 Componentes

Los componentes del Sistema de Tratamiento Terciario se muestran en la siguiente figura:

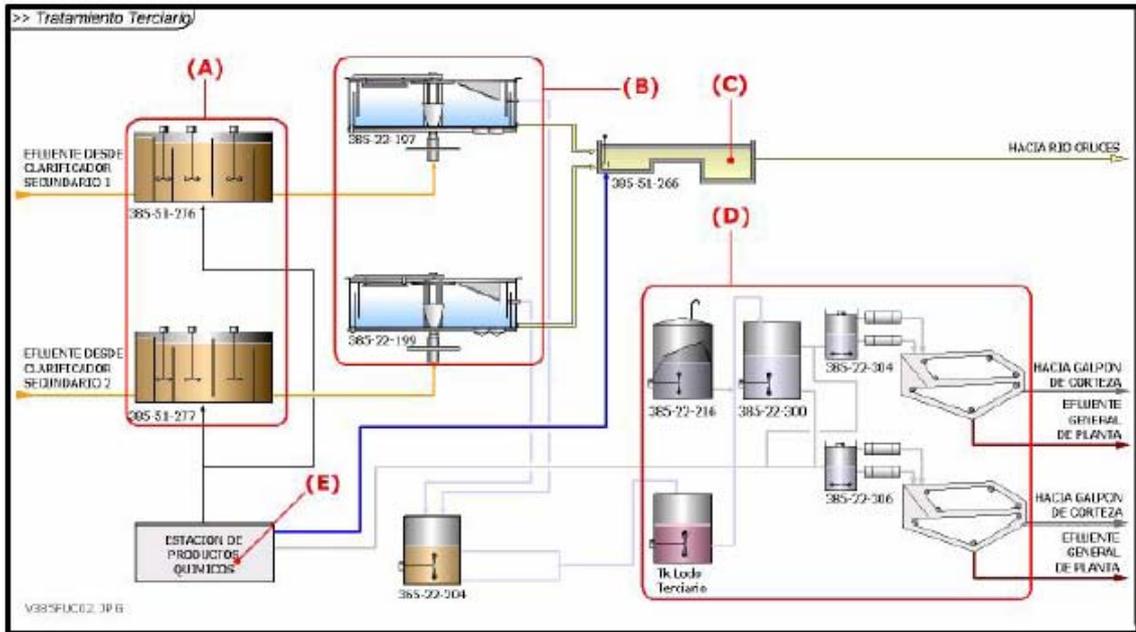


Figura N°5, Sistema de Tratamiento Terciario

(A) *Cámara de Coagulación y Floculación*: se realiza la mezcla del Efluente con los Productos Químicos, produciéndose una coagulación y luego una floculación de las Partículas Coloidales (Cada Línea de Tratamiento Terciario tiene una Cámara de Floculación).

(B) *Clarificador de Flotación*: separa los Flóculos de Lodos suspendidos en el Efluente, mediante el arrastre de los Flóculos de Lodo por burbujas de aire (Cada Línea de Tratamiento Terciario tiene un Clarificador por Flotación).

(C) *Parshall de Efluente Tratado*: recibe y mide el flujo del Efluente tratado y lo deriva según sus parámetros operacionales a la Laguna de Derrames o al río Cruces (existe un solo Parshall para ambas Líneas de Tratamiento Terciario).

(D) *Prensas de Lodo*: recibe el lodo desde el Clarificador Primario y Clarificador Secundario, lo prensa para ser enviados al galpón de corteza. El lodo proveniente del tratamiento terciario se prensa independiente y se envía a vertedero.

(E) *Dosificación de Productos Químicos*: se dosifican los Productos Químicos hacia los distintos puntos del Área de Tratamiento de Efluentes [5].

4.3.3.2 Flujo del proceso tratamiento terciario

El flujo del proceso se describe a continuación.

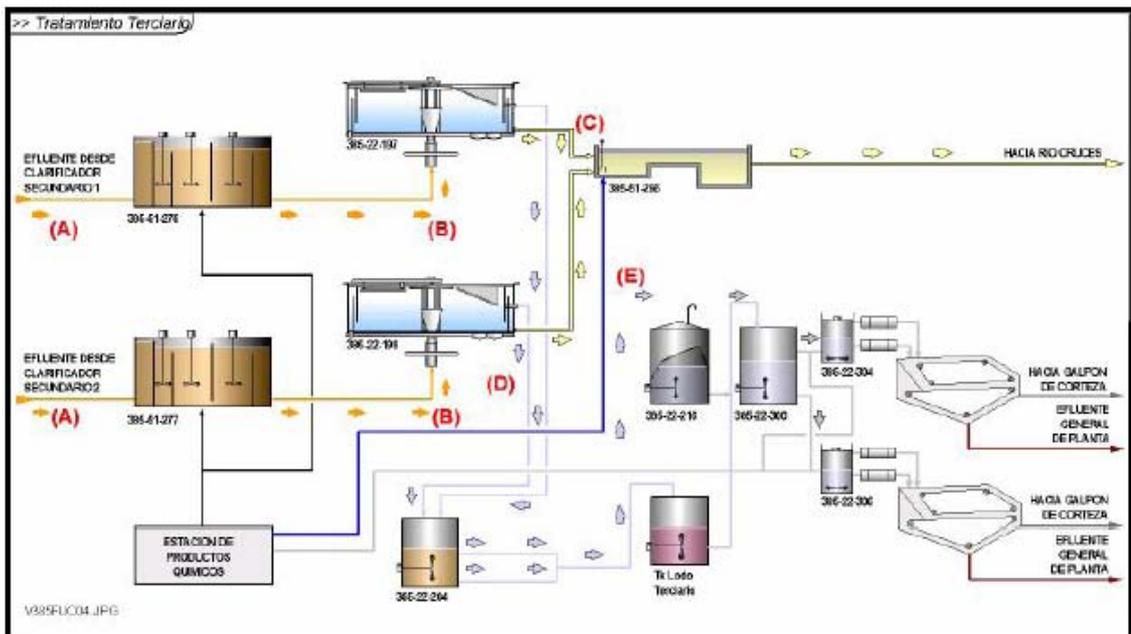


Figura N°6, Flujo del proceso de Tratamiento Terciario

1. El Efluente (A) ingresa desde el Clarificador Secundario a la Cámara de Floculación.
2. Desde la Cámara de Floculación, el Efluente (B) se descarga al Clarificador de Flotación. Aquí se separa los Coloides o Lodo no decantable del Efluente.

3. El Efluente Clarificado (C) es enviado al Parshall de Efluente Tratado y luego al Río Cruces.
4. El Lodo (D) flotado es extraído del Clarificador hacia el tanque de Lodo Flotado.
5. Este Lodo (E) es bombeado al tanque de Lodo Terciario, luego al tanque Espesador de Lodos, desde aquí va al floculador de lodos y, finalmente, a las Prensas de Lodo [5].

Principio de operación.

- 1.- Este tratamiento consiste en separar las Partículas Coloidales del Efluente, para obtener una descarga lo más limpia posible. Estas Partículas Coloidales son las responsables de dar el color al Efluente.
- 2.- En la Cámara de Coagulación y Floculación se le adiciona Sulfato de Aluminio para desestabilizar las cargas negativas del Coloide (Coagulación), a ello se le suma una fuerte agitación para asegurar una buena mezcla. También se le agrega una macro molécula de Poli Electrolito para formar los flóculos: Existe un par de agitadores de menor velocidad de rotación que mantiene o complementa la mezcla sin romper los flóculos.
- 3.- El Efluente es descargado por gravedad al Clarificador por Flotación el cual en el fondo cuenta con un Anillo de Agua de Dispersión, el cual genera burbujas de aire. Esta agua con burbujas de aire es generada por un Compresor. Las burbujas de aire viajan a la superficie del Clarificador, capturando Partículas de Lodo y/o Coloides, las cuales son retiradas por un Desnatador Rotatorio en la superficie del Clarificador hacia el Anillo Colector de Lodo Fino. Este Lodo por flotación más el Lodo que se descarga por el fondo del Clarificador se envía al tanque de Flotación de Lodo.

4.- Desde el tanque de Flotación el Lodo se bombea (bombas 227 y 228) al tanque Lodo Terciario. Estos Lodos son bombeados (bomba 229) al tanque Espesador de Lodos y finalmente a las Prensas de Lodos. En las Prensas, el Lodo es prensado y descargado a la Correa de Lodos y luego se envía a vertedero. El filtrado se envía nuevamente al Efluente General de Planta.

5. El Efluente clarificado, en el Clarificador por Flotación es enviado gravitacionalmente al Parshall de Efluente Tratado y luego descargado al Río Cruces [5].

CAPÍTULO 5: IMPLEMENTACIÓN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (MCC)

El proceso de implementación de MCC considera una serie de etapas las cuales se especifican a continuación.

5.1 EQUIPO DE TRABAJO

El equipo de trabajo se define dentro del contexto de MCC, como un conjunto de personas que cumplen diferentes funciones dentro de la organización, que trabajan juntas por un período de tiempo determinado en un clima de potenciación, para analizar problemas comunes de los distintos departamentos, apuntando al logro de un objetivo común.

Conformación de un equipo de trabajo (Figura N°7): debe estar compuesto por un operador del área a analizar, un ingeniero de producción, un especialista del área (Ingeniero Mecánico), dos planificadores (mantención y producción) y el facilitador quien es el que guía y prepara cada una de las reuniones. Las personas que conforman el equipo, deben tener conocimientos de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC) [3].



Figura N°7, Grupo de trabajo MCC

5.1.1 Características del equipo de trabajo

Alineación: cada miembro está comprometido con los acuerdos del equipo. Esto demanda que la misión y la visión de la metodología de MCC sean compartidas por todos los miembros del equipo. En este sentido la tendencia es sacarle provecho a los desacuerdos y conflictos para integrar los aportes de los participantes, con el propósito de lograr soluciones efectivas.

Coordinación: estas características, implican que cada miembro del equipo teniendo roles y responsabilidades claras sea propia de los compromisos del equipo como si fueran las suyas individuales. De esta manera el trabajo individual se orienta al desempeño común del equipo. En este sentido, el liderazgo, la gerencia son habilidades de todos los miembros.

Comprensión: la comprensión es un compromiso compartido. Esto requiere habilidad para distinguir entre puntos de vistas, interpretaciones y los hechos, para así coordinar y divulgar el propio punto de vista y ayudar a los otros a considerarlos y a la vez considerar el punto de vista de los demás. Cualquier miembro del equipo, conoce a los clientes, los procesos de trabajo y los

resultados del equipo. Esto significa que los objetivos, metas e hitos son claros y compartidos.

Respeto: desarrollar y mejorar continuamente la habilidad de ver las cosas, como lo ve la otra persona, pero sin perder la perspectiva de la objetividad de la realidad operacional. Resulta siempre importante consultarse: ¿Quién necesita participar en la reunión y/o decisión?, y luego preguntar ¿A quién es necesario informar respecto a los resultados?

Confianza: tener confianza en que los demás van a desempeñar sus responsabilidades de manera óptima. Confiar en que cada miembro del equipo buscará insumos requeridos para la toma de decisiones, consolidando la proactividad individual para modelar este clima [2].

5.1.2 Rol del Facilitador

La función básica del facilitador consiste en conducir el proceso de implantación del MCC. En otras palabras el facilitador es el encargado de asegurar que el proceso de implantación del MCC se realice de forma ordenada y efectiva.

Las actividades que debe realizar el facilitador, son las siguientes [2]:

- Guiar al equipo de trabajo en la realización del análisis de los modos y efectos de fallas (AMEF), y en la selección de las actividades de mantenimiento.
- Ayudar a decidir a que nivel debe ser realizado el análisis de los modos y efectos de fallas.
- Ayudar a identificar los activos que deben ser analizados bajo esta metodología (activos críticos).

- Asegurar que las reuniones de trabajo sean conducida de forma profesional y se lleven a cabo con fluidez y normalidad.
- Asegurar un verdadero consenso entre operador y mantenedor.
- Motivar al equipo de trabajo.
- Asegurar que toda la documentación a registrar durante el proceso de implantación sea llevado correctamente.

5.2 SELECCIÓN DE CRITICIDAD

El término crítico y la definición de criticidad pueden tener diferentes interpretaciones y van a depender del objetivo que se está tratando de jerarquizar. Desde esta óptica existe una gran diversidad de herramientas de criticidad, según las oportunidades y las necesidades de la organización, la metodología propuesta, es una herramienta de priorización bastante sencilla que genera resultados semi cuantitativos.

El área de efluentes contiene una diversidad de equipos, de los cuales se ***seleccionan los más críticos por medio de una evaluación***, en donde se consideran los parámetros de la tabla N°1; estos parámetros son evaluados y aprobados por el equipo de trabajo, ya que cumplen con los criterios esenciales para la selección de criticidad [3].

<p>Frecuencia de Fallas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mala mayor a 2 fallas/años. • Promedio 1-2 fallas/años. • Buena 0.5-1 fallas/años. • Excelente menos de 0.5 fallas/años. 	<p>Costos de Mantenimiento:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mayor o igual a 2000 dólares. 2 • Inferior a 2000 dólares. 1
<p>Impacto Operacional:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pérdida de todo el despacho. 10 • Parada del sistema o subsistema y tiene repercusión en otros sistemas. 7 • Impacta en niveles de inventario de calidad. 4 • No genera ningún efecto significativo sobre operaciones y producción. 1 	<p>Impacto en Seguridad Ambiente Higiene (SIH):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Afecta la seguridad humana tanto externa como interna y requiere la notificación a entes externos de la organización. 8 • Afecta al ambiente e instalaciones. 7 • Afecta las instalaciones causando daños severos. 5 • Provoca daños menores (Ambiente-seguridad). 3 • No provoca ningún tipo de daños a personas, instalaciones o al ambiente. 1
<p>Flexibilidad Operacional:</p> <ul style="list-style-type: none"> • No existe opción de producción y no hay función de repuesto. 4 • Hay opción de repuestos en almacén/bodega. 2 • Función de repuestos disponibles. 1 	

Tabla N°1, Criterios de Evaluación de Criticidad

Una vez evaluados los equipos y obtenido los valores de cada parámetro que se señala en la tabla anterior, se calculan en las fórmulas que se enuncian a continuación, los siguientes aspectos:

$$\text{Riesgo} = \text{Frecuencia} \times \text{Consecuencia} \quad (5.1)$$

Donde:

Frecuencia: número de falla en un tiempo determinado.

