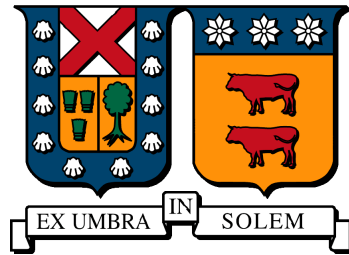


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
SANTIAGO-CHILE



DISEÑO DE UN SISTEMA DE MONITOREO
EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE
AGUAS SERVIDAS P.T.A.S.

CRISTIAN ESPINOZA BARRIA

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL MECÁNICO

PROFESOR GUÍA : Dr.-Ing. Miriam Roth Kliem
PROFESOR CORREFERENTE :Ing.-Mg. Luis Guzmán Bonet

Diciembre 2018

Resumen

En este trabajo se pretende diseñar un sistema de monitoreo, tanto para fines operacionales como de mantenimiento para la Planta Tratamiento de Aguas Servidas de Coyhaique(P.T.A.S.), la cual pertenece a la empresa AGUAS PATAGONIA S.A. Con el fin de representar lo más fielmente posible todas las características del proceso es necesario analizar los diferentes subprocesos presentes en la P.T.A.S. realizando diagramas de flujo para las líneas de aguas y lodos. Para esto se genera un plano de la planta, descomponiendo la planta en ocho subprocesos siendo estos:

- Grupo Generador
- Pre Tratamiento
- Reactor Aireador
- Clarificador
- Cámara Contacto
- Digestor
- Mesa Espesadora
- Filtro Banda

Para cada una de estas etapas se identifica su objetivo, se establecen indicadores de disponibilidad, calidad y rendimiento.

Debido al hecho que además se busca crear una base de datos con las variables presentes en los flujos de trabajo de la P.T.A.S. se establece una serie de evaluaciones estadísticas y consideraciones necesarias para poder monitorear los procesos y la planta. Esto se realiza con dos tipos de evaluación: la primera mediante índices de Rendimiento general del Proceso y el segundo Rendimiento General Promedio Planta respectivamente. Se complementa esta evaluación mediante el uso de herramientas estadísticas buscando

identificar la inestabilidad del proceso, junto con sus causas para poder anteponerse a algún tipo potencial de falla, como lo puede ser: fatiga, deterioro, diferencias en calidad materia prima, entre otros. Entre las características principales de esta herramienta se encuentra el formato de presentación de resultados, los cuales se entregan de manera gráfica y con escala de colores representativos con el fin de ser transversal a todos los niveles de la empresa, es decir, contar con una lectura precisa, concisa y además motivadora para invitar a participar del proceso del ingreso de datos y aún más importante, de la toma de decisiones

Índice general

Índice general	III
Índice de figuras	v
Índice de tablas	IX
1. Introducción	4
1.1. Objetivos	6
1.2. Estado del arte	7
2. Marco Teórico	9
2.1. Objetivos Mantenimiento	10
2.2. Tipos de Mantenimiento	11
2.3. Sistema de mantenimiento, TPM Mantenimiento total productivo	19
3. Planta Tratamiento	26
3.1. Descripción general del proceso	26
3.2. Descripción por subproceso e identificación de las máquinas	30
4. Indicadores y su importancia	39
4.1. Indicadores	39
4.2. Rendimiento General del Proceso	41
4.2.1. Disponibilidad o Availability: (A)	44
4.2.2. Rendimiento: (R)	45
4.2.3. Tasa Calidad: (Q)	46
4.3. Rendimiento General Promedio P.T.A.S.	49
5. Análisis estadístico	50

6.	Desarrollo del sistema de monitoreo	58
6.1.	Desarrollo sistema monitoreo	59
6.1.1.	Pre tratamiento (PT)	62
6.1.2.	Reactor Aireador (RA)	63
6.1.3.	Clarificador (CL)	65
6.1.4.	Cámara Contacto (CC)	66
6.1.5.	Mesa espesadora (ME)	68
6.1.6.	Digestor (Dig)	71
6.1.7.	Prensa Lodos (PL)	74
6.1.8.	Grupo Generador (GG)	77
6.2.	Graficación de Resultados	78
6.2.1.	Formato de fondo y ejes de coordenadas	78
7.	Resultados	81
7.1.	Interpretación de resultados	86
7.2.	Valoración rendimiento general proceso y planta	95
7.3.	Valoración de la inestabilidad estadística	96
7.3.1.	Construcción Carta Control	96
7.3.2.	Patrones no Aleatorios	100
8.	Conclusiones	105
8.1.	Horizonte Desarrollo	111
	Bibliografía	121

Índice de figuras

1.1. Configuración típica de una planta de aguas servidas (Barañaño, P. & Tapia, A. (2004, Julio)	5
1.2. Sistema de tratamiento aguas servidas en Chile	7
2.1. Representación alineamiento objetivo empresa	10
2.2. Representación objetivos mantenimiento (Elaboración propia)	12
2.3. Perfil rendimiento de un activo al cual se le aplica una política de mantenimiento correctivo	13
2.4. Perfil rendimiento de un activo al cual se le aplica una política de mantenimiento preventivo	15
2.5. Perfil rendimiento de un activo al cual se le aplica una política de mantenimiento preventivo	16
2.6. Situación de inspección correa	17
2.7. Mantenimiento Productivo Total	20
2.8. Características principales T.P.M.	20
2.9. Pilares del Sistema TPM	21
2.10. Perdidas Principales TPM	24
3.1. Diagrama flujo planta tratamiento aguas servidas	26
3.2. Diagrama flujo línea de aguas planta tratamiento aguas servidas	27
3.3. Diagrama flujo línea de lodos Planta Tratamiento Aguas servidas (Elaboración propia)	28
3.4. Medidor ultrasónico	30
3.5. Diagrama Pre tratamiento(Elaboración propia)	31
3.6. Esquema Pre Tratamiento	31
3.7. Diagrama Reactor Aireador(Elaboración propia)	32
3.8. Esquema Reactor Aireador	32

3.9. Diagrama Clarificador(Elaboración propia)	33
3.10. Esquema Clarificador	33
3.11. Diagrama Cámara contacto(Elaboración propia)	34
3.12. Esquema Cámara Contacto	34
3.13. Diagrama Mesa espesadora(Elaboración propia)	35
3.14. Diagrama digestor(Elaboración propia)	36
3.15. Esquema Digestor	36
3.16. Diagrama Prensa de lodos(Elaboración propia)	37
3.17. Diagrama Grupo Generador(Elaboración propia)	38
3.18. Esquema Grupo Generador	38
4.1. Diagrama esquemático para cálculo OEE	47
5.1. Diagrama Ishikawa	51
5.2. Carta control	54
5.3. Carta control	55
6.1. Diagrama Planta P.T.A.S. según los subgrupos	58
6.2. Diagrama decisiones para índice tasa calidad	61
6.3. Esquema cálculo Disponibilidad para Pre tratamiento	62
6.4. Distribución Rendimiento para Subproceso Aireación	64
6.5. Distribución Rendimiento para Subproceso Clarificación	67
6.6. Distribución Rendimiento para Subproceso Mesa espesadora	70
6.7. Distribución tasa calidad para Subproceso Digestor	73
6.8. Distribución tasa calidad para Subproceso Prensa Lodos	76
6.9. Formato básico para gráficos de resultado para un año	78
6.10. Clasificaciones según Índice General Proceso	79
7.1. Ingreso mediciones Grupo Generador	81
7.2. Ingreso mediciones Pre Tratamiento	82
7.3. Ingreso mediciones Reactor Aireador	82
7.4. Ingreso mediciones Clarificador	83
7.5. Ingreso mediciones Cámara Cloración	83
7.6. Ingreso mediciones Digestor	84
7.7. Ingreso mediciones Mesa Espesadora	84
7.8. Ingreso mediciones Filtro Banda	85

7.9. Índice General Proceso a	86
7.10. Índice General Proceso b	87
7.11. Índice General Planta P.T.A.S. Coyhaique	87
7.12. Indicador General Proceso Reactor Aireador	88
7.13. Indicador General Proceso Filtro Banda	89
7.14. Indicador General Proceso Mesa espesadora	90
7.15. Indicador General Proceso Digestor	91
7.16. Indicador General Proceso Mesa Espesadora posterior a la intervención	92
7.17. Indicador General Planta posterior a la intervención de le Mesa espesa- dora	92
7.18. Rendimiento Planta Promedio con y sin modificación	93
7.19. Esquema de las zonas presentes en la carta de control	99
7.20. Desplazamiento en el nivel del proceso presente en la carta de control .	100
7.21. Tendencias en el nivel del proceso en la carta de control	101
7.22. Ciclos recurrentes en la carta de control	102
7.23. Mucha Variabilidad en la carta de control	103
7.24. Falta variabilidad en la carta de control	104
8.1. Rendimiento general promedio subprocesos	106
8.2. Esquema subproceso Mesa Espesadora	107
8.3. Rendimiento subproceso Mesa Espesadora	108
8.4. Rendimiento general promedio subprocesos cambiando bomba deshi- dratante	109
8.5. Rendimiento general promedio subprocesos modificando “Mesa Espe- sadora”	109
8.6. Rendimiento general promedio subprocesos modificando “Digestor” . .	110
8.7. Rendimiento general planta promedio tras modificaciones individuales y combinadas	110
8.8. Ingreso mediciones Grupo generador	115
8.9. Ingreso mediciones Pre Tratamiento	115
8.10. Ingreso mediciones Reactor Aireador	115
8.11. Ingreso mediciones Clarificador	116
8.12. Ingreso mediciones Cámara Contacto	116
8.13. Ingreso mediciones Mesa espesadora	117
8.14. Ingreso mediciones Digestor	118

8.15. Ingreso mediciones Filtro Banda 119
8.16. Curva Rendimiento Bomba ALLWEILER AEB 1E 550 120

Índice de tablas

6.1. Categorías para la evaluación cualitativa de tasa calidad	61
6.2. Categorías para la evaluación periodo de retención según la cantidad de días	72
6.3. Categorías para la evaluación de tasa calidad según la humedad de lodos	75
7.1. Identificación de oportunidades P.T.A.S.	91
7.2. Índice general planta para caso original y con modificación	93
8.1. Factores para la construcción de las cartas de control	113
8.2. Límites máximos permitidos para la descarga de residuos líquidos a cuerpos de aguas fluviales (Fuente D.S. N° 90)	114
8.3. Índice general del proceso para cada etapa	116

Abreviatura

S.I.S.S. : Superintendencia de Servicios Sanitarios.

GG : Grupo Generador.

PT : Pre Tratamiento.

GS/D : Grit Separador/Desarenador

Rf : Rejilla Fina

RA : Reactor Aireador.

Imp : Impeller

SrI : Soplador Reactor Aireador I

SrII : Soplador Reactor Aireador II

CL : Clarificador.

CC : Cámara Contacto.

bccI : Bomba Apoyo Cloración I

bccII : Bomba Apoyo Cloración II

ME : Mesa Espesadora

HAP_{ME} : Hélice Agitadora Polímero, Proceso Mesa Espesadora

BAA_{ME} : Bomba Alimentación Agua, Proceso Mesa Espesadora

BD_{ME} : Bomba Deshidratante, Proceso Mesa Espesadora

BCM_{ME} : Bomba Centrífuga Mezcladora, Proceso Mesa Espesadora

ME_{ME} : Mesa Espesadora, Proceso Mesa Espesadora

Dig : Digestor.

$SDigI$: Soplador Digestor I

$SDigII$: Soplador Digestor II

$SDigIII$: Soplador Digestor III

$\%U$: Porcentaje Utilización

PL : Prensa Lodos.

$FiltroB_{PL}$: Filtro Banda, Proceso Filtro Banda

HAP_{PL} : Hélice Agitadora Polímero, Proceso Filtro Banda

BMP_{PL} : Bomba Mezcladora Polímero, Proceso Filtro Banda

BTE_{PL} : Bomba Expulsión Lodos Tornillo Excéntrico, Proceso Filtro Banda

MP_{PL} : Mezclador Polímero, Proceso Filtro Banda

$\%H$: Porcentaje Humedad

$T.P.M$: Sistema Mantenimiento Productivo Total

A : Disponibilidad.

T_o : Tiempo disponible para operar.

T_{np} : Tiempo de paradas

$MTBF$: Mean Time Between Failures

$MTTR$: Mean Time To Repair

R : Rendimiento.

N_c : Número de unidades conformes conforme a las especificaciones de calidad

N_{total} : Número total de producción

Q : Tasa Calidad.

RGP : Rendimiento General Proceso

$R.G.Prom_{P.T.A.S.}$: Rendimiento General Promedio Planta Tratamiento Aguas
Servidas.

Capítulo 1

Introducción

Se busca realizar un sistema de monitoreo para la planta de tratamiento aguas servidas Coyhaique(P.T.A.S.), en donde son analizados todos los tipos de tratamientos y procesos que existen en los flujos de agua y lodos, identificando debidamente las etapas y subprocesos presentes a lo largo de toda la P.T.A.S. creando una base de datos con todas las variables presentes. Este sistema de monitoreo busca siempre realizar un control tanto de procesos como estadísticos a todas las variables estableciendo de la manera más representativa posible indicadores de disponibilidad, rendimiento y tasa de calidad.

Se inicia este apartado realizando una breve descripción del contexto del tratamiento de aguas servidas empezando por mencionar que la cobertura en los tratamiento de aguas servidas se ha incrementado de manera sustancial desde comienzos del siglo XXI debido a la promulgación de la norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales (Ministerio secretaría general de la presidencia) alcanzando un nivel de cobertura cercano al 99,8% respecto a las aguas servidas recolectadas de la población urbana nacional.¹

En esta norma se establece las concentraciones máximas de contaminantes permitidos en los residuos líquidos descargados por las fuentes emisoras a los cuerpos de agua marinos y continentales superficiales de la república de Chile, esto con el fin de “mejorar sustancialmente la calidad ambiental de las aguas, de manera que estas mantenga o alcancen la condición de ambientes libres de contaminación, de conformidad con la

¹ [1] Tratamientos de Aguas Servidas, 2017

constitución y las leyes de la República”²

Dicho esto se procede a realizar una pequeña descripción de una planta autorizada y aprobada por el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) y aquellas autorizadas por la superintendencia de servicios sanitarios (SISS) para poblaciones igual o mayor a 2500 habitantes, debido al número de población de la ciudad de Coyhaique. En este tipo de plantas se identifica la implementación de: tratamiento primario, secundario, terciario o avanzado, desinfección, tratamiento de lodos, entre otros tal y como se presenta en la siguiente Figura-1.1.

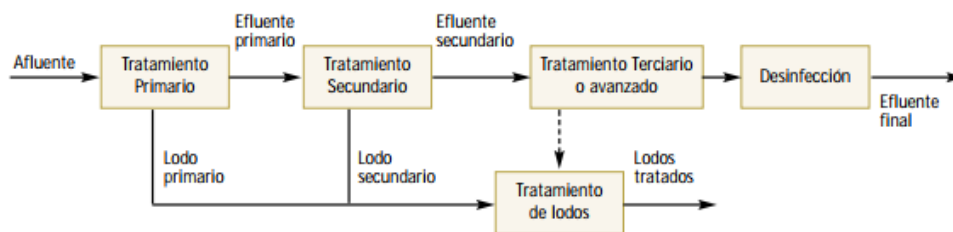


Figura 1.1: Configuración típica de una planta de aguas servidas (Barañaño, P. & Tapia, A. (2004, Julio)

En específico para la planta de tratamiento de Coyhaique (P.T.A.S) la cual es la encargada de recolectar, tratar y disponer las aguas servidas de los clientes dentro del territorio de las áreas concesionadas de la XI región de Aysén, entre estas se encuentran más de 26000 hogares los cuales representan una población superior a los 80.000 habitantes, se describirá el proceso en detalle identificando las entradas y salidas respectivas para poder realizar un análisis posterior del mismo. Debido a lo fundamental que es esta planta en el equilibrio y el cumplimiento de las normal medio ambientales impuestas por la SISS, es de vital importancia la correcta implementación y diseño del sistema de monitoreo, para mantener siempre un correcto control y cumplimiento de los objetivos generales de la empresa en todo ámbito no tan solo operacionales, ya que este sistema busca generar beneficios propios del sistema mantenimiento total como lo son cero accidentes, cero defectos y cero perdidas en la búsqueda continua por la excelencia.

² [2] D.S. N° 90

1.1. Objetivos

Objetivo Principal

- Diseñar un sistema de monitoreo para la planta de tratamiento aguas servidas Coyhaique P.T.A.S.

Objetivo Secundario

- Analizar los diferentes procesos y subprocesos presentes en la planta identificando los diagramas de flujo para las líneas de aguas y lodos. P.T.A.S.
- Establecer indicadores de disponibilidad, calidad y rendimiento adecuados para la evaluación que represente cada etapa del proceso.
- Crear una base de datos con las variables presentes en la planta tratamiento aguas servidas.

1.2. Estado del arte

Actualmente en Chile existen al menos unas 260 plantas de tratamientos de aguas servidas, las cuales prestan servicio a más de once millones de habitantes en el territorio nacional. Entre los distintos tipos de tecnologías de tratamiento presentes en Chile se destacan: “Lodos activos”, “Lagunas Aireadas”, “Emisario Submarino”, “Primario + desinfección”, “Laguna Estabilización”, entre otros.

Su distribución se comporta como se puede ver en la figura-1.2 Se puede apreciar una predominancia de un 60 % de lodos activos.

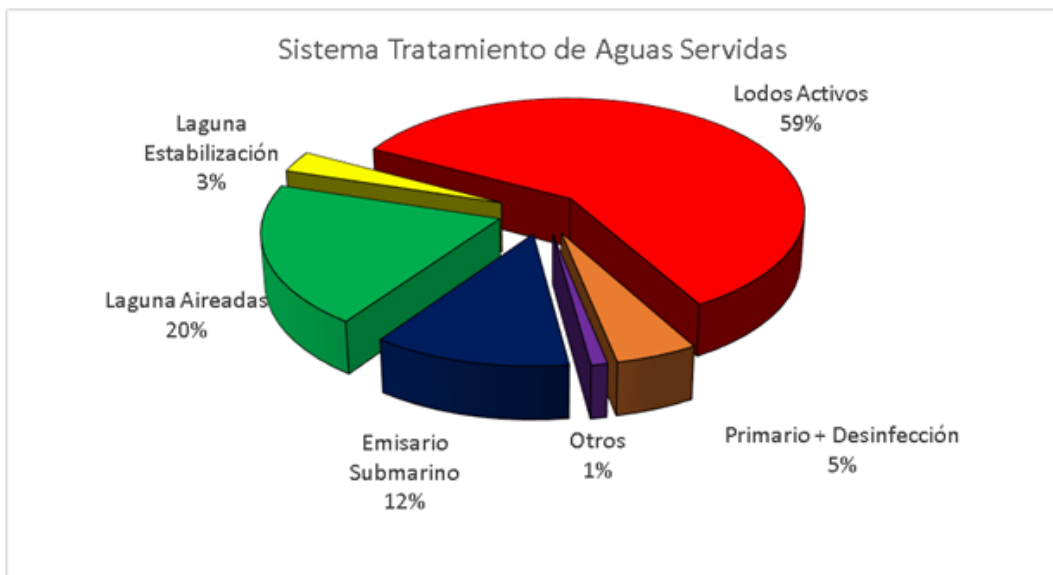


Figura 1.2: Sistema de tratamiento aguas servidas en Chile

Los tipos de tecnologías presentes en Chile se pueden clasificar en tres grupos: “Convencionales”, “No Convencionales” y “Emisarios Submarinos” en los cuales 117, 18 y 32 plantas respectivamente.

Sistemas Convencionales:

Se caracterizan por incorporar mecanización del proceso y estos a su vez se pueden distribuir en tres tipos de cultivos:

1. Cultivo Suspendido como Lodos Activados en todas sus modalidades.
2. Cultivo Fijo como Biofiltros, Biodiscos, entre otros.
3. Lagunas Aireadas

Sistemas No Convencionales:

No presentan mecanización, por este motivo para su correcta realización se debe disponer de un gran terreno.

Emisarios Submarinos:

Estos disponen las aguas servidas de las zonas saneadas en un lugar del Océano, realizando el tratamiento mediante una autodepuración natural sin producir daño al ecosistema acuático y al litoral costero.

Todos estos tipos de plantas y tecnologías tienen un objetivo en común que está combinando cada vez más importancia, cuidar el recurso hídrico. Dado que los efectos de la contaminación en el agua podrían llevar a la tierra a un punto de no retorno en cunado al cambio climático, importante es hacer conciencia que podría llegar el momento que esta se agote o que solamente se encuentre contaminada y no potable, en específico para el poblado de Coyhaique, esto cobra aún más fuerza debido a que según un informe de la OMS (Organización Mundial de la Salud) sitúa a esta ciudad como la más contaminada de América.

Capítulo 2

Marco Teórico

Actualmente en las empresas existe la necesidad de la búsqueda incansable por mejoras en todo ámbito, debido a la gran cantidad de competencia que existe en el mercado global, ya no basta con mantener un buen funcionamiento de los procesos tanto internos como externos. Sino que es necesario constantemente ir evaluando y asegurando la excelencia competitiva (Valores World Class), por ende se genera la exigencia de optimizar el rendimiento de cada elemento, unidad, equipos, subprocesos ya sean mecánicos, económicos, eléctricos, biológicos e incluso administrativos entre otros. Incorporando todos estos elementos con el fin de poder apuntar siempre a que las estrategias y decisiones se alineen con los objetivos globales de la empresa. Debido al tamaño y la automatización cada vez mayor de procesos, el mantenimiento de estos se convierte en algo fundamental para mejorar y competir como empresa líder todo ámbito ya sea costos, calidad, producción y responsabilidad. Donde en sus inicios se limitaban al mantenimiento correctivo y la reparación de errores, hasta los preventivos condicionales pasando por su análogo programado. El Mantenimiento se debe asociar a priori como el conjunto de acciones planificadas que buscan asegurar la disponibilidad y buen funcionamiento de un determinado equipo, proceso o planta, este concepto se desarrolla en el transcurso de este capítulo, donde no solo se define los principales objetivos que persigue el mantenimiento sino que también se explican los tipos de mantenimientos estableciendo el sistema de mantenimiento que se desarrolla en este trabajo.

2.1. Objetivos Mantenimiento

Es importante destacar que el mantenimiento en sí, no es un objetivo es más una herramienta la cual debe estar alineado al igual que todas las etapas y procesos de la empresa, con los requerimientos del cliente tal y como se puede representar en la figura-2.1.

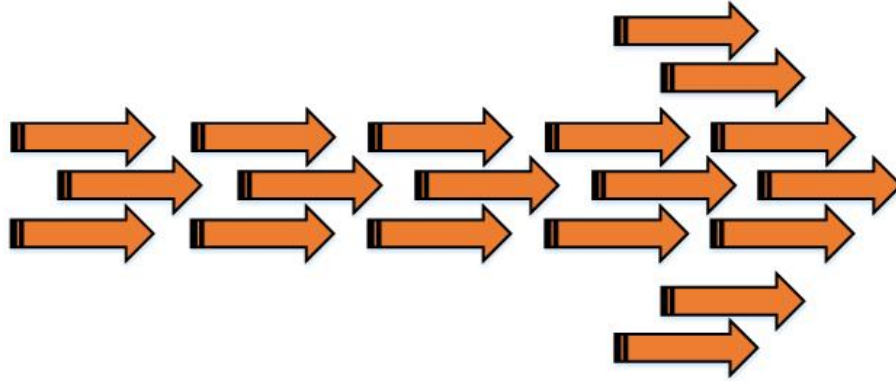


Figura 2.1: Representación alineamiento objetivo empresa

Dicho esto, se realiza a continuación una breve descripción de los objetivos principales que persigue el mantenimiento agrupados en 4 principales grupos:

Producción

Considerado generalmente como el grupo más importante de objetivos del mantenimiento, pero no el único como se verá a continuación, se caracteriza principalmente por buscar garantizar que todos los componentes necesarios para mantener una óptima producción se encuentran en buen funcionamiento, en otras palabras, se busca sostener una óptima disponibilidad conservando la confiabilidad de los sistemas, establecimientos, máquinas, equipos, entre otros.

Costos

Como es esperarse, desempeñarse dentro del presupuesto siempre es uno de los objetivos más importantes y posiblemente sea la forma de evaluación principal, donde mantenerse en el rango económico se traduce en abaratar costos, lo cual se puede asociar a aumentar la vida útil tanto de las maquinas como de las instalaciones en sí,

haciendo buen uso del inventario además de disminuir al máximo la incidencia de las fallas.

Calidad

Objetivo incuestionable, ya que sin importar el número o complejidad de las reparaciones, es esencial mantener o mejorar el nivel de calidad presente en la producción, es decir, ajustar cualquier tipo de anomalía que pueda mermar la calidad del producto producido, para siempre asegurar que como mínimo se cumplen con los requerimientos tanto del cliente como propios de la empresa.

Responsabilidad

Este último enfoque tienes varios subgrupos interesantes en donde destacan el personal y el entorno de la empresa. Para el primer subgrupo los objetivos más buscados son mantener correctamente las protecciones de seguridad en las instalaciones y/o máquinas para evitar accidentes, además de capacitar al personal sobre la forma correcta de proceder para evitar eventos que afecten la seguridad y asegurar que los equipos funcionen de forma adecuada, y como último punto del subgrupo “Personal” es involucrar al personal en las mejoras y la implementación de un sistema de mantenimiento T.P.M. Ahora bien pasando segundo subgrupo, es decir, “Entorno de la empresa” destaca la necesidad de sostener las medidas de seguridad y protección de los equipos que puedan producir algún tipo de filtración, emanación y/o derrame de algún agente contaminante. Estos objetivos se pueden ver representados de mejor manera en la siguiente figura adjunta.

2.2. Tipos de Mantenimiento

Mantenimiento Correctivo

Se inicia las descripciones de los tipos de mantenimiento por el más antiguo y lamentablemente aún muy utilizado como mejor opción, es decir, Mantenimiento Correctivo. Para poder diferenciar este tipo de mantenimiento, es conveniente vincularlo con la reparación de las fallas o averías una vez que éstas ya se presentan, se caracteriza por no necesitar un gran levantamiento de información o estudios previos de identificación, debido a que en la mayoría de los casos son los mismo operarios que las identifican

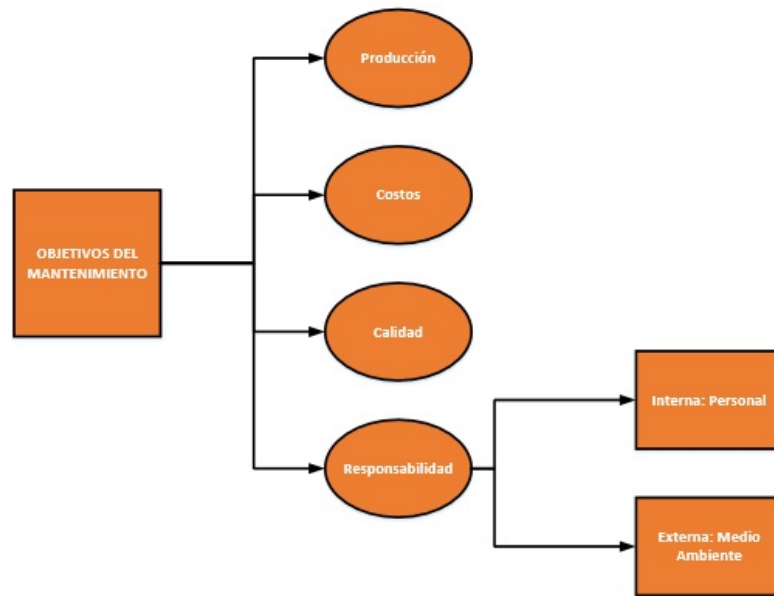


Figura 2.2: Representación objetivos mantenimiento (Elaboración propia)

por algún comportamiento anormal en el equipo y/o un subsistema, como lo pueden ser ruidos excesivos, corte de alguna pieza o en los casos más críticos la detención de un equipo y/o proceso. En otras palabras el usuario identifica algún tipo de desperfecto cuando ya se está haciendo uso del equipo, esto puede ser en la puesta en marcha o en otros casos en medio de su tarea productiva, lo cual como es de esperarse el inconveniente primordial.

Generalmente en este tipo de mantenimiento se realiza el siguiente proceder al momento en que el operario de la máquina identifica la falla. Si la falla es de orden menor se asegura el equipo luego el mismo operador la repara, si este no es el caso, es decir, el tipo de falla tiene cierto grado de complejidad, el operador da aviso al personal especializado y/o capacitado. ¿Qué características principales se extraen de este tipo de situaciones? Lo más destacado viene dado por el ámbito negativo, ya que, las acciones sin planificación del mantenimiento correctivo presionan a estar obligado a sobredimensionar la cantidad y/o calidad del personal de mantenimiento, ya que si esto no se realiza de buena manera lo más probable es que se caiga en una solución de tipo parche o superficial donde se cura el síntoma y no la causa real de la falla, lo que a larga desencadena los fallos crónicos y los sistemas con baja confiabilidad. Otro problema en el que se puede caer es sobredimensionar la necesidad de equipos, por ejemplo la compra de algún equipo extra para instalar en stand-by, lo que en algunos casos puede llegar

a ser injustificado, si se realiza análisis correcto al momento de la elección del tipo de mantenimiento.