Consecuencia: ((Impacto Operacional x Flexibilidad) + Costo Mantenimiento + Impacto Seguridad Ambiente e Higiene) (5.2)

Por lo tanto, la Criticidad Total está dada por:

$$\text{Criticidad Total} = \text{Frecuencia de falla} \times \text{Consecuencia} \quad (5.3)$$

Con estas fórmulas calculamos los resultados obtenidos de la tabla N°1 y los introducimos a la matriz general de criticidad, para obtener los valores reales de criticidad de los equipos.

Resulta importante señalar que los factores de la tabla N°1 son evaluados en reuniones de trabajo, donde participan distintas personas involucradas en el contexto operacional (operaciones, mantenimiento, procesos, seguridad y ambiente). Una vez que se evaluaron en consenso cada uno de los factores presentados en la tabla expuesta anteriormente, se introduce en la fórmula de Criticidad Total (5.3) y se obtiene el valor global de criticidad. Para obtener el nivel de criticidad de cada sistema se toma los valores totales individuales de cada uno de los factores principales “Frecuencia y Consecuencia” y se ubican en la matriz de criticidad (Figura N°8) (Consecuencia en el eje de las X y Frecuencia en el eje de la Y). La matriz de criticidad mostrada a continuación permite jerarquizar los sistemas en tres categorías [3]:

NC: No Críticos

MC: Medianamente Crítico

C: Crítico

4	MC	MC	C	C	C
3	MC	MC	MC	C	C
2	NC	NC	MC	C	C
1	NC	NC	NC	MC	C
	10	20	30	40	50

Figura N°8, Matriz General de Criticidad

5.3 ANÁLISIS DE LOS MODOS Y EFECTOS DE FALLAS (AMEF)

El análisis de los modos y efectos de falla (AMEF), constituyen la herramienta principal de MCC, para la optimización de la gestión de mantenimiento en una organización determinada. El AMEF es un método sistemático que permite identificar los problemas antes que estos ocurran y puedan afectar o impactar a los procesos y productos en un área determinada, bajo un contexto operacional dado. Hay que tener presente que la realización del AMEF, constituye la parte más importante del proceso de implantación de MCC, ya que a partir del análisis realizado por el grupo de trabajo, a los distintos activos en su contexto operacional, se obtendrá la información necesaria para poder prevenir las consecuencias o efectos de las posibles fallas, a partir de la selección adecuada de actividades de mantenimiento, las cuales actuarán sobre cada modo de falla y sus posibles consecuencias [3].

La figura siguiente, esquematiza el orden con el cual se va a afrontar el análisis de los equipos considerados como críticos.

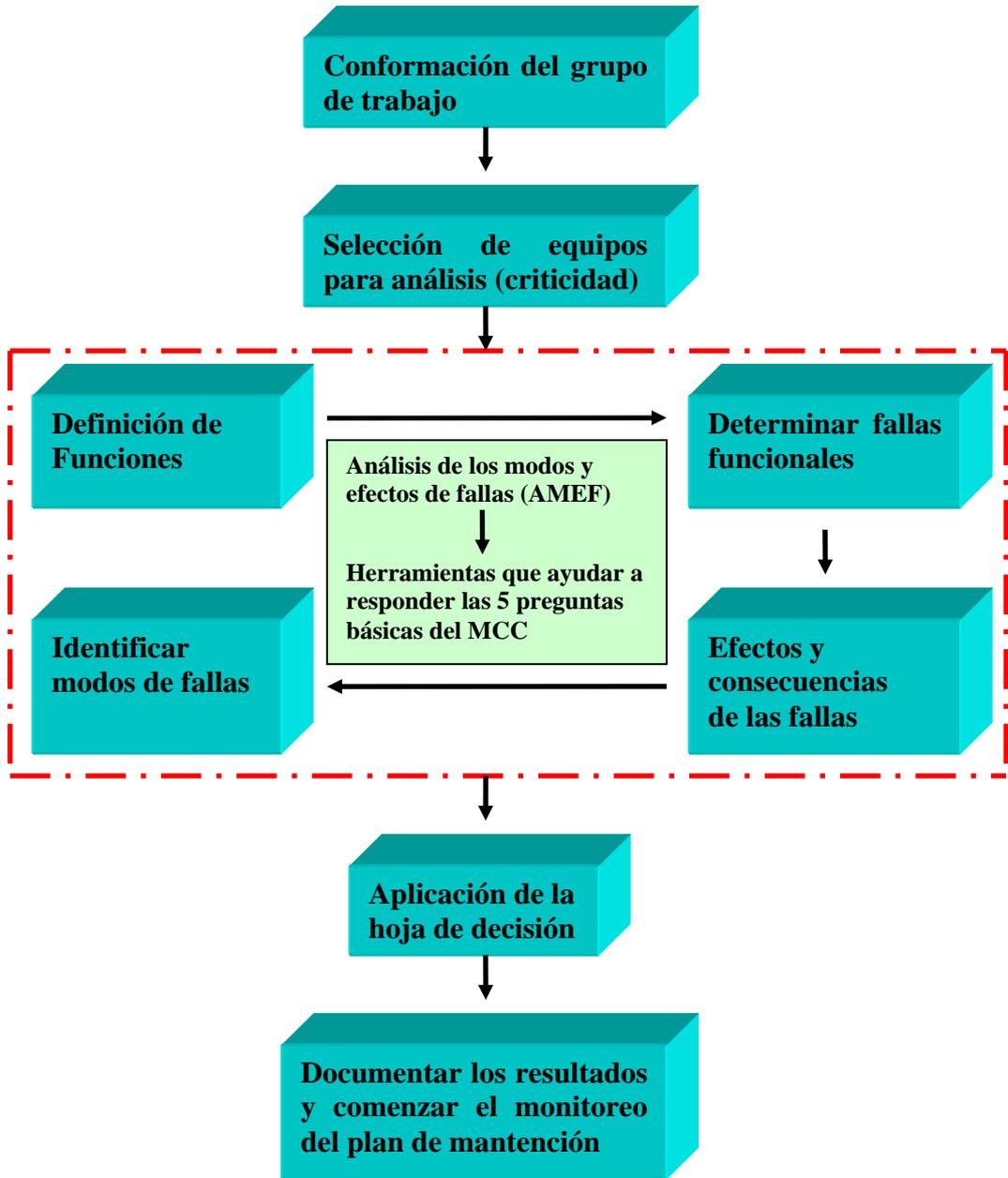


Figura N°9, Esquema de Aplicación de MCC

Como ya se mencionó, el AMEF es el paso más importante en la implementación de este sistema, ya que da respuesta a las 5 primeras preguntas básicas (de las 7 preguntas básicas señaladas en el punto 5.3) de MCC, por esta razón describiremos cada uno de los pasos que nos llevarán a la correcta ejecución del proyecto.

5.3.1 Función

Definir cual es la función de los equipos, requiere de mucha cooperación entre la gente de mantenimiento y los operarios. Por lo general, esto es una gran experiencia de aprendizaje para todas las personas involucradas en este proceso.

Las funciones se dividen en dos categorías principales, siendo éstas las Funciones Primarias y las Secundarias.

1. Funciones primarias: es la razón principal por la cual es adquirido y existe el equipo.

Para la mayoría de los tipos de equipos, los parámetros de funcionamiento asociados a las funciones primarias tienen que ver con velocidad, volumen y capacidad de almacenamiento, también necesita considerarse la calidad del producto.

2. Funciones secundarias: son funciones adicionales a las funciones primarias.

Las funciones secundarias son menos obvias que las primarias, pero las consecuencias que podrían generar sus fallas pueden ser más serias que las consecuencias originadas por las fallas de una función primaria, hecho por el cual se justifica el invertir gran cantidad de tiempo y esfuerzo para su análisis con el fin de preservar el buen funcionamiento de este tipo de funciones [2].

5.3.2 Falla Funcional

Como ya se vio, anteriormente, cada equipo cumple una función específica dentro de su contexto operacional. El no funcionamiento de un activo se conoce por el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad como una Falla Funcional.

Para la correcta aplicación de MCC, se deberá tener claro los siguientes puntos:

- Falla Funcional

Una falla funcional es una ocurrencia no previsible, que no permite que el activo alcance el estándar de ejecución esperado en el contexto operacional en el cual se desempeña, trayendo como consecuencia que el equipo no pueda cumplir con su función o la cumpla de forma ineficaz.

- Estándares de ejecución y fallas funcionales

Para saber de manera certera cuando un equipo está cumpliendo su función de forma eficiente, se necesita que el equipo de trabajo, defina de forma precisa el estándar de ejecución que se espera obtener del activo dentro del sistema en el cual se va a desempeñar.

- Distintas fallas funcionales

Se debe tener claro que el activo de acuerdo a los estándares de ejecución puede tener más de una falla funcional, las distintas fallas funcionales pueden incurrir sobre la función de forma parcial o total. La pérdida parcial de una función ocurre cuando el equipo no cumple con el estándar de ejecución esperado, y la pérdida total es cuando el activo se detiene de forma inesperada [2].

5.3.3 Modos de Fallo

La causa raíz de las fallas funcionales son los modos de fallas, éstos dependen del nivel de detalle que se está realizando el AMEF (análisis de modos y efectos de fallas). Una forma práctica de reconocer la causa raíz o las causas raíces de un modo de falla es preguntándose ¿qué causó la ocurrencia de la falla funcional?, respondiendo esta pregunta se tiene la descripción de la causa raíz o las causas raíces asociadas a las fallas funcionales de un equipo en estudio [2].

5.3.4 Efectos o consecuencias de cada uno de los modos de fallas

En esta parte del proceso, se identifica lo que sucede en el contexto operacional si ocurriese cada modo de falla previamente identificado. El reconocimiento de los efectos de fallas deberá incluir toda la información necesaria que ayude a contener la evaluación de las consecuencias de las fallas. Para identificar y describir de forma precisa los efectos producidos por cada modo de falla, el equipo de trabajo tiene que dar respuesta de forma clara a: ¿Cómo se evidencia (si puede ser evidente) que un modo de falla haya ocurrido?

Los efectos que trae cada modo de falla deben ser analizados por el equipo de trabajo, para decidir si son o no evidentes para los operadores de los activos. La descripción del efecto de falla, deberán incluir si las ocurrencias de los modos de fallas se evidencia a partir de una señal lúdica o sonora (o ambas), además de la evidencia de efectos físicos como ruidos fuertes, fuego, humo, escape de vapor, olores inusuales o derrames de líquidos en el piso.

- Evaluar las consecuencias de fallas por medio del diagrama de decisión de MCC (Anexo N°6), determinar las tareas propuestas, el tiempo de ejecución y quién realizará dichas tarea, según hoja de trabajo (Anexo N°7).

- Evaluar si los equipos en estudio es técnicamente factible aplicar Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.

Si MCC se aplica de forma correcta se lograrán satisfactorias mejoras en la efectividad del mantenimiento, habitualmente lo hace sorprendentemente rápido. No obstante, la correcta aplicación de MCC depende de un minucioso planeamiento y preparación.

Los principales componentes del proceso de planeamiento son:

- Analizar la información obtenida a través de SAP para determinar la criticidad de los equipos.
- En los casos en que los beneficios justifican la inversión, decidir detalladamente quién realizará cada análisis, cuándo y donde, y hacer los arreglos para que dichas personas reciban el entrenamiento adecuado.
- Asegurar que el contexto operacional de cada activo físico esté claramente comprendido por el grupo de trabajo y el personal que los opera.

Si MCC es aplicado como se ha señalado, deben darse tres resultados:

- Planes de mantenimiento a ser realizado por el departamento de mantenimiento.
- Procedimientos de operación revisados, para los operadores del activo.
- Una lista de cambios que deben hacerse al diseño del activo físico o a la manera en que es operado.

Dos resultados notorios son que los participantes del proceso aprenden mucho, acerca de cómo funciona el activo físico y que suelen tender a funcionar mejor como equipo [2].

CAPÍTULO 6: APLICACIÓN DE MCC A LA PLANTA DE EFLUENTES

6.1 SELECCIÓN DE LOS EQUIPOS DE EFLUENTES

Para aplicar mantenimiento centrado en confiabilidad primero se debe tener claro los equipos (activos fijos) con los cuales se va a trabajar, en este caso son equipos del área de tratamiento de efluentes. Para lograr mayor claridad se hizo un estudio del área, con el objetivo de conocer el proceso y saber con claridad el funcionamiento de cada uno de los activos involucrados. De acuerdo a lo estudiado y al tener claridad del proceso se hizo un esquema explicativo (Anexo N°4), en donde se señala el proceso del tratamiento primario, secundario y terciario, los flujos de cada uno de ellos y los activos del área. Se consultó por los equipos mecánicos los que están incluidos en las pautas de mantención mecánica, se buscó información de cada uno de ellos en SAP, catálogos y visualizando cada uno de estos componentes en terreno, a fin de tener un historial; que se señale los números de fallas, costos asociados a éstas, y órdenes de trabajo generadas a cada una de ellas, datos que servirán como referencia al grupo de trabajo para la selección de los equipos críticos del área.

6.1.1 Criticidad

Para la selección de la criticidad de los equipos se consideró el diagrama del proceso del área en estudio (Anexo N°4), el cual nos permite visualizar el flujo de los distintos tratamientos de efluentes y a la vez ver la criticidad de los activos de acuerdo a las funciones para cual fueron diseñados. Con esto se seleccionaron varios equipos, los que posteriormente se filtraron en la reunión en donde estaban presente el jefe de área de mantención y producción, analizando cada uno de ellos y acotando la lista existente, de esos equipos seleccionados se optó para efecto de la tesis, el estudio de dos sistemas, los que hacen más completo el análisis de los activos críticos, estos sistemas son:

Sistema 1: cámara de floculación1, ducto de entrada del efluente al clarificador de flotación 1, bomba 225 de agua dispersada, tanque de agua dispersada, DAF.

Sistema 2: ducto de entrada del efluente a las torres de enfriamiento, duchas aspersoras, bandeja receptora, ventilador extractor.

El equipo de trabajo dispuso un listado de los activos considerados conflictivos para el área, luego se evaluaron según la tablas N°1 y la matriz de criticidad Figura N°8, y se obtuvo los resultados de las tablas N°2, que se indican a continuación, en donde se destacan los más críticos según los distintos tratamientos (primario, secundario y terciario), de estos se seleccionan los activos a considerar para nuestro trabajo.

Tratamiento Primario							
Tag	Frecuencia de falla	Impacto Operacional	Flexibilidad Operacional	Costos de Mtto.	Impacto de S	Consecuencia	Resultados
385-51-102	3	7	2	2	3	19	MC
385-51-267	0	7	2	5	3	22	NC
385-24-107	4	7	4	2	7	37	C
385-24-108	3	7	4	2	7	37	C

Tratamiento Secundario							
Tag	Frecuencia de falla	Impacto Operacional	Flexibilidad Operacional	Costos de Mtto.	Impacto de S	Consecuencia	Resultados
385-24-187	0	7	4	1	1	30	MC
385-24-189	0	7	4	1	1	30	MC
385-21-233	1	7	2	0	1	15	NC
385-21-234	1	7	2	1	1	16	NC
385-21-235	0	7	2	0	1	15	NC
385-21-236	0	7	2	0	1	15	NC
385-21-245	2	4	2	2	1	11	NC
385-21-246	3	4	2	2	1	11	NC
385-21-247	3	4	2	2	1	11	NC
385-21-248	1	4	2	1	1	10	NC
385-21-223	1	4	2	2	1	11	NC
385-21-224	2	4	2	2	1	11	NC
385-28-184	0	4	2	1	1	10	NC
385-28-185	1	4	2	1	1	10	NC

Tratamiento Terciario							
Tag	Frecuencia de falla	Impacto Operacional	Flexibilidad Operacional	Costos de Mtto.	Impacto de S	Consecuencia	Resultados
385-21-225	1	10	4	1	7	48	C
385-21-226	0	10	4	0	7	47	C
385-21-241	2	10	4	1	3	44	C
385-21-242	3	10	4	1	3	44	C
385-21-238	2	10	1	1	3	14	NC
385-21-239	2	10	1	1	3	14	NC
385-21-240	0	10	1	0	3	13	NC
385-21-251	4	7	2	1	8	23	C
385-21-252	2	7	4	1	8	37	C
385-21-253	3	7	4	2	8	38	C
385-21-249	3	7	2	2	8	24	MC
385-21-250	1	7	2	1	8	23	NC
385-28-191	2	10	4	1	1	42	C
385-28-192	1	10	4	1	1	42	C
385-28-193	0	10	4	0	1	41	C
385-28-194	0	10	4	0	1	41	C
385-28-195	1	10	4	1	1	42	C
385-28-196	0	10	4	0	1	41	C

Tabla N°2, Resultados de Criticidad de los activos

6.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS SELECCIONADOS

6.2.1 SISTEMA 1: TORRES DE ENFRIAMIENTO

6.2.1.1 Objetivo

El objetivo principal de las torres de enfriamiento (Figura N°10) es el de bajar la temperatura del Efluente, antes de entrar al Tratamiento Secundario. Esto es de vital importancia para el trabajo y eficiencia de los Lodos Activados del Tratamiento Secundario, y también para cumplir la exigencia ambiental de temperatura del efluente, antes de descargarlo al río. Para el estudio solo se consideró la torre 107.



Figura N°10, Torres de enfriamiento

6.2.1.2 Sistema a analizar

El sistema lo dividiremos en dos que son:

- Ducto de entrada del efluente a las torres de enfriamiento (Figura N°11) – Duchas aspersoras (Figura N°12) – Bandeja receptora (Figura N°13).
- Ventilador extractor – reductor – motor.



Figura N°11, Ducto de entrada del efluente a las torres de enfriamiento



Figura N°12, Duchas Aspersoras



Figura N°13, Bandejas receptoras

6.2.1.3 Descripción del proceso

La Cámara de Neutralización bombea el Efluente hacia las Torres de Enfriamiento (Figura N°10). El flujo entra en forma paralela a ambas Torres.

El Efluente ingresa a las Torres por la sección superior a través de un sistema de duchas aspersoras (Figura N°12), que atomizan el flujo de líquido. Estas gotas entran en contacto con un flujo de aire ascendente. Una fracción del agua (flujo descendente) es transferida al flujo de aire (ascendente) produciéndose evaporación de dicha fracción, lo cual a su vez provoca que el agua que permanece en estado líquido se enfríe, ya que la evaporación de la fracción de agua que se evapora retira "calor" desde el agua líquida. La torre también dispone de un relleno interior cuya función es aumentar la superficie de contacto entre el agua y el aire.

Los Rellenos de Transferencia de Calor están en constante enfriamiento, gracias a los Ventiladores Extractor de Aire, los cuales desplazan una masa de aire a gran velocidad.

La masa de aire ingresa por la parte inferior de la Torre enfriando los elementos de transferencia y desplazando los vahos generados hacia la parte superior de la Torre. El Efluente a medida que se desplaza aguas abajo por el Relleno, la Torre se va enfriando y se descarga en las Bandejas Receptoras (Figura N°13) en el fondo de la Torre. Luego, el Efluente es evacuado gravitacionalmente hacia la etapa de aireación del Tratamiento Secundario, como se señala en la figura N°14 [5].

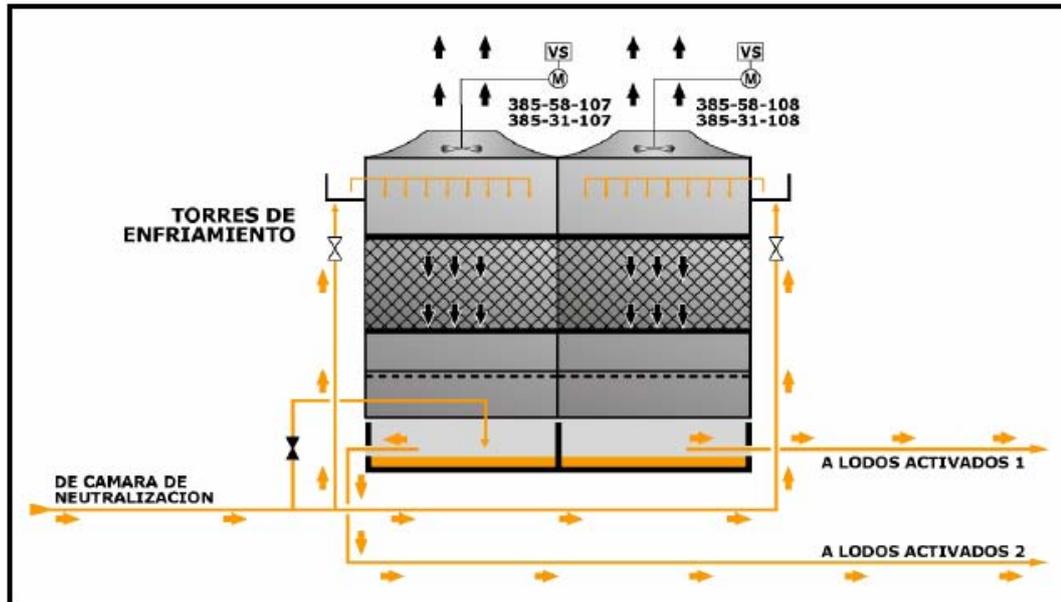


Figura N°14, Esquema de torres de enfriamiento

6.2.1.4 Características de los equipos del sistema en estudio

Torres de Enfriamiento

- Marca: AQUAFLOW
- Número de celdas: 2
- Flujo de diseño: 2 x 700 l/s
- Temperatura de entrada: 60 °C - máxima 69 °C
- Temperatura de salida: 29 °C
- Potencia Motor: 2 x 90 Kw.

385-21-218/219/220: Bomba de Alimentación de las Torres de Enfriamiento (una stand-by)

- Unidades: 3
- Caudal (Q): 463 l/s
- Altura (Descarga): 18 m
- Potencia Motor: 110 Kw.
- Velocidad Motor: 1500 r.p.m.

6.2.1.5 Principales equipos

Los equipos principales con los cuales trabajaremos serán:
Ventilador 107, Motor y reductor 107, ducto de entrada del efluente a torres de enfriamiento, Duchas Aspersoras y Bandejas Receptoras.

6.2.1.6 Diagrama entrada - proceso – salida

ENTRADAS

Efluente de la cámara de neutralización con una temperatura que oscila entre los 60 y 69 °C.

PROCESO

El Efluente es bombeado desde la Cámara de Neutralización hasta las Torres de Enfriamiento, posteriormente pasa por las torres de enfriamiento para luego ser descargado en el Tratamiento Secundario.

SALIDA

Efluente con una temperatura de 29 °C.

6.2.2 SISTEMA 2: BOMBA DE AGUA DISPERSADA 225

6.2.2.1 Objetivo

El objetivo principal del sistema es recircular el efluente del Clarificador de flotación 1 (Figura N°19) del Tratamiento Terciario, al tanque de agua dispersada 1 (Figura N°18) a una temperatura de 29°C, con un caudal de 94 l/s, para lograr eliminar los coloides y clarificar el efluente que luego es enviado al parshall y posteriormente al río Cruces.



Figura N°15, Bomba 225

6.2.2.2 Sistema a analizar

El sistema lo dividiremos en tres los cuales son:

- Cámara de floculación 1 (Figura N°16) – Ducto de entrada del efluente al clarificador de flotación 1 (Figura N°17) – Tanque de Flotación de lodos.
- Bomba 225 (Figura N°15) (recircula el efluente del clarificador de flotación 1 al tanque de agua dispersada).
- Tanque de agua dispersada 1 (Figura N°18) a clarificador de flotación 1 (Figura N°19).



Figura N°16, Cámara de floculación 1



Figura N°17, Ducto de entrada del efluente al clarificador de flotación 1



Figura N°18, Tanque de agua dispersada 1



Figura N°19, Clarificador de flotación 1

6.2.2.3 Descripción del proceso

Este proceso lo describiremos de acuerdo a los subsistemas seleccionados para el análisis que se hará en el área de tratamiento de efluentes.

La cámara de floculación 1 recibe el efluente que proviene del clarificador secundario 1, del tanque disolvedor de polímeros y del tanque de almacenamiento de ácido sulfúrico, aquí se realiza la mezcla del efluente con los productos químicos lo que produce una coagulación y posteriormente la floculación de las partículas de coloides. Una vez realizado lo anterior el efluente se deriva al clarificador de flotación 1 en donde se separan los lodos no decantables (coloides) del efluente. El efluente recircula por medio de la bomba de agua dispersada (bomba 225 considerada crítica), al tanque de agua dispersada, en donde se adiciona aire desde los compresores. El agua dispersada se atomiza a un anillo de dispersión en el fondo del clarificador. Del clarificador de flotación 1 se extrae lodo flotado que es enviado al tanque de flotación de lodos [5].

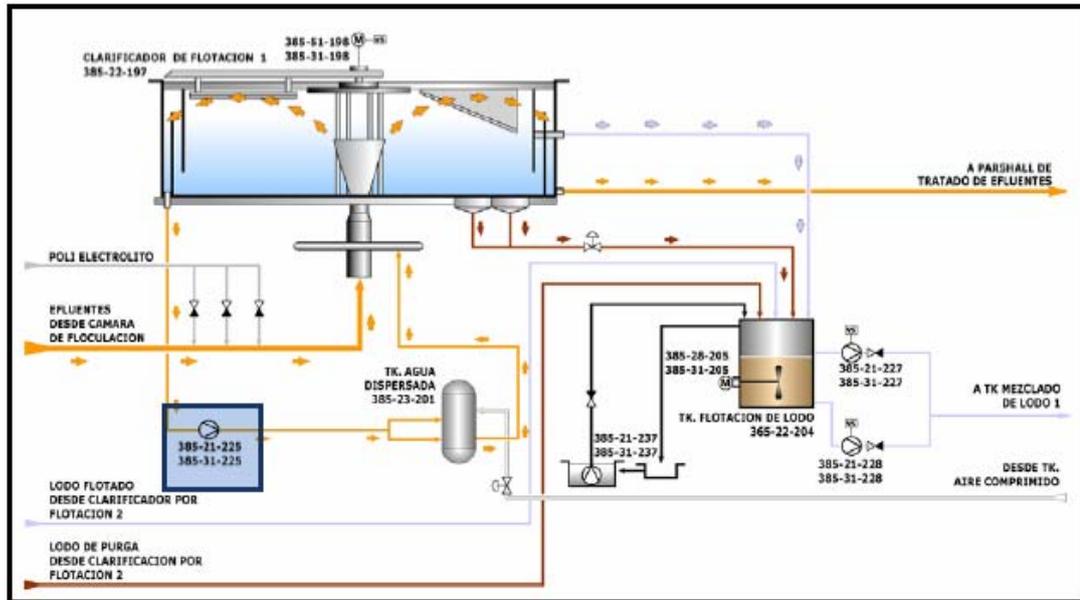


Figura N°20, Subsistema de Tratamiento Terciario

6.2.2.4 Características de los equipos del sistema en estudio

385-22-190: Cámara de Floculación 1

- Marca: AQUAFLOW
- Volumen: 40
- Material: AISI316
- Potencia Motor: agitador 1.5 Kw.

385-22-197: Clarificador de Flotación N° 1

- Marca: AQUAFLOW
- Tipo: AF-Float AFC
- Volumen: efectivo 151 m³
- Diámetro: 15.7 m
- Profundidad: lado agua 1.8 m
- Potencia Motor: rastra 0.37 Kw.

385-23-201: Estanque de Agua de Dispersión N° 1

- Marca: AQUAFLOW
- Volumen: 6 m³
- Diámetro: 1,5 m

- Altura: 4.12 m

Compresores Sistema de Dispersión

- Marca: AQUAFLOW
- Flujo de aire aspirado: 1800 Ndm³/min.
- Presión: máx. 9 bar.
- Volumen: estanque 270 dm³
- Potencia Motor: 15 Kw.

385-22-204: Estanque de Lodo de Flotación

- Marca: AQUAFLOW
- Volumen: 80 m³
- Potencia Motor: Agitador 2.2 Kw.

385-21-225/226: Bomba de Agua de Dispersión

- Unidades: 2
- Caudal (Q): 94 l/s
- Altura (Descarga): 55 m
- Potencia Motor: 75 Kw.
- Velocidad Motor: 3000 r.p.m

6.2.2.5 Principales equipos

Los principales equipos que se mencionan, a continuación, son los que se analizarán de acuerdo a las condiciones de MCC.