Si es posible, se puede destacar positivamente el hecho de no necesitar un alto nivel de organización ni planeamiento para llevarse a cabo, aunque volviendo a las características negativas, el nivel de incertidumbre que existe en la aparición de los eventos, incrementa el riesgo y criticidad de los equipos entre otras cosas:

- Pérdidas con respecto a la elaboración; cantidad y/o calidad debido a la discontinuidad en los flujos logísticos y productivos.
- Nivel de capital de trabajo inmovilizado
- Gastos o Presupuesto de mantenimiento
- Riesgo de accidentes

Con el propósito de mostrar de mejor manera como se verá afectado el ciclo de vida al aplicar un mantenimiento correctivo, donde se puede apreciar la degradación del material y la incertidumbre del siguiente evento.

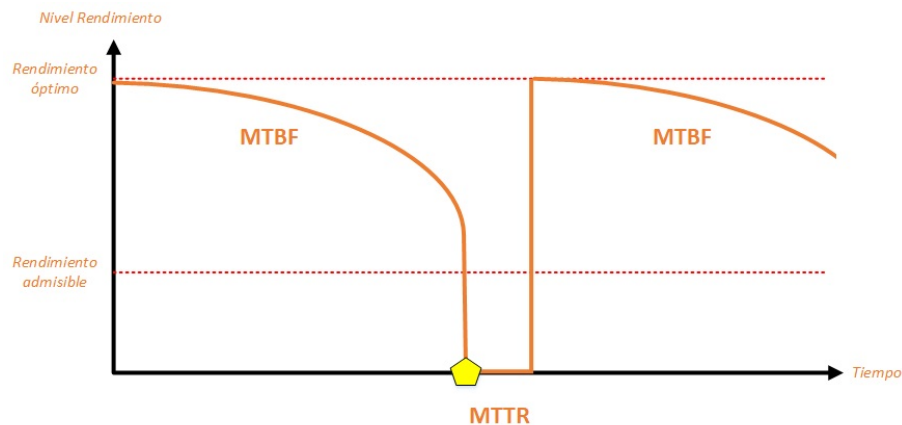


Figura 2.3: Perfil rendimiento de un activo al cual se le aplica una política de mantenimiento correctivo

La figura-2.3 representa el perfil del rendimiento de un activo determinado, en función del tiempo transcurrido, en esta es posible apreciar claramente los inconvenientes de este tipo de mantenimiento, en un instante dado (momento de la falla) el rendimiento del equipo transgrede el límite inferior estipulado como el rendimiento admisible, es decir, ya no cumple con los requerimientos del proceso, en el momento que el funcionamiento se hace insostenible se realiza la intervención. Pero ya fuera de los límites aceptables de rendimiento, es decir, entre óptimo y admisible. Como consecuencia

siempre se ve afectada la calidad del producto, ya sea durante ese proceso, aguas arriba o abajo, además se puede apreciar las grandes diferencias al comparar esta grafica con la figura correspondiente al mantenimiento preventivo.

Mantenimiento Preventivo

Es aquel tipo de mantenimiento que se efectúa previo a la manifestación física de una falla o avería, es decir, se caracteriza por su intervención, ya sea esta una reparación o reemplazo de algún componente de manera periódica, teniendo especial consideración en que el patrón de fallas que rige su conducta posee un ciclo de vida útil ya estudiado.

El mantenimiento preventivo .^{es} la ejecución planificada de un sistema de inspecciones periódicas, cíclicas y programadas y de un servicio de trabajos de mantenimiento previsto como necesario, para aplicar a todas las instalaciones, máquinas o equipos, con el fin de disminuir los casos de emergencias y permitir un mayor tiempo de operación en forma continua.”¹

Como se puede extraer de esta definición la excelencia de los resultados al aplicar este tipo de mantenimiento se encuentra fuertemente vinculada al nivel y el alcance de los servicios de inspección. Si bien los objetivos de este tipo de mantenimiento, se asemejan a los propuestos por su análogo correctivo como incrementar la disponibilidad de todos los equipos se diferencian mucho en el trayecto que se utiliza para llegar, a continuación de enumeran los principales objetivos del tipo de Mantenimiento Preventivo.

- Disminuir la cantidad e incidencias de las averías imprevistas de los equipos y al mismo tiempo las tareas o eventos no programados.
- Asegurar de la mejor forma posible, como prioridad la seguridad del personal e instalaciones de producción y mantenimiento.
- Reducción en gastos por concepto de mantenimiento, planificando con el personal, maquinaria y/o materiales apropiados
- Minimizar todo efecto ambiental adverso optimizando de la mejor forma posible la planificación de tareas.
- Mejorar o como mínimo mantener la calidad de productos y servicios.

¹ [3] Mantenimiento su implementación y su gestión

- Aumentar el aprovechamiento del personal de mantenimiento

Con el propósito de eliminar o minimizar lo más posible la incertidumbre en el desempeño de los equipos se busca entregar al equipo de mantenimiento una organización detrás en donde basarse, es decir, un sistema con el cual ellos sean capaces de identificar, aislar y reparar el origen de las averías, en donde se posea un fuerte y penetrado convencimiento de la prevención como política de gestión.

De manera análoga, se presenta el ciclo de vida de un activo al estar bajo un sistema de mantenimiento preventivo, donde destacan la necesidad y la importancia de los controles e inspecciones en búsqueda de los fallos.

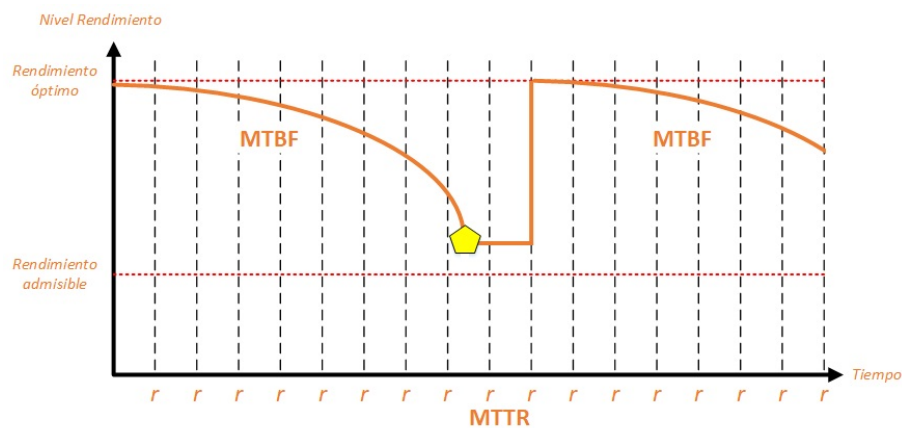


Figura 2.4: Perfil rendimiento de un activo al cual se le aplica una política de mantenimiento preventivo

De manera análoga a la figura anterior, aquí se ve representada la ley de degradación para un activo en función de su rendimiento y el tiempo del mismo. En La figura-2.4 es posible apreciar como columnas paralelas y distanciadas por un tiempo “t” a las revisiones periódicas “r” correspondientes al mantenimiento preventivo. Además de esto se destaca como hito fundamental representado con un rombo el momento en donde se realiza la intervención, este punto busca aumentar por la mayor cantidad de tiempo el rendimiento cercano al establecido de manera óptima, estando siempre sobre el límite de rendimiento admisible.

En este punto es importante la clasificación que se realiza a los tipos de mantenimiento preventivo tal como se puede ver la figura-2.5, en dos tipos:

- Mantenimiento Preventivo Sistemático
- Mantenimiento Preventivo Condicional /Predictivo

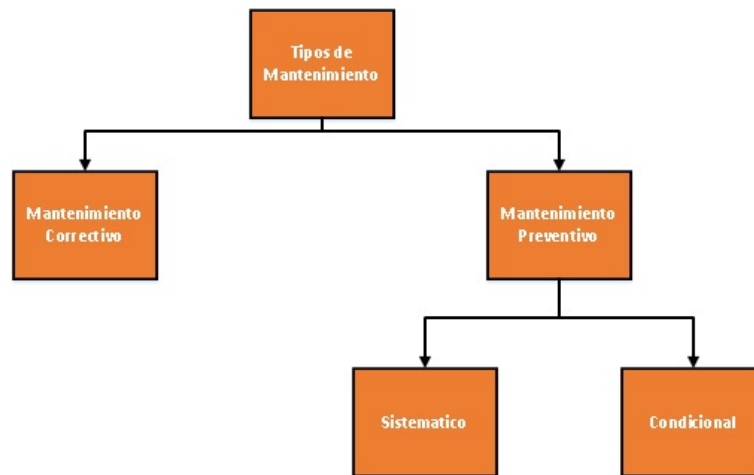


Figura 2.5: Perfil rendimiento de un activo al cual se le aplica una política de mantenimiento preventivo

Mantenimiento Preventivo Sistemático

Es aquel que se ejecuta fundamentado en un sistema previamente definido con respecto a un espectro contante el cual puede ser ingresado en horas, ciclos, unidades de producción, entre otros. Su principal característica es el hecho que el mantenimiento se ejecuta sin importa el estado real del activo al momento de la intervención, más que centrarse en el equipo en sí, se podría decir que es mas importante el cumplimiento del parámetro o rango previamente establecido. Además de esto es importante mencionar que siempre es necesario acreditar el beneficio económico para la elección de este tipo de mantenimiento.

Mantenimiento Preventivo Condional Predictivo

Para facilitar la diferenciación entre los dos tipos de mantenimientos preventivos, resulta beneficioso presentar el siguiente caso de interés: Usted pertenece a un equipo de trabajo, el cual tiene como objetivo de mantenimiento asegurar la tensión de una correa, cuyo desempeño es un factor primordial para el proceso productivo. Inicialmente se planifica un mantenimiento preventivo del tipo sistemático definido por ejemplo cada 2 meses, 10.000 ciclos, etc. Se puede pensar que la efectividad de la planificación nunca se verá perturbado por estar previamente establecida sobre un parámetro

constante, sin embargo, hay factores no consideradas en cada ciclo, como lo pueden ser, humedad, tensión superficial, temperatura, lubricación, turnos, entre otros. Todas estas inconstancias no están siendo integradas en la planificación de los mantenimientos y como se puede interpretar esto ira mermando la tensión de la correa (Objetivo principal). Ahora bien, posicóñese en el siguiente escenario donde se emplea un mantenimiento preventivo condicional, basado en ensayos de tensión realizados periódicamente, por ejemplo cada semana, y en función de ese resultado del grado de desgaste se procederá a la tensar la correa solo cuando esta deba ser intervenida.

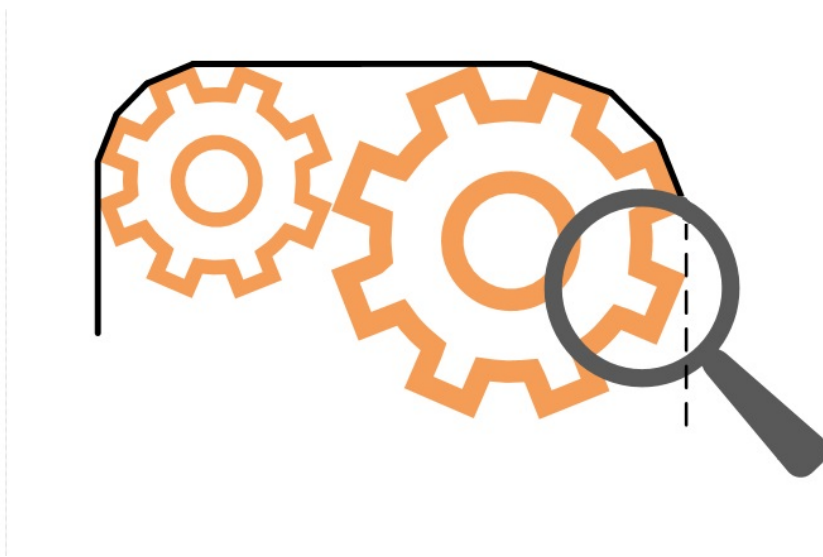


Figura 2.6: Situación de inspección correa

La idea de este pequeño ejemplo, se puede sintetizar en la siguiente cita, “Propone que es posible detectar síntomas prematuros de desperfectos o desajustes algún tiempo antes de que se produzca una detención no deseada. Se presume que ciertos componentes “avisar” antes de llegar a la falla operacional (funcional)”²

Continuando, se debe tener especial cuidado en interpretar las señales que los componentes o equipos para identificar el estado momentáneo en su curva de rendimiento y poder monitorear su desempeño, siempre con el propósito de la anticipación de las fallas potenciales. Esto último se logra solo si existe un estudio de la curva de desempeño el cual permita asociar la evolución de determinados factores y asociarlos directamente a la manifestación de fallos. Finalmente es posible deducir el momento en que se aproxime la manifestación del siguiente desperfecto y poder evitarlo efectuando una

² [4] Manual del mantenimiento , Ingeniería Gestión y organización

intervención pertinente.

A continuación, son presentados los ensayos de mantenimiento predictivos empleados habitualmente, no sin antes mencionar la importancia que todos estos ensayos buscan evaluar el estado del activo procurando siempre no perturbar el normal funcionamiento de la planta o proceso, evitando a toda costa una detención del equipo y/o planta para ser llevadas a cabo:

- Análisis de vibraciones (permanentes o periódicas)
- Termografía infrarroja
- Análisis de partículas de desgaste
- Alineado de precisión y dispositivos de balanceo
- Inspección por ultrasonido
- Monitoreo de motores eléctricos y análisis de las condiciones

Es importante mencionar que este tipo de mantenimiento es el cual se busca aplicar a lo largo de todo el resto del proyecto debido a las ventajas ya descritas y como se indica en el objetivo principal “Diseñar un sistema de monitoreo para la planta de tratamiento aguas servidas Coyhaique P.T.A.S.” este sistema se basa en el ingreso de mediciones para evaluar en todo momento el estado de cada uno de los procesos y etapas, complementando esto con una general para la planta, interpretando estos resultados para organizar posibles mejoras o intervenciones, lo cual se describe en capítulos posteriores. Se busca englobar lo anteriormente descrito como meta con la siguiente frase.