Bomba 225, Cámara de floculación 1, Ducto de entrada del efluente al clarificador de flotación 1, Tanque de Flotación de lodos y Tanque de agua dispersada.

6.2.2.6 Diagrama entrada - proceso - salida

ENTRADAS

- Efluente del clarificador secundario 1

- Ácido sulfúrico
- Polímeros disueltos

PROCESO

Recircular el efluente del clarificador de flotación 1 (Figura N°19) por medio de la bomba 225 agua dispersada (Figura N°15), al tanque de agua dispersada en donde se inyecta aire lo que permite a través de burbujas subir los coloides (Figura N°21) para luego retirarlos con una rastra y enviarlos al tanque de flotación de lodos. El efluente clarificado se deriva al parshall de efluente tratado.

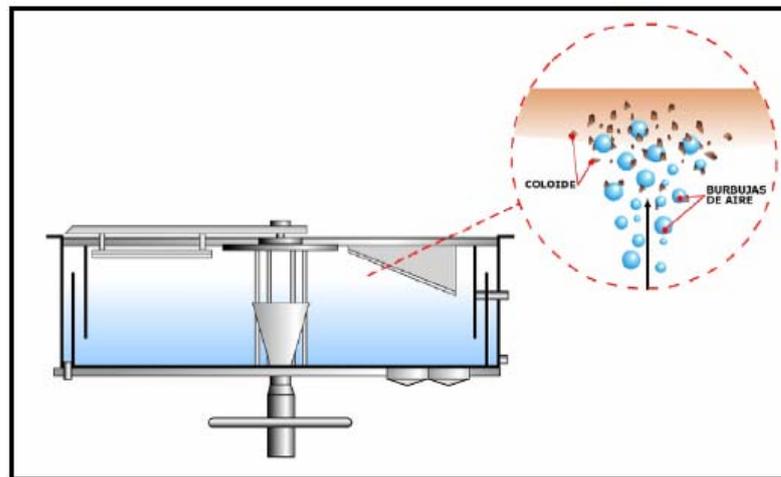


Figura N°21, Clarificador de Flotación 1

SALIDAS

- Lodos que decantan en el fondo del clarificador se limpian y se derivan al tanque de flotación de lodos.
- Efluente clarificado que es enviado gravitacionalmente al parshall de efluente tratado.

6.3 PLANILLA DE INFORMACIÓN DE LOS EQUIPOS

La planilla de información de los equipos contiene principalmente el Análisis de Modos y Efectos de Fallas de los equipos críticos, donde se describen:

- La o las funciones de los equipos
- La falla funcional de cada una de las funciones
- La causa de las fallas y
- Los efectos de las fallas

En las planillas (Anexo N°5), se describe cada uno de los puntos mencionados anteriormente para los dos sistemas en análisis, estas planillas fueron estudiadas y revisadas por el equipo de trabajo destacando las prioridades de los sistemas.

6.4 DIAGRAMA DE DECISIÓN Y HOJAS DE TRABAJO

El diagrama de decisión MCC (Anexo N°6), integra todos los procesos de decisión en una estructura estratégica única.

Este diagrama considera los criterios utilizados para evaluar las consecuencias de las fallas, y así decidir si **merece la pena** realizar algún tipo de tarea proactiva. Estas consecuencias se dividen en cuatro categorías, en dos etapas distintas, ocultas y evidentes.

Una función evidente es aquella cuya falla eventualmente e inevitablemente se hará evidente por sí sola a los operadores en circunstancias normales. [2]

Una función oculta es aquella cuya falla no se hará evidente a los operarios bajo circunstancias normales, si se produce por sí sola. [2]

Las fallas evidentes se clasifican en tres categorías:

1.- **Consecuencias para la seguridad y el medio ambiente.**

Una falla tiene consecuencias para la seguridad si puede lesionar o matar a alguien. Tiene consecuencias para el medio ambiente si puede infringir alguna normativa relativa al medio ambiente de carácter corporativo, regional o nacional [2].

2.- Consecuencias operacionales.

Una falla tiene consecuencias operacionales si afecta a la producción o a las operaciones (volumen de producción, calidad del producto, servicio al cliente o costo operacional, además del costo directo de la reparación) [2].

3.- Consecuencias no operacionales.

Las fallas evidentes que caen dentro de esta categoría no afectan ni a la seguridad ni a la producción, de modo que solo involucran el costo directo de la reparación [2].

A cada uno de los criterios le corresponde una letra; consecuencias del fallo oculto (H), consecuencias para la seguridad (S) o el medio ambiente (E), consecuencias operacionales (O) y consecuencias no operacionales (N1).

Para la aplicar el diagrama de decisión se sigue la siguiente secuencia:

- Se busca en la planilla de información (Anexo N°5), los modos de fallos que es la herramienta principal para la evaluación de las consecuencias.
- Cada modo de fallo se ingresa a la matriz comenzando por la letra H donde nos preguntamos ¿Será este modo de fallo evidente a los operarios actuando por si solo en circunstancias normales? Ver anexo 6, luego se sigue la secuencia afirmando o negando según las características del modo de fallo, hasta llegar a una tarea determinada o al rediseño del activo o subsistema en cuestión.
- Cada paso que se siga de la secuencia se ingresa a la hoja de trabajo, la cual permite asentar las respuestas a las preguntas formuladas en el diagrama de decisión.

- En función de dichas respuestas se obtiene el mantenimiento de rutina, que deberá ser realizado, con que frecuencia y quien estará a cargo de ello.

Todos los pasos mencionados, se describen para cada uno de los sistemas detalladamente en las hojas de trabajo (Anexo N°7).

CAPÍTULO 7: ÍNDICES DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO

Existen tres indicadores o mecanismos de ayuda a la hora de la toma de decisiones, siendo ellos los de Mantenibilidad, Disponibilidad y Confiabilidad. La disponibilidad de un equipo se define en el momento en que el sistema está en funcionamiento. La mantenibilidad y la confiabilidad se definen en la etapa de diseño del proceso productivo.

La figura siguiente ilustra los parámetros que se utilizan en el cálculo de los índices (Mantenibilidad, Disponibilidad y Confiabilidad) [3].

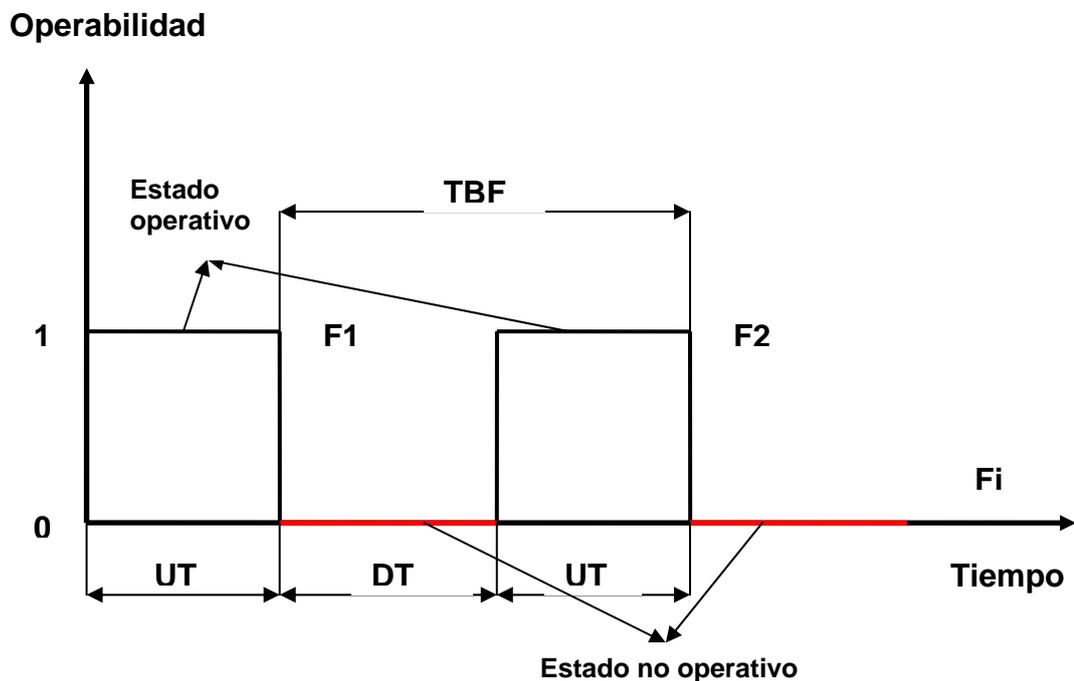


Figura N°22, Distribución de Fallas.

Donde:

1: Condición operacional del equipo.

0: Condición no operacional del equipo.

Fi: Falla i-ésima.

UT: (Up Time), tiempo operativo entre fallas.

TBF: (Time Between Failures), tiempo entre fallas.

DT: (Down time), tiempo no operativo entre fallas.

F1: Falla N°1.

F2: Falla N°2.

Para un número n de fallas tenemos:

TMEF: Tiempo Medio Entre Fallas.

$$\mathbf{TMEF = \Sigma TBF/n} \quad (7.1)$$

MUT: (Mean Up Time), Tiempo medio de funcionamiento entre fallas.

$$\mathbf{MUT = \Sigma UT/n} \quad (7.2)$$

MDT: (Mean Down Time), Tiempo medio de indisponibilidad entre fallas.

$$\mathbf{MDT = \Sigma DT/n} \quad (7.3)$$

7.1 DISPONIBILIDAD

La tasa de producción y los ingresos que se perciban en una planta es función de la disponibilidad. El aumento de la disponibilidad se consigue con el aumento en los costos de mantenimiento, este aumento contempla costos de almacenamiento de repuestos, aplicación de estrategias preventivas y predictivas, capacitación en operadores y mantenedores, sistema de monitoreo en línea, sistema de información de mantenimiento, etc. A continuación, mostraremos un modelo que nos permite analizar los problemas que se generan, y proporcionar una solución que dé un nivel óptimo de disponibilidad, ya que no siempre pueden ser rentables los costos de mantenimiento por el aumento de los costos globales.

La disponibilidad es el indicador más importante para la evaluación de la efectividad de una planta industrial, donde la gran mayoría de los equipos son responsables. El calcular la disponibilidad es más sencillo en comparación con el cálculo de la confiabilidad y la mantenibilidad. La disponibilidad estacionaria de una planta, para un período dado, está definida como la fracción de tiempo en la cual la planta se encuentra produciendo en condiciones adecuadas [3].

$$\mathbf{DISPONIBILIDAD = \frac{TMEF}{TMEF + TMPR}} \quad (7.4)$$

Donde:

TMEF: Tiempo Medio Entre Fallas. TMPR: Tiempo Medio Para Reparar.

7.2 DISPONIBILIDAD OPERACIONAL

La disponibilidad operacional toma en cuenta el tiempo no operativo del activo, esto es cuando el equipo sale fuera de servicio hasta que es puesto en marcha nuevamente, o sea contiene el retraso que se debe a la compra de repuestos transportación, tiempos de ocios no determinados.

La disponibilidad operacional se calcula a través de la siguiente ecuación [3].

$$Do = \frac{MUT}{MUT + MDT} \times 100\% \quad (7.5)$$

Donde:

MUT: (Mean Up Time), Tiempo medio de funcionamiento entre fallas.

MDT: (Mean Down Time), Tiempo medio de indisponibilidad entre fallas.

7.3 MANTENIBILIDAD

Es la probabilidad de que un equipo sea devuelto a un estado en el que pueda cumplir su misión en un tiempo dado, luego de la aparición de una falla, utilizando procedimientos de mantenimiento preestablecidos.

La mantenibilidad se relaciona con el diseño y la complejidad del equipo, con el personal calificado que realice el mantenimiento, con las herramientas disponibles y con los procedimientos de mantenimiento.

Para su cálculo se necesita saber el tiempo medio de reparación de las fallas, cuando éste es alto se dice que el equipo tiene una baja mantenibilidad, en la situación contraria, el activo tiene una alta mantenibilidad [3].

7.4 CONFIABILIDAD

Confiabilidad es la probabilidad de que un equipo cumpla una tarea específica, es decir, que no falle bajo condiciones de operación determinadas en un período de tiempo determinado.

La confiabilidad se relaciona, básicamente, con la cantidad de fallas y con el tiempo medio operativo. En el caso de que el número de fallas de un

activo aumente o que el tiempo medio de funcionamiento entre fallas (MUT) disminuya, la confiabilidad del equipo será menor.

La confiabilidad se calcula de la siguiente manera por medio de la Distribución de Weibull [3].

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{V}\right)^\phi} \quad (7.6)$$

Donde:

R (t): Confiabilidad del equipo expresada en un valor probabilística.

t: intervalo de tiempo en el cual se desea conocer la confiabilidad del equipo, partiendo de un periodo de tiempo 0.

V: vida característica, se calcula en función del tiempo promedio operativo, en el caso que no se pueda modelar V, se utiliza directamente MUT con un porcentaje de error entre el 5% y el 10%. [2]

Φ: es el parámetro de forma que según la distribución de Weibull, relaciona el periodo de tiempo en el que se encuentra operando el equipo y el comportamiento del mismo ante la probabilidad de ocurrencia de fallas, sus valores son [2]:

- **0 < Φ < 0.85** (el equipo está en etapa de mortalidad infantil, al inicio de la vida útil).
- **Φ = 0.85 – 1** (el equipo se encuentra en la etapa normal de vida útil).
- **1 < Φ < 3** (el equipo se encuentra en la etapa de desgaste, valores de φ sobre 1, indican que el equipo está comenzando a desgastarse, y los valores φ sobre 2 indican que el equipo se ha desgastado incrementando el número de fallas o sea el periodo de vida útil del equipo está llegando a término).

CONCLUSIONES

- Con el desarrollo de esta tesis, se ha podido constatar que sino existe un amplio conocimiento y entendimiento de la aplicación de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, no es factible que la implementación tenga buenos resultados, ya que se requiere de un dominio de su filosofía para enfrentar un cambio en lo que a mantenimiento se refiere, debido a la existencia de ciertas dudas al incursionar en nuevos sistemas, debido al temor del fracaso, lo que no es menor, pues traería graves problemas tanto a la producción, como a mantención.
- Por otra parte, resulta muy importante la cooperación y entrega de las personas que participan en el equipo de trabajo, ya que si no existe buena disposición de ellos, se dificulta todo el proyecto dado que es aquí donde se inicia la aplicación de MCC.
- El grupo de trabajo, en la selección de los equipos críticos, decidió a éstos no considerarlos en forma individual, debido a que se dejaba parte del funcionamiento fuera, lo que no aclaraba posibles fallas que pudieran aparecer.
- Para los dos equipos seleccionados como críticos, se confeccionaron procedimientos de estudio, con el fin de establecer una mayor claridad en el proceso.
- El procedimiento utilizado para obtener la criticidad de los equipos a través de la matriz de decisión, lo establece el método MCC, pudiendo existir otros procedimientos para ese fin.
- Resulta importante mencionar que los coeficientes considerados para cada ítems de la tabla de evaluación de criticidad, están estipulados según reglas de aplicación de MCC, además, estos

valores fueron adoptados por el equipo de trabajo, ya que cumplen con los parámetros que se consideran para la evaluación.

- El Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF), es fundamental en el trabajo realizado, por los siguientes aspectos:
 - Permite el estudio de los sistemas seleccionados.
 - Se pueden definir las planillas de mantención que se ocuparán para las inspecciones.
 - Describe las funciones del sistema o los equipos en cuestión.
 - Identifica las fallas funcionales que en ellos (activos) se producen.
 - Detecta las causas de las fallas.
 - Describe los efectos que se producen por las fallas.
 - Si el AMEF no es realizado de forma correcta, las hojas de inspección, no aseguran un correcto mantenimiento.

- El diagrama de decisión es parte importante a la hora de definir las tareas a realizar por los operadores de los equipos, ya que consideran aspectos relevantes para concluir una tarea como el medio ambiente. Las consecuencias operacionales y las no operacionales y por supuesto las consecuencias de fallo oculto que es donde comienza la evaluación de la matriz, designando con una letra en la hoja de decisión la secuencia de preguntas.

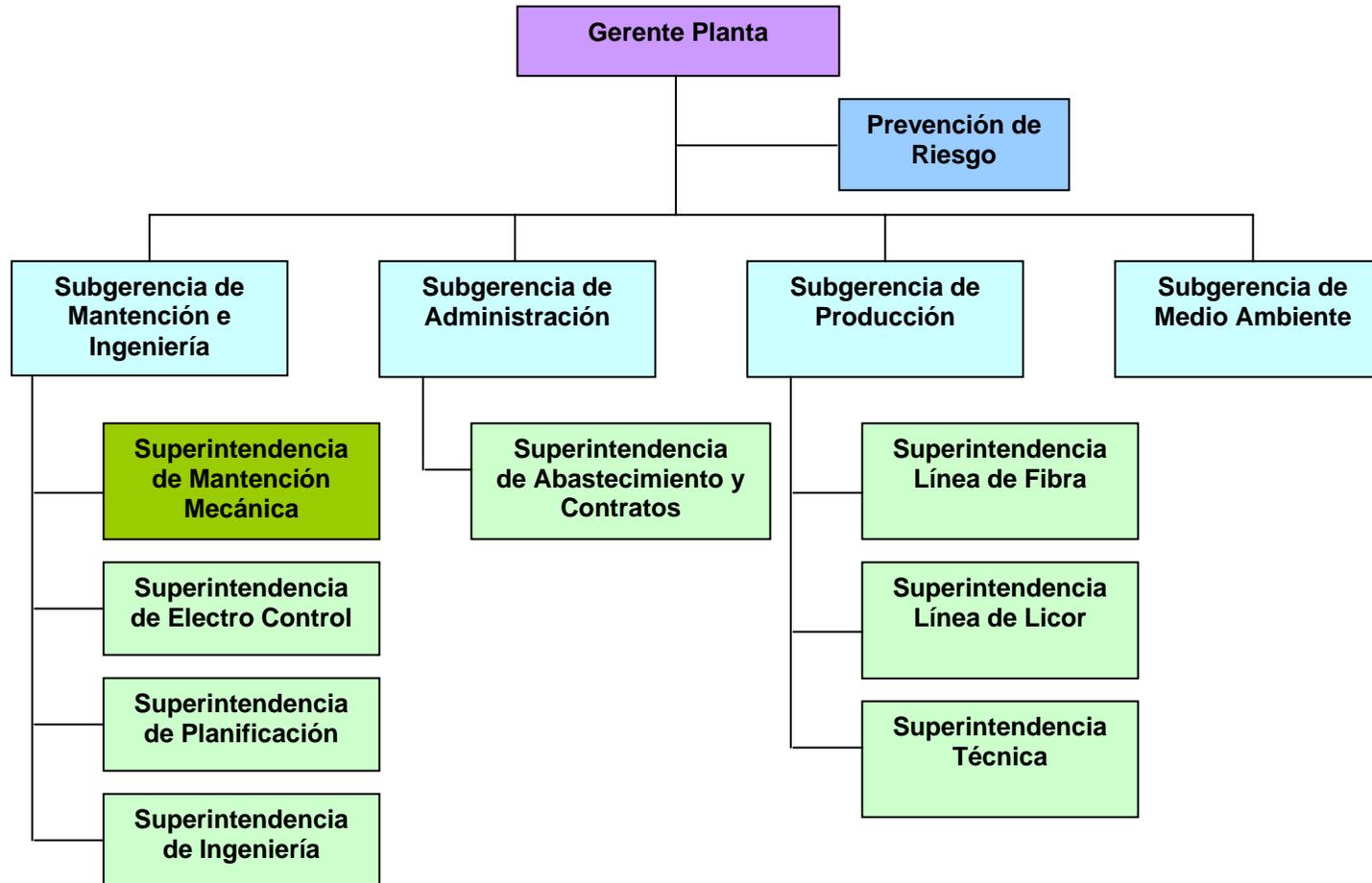
- En las planillas de decisión se señala de acuerdo al estudio de los equipos críticos, el tipo de mantenimiento que debería tener los equipos seleccionados. Es importante destacar que el mantenimiento actual no se aleja mucho del propuesto, ya que los equipos son relativamente nuevos, por lo tanto, en la mayoría de los casos se realiza mantenimiento preventivo. Sin embargo, el MCC es un sistema más adecuado y secuencial para los equipos estudiados.

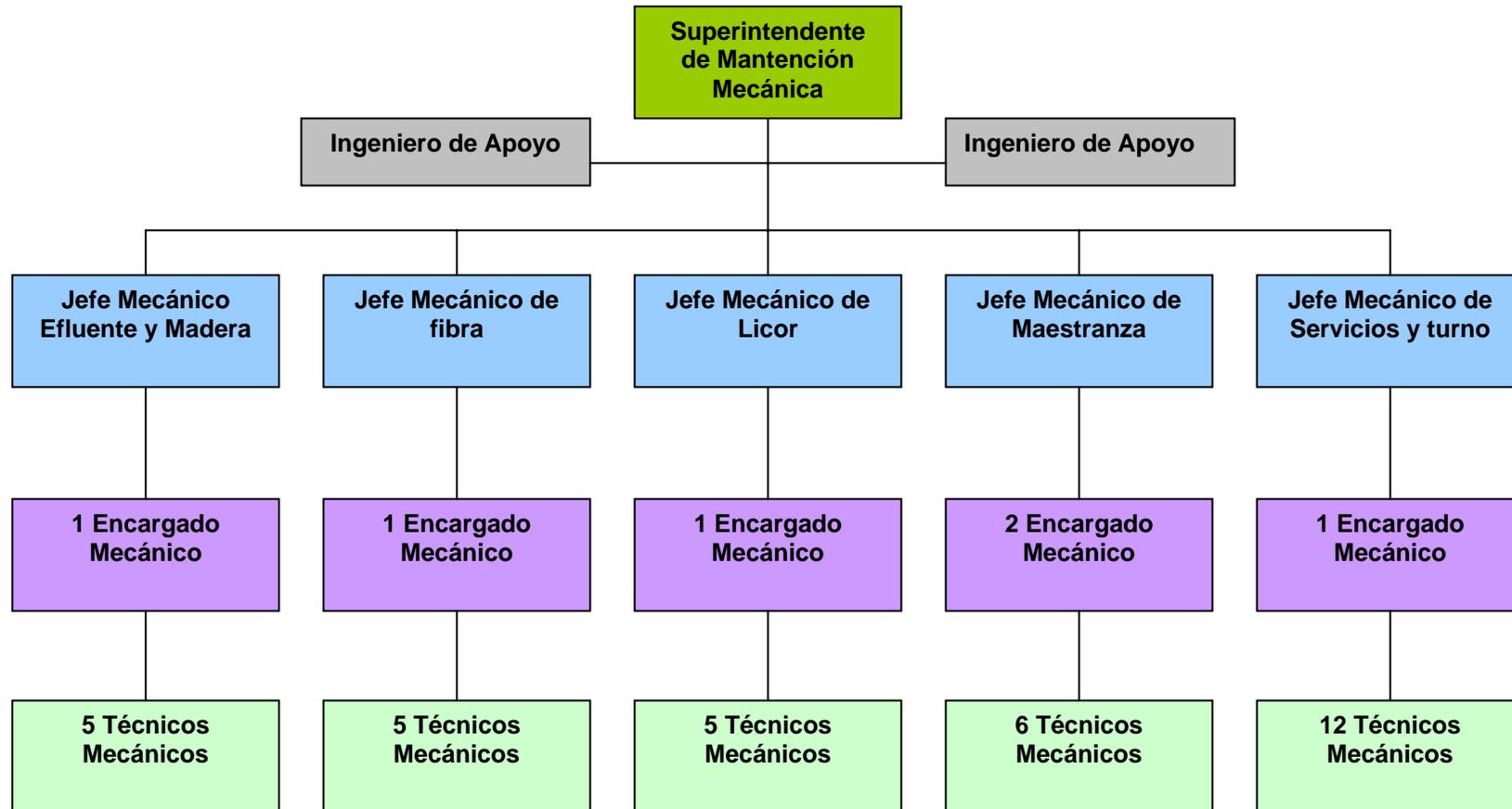
- Finalmente, se cumplió con los objetivos planteados al principio de la tesis, efectuando la aplicación de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, estudiando el tema para la correcta aplicación, y conociendo el área y los equipos críticos a los cuales se aplicó esta nueva herramienta de mantenimiento.
- Luego de concluido el trabajo, se deja abierta la posibilidad de aplicar en unos años más el capítulo número siete de la tesis, que señala los índices de mantenimiento. En esta oportunidad no se utilizaron, ya que el historial de los equipos no era suficiente, debido al poco tiempo que llevan en funcionamiento.

BIBLIOGRAFÍA

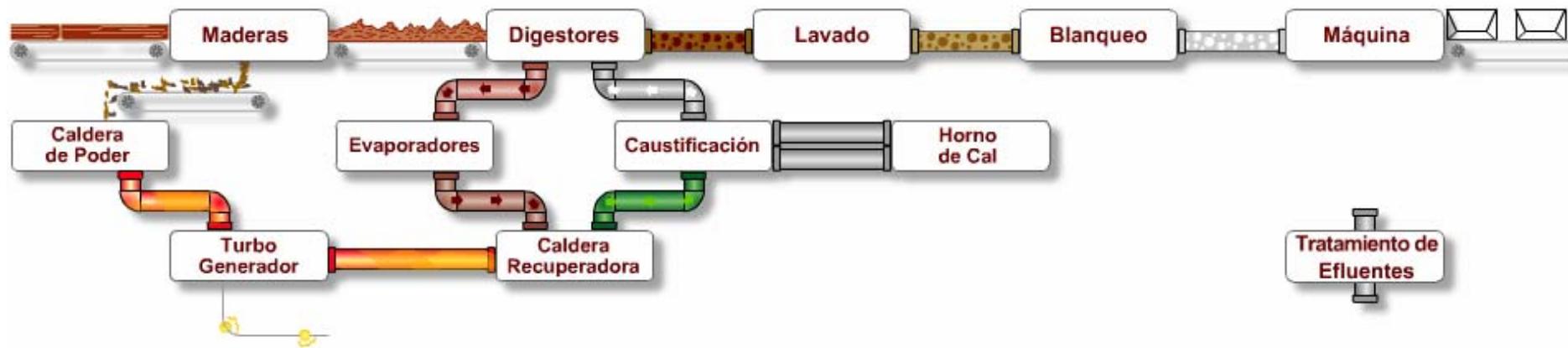
- [1] Memoria e informe de responsabilidad social y ambiental. Reporte anual 2006.
- [2] Moubray, J. *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad*. USA: Deerfield Rd, Asheville. Nort Carolina, 28803. (2000).
- [3] Parra C. Curso de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad. Datastream. (2004).
- [4] Pascal R. "El Arte de Mantener". Dpto. Ing. Mecánica, U. de Chile, Versión 2.4. Santiago Chile, 2003.
- [5] Reyes J. Manual de operaciones Planta de tratamientos de efluentes. (2007).
- [6] Silva I. Víctor E. "Plan integral de mantenimiento en los carros metaleros de ferrocarril, teniente 8 pertenecientes a codelco-chile división el teniente". Universidad Austral de Chile. Valdivia. 2008.
- [7] Vásquez O. David E. "Aplicación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad RCM en Motores Detroit 16V-149TI en CODELCO División Andina". Universidad Austral de Chile. Valdivia. 2008.
- [9] www.maconsulta.com Consultado el 9 de julio de 2008
- [8] www.mantenimientoplanificado.com Consultado el 9 de julio de 2008
- [10] www.solomantenimiento.com Consultado el 10 de julio de 2008