“Significa la introducción de la inspección sistemática como función esencial. No solo de la maquinaria y equipos en general si no de los órganos precisos de dichos equipos en una forma individualizada con sus características especiales y su vida propia”³

³ [5] Gestión de Mantenimiento I

2.3. Sistema de mantenimiento, TPM Mantenimiento total productivo

El mantenimiento productivo total (T.P.M.) es un tipo de sistema de mantenimiento industrial originado en Japón, inicialmente en la industria automotriz el cual entre sus componentes principales características está incluir los conceptos del mantenimiento preventivo y las actividades de verificación y control parcial de forma planificada, según los resultados de estos exámenes se van efectuando las acciones necesarias, sean estos; cambios, lubricaciones, alineamientos, etc. (Todo siempre antes que se concreten las fallas)

Esta planificación periódica de las verificaciones necesita como es de esperarse, hacer uso de las recomendaciones técnicas descritas por la fábrica combinando esta información con la inclusión de los históricos de averías de los equipos y los conocimientos de los operarios relacionado con mejoras incrementales.

“TPM, tiene como acción principal cuidar y explotar los sistemas y proceso básicos productivos, manteniéndolos en su estado de referencia y aplicando sobre ellos la mejora continua”⁴

Según información del JIPM (Japan Institute of Plan Maintenance) se define T.P.M. como un sistema orientado a lograr:

La reducción de fallas, no conformidades, tiempos de cambio, Actividades de orden y limpieza. Actividades en las que se involucra al personal de producción, con el propósito de aumentar las probabilidades de mantenimiento del entorno limpio y ordenado, como requisitos previos de la eficiencia del sistema. Además, TPM se le caracteriza por su búsqueda incansable de:

- Cero Accidentes e incidentes
- Cero Defectos
- Cero Perdidas

“Un conjunto de actividades para llevar un equipo a sus condiciones óptimas y cambiar el entorno de trabajo para, mantener dichas condiciones”⁵ Siempre maximizando la efectividad total de los sistemas productivos, haciendo especial uso de excluyendo las perdidas con la incorporación de todos los empleados de manera transversal incluyendo

⁴ [6] Gestión de Mantenimiento I

⁵ [7] TPM para mandos intermedios de fábrica.

al personal de producción capacitado. Lo cual puede ser representado por la siguiente figura.

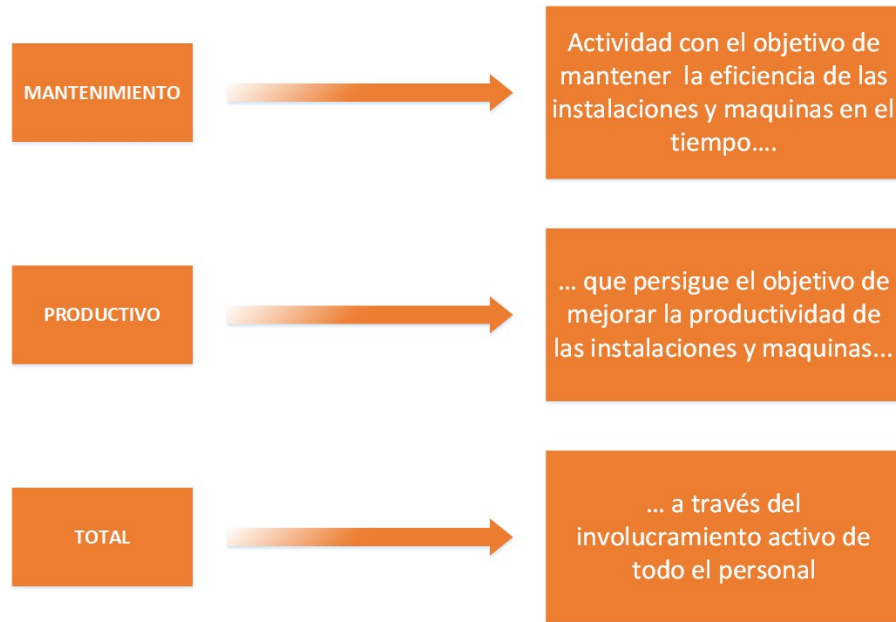


Figura 2.7: Mantenimiento Productivo Total

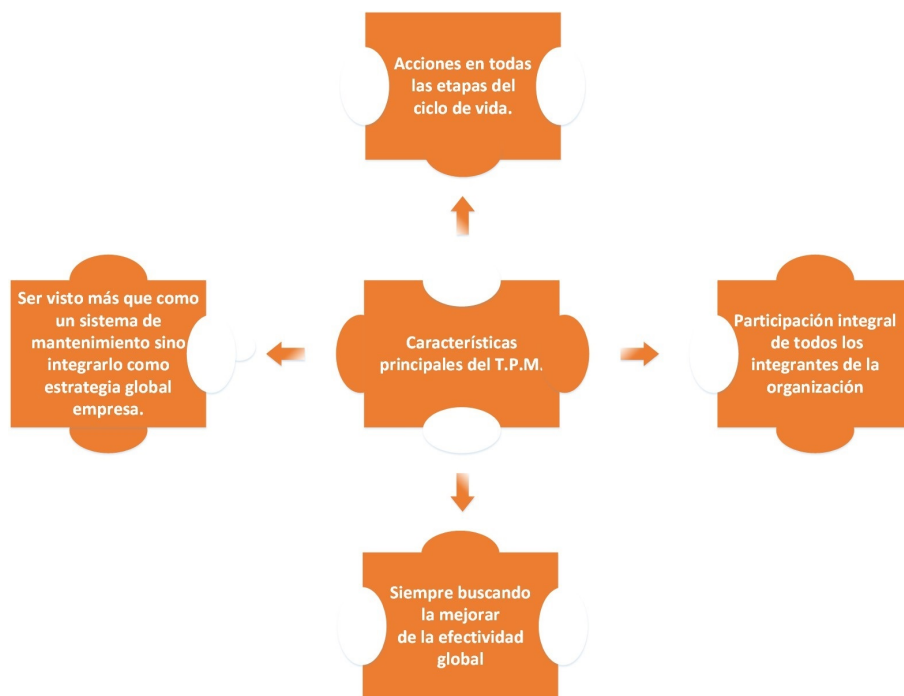


Figura 2.8: Características principales T.P.M.

Como se puede ver en la figura anterior este sistema no tan solo interviene a los equipos o maquinarias, sino que es una transformación completa, debido a esto se esperan beneficios en múltiples áreas de influencia. TPM se distribuye en la aseguración de las entregas a tiempo, disminución de los costos, mayor seguridad, mejor ambiente de trabajo motivacionalmente y mayor participación de todo el perteneciente a la empresa.

Pilares del TPM

Para poder comprender de mejor manera el significado de lo que representa el TPM, corresponde realizar una breve descripción de sus pilares.

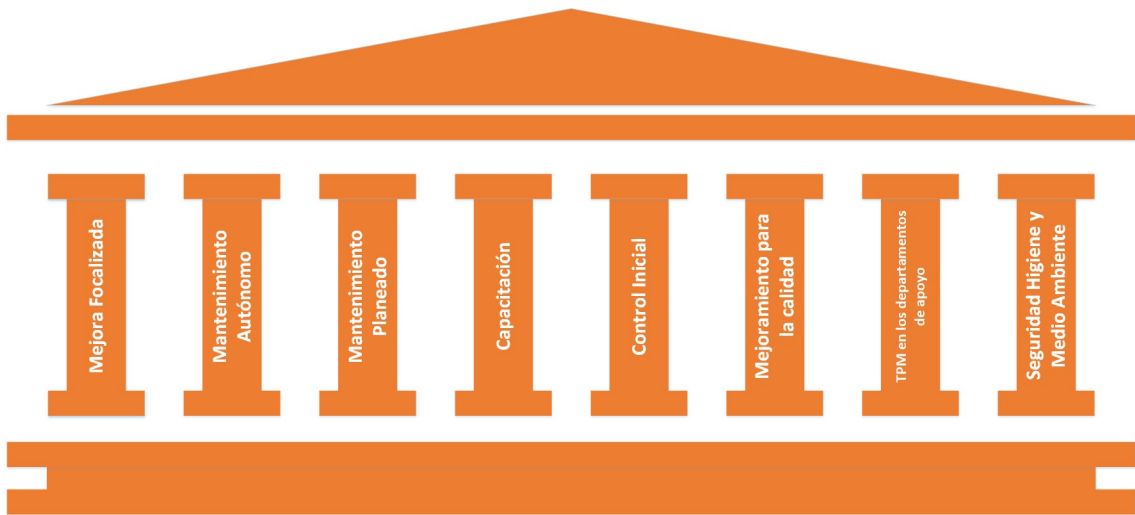


Figura 2.9: Pilares del Sistema TPM

1. Mejora Focalizada: Eliminar pérdidas originadas a lo largo de todo el proceso productivo, siempre tratando de identificar hasta su expresión mínima la falla.
2. Mantenimiento Autónomo: Implementar el concepto del operador mantenedor, para así prolongar la vida útil del equipo de la mano de la persona que más cercano se encuentra a ella. Todo esto impulsado por el hecho que nadie reconoce de forma más apropiada posible falla o comportamiento anómalo de un equipo.
3. Mantenimiento planeado: Con la idea del operador mantenedor siempre presente, se busca potenciar la efectividad de este añadiendo tareas planificadas con el uso de figuras, flechas y/o colores para aumentar la eficiencia del trabajo del mecánico cuando sea necesario, “Directo a la reparación de la falla”

4. Capacitación: Complemento del punto anterior, además de intentar excluir la externalización, buscando antes la preparación y especialización del personal de la empresa.
5. Control inicial: Aplicable cuando ya está implantado TPM y se adquieren equipos o nuevo personal.
6. Mejoramiento para la calidad: Cero defectos gracias a la búsqueda incesante de la mejora continua.
7. TPM en los departamentos de apoyo: Al ser más que solo un plan de mantenimiento se busca una disminución de las pérdidas de manera transversal en la empresa a todos los niveles organizacionales, como lo pueden ser; finanzas, recursos humanos, administración, distribución, entre otros.
8. Seguridad Higiene y medio ambiente: Análogo al punto anterior se pretende generar un ambiente de trabajo con cero accidentes (Seguro para todos), además de ser lo más organizado y limpio posible.

Principales Pérdidas TPM

Como complemento necesario para el desarrollo óptimo de TPM es necesario indicar que se hace uso de la mejora continua, ya que este tipo de sistema trabaja identificando en un principio 8 tipos principales de pérdidas o defectos los cuales merman la operación, a continuación se enumeran y describen cada una de estos:

1. Paradas programadas: Aunque se identifique como programadas, se califican este tipo de paradas como pérdidas para poder dar margen siempre a la mejora, buscando siempre disminuir las paradas(de todo tipo) para así reducir las pérdidas, por ejemplo distribuyendo de mejor manera los monitores o búsqueda de fallos sin interrumpir el flujo de producción.
2. Ajuste de producción; Se clasifican aquí todas aquellas circunstancias donde es necesario ajustar el funcionamiento normal en el flujo productivo, causado generalmente por alguna diferencia en la calidad o propiedad de las materias primas, falta de herramientas, problemas en la mano de obra, incógnita en mediciones, obstáculos medio ambientales, entre otros. Se considera perdida por que al ser una condición no planificado genera una sobre demanda de algún bien, o aumento de stock, algunos contratiempos en la toma de decisiones, etc.

3. Falla de equipos; quizás la más evidente, se identifica cuando algún equipo presenta anomalías obligando la detención total o parcial del proceso, según el plan de producción mermando la calidad programada inicialmente. Este tipo de falla se vincula fuertemente con la eficiencia del mantenimiento.
4. Falla de procesos: Características similares a la pérdida anterior, pero esta tiene directa relación con algún agente externo que genera desajustes en el desarrollo de los procesos adecuados, ocasionando ineficiencias operacionales. Vinculado con mantenimiento y operación.
5. Producción normal: Contemplando generalmente como algo inherente a los activos, en este tipo de pérdidas se encuentran todas aquellas situaciones producidas en el transcurso hacia los funcionamientos normales de la producción, estos pueden ser puesta en marcha y/o detención. Esencial es valorar esta fase como una pérdida eliminable ya que cualquier progreso podría terminar siendo significativa para el proceso global.
6. Producción anormal: Considérese como todas las situaciones donde no se alcanza el rendimiento esperado, es decir, cada vez que el volumen de producción por unidad de tiempo está bajo sus definiciones de diseño. Aquí es fundamental el trabajo los equipos lo más cercano a su punto de operación óptimo posible.
7. Defectos de calidad: Se origina con todo tipo de diferencia en las especificaciones de calidad establecidas inicialmente por la organización. En otras palabras todos los gastos que genera el fabricar defectos.
8. Reproceso de material: vinculado con la pérdida anteriormente descrita, se todo los inconvenientes producidos por el hecho de necesitar un reproceso como lo pueden ser las materias primas, horas hombre, ciclo de trabajo, etc.

Si es posible identificar cada uno de estos tipos de pérdidas, es posible utilizarlas como un camino vía hacia un problema real y más significativo a la hora de realizar mejoras sustanciales en un proceso, ¿qué quiere decir esto? Se procede de la siguiente forma; Inicialmente se identifican los síntomas, posteriormente se analizan y se utilizan como trayecto a las verdaderas enfermedades del proceso, como se puede ver en la Figura-2.10.

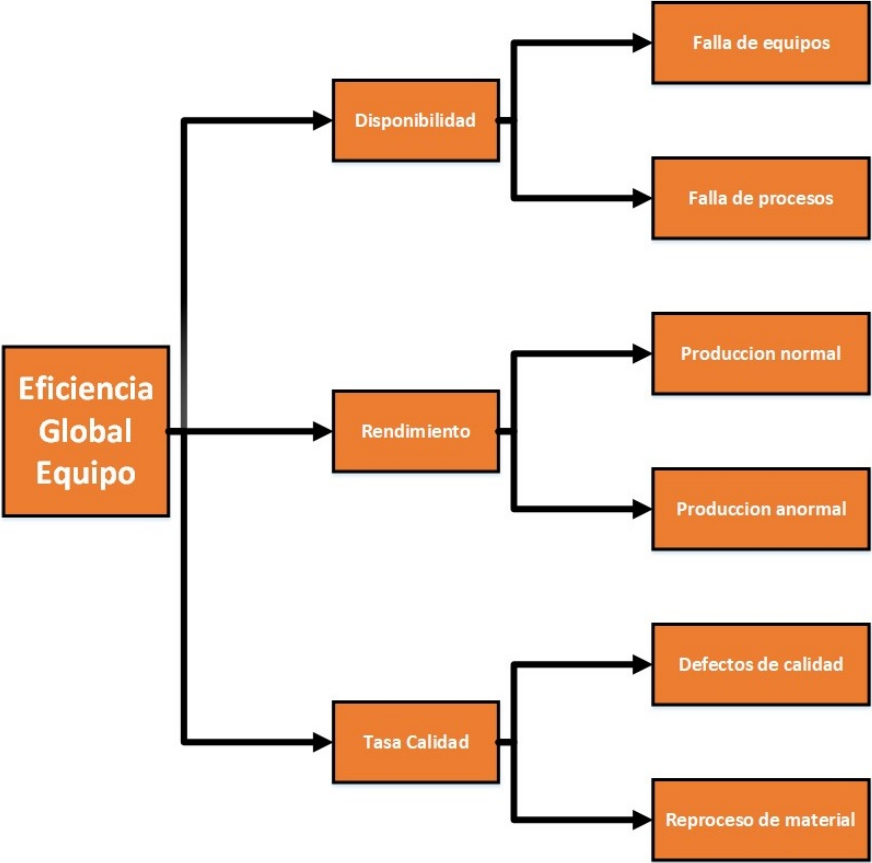


Figura 2.10: Perdidas Principales TPM

En primera instancia es importante establecer que se clasifican cada uno de estos tipos de pérdidas en grupos que denoten el mismo tipo de enfermedad que tratar. A continuación los grupos se van definiendo y asociando a sus pérdidas correspondientes:

- Disponibilidad para la tercera y cuarta falla siendo estas, "Falla de equipos" "Falla de procesos".
- Rendimiento será asociado para quinta y sexta, "Producción normal" "Producción anormal" respectivamente
- Índice de calidad se relaciona con la séptima y octava pérdida que en este caso son: "Defectos de calidad" "Reproceso de material".