ANEXOS

Anexo N°1: Organigrama Celulosa Arauco y Constitución Planta Valdivia

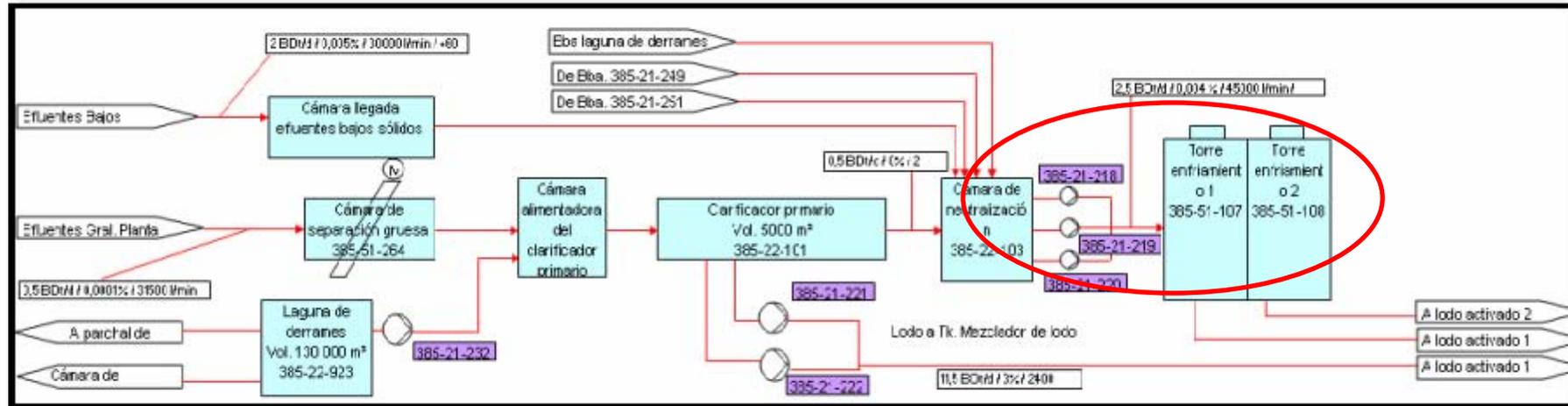
Anexo N°2: Organigrama Superintendencia de Mantenimiento Mecánica

Anexo N°3: Proceso Productivo Planta Valdivia

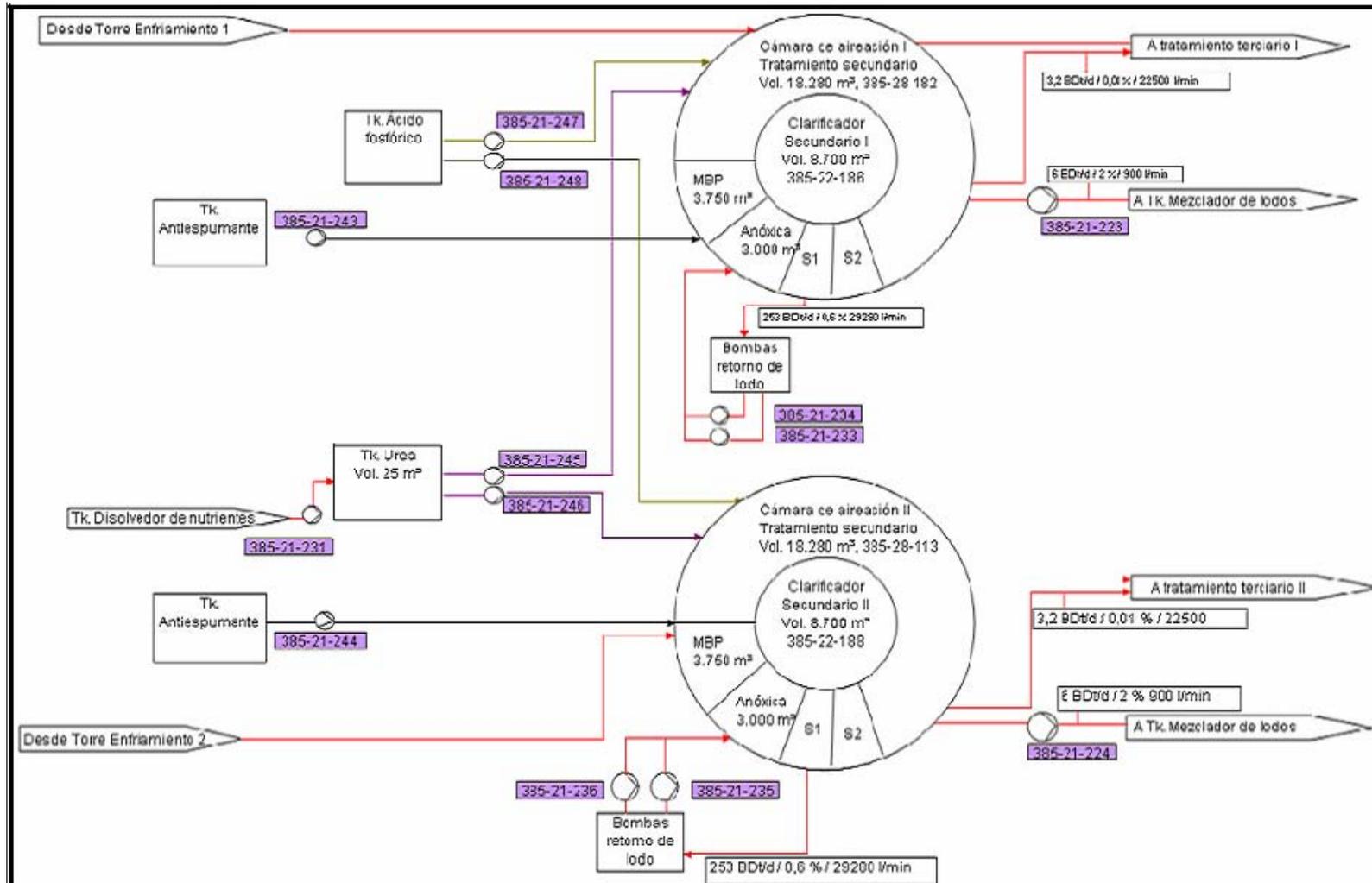


Anexo N°4: Área de Tratamiento de Efluentes

Tratamiento Primario



Tratamiento Secundario



ANEXO N°5

PLANILLAS DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD.

SISTEMA 1: Ducto de entrada del efluente a las torres de enfriamiento, duchas aspersoras, bandeja receptoras, ventilador extractor.

Área: Tratamiento de efluentes.		Sistema: 1				
Sistema: Ducto de entrada del efluente a las torres de enfriamiento, duchas aspersoras, bandeja receptoras, ventilador extractor.						
	FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLO (causa de la falla)	EFFECTOS DE LAS FALLAS (que sucede cuando falla)
Ducto de entrada del efluente a las torres de enfriamiento						
1	Recibir el efluente desde la cámara de neutralización que trae una temperatura que oscila entre 40 y 48 °C, con un caudal de 45000 l/min. los que se distribuyen en ambas duchas aspersoras, con una presión de 20 m.	A	Recibe menos efluente que el que debiera llevar, menos de 45000 l/min.	A1	Fallas en las válvulas 119 y 120	Se pierde la dosificación de efluente a las torres de enfriamiento. Tiene impacto en Operaciones.
				A2	Rotura o fuga de líneas, conexiones y accesorios desde el ducto hasta las torres de enfriamiento.	Es una falla evidente se para el sistema, comienza a disminuir el caudal que circula hacia las torres de enfriamiento, además puede dañar a las personas que estén cerca de la o las fugas ya que la temperatura está entre los 40 y 48 °C.
				A3	Falla una de las bombas que están encargadas de bombear el efluente desde la cámara de neutralización a las torres de enfriamiento.	Comienza a disminuir el caudal que circula hacia las torres de enfriamiento.
				A4	Obstrucción por acumulación de sedimentos en las tuberías, accesorios y conexiones que van hacia las torres de enfriamiento.	Disminución de la presión y se puede llegar al paro del sistema.
		B	No se recibe efluente desde la cámara de neutralización hacia las torres de enfriamiento.	B1	Falla en otro sistema, se deriva el efluente a la laguna de derrames.	No existe llegada de efluente hacia las torres de enfriamiento. Condición crítica.

Área: Tratamiento de efluentes.		Sistema: 1				
Sistema: Ducto de entrada del efluente a las torres de enfriamiento, duchas aspersoras, bandeja receptoras, ventilador extractor.						
	FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLO (causa de la falla)	EFFECTOS DE LAS FALLAS (que sucede cuando falla)
				B2	Válvulas 119 y 120 completamente obstruidas, no hay circulación de efluente.	No existe llegada de efluente hacia las torres de enfriamiento. Se produce acumulación en la cámara de neutralización, hay grandes posibilidades de derivar el efluente a la laguna de derrames.
				B3	Válvulas 119 y 120 obstruidas.	No existe llegada de efluente hacia las torres de enfriamiento. Se produce acumulación en la cámara de neutralización, hay grandes posibilidades de derivar el efluente a la laguna de derrames.
		C	No se distribuye el efluente a las duchas aspersoras.	C1	Duchas tapadas	Se pierde la eficiencia de transferencia, rebasa y sale por las canaletas.
		D	Recibe el efluente con una temperatura superior a la permitida por los parámetros fijados.	D1	El efluente viene con una mayor temperatura, ya que se produce un desbalance térmico en la planta.	La torre no es capaz de enfriar ya que estará rindiendo sobre su capacidad máxima.
Duchas aspersoras						
2	Atomiza el flujo del efluente, las gotas que se producen entran en contacto con el aire ascendente lo que produce evaporación, esto permite que el agua que se encuentra en estado líquido se enfríe.	A	No es capaz de atomizar el flujo del efluente.	A1	Por suciedad de las duchas	Rebasa el efluente sin atomizar aumentando la temperatura de salida.

Área: Tratamiento de efluentes.		Sistema: 1				
Sistema: Ducto de entrada del efluente a las torres de enfriamiento, duchas aspersoras, bandeja receptoras, ventilador extractor.						
	FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLO (causa de la falla)	EFFECTOS DE LAS FALLAS (que sucede cuando falla)
		B	Se trancan las duchas aspersoras	B1	Se acumulan sedimentos provenientes de la cámara de neutralización	No permite la circulación del efluente por ende no se puede bajar la temperatura que trae de la cámara de neutralización.
Bandeja receptora						
3	Recibe de las duchas aspersoras el efluente enfriado, que luego es evacuado gravitacionalmente hacia la etapa de aireación del tratamiento secundario.	A	No recibe el efluente enfriado en las bandejas aspersoras.	A1	Daño estructural de las piscinas de la torre.	Se deja fuera de funcionamiento la torre, se reduce el flujo del efluente derivándolo a la laguna.
Ventilador extractor						
4	Succiona aire frío desde la base de la torre para en contra corriente con el agua proceder a enfriar.	A	No aspira aire frío desde la base de la torre.	A1	Falla el reductor por problemas de lubricación, contaminación, por humedad, por problemas de sellos, desbalanceo de los alabes, problemas de acoplamientos, etc.	Se deja fuera de funcionamiento la torre, se reduce el flujo del efluente derivándolo a la laguna.
				A2	Daño en el cardán por cumplimiento de su vida útil de sus componentes, soltura de los pernos por vibraciones.	Se deja fuera de funcionamiento la torre, se reduce el flujo del efluente derivándolo a la laguna.
				A3	El motor eléctrico falla por problemas de aislación del motor, se humedece (se puede quemar).	Pierde eficiencia la aspiración con riesgo de derivar el efluente a la laguna.

Área: Tratamiento de efluentes.		Sistema: 1			
Sistema: Ducto de entrada del efluente a las torres de enfriamiento, duchas aspersoras, bandeja receptoras, ventilador extractor.					
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLO (causa de la falla)	EFFECTOS DE LAS FALLAS (que sucede cuando falla)
			A4	Se daña la hélice producto de la soltura de los pernos por mal montaje.	Pierde eficiencia la aspiración con riesgo de derivar el efluente a la laguna.
	B	Disminución de extracción de calor	1B	El ángulo de las aspas mal ajustado	Pierde eficiencia la aspiración con riesgo de derivar el efluente a la laguna.
			2B	Problema de eficiencia del motor por pérdida de energía.	Pierde eficiencia la aspiración con riesgo de derivar el efluente a la laguna.
	C	Falla del reductor	1C	Falla rodamiento por falta de lubricación, contaminación del lubricante, por humedad, fuga del lubricante a través de los sellos.	Se daña el reductor, este daño puede ser parcial o total, que para su reparación se debe derivar el efluente a la laguna.
			2C	Falla el tren de engranaje por lubricación, por contaminación del lubricante por humedad.	Se daña el reductor, este daño puede ser parcial o total, que para su reparación se debe derivar el efluente a la laguna.
			3C	Por subdimensión de factor de servicio del reductor.	Se puede dañar el reductor en corto plazo.
	D	Falla el motor	1D	Falla del motor eléctrico, específicamente el rotor.	La bomba no arranca y se envía una señal a la señal al DCS y para el sistema.
	E	Sobre carga del motor	1E	Mal ajuste de las aspas	El ventilador queda fuera de servicio.

SISTEMA 2: Cámara de floculación¹, ducto de entrada del efluente al clarificador de flotación 1, bomba 225 de agua dispersada, tanque de agua dispersada, DAF.

Área: Tratamiento de efluentes		Sistema: 2				
Subsistema: Cámara de floculación 1, ducto de entrada del efluente al clarificador de flotación 1, bba. 225 de agua dispersada, tanque de agua dispersada, DAF.						
	FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLO (causa de la falla)	EFFECTOS DE LAS FALLAS (que sucede cuando falla)
Cámara de Floculación 1						
1	Recibir el efluente que proviene del clarificador secundario 1.	A	No se recibe el efluente del clarificador secundario 1.	A1	Daño estructural de las líneas o ductos	Se filtra el efluente derramándose en el sector perimetral contaminando el suelo, trae graves consecuencias ambientales.
2	Recibir el floculante que proviene del tanque disolvedor de polímeros.	A	No se recibe el floculante que proviene del tanque disolvedor de polímeros.	A1	Líneas o válvulas obstruidas	No se dosifica el poli electrolito a la cámara de floculación 1 lo que evitaría que exista coagulación, por lo tanto se tiene que derivar a la laguna de derrames.
				A2	Rotura y/o fuga de líneas principales entre tanque disolvedor de polímeros y clarificador de flotación 1.	No se dosifica el poli electrolito a la cámara de floculación 1 lo que evitaría que exista coagulación, por lo tanto se tiene que derivar a la laguna de derrames.
				A3	Falla de las bombas 238 y 239	No se bombea polímero a la cámara de floculación, por lo tanto no existe coagulación, se deriva el efluente a la laguna de derrames.
				A4	Falla del motor de las bombas 238 y 239	No se bombea polímero a la cámara de floculación, por lo tanto no existe coagulación, se deriva el efluente a la laguna de derrames.

Área: Tratamiento de efluentes		Sistema: 2				
Subsistema: Cámara de floculación1, ducto de entrada del efluente al clarificador de flotación 1, bba. 225 de agua dispersada, tanque de agua dispersada, DAF.						
	FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLO (causa de la falla)	EFFECTOS DE LAS FALLAS (que sucede cuando falla)
		B	No funciona el sistema de preparación de polímero	B1	Daño estructural del tanque disolvedor de polímeros por grietas o corrosión del material.	Se produce filtración de polímero y contaminación del área perimetral.
				B2	Falla de los agitadores del tanque disolvedor de polímeros por soldadura de los agitadores y/o falla del motor de los agitadores.	Se detiene el proceso de preparación de polímero
				B3	El tornillo alimentador de polímero se corta y/o falla el motor que lo hace funcionar.	Se detiene el proceso de preparación de polímero
				B4	Se satura el filtro, se ensucia con sedimentos y se daña el filtro línea agua sellado.	Se detiene el proceso de preparación de polímero
3	Recibir ácido que proviene del tanque de ácido sulfúrico.	A	No recibe el ácido sulfúrico por obstrucción de líneas	A1	Se obstruye las líneas por incrustación de sales producto de las bajas temperaturas.	No existe dosificación de ácido sulfúrico a la cámara de floculación por lo tanto se tiene que derivar a la laguna de derrames por no controlar el PH.

Área: Tratamiento de efluentes		Sistema: 2			
Subsistema: Cámara de floculación1, ducto de entrada del efluente al clarificador de flotación 1, bba. 225 de agua dispersada, tanque de agua dispersada, DAF.					
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLO (causa de la falla)	EFFECTOS DE LAS FALLAS (que sucede cuando falla)
	B	Por rotura y/o fugas de líneas y válvulas de circuito de ácido	B1	Por grietas y/o golpe de ariete	No existe dosificación de ácido sulfúrico a la cámara de floculación por lo tanto se tiene que derivar a la laguna de derrames por no controlar el PH.
	C	Por falla de bomba 252 no bombea ácido sulfúrico a la cámara de floculación 1	C1	Fallan las válvulas check	La bomba no dosifica ácido.
			C2	Falla membrana	La bomba no dosifica ácido, se detiene para su reparación.
			C3	Fallan los rodamientos de la bomba	La bomba presenta vibraciones, ruidos y contaminación de aceite lubricante. Afecta operaciones, no afecta al medio ambiente.
			C4	Falla del eje	Se produce ruido, vibraciones y rotura del cuerpo. Afecta producción y podría afectar el medio ambiente.
			C5	Falla eléctrica del motor	No arranca el motor y se para el equipo, afecta operaciones.
			C6	Falla rodamiento motor	Se produce ruido y vibración, afecta operaciones.
			C7	Falla lubricación de la bomba	Aumenta la temperatura y se desgasta el anillo y el eje.

Área: Tratamiento de efluentes		Sistema: 2				
Subsistema: Cámara de floculación1, ducto de entrada del efluente al clarificador de flotación 1, bba. 225 de agua dispersada, tanque de agua dispersada, DAF.						
	FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLO (causa de la falla)	EFFECTOS DE LAS FALLAS (que sucede cuando falla)
4	Recibir sulfato de aluminio que proviene del tanque de sulfato de aluminio.	A	No recibe el efluente por obstrucción de líneas	A1	Se ensucia con sulfato endurecido (sales)	No existe coagulación en la cámara, por lo tanto hay que derivar a la laguna de derrames.
		B	Por rotura y/o fugas de líneas y válvulas de circuito de ácido	B1	Por golpe de ariete, grietas, corrosión.	No existe coagulación en la cámara, por lo tanto hay que derivar a la laguna de derrames.
		C	Por falla de bomba 241	C1	Falla del motor eléctrico (motor quemado, baja aislación)	La bomba no arranca se envía una señal eléctrica al DCS. Afecta a producción.
				C2	Falla de los rodamientos del motor eléctrico	El motor presenta vibraciones y ruidos, afecta a producción, no afecta al medio ambiente.
				C3	Falla del eje	Se produce ruido, vibraciones y rotura del cuerpo. Afecta producción y podría afectar el medio ambiente.
				C4	Falla lubricación de la bomba	Aumenta la temperatura y se desgasta el anillo y el eje

Área: Tratamiento de efluentes		Sistema: 2				
Subsistema: Cámara de floculación1, ducto de entrada del efluente al clarificador de flotación 1, bba. 225 de agua dispersada,tanque de agua dispersada, DAF.						
	FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLO (causa de la falla)	EFFECTOS DE LAS FALLAS (que sucede cuando falla)
5	Mezclar el efluente con los distintos productos químicos para producir la coagulación y posteriormente la floculación.	A	No realiza la mezcla del efluente con los productos químicos, lo que impide que se coagulen las partículas de coloide.	A1	Problemas mecánicos en los agitadores de la cámara de floculación 1	En caso de falla se produce una mala agitación ya que no se realiza la mezcla de forma constante. Afecta operaciones.
				A2	Falla del motor eléctrico de los agitadores	Se detiene el agitador y pierde eficiencia el proceso de la cámara de floculación.
				A3	Falla de rodamientos del motor	El motor presenta vibraciones, ruido, aumento de temperatura y se para el equipo, afecta operaciones.
				A4	Falla de rodamientos del agitador	El ventilador presenta vibraciones, ruido, aumento de temperatura y se para el equipo, afecta operaciones.
				A5	Soltura de las aspas del agitador	El agitador presenta vibraciones, ruido, aumento de temperatura, resonancia estructural, baja la eficiencia y se para el equipo, afecta operaciones.
				A6	Fractura del eje del agitador	El agitador presenta vibraciones, ruido y se para el equipo, afecta operaciones.
				A7	Rotura del acoplamiento	El agitador presenta vibraciones, ruido, resonancia estructural y se para el equipo, afecta operaciones

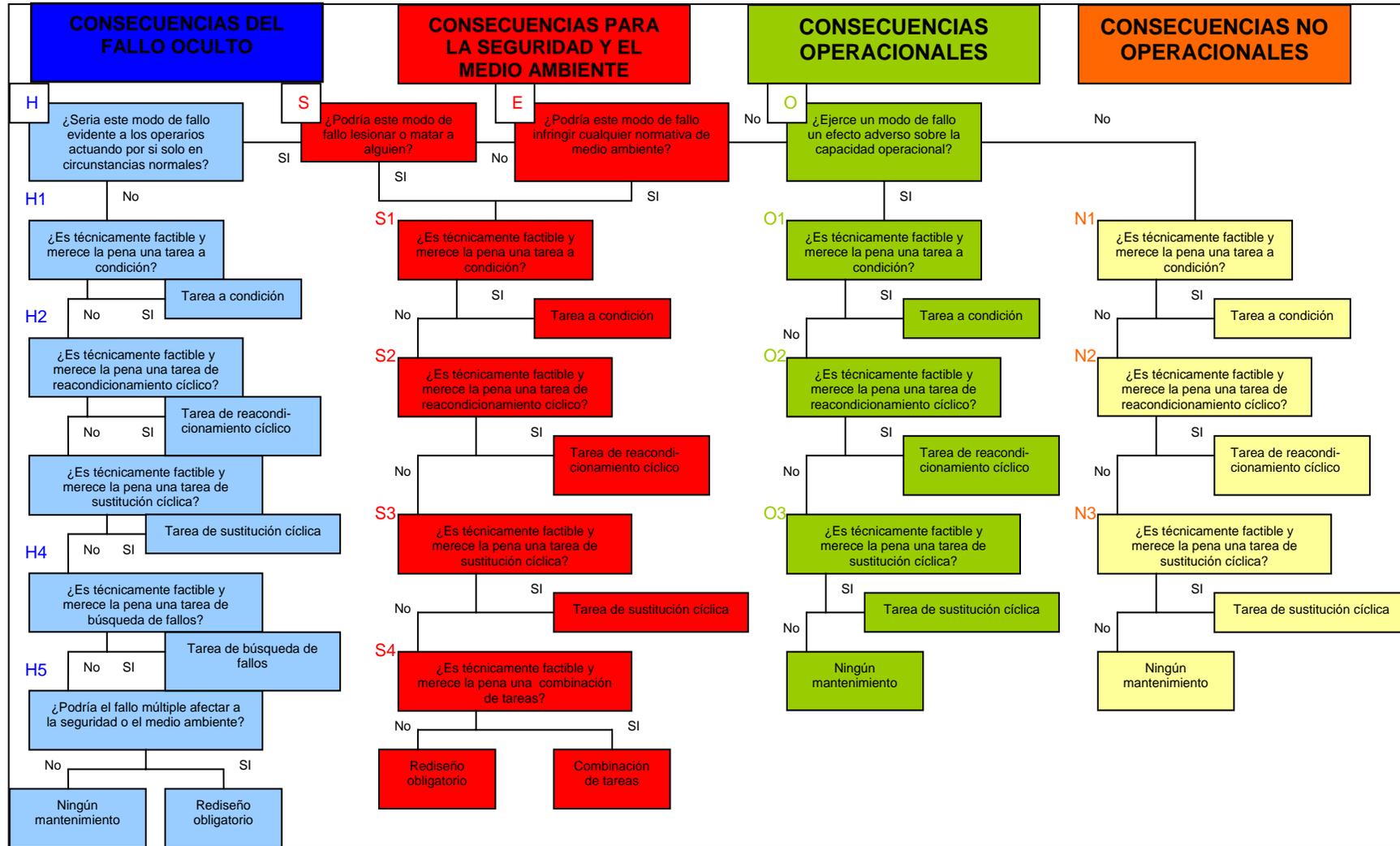
Área: Tratamiento de efluentes		Sistema: 2				
Subsistema: Cámara de floculación 1, ducto de entrada del efluente al clarificador de flotación 1, bba. 225 de agua dispersada, tanque de agua dispersada, DAF.						
	FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLO (causa de la falla)	EFFECTOS DE LAS FALLAS (que sucede cuando falla)
Ducto de entrada del efluente al clarificador de flotación 1						
6	Ingresar el Efluente gravitacionalmente desde la cámara de floculación al clarificador de flotación 1 con un caudal de 350 l/min.	A	Recibe menos de 350 l/min.	A1	Rotura o fuga de líneas, conexiones y accesorios del ducto hacia el clarificador de flotación 1.	Es una falla evidente y crítica ya que la fuga del efluente trae graves consecuencias ambientales, además comienza a disminuir el caudal que circula hacia el clarificador de flotación 1.
				A2	Grietas en la cámara de floculación.	Existe filtración en la parte externa de la cámara, se fuga el efluente, trae daños al medio ambiente.
				A3	Grietas y/o fisura en las tuberías, accesorios y conexiones que van hacia la cámara de flotación.	Se produce abundante filtración del efluente hacia el área perimetral. Daña el medio ambiente.
Bomba 225 de agua dispersada						
7	Recircular el efluente con un caudal de 94 l/min. y una presión de 5.5 Kg., del clarificador de flotación 1 del tratamiento terciario al tanque de agua dispersada.	A	No bombea 94 l/min. desde el clarificador de flotación 1 al tanque de agua dispersada.	A1	El impulsor se desgasta por efectos abrasivos de los sólidos suspendidos.	Baja la eficiencia de la bomba, baja la recirculación del efluente desde el clarificador de flotación 1 hasta el tanque de agua dispersada. La bomba comienza a presentar ruidos y vibraciones.
				A2	Se produce rotura de la carcasa debido a efectos abrasivos.	Se produce filtración de la bomba y se derrama en el entorno.

Área: Tratamiento de efluentes		Sistema: 2			
Subsistema: Cámara de floculación1, ducto de entrada del efluente al clarificador de flotación 1, bba. 225 de agua dispersada, tanque de agua dispersada, DAF.					
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLO (causa de la falla)	EFFECTOS DE LAS FALLAS (que sucede cuando falla)
			A3	Falla del motor eléctrico.	La bomba no arranca se envía una señal eléctrica al DCS. Afecta a producción.
			A4	Válvula de succión 273 obstruida.	Baja el flujo del sistema, se envía una señal al DCS y se para el sistema.
			A5	Falla de los rodamientos del motor eléctrico	El motor presenta vibraciones y ruidos, afecta a producción, no afecta al medio ambiente.
			A6	Falla de los sellos mecánicos	Fuga de agua a través del eje de la bomba, afecta a producción, afecta al medio ambiente.
			A7	Fallan los rodamientos de la bomba	La bomba presenta vibraciones, ruidos y contaminación de aceite lubricante. Afecta operaciones, no afecta al medio ambiente.
			A8	Falla del eje	Se produce ruido, vibraciones y rotura del cuerpo. Afecta producción y podría afectar el medio ambiente.
			A9	Falla el acople motor-bomba	Se producen vibraciones, ruidos y posible desprendimiento, lo cual sería desastroso.
			A10	Falla lubricación de la bomba	Aumenta la temperatura y se desgasta el anillo y el eje.

Área: Tratamiento de efluentes		Sistema: 2				
Subsistema: Cámara de floculación1, ducto de entrada del efluente al clarificador de flotación 1, bba. 225 de agua dispersada, tanque de agua dispersada, DAF.						
	FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLO (causa de la falla)	EFFECTOS DE LAS FALLAS (que sucede cuando falla)
Tanque de agua dispersada						
8	Realiza una mezcla del Efluente de recirculación con el aire de los compresores.	1A	No logra realizar la mezcla, ya que no recibe el efluente	A1	Fallas en las válvulas 275, 276 y 279	Baja el flujo del sistema, se envía una señal al DCS y se para el sistema ya que no llega efluente al tanque de agua dispersada.
				A2	Falla la bomba 225	Se detiene el sistema, no circula efluente al tanque de agua dispersada, por lo tanto no se puede cumplir con el propósito de realizar la mezcla del efluente con el aire de los compresores.
		1B	Falla el compresor que se encarga de dispersar el agua con una presión de 6 bar. y la envía al clarificador de flotación 1.	B1	Fallas en las válvulas 401 y 278	Baja la presión del sistema, se envía una señal al DCS y se para el sistema ya que no llega aire comprimido al tanque de agua dispersada.
				B2	Fisuras en ductos y líneas	Es una falla evidente se para el sistema, comienza a escapar el aire proveniente del compresor y no llega suficiente aire comprimido al tanque de agua dispersada, además puede dañar a las personas que estén cerca de la o las fugas ya que el flujo viene a alta presión.