¿Cómo traducir esta información, dándole sentido para un caso práctico? ¿Qué hacer con esta información? ¿Cómo monitorear el correcto desarrollo de esta metodología?

Todas estas preguntas encuentran respuesta en el tercer capítulo, pero como preludeo, desde este punto en adelante, se asocia el objetivo principal del trabajo con la disminución o eliminación, según sea correspondiente de cualquiera de estos 8 tipos de pérdidas del sistema TPM o más importante aún, haciendo uso de las asociaciones expuestas en Figura-2.10, el aumento de la disponibilidad, rendimiento e índice de calidad.

Capítulo 3

Planta Tratamiento

3.1. Descripción general del proceso

El proceso en estudio se considera desde afluente de planta, hasta los efluentes de lodos y agua tratada. La Figura-3.1 muestra un diagrama de flujo de la planta de tratamiento aguas servidas P.T.A.S Coyhaique, representando los afluentes y efluentes de ambas líneas de procesos de agua y lodos.

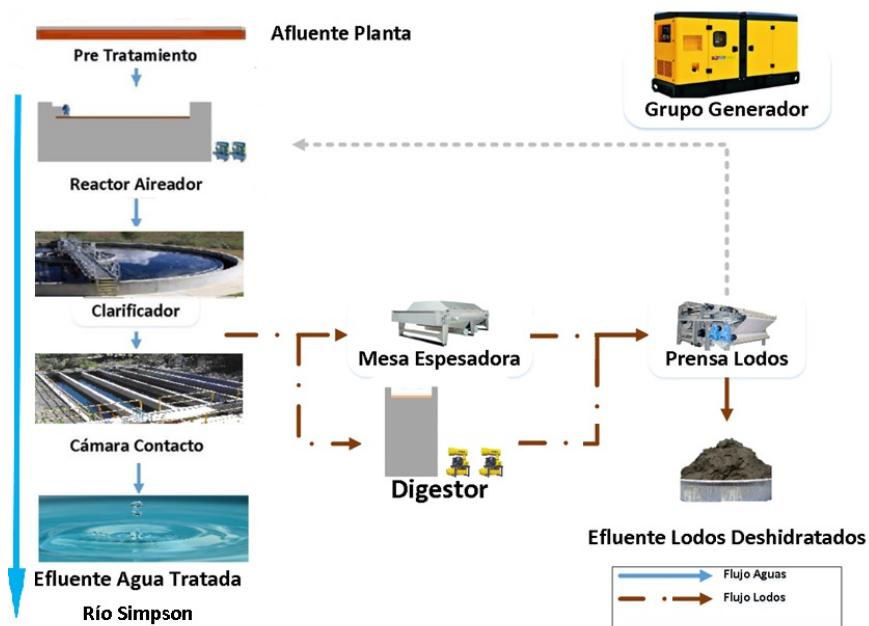


Figura 3.1: Diagrama flujo planta tratamiento aguas servidas

Apoyándose en la Figura-3.1 se procede a realizar una descripción más detallada de los subproceso, dividiendo este en dos líneas de flujo, una para el flujo de aguas representado por las línea continua y flujo de fangos representado por la línea puntuada.

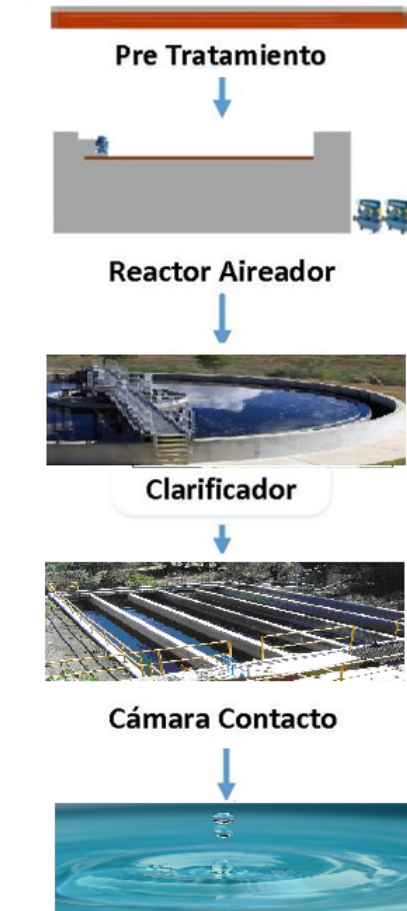


Figura 3.2: Diagrama flujo línea de aguas planta tratamiento aguas servidas

Como se puede apreciar en Figura-3.2 para la línea de agua, este flujo comienza su trayecto pasando por la etapa de pre tratamiento, en donde además de realizar una breve medición de las condiciones iniciales de flujo a tratar se busca eliminar cualquier tipo de elementos que pueda entorpecer alguna de las etapas siguientes, en específico lo que más se busca remover son los sólidos gruesos, la arena, ramas, hojas, entre otros, luego de esto el flujo pasa directamente al Reactor Aireador cuyo objetivo principal al igual que el proceso anterior es la remoción de partículas, pero durante esta etapa se

busca atacar la materia orgánica disuelta, la cual se trabaja con la fracción soluble de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), la principal característica de este proceso es ser realizado en un estanque ovalado con una hélice ubicada de forma transversal con el objetivo de entregar aireación y circulación, luego de este proceso el flujo hace ingreso al Clarificador, en este se lleva a cabo la división del flujo de agua y de lodos. El flujo superior es separado y enviado por medio de canales al proceso de Cámara Contacto, en donde el objetivo es remover organismos patógenos. Generalmente se utiliza como indicador el número de coliformes fecales por 100 ml, al igual que en el 76 % de las PTAS de Chile se utiliza una tecnología de cloración con el uso de gas cloro (PTAS de localidades con más de 40,000 habitantes). En la figura-3.3 se ve representado el proceso de línea de fangos, la cual tiene origen en la etapa de clarificación visto anteriormente que corresponde a un tipo de decantación de la línea de agua.



Figura 3.3: Diagrama flujo línea de lodos Planta Tratamiento Aguas servidas (Elaboración propia)

Durante el paso por la mesa espesadora se busca deshidratar el lodo incorporando una mezcla pre tratada de polímeros para aumentar el caudal procesado en este proceso y las etapas posteriores. Luego de salir por este subproceso se procede a iniciar el proceso de estabilización, el cual se lleva a cabo en el digestor. En esta planta la estabilización es del tipo aeróbica, es decir, con incorporación de aire. Luego de ser estabilizado se busca una deshidratación final del lodo la cual se lleva a cabo en la última etapa para la línea de lodos prensa de lodos.

3.2. Descripción por subproceso e identificación de las máquinas

En este apartado del capítulo se realiza una breve descripción de cada subproceso, identificando los equipos presentes y la configuración en que están dispuestos. Previo a la etapa de pre tratamiento, se encuentra el primer punto de sondeo, donde se determinan las siguientes variables;

- Caudal • pH • Temperatura

Esto se realiza con un Medidor ultrasónico GLI Modelo 53 presentado en la Figura-2.6:



Figura 3.4: Medidor ultrasónico

Posterior a este sensor se da comienzo a las etapas de la planta.

Pre tratamiento (PT)

El pre tratamiento es la primera etapa de toda la planta, la entrada proceso se conforma de la agrupación de todas las aguas lluvias, desagües y canaletas de Coyhaique. Se presenta este subproceso con la siguiente Figura-3.5



Figura 3.5: Diagrama Pre tratamiento(Elaboración propia)

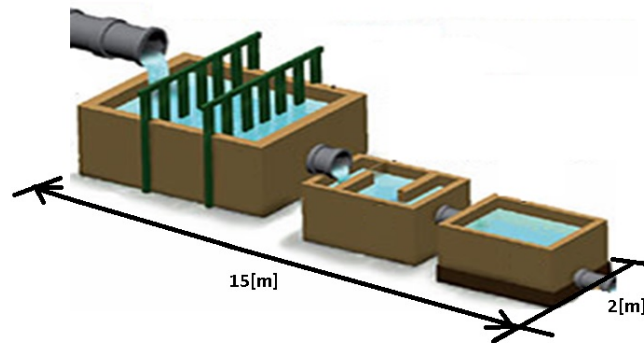


Figura 3.6: Esquema Pre Tratamiento

Tal y como se puede apreciar en la imagen existe una sola entrada y salida de este proceso, es decir, esta etapa se realiza en un flujo continuo según lo requiera el flujo de ingreso a la planta. Además de esto se pueden apreciar dos grupos de máquinas un conjunto Desarenador/Tornillo de retiro y una rejilla fina. El principal objetivo de esta etapa es retener los sólidos en suspensión presentes en el flujo; palos, piedras, arena, trapos, bolsas, entre otros. Al finalizar este proceso el efluente toma el nombre de "agua cruda".

Equipos de esta etapa(PT):

- Desarenador
- Tornillo
- Rejilla Fina

Reactor Aireador (RA)

El objetivo de este subproceso es entregar a las bacterias o microorganismos las condiciones de pH, oxígeno y temperatura adecuadas para que estas puedan proliferar facilitando una digestión más efectiva.

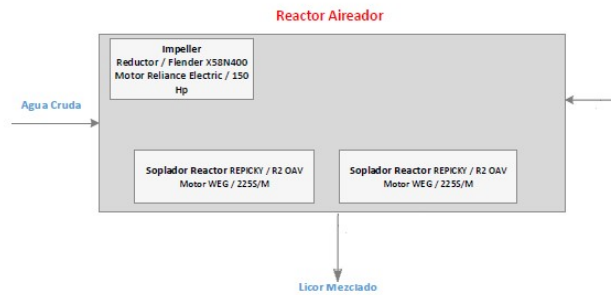


Figura 3.7: Diagrama Reactor Aireador(Elaboración propia)

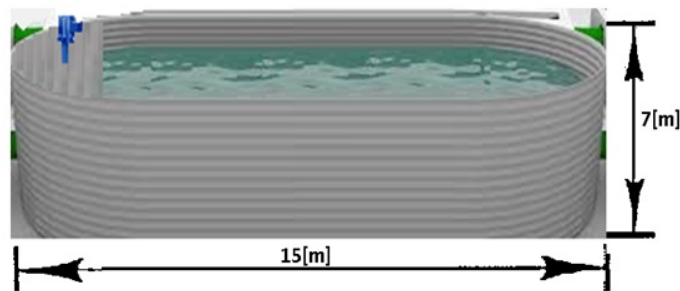


Figura 3.8: Esquema Reactor Aireador

Este proceso se realiza como se puede ver en la Figura-3.7, en un estanque de $7 \times 12[m]$ en donde se realiza la aireación mediante el uso de una hélice que cuenta con un motor de $150[hp]$ la cual genera un efecto de remolino, buscando siempre que las partes profundas del estanque se desplacen hacia la superficie para que reciban el oxígeno necesario. El flujo de salida de este proceso lleva el nombre de "licor mezclado". Índice óptimo de oxígeno disuelto = $2,0[mg/l]$

Equipos de esta etapa(RA):

- Impeller
- Soplador Reactor I
- Soplador Reactor II

Clarificador (CL)

En esta etapa se hace efectiva la separación del flujo en esta fase del proceso en la línea de lodos y la línea de agua (Agua clarificada), mediante una máquina llamada Clarifier la cual va girando y aislando el exceso de lodos superficial de grasa, es posible verla representado en Figura-3.9

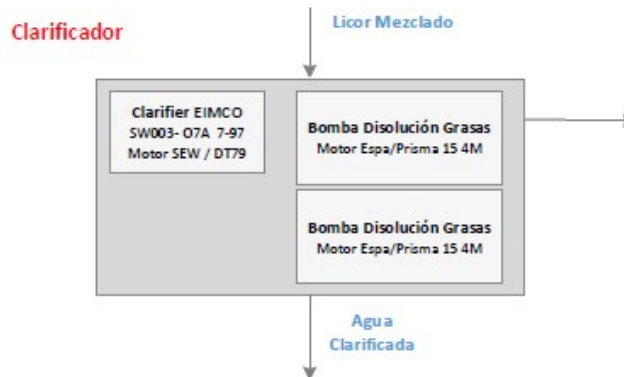


Figura 3.9: Diagrama Clarificador(Elaboración propia)



Figura 3.10: Esquema Clarificador

Equipos de esta etapa(CL):

- Clarifier
- Bomba Disolución Grasas I
- Bomba Disolución Grasas II

Cámara contacto (CC)

Este es el último subproceso para la línea de aguas, en el existe un laberinto en donde el flujo de agua procedente del clarificador fluye a través de un laberinto mientras se le inyecta el cloro haciendo uso de las bombas de apoyo cloración hasta que el efluente que se descarga hacia el Río Simpson, que se presenta en Figura-3.11

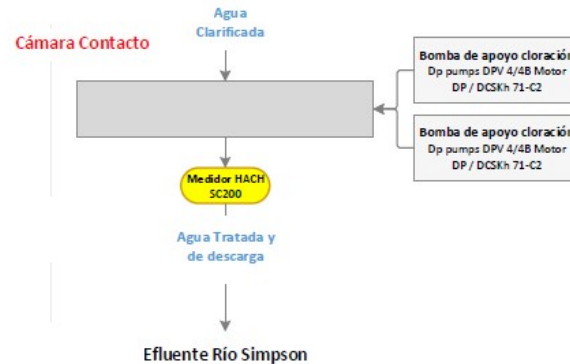


Figura 3.11: Diagrama Cámara contacto(Elaboración propia)



Figura 3.12: Esquema Cámara Contacto

Antes de ser depositada el agua final en el Río Simpson se realiza otra medición de los valores iniciales: Caudal, pH y Temperatura.

Equipos de esta etapa(CC):

- Bomba de apoyo cloración I
- Bomba de apoyo cloración II
- Medidor ultrasónico

Pasando ahora a la descripción del flujos de lodos

Mesa espesadora (ME)

Este proceso comienza con la preparación del polímero haciendo uso de la hélice agitadora de polímero, el cual se mezcla con los lodos provenientes desde el clarificador en la bomba centrífuga para poder aumentar el caudal ingresado en la Mesa espesadora, posterior a ser procesado el producto se envía a la siguiente etapa haciendo uso de la bomba de tornillo excéntrico deshidratante. Todos estos equipos están configurados según la Figura-3.13

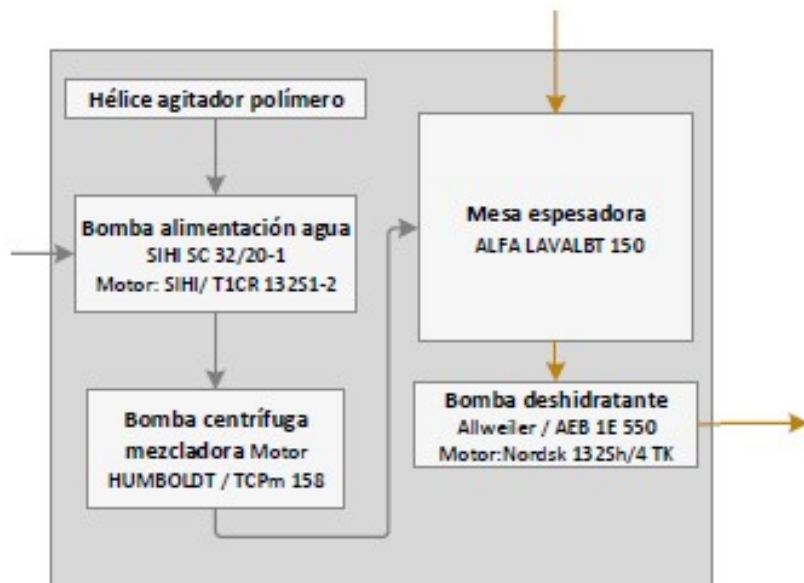


Figura 3.13: Diagrama Mesa espesadora(Elaboración propia)

Equipos de esta etapa(ME):

- Hélice preparadora polímero
- Mesa espesadora lodos
- Bomba deshidratante
- Bomba alimentación agua
- Bomba centrífuga mezcladora de polímero

Digestor(Dig)

Este proceso es realizado en un estanque cilíndrico abierto de 7 metros de longitud utilizable (altura), a este se le inyecta aire comprimido por una parrilla, la cual se alimenta desde una sala anexa llamada Sala Sopladores Digestor como se puede observar en la Figura-3.14.

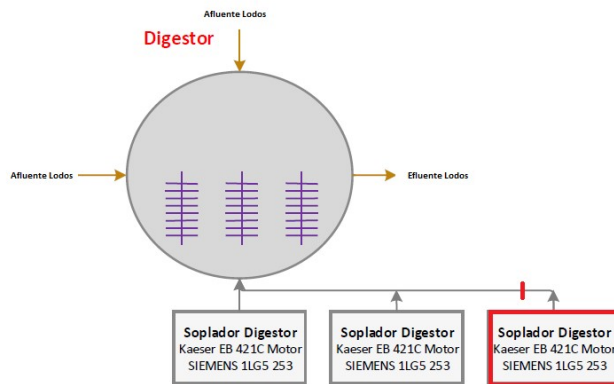


Figura 3.14: Diagrama digestor(Elaboración propia)

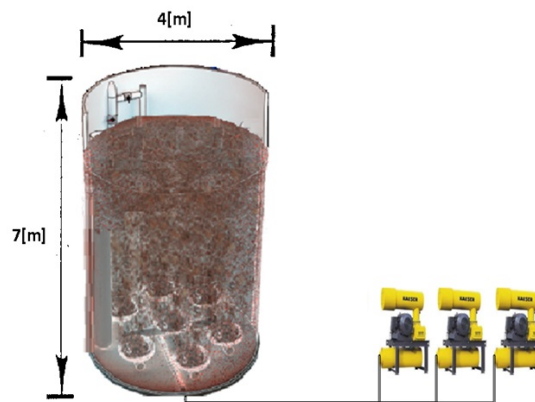


Figura 3.15: Esquema Digestor

Equipos de esta etapa(Dig):

- Soplador digestor 1
- Soplador digestor 2
- Soplador digestor 3

Prensa de lodos(PL)

La prensa de lodos representa la final para la línea de los lodos, en esta etapa se inyectan una mezcla polímeros a lodos al igual que en la etapa de Mesa Espesadora. Este proceso consiste en la filtración y el drenaje para poder eliminar la humedad presentes en los lodos. Luego de procesados los lodos deshidratados los expulsados a un estanque de recolección los cuales son retirados al ser llenados.

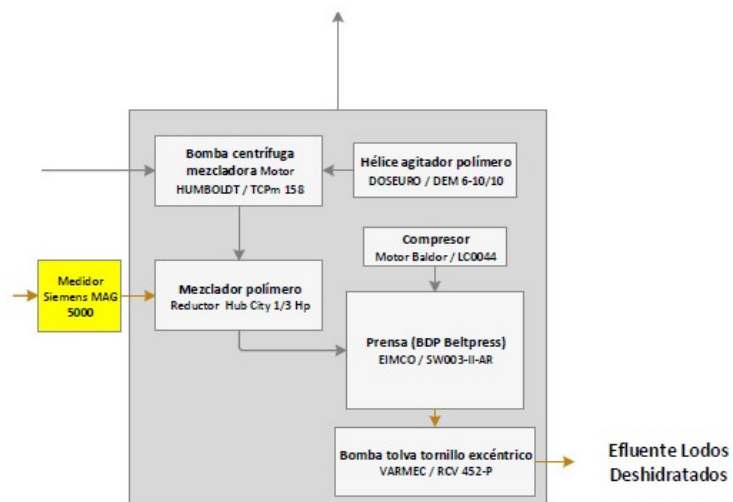


Figura 3.16: Diagrama Prensa de lodos(Elaboración propia)

Como se puede ver en la Figura-3.16, en esta etapa existen dos entradas una para la alimentación de agua de bomba centrífuga mezcladora y la otra corresponde a la línea de lodos proveniente del digestor y una salida para los lodos deshidratados (Efluente lodos Deshidratados)

Equipos de esta etapa(PL):

- Compresor
- Prensa BDP
- Mezclador polímero
- Hélice preparadora polímero
- Medidor ultrasónico
- Bomba extracción tornillo excéntrico

Grupo Generador(GG)

Finalmente la esta última etapa, si bien estos equipos no participan directamente en el flujo de producción, sin embargo son es de vital importancia, debido a que el grupo generador se encarga de entregar la energía suficiente para mantener la P.T.A.S. Coyhaique trabajando de manera segura y responsable.Mantiene operando los procesos de Pre Tratamiento, Reactor Aireador, Clarificador, Cámara de Contacto, Digestor y Prensa de Lodos.

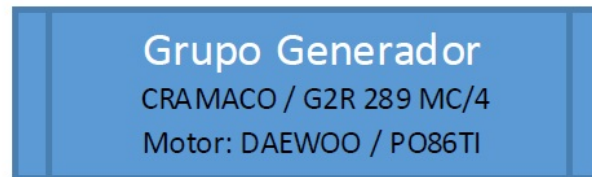


Figura 3.17: Diagrama Grupo Generador(Elaboración propia)



Figura 3.18: Esquema Grupo Generador

La configuración consta de un equipo siendo este el grupo generador CRAMACO G2R 289MC/4, Motor: DAEWOO PO86TI el cual se puede ver representado en la Figura3.17

Equipos de esta etapa(GG):

- Grupo Generador

Capítulo 4

Indicadores y su importancia

En este capítulo se describen las principales características que debe satisfacer los indicadores y haciendo uso de estas propiedades se define la indicador que se utiliza en el desarrollo de este proyecto siendo este el Rendimiento General Proceso (R.G.P.). El cual se confecciona con una combinación de indicadores independientes de rendimiento, tasa calidad y disponibilidad. A modo de desarrollar la importancia de una correcta elección del indicador, como se menciona en anteriores capítulos tanto o más importante que identificar el sistema de mantenimiento necesario es el poder asegurar el hecho de alcanza los objetivos proyectados ya sea económicos, de mantenibilidad y/o calidad, es ir realizando corroboración de manera regular en el estado de cumplimiento de las metas impuestas.

4.1. Indicadores

Los "Key performance indicador"(K.P.I.), o por su traducción textual al español: "indicador clave de desempeño", son facilitadores o interpretadores para una gran cantidad de información que pueden ser aplicados en todos los niveles y ámbitos de un campo laboral. Buscan interpretar de manera cuantitativa el nivel "actual" de desempeño comparándolo con otro valor establecido anteriormente, el cual representa el cumplimiento óptimo de los objetivos o metas. Principal objetivo de este tipo de herramienta, es atribuirle un valor exacto (según la calidad de la información que se brinde) a cualquier área que se busque analizar, ya sea seguridad, abastecimiento, transporte, etc. Tal como estén configuradas las pláticas de la empresa sobre rigurosidad y/o criticidad de lo que se está trabajando se pueden ir modificando la recurrencia de estos estudios

según como se estime necesario. Por ejemplo una acción no es esencial se puede medir de manera semestral, caso contrario y es fundamental se puede ir averiguando el cumplimiento de los objetivos de manera semanal, diaria o incluso instantánea con un seguimiento en línea.

Es importante recalcar la característica de esta herramienta, la cual puede ser situadas de manera transversal en cualquier ámbito y con cualquier calidad de información. Incluso como punto de partida para implementar un sistema de mantenimiento y control hasta ese momento inexistente, como es el caso del estudio presentado en este trabajo. Sin importar la complejidad y el trabajo previo, siempre resulta beneficioso y aquí es donde toma sentido la famosa frase.

“Lo que no se puede medir no se puede controlar; lo que no se puede controlar no se puede gestionar; lo que no se puede gestionar no se puede mejorar.”

Establecida ya la importancia y adaptabilidad este tipo de instrumentos, es fundamental aclarar que más no significa mejor, es decir, antes de tener infinidad de indicadores diferentes, es preferible realizar un adecuado levantamiento de información y prioridades previas para así determinar correctamente los indicadores más beneficios y recomendados para cada estrategia.

A continuación, se mencionan las propiedades que se tienen en cuenta para diseñar los indicadores adecuados:

- Realizar efectivamente las mediciones en los parámetros según la regulación y los tiempos que se establecieron necesarios para mantener en control el proceso productivo, generalmente siendo las de menor confiabilidad o puntos de mayor criticidad a lo largo de la producción, ya que no tiene ningún beneficio realizar mediciones a variables que no entregan información relevante, debido a que se desechan recursos inútilmente.
- Poseer la sensibilidad y el rango apropiado para representar de manera precisa y apropiada todo tipo de fluctuaciones producidas en el proceso.
- Estar respaldados con un buen análisis previo sobre la veracidad de sus mediciones, ya que la idea es ser utilizado como sustento para la toma de decisiones futuras, algunas de las cuales puedan ser tan importante como un contrato millonario con algún proveedor, compra de equipos, necesidad de investigación por robo, despido de personal, etc.

- Ser de fácil representación para todos quienes participan en el proceso productivo, es decir, cualquier persona que vea las últimas mediciones sepa identificar un comportamiento normal de uno anormal.
- Se debe tener presentes que los indicadores deben incorporar intereses locales, es decir, deben estar alineados con el objetivo global de toda la empresa representado en la Figura-2.1

4.2. Rendimiento General del Proceso

Al realizar una fusión entre las consideraciones necesarias para la elección del indicador adecuado descritas anteriormente con las características del sistema productivo utilizado (T.P.M.). En el presente apartado se realiza una breve definición del índice utilizado y cómo se calcula para casos generales, para culminar explicando las consideraciones utilizadas en la planta P.T.A.S.

Prosiguiendo con la idea, según las herramientas anteriormente descritas, el indicador seleccionado para el monitoreo del estado de la planta es el índice de Eficiencia Global de Equipo (E.G.E.) o por sus siglas en inglés "Overall efficiency equipment"(O.E.E.) se realizan algunas modificaciones para agregar una mirada global del proceso en vez de una local del equipo.

O.E.E es un indicador porcentual compuesto para medir la eficiencia productiva, ya sea de una máquina o de una línea de producción. El principal beneficio de este indicador es que al ser un compuesto, da la posibilidad de entregar con un solo valor de fácil lectura (valor numérico 0 a 1) todos los parámetros fundamentales presentes en la producción, siendo estos: Disponibilidad operacional(A), Rendimiento(R) y Tasa de Calidad(Q).

El indicador se obtiene al realizar un producto entre los 3 términos nombrados anteriormente tal como se puede ver representado en la ecuación-4.1. Para este trabajo el índice lleva el nombre de Rendimiento General del Proceso (R.G.P.), debido a que las evaluaciones son realizadas con una visión global del subproceso, ya que el rendimiento que se ingresa es el del subproceso total, así mismo para la disponibilidad y tasa calidad.

$$R.G.P = Disponibilidad(A) \cdot Rendimiento(R) \cdot Calidad(Q) \quad (4.1)$$

Donde:

A : Disponibilidad(%).

R : Rendimiento(%).

Q : Tasa Calidad(%).

A continuación se realiza una breve descripción de estos tres componentes, aunque antes de pasar a esa sección resulta conveniente desmenuzar el concepto de “fábrica oculta” y por qué es tan importante identificarla.

Se sitúa usted como contexto en una empresa que tiene problemas de producción, donde la disponibilidad de las máquinas no presenta ningún inconveniente, pero hay insuficiencias de producción. Por ejemplo, existe una planificación la cual contempla un activo debe presentar un tiempo efectivo de producción de 150 horas a la semana. Al momento de efectuar pruebas de la cantidad y calidad de los productos entregados se encuentra que existe menor número y de menor calidad. La “fábrica oculta” se presenta en ocasiones donde los equipos aun trabajando el total del tiempo planificado, no alcanzan la producción planificada.