Área: Tratamiento de efluentes		Sistema: 2				
Subsistema: Cámara de floculación1, ducto de entrada del efluente al clarificador de flotación 1, bba. 225 de agua dispersada, tanque de agua dispersada, DAF.						
	FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLO (causa de la falla)	EFFECTOS DE LAS FALLAS (que sucede cuando falla)
DAF						
9	Recibe efluente de la cámara de floculación y efluente del tanque de agua dispersada, por medio de burbujas se produce la flotación del lodo que es retirado por el desnatador giratorio y enviado al canalón de evacuación de lodos.	1A	Falla el desnatador giratorio	A1	Falla del motor	No funciona el desnatador se acumula el lodo en el clarificador de flotación, por lo tanto hay que detener la línea del proceso correspondiente.
				A2	Falla el reductor del motor	No funciona el desnatador se acumula el lodo en el clarificador de flotación, por lo tanto hay que detener la línea del proceso correspondiente.
				A3	La falla de las ruedas de descanso del desnatador	No funciona el desnatador se acumula el lodo en el clarificador de flotación, por lo tanto hay que detener la línea del proceso correspondiente.
		2B	Falla el anillo de agua dispersada	B1	Válvulas obstruidas por sedimentos	Baja el flujo de agua dispersada, lo que impide que el lodo que se encuentra en el efluente flote y el agua se clarifique para ser enviado al parshall de efluente tratado.

ANEXO N°6
DIAGRAMA DE DECISIÓN



ANEXO N°7
HOJAS DE TRABAJO

SISTEMA 1: Ducto de entrada del efluente a las torres de enfriamiento, duchas aspersoras, bandeja receptoras, ventilador extractor.

Área: Tratamiento de efluentes							Sistema: 1									
Sistema: Ducto de entrada del efluente a las torres de enfriamiento, duchas aspersoras, bandeja receptoras, ventilador extractor																
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tarea "a falta de"					Frecuencia inicial	A realizar por
							S1	S2	S3							
F	FF	MF	H	S	E	O	O1	O2	O3							
							N1	N2	N3	H4	H5	S4	Tareas propuestas			
1	A	1	S	N	N	S	S						Inspección del sistema en el recorrido de cambio de turno del operador	En cada turno	Operaciones	
1	A	2	S	S			N	N	N			N	Cambio de materiales de las líneas, conexiones y accesorios.	Cuando se requiera	Ingeniería	
1	A	3	S	N	N	N	S						Revisar temperatura, vibraciones y ruidos	Semanal	Mecánico de área	
1	A	4	N				N	S					Inspección general de líneas	1 vel al año (PGP)	Operaciones	
1	B	1	S	N	N	S	S						Inspección del sistema en el recorrido de cambio de turno del operador	En cada turno	Operaciones	
1	B	2	S	N	N	S	S						Inspección del sistema en el recorrido de cambio de turno del operador	En cada turno	Operaciones	
1	C	1	S	N	S		S						Inspeccionar las duchas en cada turno	En cada turno	Operaciones	
1	D	1	S	N	S		N	N	S				Chequeo de los parámetros operacionales	En cada turno	Operaciones	
2	A	1	S	N	S		S						Inspeccionar las duchas en cada turno	En cada turno	Operaciones	
2	B	1	S	N	S		S						Inspeccionar las duchas en cada turno	En cada turno	Operaciones	
3	A	1	S	N	N	S	S						Inspección visual	1 vez al mes	Mecánico de área	
4	A	1	S	N	N	S	S						Revisar temperatura, vibraciones y ruidos	Semanal	Mecánico de área	
4	A	2	S	N	N	S	S						Inspección de temperatura, vibraciones y ruidos	1 vez al mes	Mecánico de área	
4	A	3	S	N	N	S	S						Chequear resistencia y amperaje	Semanal	Eléctrico del área	
4	A	4	S	N	N	S	S						Revisar vibraciones y ruidos	Semanal	Mecánico de área	

Área: Tratamiento de efluentes							Sistema: 1									
Sistema: Ducto de entrada del efluente a las torres de enfriamiento, duchas aspersoras, bandeja receptoras, ventilador extractor																
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tarea "a falta de"					Frecuencia inicial	A realizar por
							S1	S2	S3							
							O1	O2	O3							
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4	Tareas propuestas			
4	B	1	S	N	N	S	S						Inspección visual del ángulo de las aspas del ventilador para verificar que estén en posición correcta y que los tornillos no estén sueltos. Y medir vibraciones.	Mensual	Mecánico de área y mantención sintomática	
4	B	2	S	N	N	S	S						Chequear resistencia y amperaje	Semanal	Eléctrico del área	
4	C	1	S	N	N	S	S						Revisar temperatura, vibraciones y ruidos	Semanal	Mecánico de área	
4	C	2	S	N	N	S	S						Revisar temperatura, vibraciones y ruidos	Mensual	Mantención sintomática	
4	C	3	S	N	N	S	N	N	N				Cambiar sistema motriz de acuerdo a las dimensiones correctas del equipo	Cuando se requiera	Ingeniería	
4	D	1	S	N	N	S	S						Revisar temperatura, vibraciones y ruidos	Mensual	Mantención sintomática	
4	E	1	S	N	N	S	S						Inspección visual del ajuste de las aspas del ventilador para verificar que estén en posición correcta y que los tornillos no estén sueltos. Y medir vibraciones.	Mensual	Mecánico de área y mantención sintomática	

SISTEMA 2: Cámara de floculación¹, ducto de entrada del efluente al clarificador de flotación 1, bomba 225 de agua dispersada, tanque de agua dispersada, DAF.

Área: Tratamiento de efluentes			Sistema: 2												
Subsistema: Cámara de floculación1, ducto de entrada del efluente al clarificador de flotación 1, bba. 225 de agua dispersada, tanque de agua dispersada, DAF.															
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tarea "a falta de"					
							S1	S2	S3						
							O1	O2	O3					Frecuencia inicial	A realizar por
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4	Tareas propuestas		
1	A	1	S	S			N	N	N			N	Cambio de materiales de las líneas, conexiones y accesorios.	Cuando se requiera	Ingeniería y mantención
2	A	1	S	N	N	S	S						Inspección visual para verificar el estado general y pruebas de funcionamiento.	En cada turno	Operaciones
2	A	2	S	N	N	S	S						Inspección visual para verificar el estado general de las líneas principales.	En cada turno	Operaciones y mantención
2	A	3	S	N	N	N	S						Hacer la rotación de funcionamiento de la bomba mediante un by pass de tal forma que el desgaste de las dos bombas sea igual.	Cada quince días	Operaciones
2	A	4	S	N	N	S	S						Megar el motor Chequear amperaje	Anual (PGP) Semestral	Eléctrico del área
2	B	1	N	S									Reparación provisoria del tanque disolvedor de polímeros	Anual	Mantención OOC
2	B	2	N	S									Inspección de vibraciones	Mensual	Mantención sintomática
2	B	3	N	S									Inspección visual y revisar temperatura, vibraciones y ruidos	Semanal	Mecánico de área
2	B	4	S	N	N	S	S						Inspección visual para verificar el estado general de filtros.	En cada turno	Operaciones
3	A	1	S	N	N	S	S						Inspección visual para verificar el estado general de las líneas.	En cada turno	Operaciones
3	B	1	S	N	N	S	S						Inspección visual para verificar el estado general de las líneas principales.	En cada turno	Operaciones y mantención

Área: Tratamiento de efluentes			Sistema: 2												
Subsistema: Cámara de floculación1, ducto de entrada del efluente al clarificador de flotación 1, bba. 225 de agua dispersada, tanque de agua dispersada, DAF.															
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tarea "a falta de"				Frecuencia inicial	A realizar por
							S1	S2	S3						
							O1	O2	O3						
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4	Tareas propuestas		
3	C	1	S	N	N	S	S						Inspección visual para verificar el estado general de las válvulas.	En cada turno	Operaciones y mecánico del área
3	C	2	S	N	N	S	S						Inspección visual y revisar temperatura, vibraciones y ruidos	Semanal	Operaciones y mecánico del área
3	C	3	S	N	N	S	S						Medición de vibraciones, temperatura y ruido	Mensual	Mantenimiento sintomática
3	C	4	S	N	N	S	S						Medición de vibraciones, temperatura y ruido	Mensual	Mantenimiento sintomática
3	C	5	S	N	N	S	S						Limpieza de contactores, con dieléctrico, de ser necesario se reemplaza los contactos del equipo, ajuste de conexiones, verificación de las protecciones	Semestral	Eléctrico del área
3	C	6	S	N	N	S	S						Medición de vibraciones, temperatura y ruido	Mensual	Mantenimiento sintomática
3	C	7	S	N	N	S	S						Inspección visual y revisar temperatura, vibraciones y ruidos	Semanal	Mecánico de área
4	A	1	S	N	N	S	S						Inspección visual para verificar el estado general de las líneas.	En cada turno	Operaciones
4	B	1	S	N	S		S						Inspección visual para verificar el estado general de las líneas.	En cada turno	Operaciones
4	C	1	S	N	N	S	S						Limpieza de contactores, con dieléctrico, de ser necesario se reemplaza los contactos del equipo, ajuste de conexiones, verificación de las protecciones	Semestral	Eléctrico del área

Área: Tratamiento de efluentes			Sistema: 2											Subsistema: Cámara de floculación1, ducto de entrada del efluente al clarificador de flotación 1, bba. 225 de agua dispersada, tanque de agua dispersada, DAF.		
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tarea "a falta de"				Frecuencia inicial	A realizar por	
							S1	S2	S3							
F	FF	MF	H	S	E	O	O1	O2	O3					Tareas propuestas	Frecuencia inicial	A realizar por
N1	N2	N3	H4	H5	S4											
4	C	2	N				S							Medición de vibraciones y ruido	Semestral	Eléctrico del área
4	C	3	S	N	N	S	S							Medición de vibraciones, temperatura y ruido	Mensual	Mantenimiento sintomática
4	C	4	S	N	N	S	S							Inspección visual y revisar temperatura, vibraciones y ruidos	Semanal	Mecánico de área
5	A	1	S	N	N	S	S							Inspección visual y revisar temperatura, vibraciones y ruidos	Semanal	Mecánico de área
5	A	2	S	N	N	S	S							Limpieza de contactores, con dieléctrico, de ser necesario se reemplaza los contactos del equipo, ajuste de conexiones, verificación de las protecciones	Semestral	Eléctrico del área
5	A	3	S	N	N	S	S							Medición de vibraciones, temperatura y ruido	Mensual	Mantenimiento sintomática
5	A	4	S	N	N	S	S							Medición de vibraciones, temperatura y ruido	Mensual	Mantenimiento sintomática
5	A	5	S	N	N	S	S							Medición de vibraciones, temperatura y ruido	Mensual	Mantenimiento sintomática
5	A	6	S	N	N	S	S							Medición de vibraciones, temperatura y ruido	Mensual	Mantenimiento sintomática
5	A	7	S	N	N	S	S							Medición de vibraciones, temperatura y ruido	Mensual	Mantenimiento sintomática
6	A	1	S	N	N	S	S							Inspección visual para verificar el estado general de las líneas principales.	En cada turno	Operaciones y mantenimiento

Área: Tratamiento de efluentes							Sistema: 2									
Subsistema: Cámara de floculación1, ducto de entrada del efluente al clarificador de flotación 1, bba. 225 de agua dispersada, tanque de agua dispersada, DAF.																
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tarea "a falta de"				Frecuencia inicial	A realizar por	
							S1	S2	S3							
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4	Tareas propuestas			
6	A	2	S	N	S		S						Reparación provisoria en la cámara de floculación	Anual	Mantenimiento OCCC	
6	A	3	S	N	N	S	S						Inspección visual para verificar el estado general de las líneas.	En cada turno	Operaciones y mantenimiento	
7	A	1	N				S						Medición de vibraciones, temperatura y ruido	Mensual	Mantenimiento sintomática	
7	A	2	S	N	N	S	S						Inspección visual	Semanal	Mecánico de área	
7	A	3	S	N	N	S	S						Limpieza de contactores, con dieléctrico, de ser necesario se reemplaza los contactos del equipo, ajuste de conexiones, verificación de las protecciones	Semestral	Eléctrico del área	
7	A	4	S	N	N	S	S						Inspección visual para verificar el estado general y pruebas de funcionamiento.	En cada turno	Operaciones	
7	A	5	S	N	N	S	S						Medición de vibraciones, temperatura y ruido	Mensual	Mantenimiento sintomática	
7	A	6	S	N	N	S	S						Inspección visual y revisar temperatura, vibraciones y ruidos	Semanal	Mecánico de área	
7	A	7	S	N	N	S	S						Medición de vibraciones, temperatura y ruido	Mensual	Mantenimiento sintomática	
7	A	8	S	N	N	S	S						Medición de vibraciones, temperatura y ruido	Mensual	Mantenimiento sintomática	
7	A	9	S	N	N	S	S						Visualizar con lámpara estroboscópica y chequear estado del acoplamiento.	Mensual	Mantenimiento sintomática	

Área: Tratamiento de efluentes			Sistema: 2												
Subsistema: Cámara de floculación1, ducto de entrada del efluente al clarificador de flotación 1, bba. 225 de agua dispersada, tanque de agua dispersada, DAF.															
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tarea "a falta de"				Frecuencia inicial	A realizar por
							S1	S2	S3						
F	FF	MF	H	S	E	O	O1	O2	O3						
							N1	N2	N3	H4	H5	S4	Tareas propuestas		
7	A	10	S	N	N	N	S						Inspección visual y revisar temperatura, vibraciones y ruidos	Semanal	Mecánico de área
8	A	1	S	N	N	S	S						Inspección visual y pruebas a las válvulas	Semanal	Instrumentista del área
8	A	2	S	N	N	S	S						Inspección visual y revisar temperatura, vibraciones y ruidos	Semanal	Mecánico de área
8	B	1	S	N	N	S	S						Inspección visual y pruebas a las válvulas	Semanal	Instrumentista del área
8	B	2	S	N	N	S	S						Inspección visual para verificar el estado general de las líneas principales.	En cada turno	Operaciones y mantención
9	A	1	S	N	N	S	S						Limpieza de contactores, con dieléctrico, de ser necesario se reemplaza los contactos del equipo, ajuste de conexiones, verificación de las protecciones	Semestral	Eléctrico del área
9	A	2	S	N	N	S	S						Inspección visual y revisar temperatura, vibraciones y ruidos	Semanal	Mecánico de área
9	A	3	S	N	N	S	S						Inspección visual y limpieza de equipos	En cada turno	Operaciones
9	B	1	S	N	N	S	S						Inspección visual para verificar el estado general y pruebas de funcionamiento.	En cada turno	Operaciones