Para identificar este tipo de problemas es conveniente la aplicación del indicador R.G.P., cuyos resultados serían muestras suficientes para alertar por el nivel del mantenimiento. Recordando el hecho que los equipos no presentan indisponibilidades, entonces, si el mantenimiento fuese efectivo no debería existir una diferencia en cuanto a la calidad y cantidad de la producción debido a un bajo rendimiento operativo. En otras palabras, no deberían existir pérdidas por calidad ni por bajo rendimiento operativo y junto con esto las detenciones no programadas tendrían que ser mínimas. Lo que busca este indicador es resaltar el hecho que si las políticas de gestión son las adecuadas, éstas eliminarán las pérdidas en el flujo de trabajo, las detenciones imprevistas y los rechazos o reprocesos por productos defectos.

Este proyecto está emplazado en una planta de tratamiento de aguas servidas de Coyhaique, la cual recoge todas las aguas lluvias y servidas, tratando estas últimas para su posterior disposición en el Río Simpson. Por ello está siendo regulada continuamente por “las exigencias de los contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales en el territorio nacional.”Dicho esto, es necesario indicar la forma en que se fiscaliza el cumplimiento de las mismas;

“De acuerdo a las atribuciones legales y fiscalizadoras, a la S.I.S.S. le corresponde velar porque la operación de las Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas (P.T.A.S.) se efectúe de acuerdo a la normativa vigente, a través de las acciones de fiscalización sobre el autocontrol, la realización de controles directos e inspecciones en terreno.”¹. La metodología que se aplica para evaluar cada PTAS de Chile es el cumplimiento de Tabla-8.2 la norma D.S. 90/00. la cual es posible encontrar en los anexos El índice general del proceso (R.G.P.) garantiza cumplir las medidas de fiscalización exigidas por la (S.I.S.S.), aunque la evaluación entregada por el índice sea 0 (menor posible), la planta seguirá cumpliendo las exigencias medioambientales para la deposición de aguas.

Mencionado estos comentarios regulatorios para la planta tratamiento aguas servidas P.T.A.S., se procede con la descripción de cada uno de los indicadores y su metodología de evaluación.

¹ [8] Calidad del agua potable, 2017

4.2.1. Disponibilidad o Availability: (A)

Se define como la proporción entre el tiempo que la máquina ha estado produciendo sobre el tiempo que la máquina podría haber estado produciendo teniendo en consideración las exigencias de seguridad higiene y calidad establecidas. Con este indicador se busca representar las pérdidas de falla de equipos y falla de procesos presentadas anteriormente.

“Corresponde a la aptitud de un sistema de estar en un estado para cumplir una función requerida, en condiciones dadas, en el instante requerido y por un intercalo de tiempo requerido, suponiendo que está asegurada la provisión de los medios externos necesarios; es decir función correcta del equipo en el momento en que se le requiera.”²

Este indicador se puede calcular de distintas formas, como por ejemplo:

$$\text{Disponibilidad operacional} = \frac{T_o - T_{np}}{T_o} \cdot 100(\%) \quad (4.2)$$

Donde

T_o : Tiempo disponible para operar.

T_{np} : Tiempo de paradas

o del mismo modo es posible calcularlo como:

$$\text{Disponibilidad operacional} = \frac{MTBF}{MTTR + MTBF} \quad (4.3)$$

$MTBF$: “Mean Time Between Failures” o tiempo medio entre fallas es como su nombre lo indica el tiempo que transcurre entre una falla y la próxima falla. En la práctica se toma como el tiempo promedio que transcurre en algo que funciona hasta que presente una falla y deba ser reparado.

$MTTR$: “Mean Time To Repair” representa el tiempo promedio que toma la reparación después de una falla.

La disponibilidad se representa con un valor entre 0 y 1 o se puede entregar de manera porcentual al igual que el Rendimiento (R) y la Tasa calidad (Q).

Las causas más comunes que afectan la disponibilidad(A):

² [9] Fundamentos de la Confiabilidad. En Ingeniería y Gestión de la Confiabilidad Operacional en Plantas Industriales

- Disponibilidad de material
- Limpieza de partes móviles
- Mantenimiento irregular

4.2.2. Rendimiento: (R)

El rendimiento se asocia a la relación entre la producción normal y /o producción anormal. Este indicador se obtiene al realizar una división entre la cantidad de productos terminados, o piezas producidas, sobre las que deberían haberse realizado, o se esperaban teóricamente. Busca medir las pérdidas ocurridas por el funcionamiento de un régimen de producción inferior al nominal pautado para ese equipo y/o proceso. Antes de iniciar la descripción del cálculo de este indicador, es importante tener claro que se debe conocer de manera previa la capacidad nominal o el tiempo de ciclo ideal. Este generalmente es entregado por el fabricante pero a veces se aplican ciertas correcciones, según las condiciones existentes en su flujo operación.

$$Rendimiento = \frac{Produccion\ realizada}{Produccion\ Teorica} \quad (4.4)$$

En este proyecto, el rendimiento se basa en comparar el caso óptimo con su análogo práctico, por ejemplo la velocidad de procesamiento diseño sobre el flujo real de trabajo.

Las causas más comunes que afectan el rendimiento(R):

- Obstrucciones de flujo producto
- operación fuera de capacidad diseño
- Falta capacidad del operador

4.2.3. Tasa Calidad: (Q)

Este indicador busca reflejar las pérdidas por defectos de calidad y reproceso de material. Se busca analizar la capacidad del sistema de elaborar productos que cumplan con las normas de calidad impuestas. En otras palabras, representa la cantidad de producto o servicios que cumplen los requerimientos legales y/o del cliente sobre la producción total.

Generalmente existen dos formas de evaluarlo, según:

- Tiempo producción:

$$\text{Indice de Calidad} = \frac{T_{ep}}{T_{ep} + T_r} \quad (4.5)$$

Donde:

T_{ep} : Tiempo efectivo de producción

T_r : Tiempo empleado en la producción de errores (Rechazado o Reprocesado según corresponda)

- Unidades producidas:

$$\text{Indice de Calidad} = \frac{N_c}{N_{total}} \quad (4.6)$$

Donde:

N_c : Número de unidades conformes conforme a las especificaciones de calidad

N_{total} : Número total de producción

Las causas más comunes que afectan la tasa calidad (Q):

- Reprocesamiento
- Unidades dañadas
- Unidades rechazadas

Cabe destacar que las unidades desarrolladas en primera instancia solo pueden ser calificadas como Conformes.º "No Conformes". Se consideran Conformes.ª aquellas producciones que son aprobadas la primera vez, no las reprocesadas. Aunque sea posible el reprocesamiento de ellas para convertirse en piezas Conformes", seguirán siendo

consideradas "No conformes". Este indicador al igual que los anteriores existe en el rango entre 0 y 1.

Definidas cada uno de los componentes de la ecuación-4.1 , se presenta la Figura-4.1, la que busca aclarar el intervalo de real interés para facilitar la identificación de todos los factores, facilitar con esto el cálculo del índice R.G.P.



Figura 4.1: Diagrama esquemático para cálculo OEE

Este proyecto se encuentra bajo el supuesto que se calcula R.G.P. por periodos anuales, Se inicia con la barra total de que se encuentra en este año (A) de horas de operación disponibles en al año, a la cual se le descuentan todos turnos no realizados en este caso no existen los turnos nocturnos, ni festivos y tampoco fines de semana, de esta diferencia se obtiene el tiempo total producción disponible. En la siguiente fila se reduce la fracción correspondiente a las paradas planificadas para obtener así el tiempo operativo (B). Al generar una división entre estas dos componentes se obtiene la disponibilidad:

$$Disponibilidad = \frac{B}{A} \quad (4.7)$$

Pasando a la siguiente fila de la imagen (C) se puede identificar la producción total prevista, a la cual si se le descuenta las pérdidas referentes a las averías, fallos y reducción de velocidad se conseguirá la producción real (D), de manera análoga se calcula el índice de rendimiento al dividir estos dos últimos factores:

$$Rendimiento = \frac{D}{C} \quad (4.8)$$

Luego se pasa a las últimas dos filas, ya identificada la producción real se disminuye el fragmento correspondiente a las pérdidas de calidad en los productos, ya sean errores y/o los reprocesos. Obteniendo así el tiempo efectivo de producción correcta, de manera análoga a los casos anteriores se elabora el indicador de la tasa de calidad dividiendo estas dos últimas mediciones tal como se expresa:

$$TasaCalidad = \frac{F}{E} \quad (4.9)$$

Finalmente se obtiene el índice de eficiencia global I multiplicar todos estos factores.

Para poder facilitar la implementación de los indicadores en el extenso proceso de la planta P.T.A.S. se respeta la división de la planta en los subprocesos explicados en el proceso capítulo 2.2. Se utilizan para poder interpretar cada componente de manera independiente, identificando su objetivo principal, además de su proceso anterior, posterior o su paralelo según corresponda por configuración operativa del sistema. Se realiza siguiendo estos pasos clave en la modelación de un sistema por medio de un diagrama de red.

1. Represar el sistema en bloques. El principal cuidado que se debe tener es identificar todas las secciones que se representen como interacciones entre bloques. Cada uno de estos debe ser necesariamente independientes entre sí.
2. Describir la configuración operativa existente entre cada uno de estos bloques a lo largo de sistema Existen muchos tipos de conexiones pero principalmente se trabajan dos:
 - Serie: La principal característica es estar enlazados de tal forma que la avería de un componente deriva en la falla del conjunto.

- Paralelo: Se caracteriza por estar realizada de manera que por lo menos algún componente posee más de una entrada y/o salida, lo que implica que el flujo de proceso tiene la posibilidad de asegurar su recorrido por más de un camino.

4.3. Rendimiento General Promedio P.T.A.S.

A continuación se presenta la herramienta utilizada para generar el monitoreo promedio incluyendo todos los subprocesos de la planta de tratamiento de aguas servidas. Este indicador entrega una visión global del estado que se encuentra la planta, se construye promediando los R.G.P. de cada proceso y en cada muestra. Si bien es importante mantener un monitoreo de los resultados de este indicador, se recomienda que sea utilizado como primer filtro a la hora de la toma de decisiones. Al ser construido a base de un promedio de rendimientos se van suavizando las posibles interpretaciones en el rango de los resultados.

El RGP promedio de la planta se calcula con el uso de la siguiente ecuación:

$$R.G.Prom_{P.T.A.S.} = \frac{RGP_{GG} + RGP_{PT} + RGP_{RA} + RGP_{CL} + RGP_{CC} + RGP_{ME} + RGP_{Diq} + RGP_{PL}}{8}$$

Del mismo modo que para el R.G.P., la dispersión de resultados se van presentando en un gráfico con las mismas características de fondo y ejes el cual se describe en el capítulo 5.3

Capítulo 5

Análisis estadístico

La gran cantidad de información periódicamente ingresada en el sistema de monitoreo es suamante valiosa para la empresa, ya que con un análisis estadístico adecuado puede servir para entender, analizar, anteponerse a situaciones o mejorar el proceso. Por ello, además de realizar evaluaciones según la categoría entregada por el índice general de todos los procesos (R.G.P.) y la planta (R.G.P.prom), también se le realiza un análisis estadístico de las mediciones realizadas para determinar el indicador. Esto representa un complemento exhaustivo de los resultados que se obtienen al aplicar el monitoreo, interpretar las fluctuaciones, etc. Las principales variables que influyen en esta evaluación son los máximos, mínimos, desviaciones, promedios. Objetivo principal es detectar la presencia de una variación fuera de equilibrio estadístico.

En este punto cabe destacar la presencia inherente de la variación de todos los procesos. Esta viene dada por distintos factores los cuales se pueden representar por medio de las 6 M.

¿Que son las 6M? Para definir y describir su importancia es fundamental entender su relación con el Diagrama Ishikawa, también llamada diagrama espina de pescado por su forma de ser representado, creado por Kaoru Ishikawa como una herramienta que representa de manera gráfica y organizada en orden de mayor a menor impacto las causas posibles para generar un efecto o problema determinado. A continuación se presenta un ejemplo para poder describir su uso de manera breve.

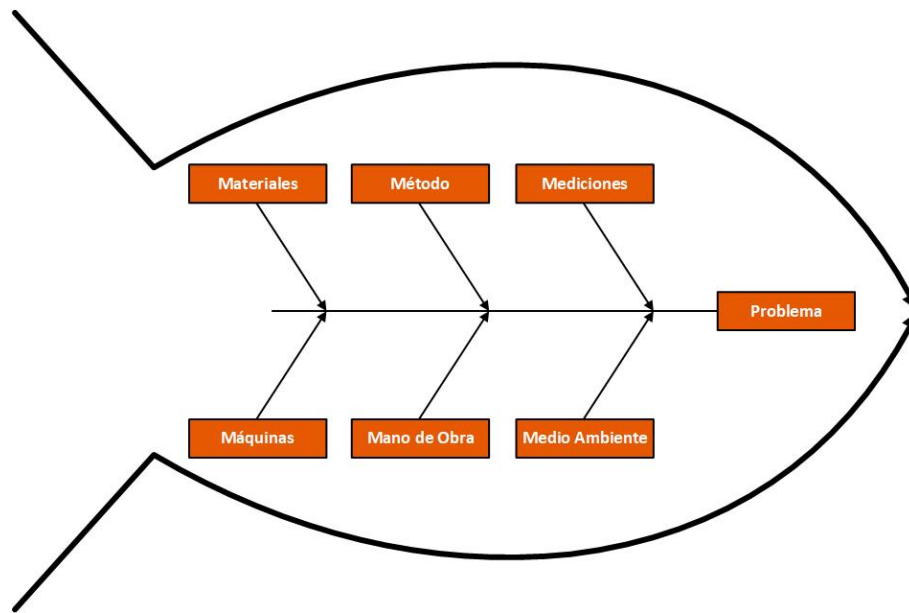


Figura 5.1: Diagrama Ishikawa

Para la construcción de la Figura-5.1 es necesario detectar el problema que se busca analizar, el cual se sitúa en la cabeza del pez, luego como ramas principales, se presentan las posibles causas categorizadas, siendo generalmente utilizadas las 6M:

- Materiales
- Método
- Mediciones
- Máquinas
- Mano de obra
- Medio ambiente

Estas causas no son inalterables, se pueden eliminar o agregar otras, según se estime conveniente para el análisis del problema. Posteriormente se pueden ir agregando causas secundarias según resulte adecuado, para poder distinguir de estas últimas las cuales resultan ser más y/o menos significativos y jerarquizarlas según grado de necesidad y urgencia.

Se retoma la importancia de distinguir si los resultados representan una situación preocupante, o son sólo producto de las condiciones normales de la variación. Esto con el fin de hacer uso de los planes adecuados para cada caso, o en su defecto crearlos. Se

procede a describir los dos tipos de variabilidad, que se pueden vincular con las causas comunes y las del tipo especial.

- La variación por causas comunes(o por azar): tipo de variación que se encuentra presente en todo momento. Es producido por la combinación de las condiciones de variabilidad inherentes a las 6M. “Son difíciles de identificar y eliminar, ya que son inherentes al sistema y la contribución individual de cada causa es pequeña; no obstante, a largo plazo representan la mayor oportunidad de mejora”¹
- La variación por causas especial(o atribuibles): Son todas aquellas que tiene origen por hechos particulares y que no forman parte de manera permanente en el proceso productivo. Vinculados a un desempeño anormal de algún parámetro, materia prima en combinaciones incorrectas, desalineación de ejes, etc., se puede agregar como una descripción la siguiente frase “Las causas especiales, por su naturaleza relativamente discreta, a menudo pueden ser identificadas y eliminadas si se cuenta con los conocimientos y condiciones para ello.”²

¿Cuál es la primera necesidad cuando se busca analizar y mejorar un análisis y mejora de algún tipo de proceso?

La respuesta debiese ser natural y siempre apuntar a la disminución de la variabilidad. ¿Cuánto? Esta pregunta es un poco menos intuitiva pero la solución se encuentra en el punto donde la variación en el tiempo se vuelva predecible y sea producto enteramente por tipo de causas comunes, este punto se llama “estabilidad estadística”. Para poder evidenciar la importancia de mantener al proceso en este punto, es beneficioso indicar los perjuicios de la presencia de variación por causas especiales.

Cuando a un proceso se le considera inestable estadísticamente”se convierte en una bomba de tiempo imprevisible llena de eventos espontáneos, cuyo impacto puede detonar en una falla inesperada la cual no se puede identificar, estudiar ni mucho menos predecir. Luego esto limita y transforma el sistema de mantenimiento presente en uno tipo correctivo o a la falla.

Es fundamental asegurar un buen nivel de control en la variación actual y su estado a lo largo del tiempo, asegurando en todo momento que está estable estadísticamente.

¹ [10] Control estadístico de calidad y seis sigma

² [11] Control estadístico de calidad y seis sigma

¿Cómo poder lograr una seguridad estadística de un proceso?

Dándole solución a esta pregunta nace el uso de las “Cartas de Control”. Estas herramientas estadísticas son utilizadas para poder evaluar los resultados según su distribución y no solo respecto al nivel óptimo, esta idea se vuelve a tratar en el capítulo 7.2

Debido al hecho que las cartas de control son de especial interés para la interpretación del estado del proceso, a continuación se presenta una definición y sus principales características, describiéndoles como un gráfico cuyo objetivo es identificar y analizar la presencia de variabilidad y su distribución a lo largo del tiempo”.

Los datos se pueden caracterizar como representaciones gráficas cuyo objetivo principal es indicar información clara y concisa sobre el estado, ya sea actual o acumulado de cualidades vitales como lo son la estabilidad y variabilidad. Primer objetivo es dejar claramente descrito el perfil de variación para facilitar la diferenciación sobre el origen de la variación (causas comunes o especiales) para poder controlarla y finalmente eliminarla.

En el presente proyecto se busca emplear una serie de cartas de control para cada subproceso en que se divide la planta.

Para seguir con la familiarización de las cartas de control, a continuación se presenta un ejemplo, para poder identificar los elementos importantes que la componen.

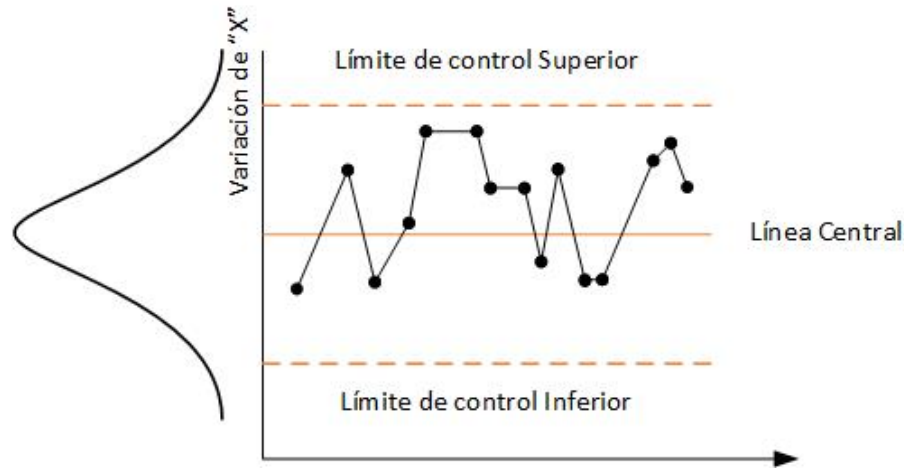


Figura 5.2: Carta control

En la Figura-5.2 se representa de manera simplificada una carta de control en donde están graficados los valores que toma “X” en función del tiempo, en dónde:

Cada punto sobre el eje del tiempo representa un valor de “X”, los cuales se van enlazando mediante líneas rectas. En el centro de esta dispersión se puede apreciar la línea central que representa el promedio de los valores de “X”. Pasando a los límites de control inferior y superior, como su nombre lo indica, representa el inicio y final del que debiese ser el rango de variación de las mediciones “X”. Cuando todos los valores del parámetro “X” se encuentran contenidos en este rango se puede decir que el proceso se encuentra en control estadístico”. En caso contrario, se entiende que al expandir esta muestra incorporando más valores para el parámetro “X”, lo más probable es que dichos valores se escapen del rango siguiendo la misma tendencia.

Al realizar un rápido análisis de la Figura-5.2 aunque es posible apreciar que todos los valores del parámetro “X” se encuentran dentro del rango no es posible asegurar completamente que no existan problemas estadísticos. Es necesario realizar un estudio sobre la distribución de todas estas mediciones, es decir, una búsqueda de patrones no aleatorios. Este complemento de comportamientos se basa en evaluar la tendencia que muestran los valores medidos y asociarlos a patrones conocidos como por ejemplo una conducta cíclica cuando se vea un comportamiento de máximos y mínimos consecuti-

vos. Estos comportamientos se tratan en el capítulo 7.2

Con el fin de conseguir un análisis y monitoreo efectivo, ya sea de un parámetro y/o componente, es esencial utilizar las herramientas adecuadas para cada situación. Antes de empezar la medición de las variables es necesario tener identificado con qué tipo de gráfico de control se va a trabajar.

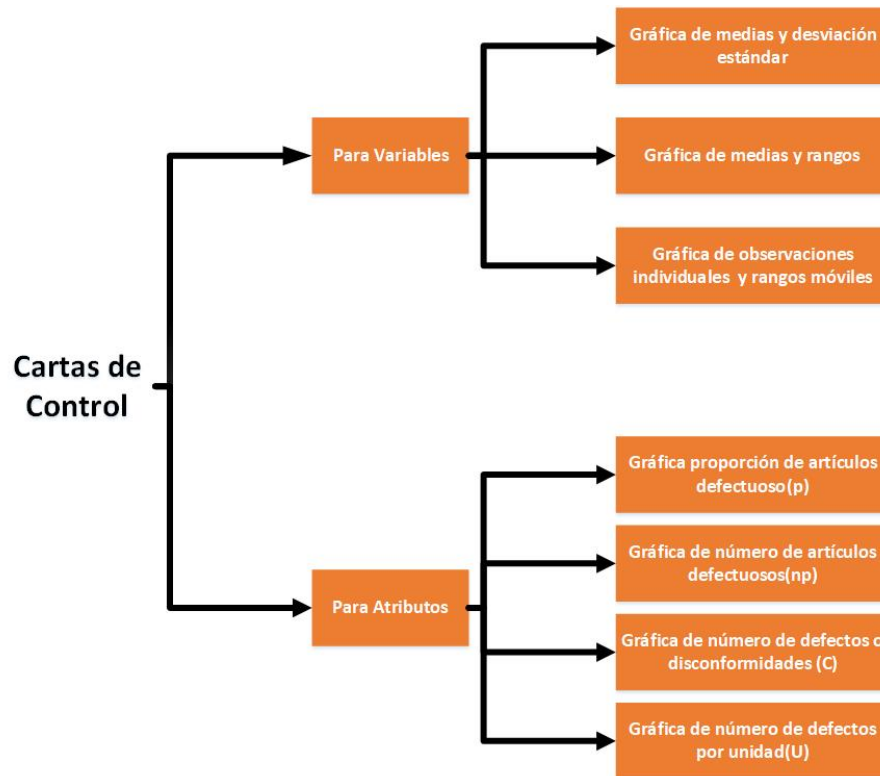


Figura 5.3: Carta control

Como se puede ver en la Figura-5.3 existen dos grandes grupos para las cartas de control según el tipo de variable que se desea trabajar, siendo estos cartas para variables y atributos.

- Las cartas de control para los elementos del tipo variable: se usan para evidenciar las diferencias con respecto un valor de tipo continuo, ya sea peso, volumen, dimensión, etc. Por ende necesariamente deben estar asociados al uso de una herramienta en su medición, lo cual provoca asociar este tipo de carta a un procedimiento de control más efectivo y eficiente, en desmerito de su análogo cualitativo que se describe a continuación.
- Las cartas de control para los elementos del tipo atributo: son utilizadas para evidenciar características, las cuales no son medibles numéricamente como lo puede ser el color del cabello, estado civil, es decir, todas aquellas características de tipo cualitativo.

Además de esto es conveniente realizar la distinción entre los tipos de variables:

- Variable continua son intervalos numerales, que cuentan con cierto nivel de fraccionamiento continuando como un peso de 85,6 [kg] o una estatura de 1,60 [m]
- Variable discreta son cantidades numerales enteras como lo son el número de hijos

Pasando ahora a las características principales de cada carta de control:

Variables

- Gráficas de medias y desviación estándar
- Gráficas de medias y rangos
- Medias individuales

Atributos

- Número de artículos defectuosos
- Número de defectos
- Número de defectos por unidades

Ahora cabe preguntarse ¿Cuál gráfico es el indicado para evaluar las distribuciones pertenecientes a este proyecto?

Se escoge la gráfica de medias y desviación estándar para analizar los resultados de este trabajo, por dos razones principales:

- Como se expresa en el arranque de este capítulo se busca disminuir los elementos categorizados como atributos cualitativos para así potenciar la medición de variables tipo cuantitativos.
- En esta etapa de levantamiento del proyecto todas los cálculos que es están trabajando son realizados en base a variables del tipo continua(Humedad, Caudal, Disolución, Porcentaje.)

Capítulo 6

Desarrollo del sistema de monitoreo

En el siguiente capítulo se explica el desarrollo del sistema de monitoreo, desde la división para exponer de manera más representativa la P.T.A.S., pasando los supuestos y simplificaciones hasta los modelos de evaluación para esta etapa inicial del proyecto, esto se inicia prosiguiendo los siguientes pasos:

- Generar un plano de la planta en donde se identifican los flujos presentes en el proceso. En este caso, se dividen en dos flujo de lodo y flujo de agua.
- Según los procesos identificadas en el capítulo II, la planta se descompone en 8 subgrupos, los cuales se encuentran configurados en serie, tal como se representan en la siguiente Figura-6.1.

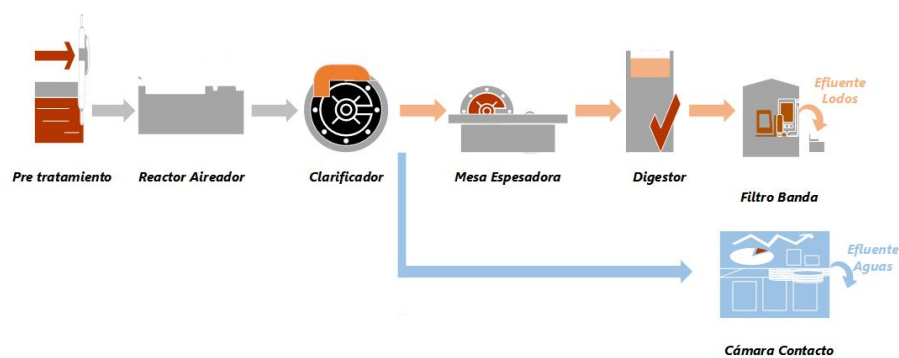


Figura 6.1: Diagrama Planta P.T.A.S. según los subgrupos

6.1. Desarrollo sistema monitoreo

En cada uno de los ocho subprocesos se va configurando la evaluación de la disponibilidad, rendimiento y tasa calidad, según los parámetros y variables claves presentes en cada etapa. Para cada etapa se expone el método de determinación del índice general del proceso. Se presentan a continuación las características fundamentales que se deben realizar para maximizar los tipos de evaluaciones cuantitativas. El ideal de evaluación de un subproceso consiste en hacer efectiva, una medición de los tres factores que producen el índice general del proceso. En este punto del trabajo no es posible construir este índice de manera numérica para todos los subprocesos, por lo que se debe evaluar de manera cuantitativa según se estime conveniente.

A continuación se presenta la modalidad con que trabaja cada subproceso por separado y las definiciones de su indicador clave.

Disponibilidad (A)

Para este primer indicador lo más fundamental es identificar la cantidad de equipos que componen el subproceso, y como se encuentran relacionadas entre sí, es decir, identificar el tipo de configuración catalogándola como serie o paralelo.

Generalmente si el proceso se encuentra en serie, es decir, es necesario el buen funcionamiento de todos los equipos para un correcto funcionamiento del subproceso, la disponibilidad total se calcula como la multiplicación de todas las disponibilidades individuales de los equipos. Caso contrario si el proceso está configurado en paralelo se busca representar de mejor manera el impacto de cada equipo, para entender esta metodología es beneficioso situarse en el análisis ficticio de un proceso E , el cual está compuesto por dos equipos nombrados como E_I y E_{II} . En este proceso ambos equipos no entregan el mismo aporte al objetivo general del proceso, ya que se sabe que recae el buen funcionamiento del proceso E en E_I valorándolo en un 80%. Siguiendo esta lógica la Disponibilidad Total del proceso E se descompone como 80% de E_I y el restante 20% de E_{II} , lo cual se visualiza en la siguiente ecuación.

$$E_{Total} = Impacto E_I \cdot A_{E_I} + Impacto E_{II} \cdot A_{E_{II}} \quad (6.1)$$

Ingresando los valores de impacto en el subproceso:

$$A_{proceso} = 0,8 \cdot A_{E_I} + 0,2 \cdot A_{E_{II}} \quad (6.2)$$

En este ejemplo en particular queda implícito que la disponibilidad total de proceso depende más de funcionamiento del equipo E_I por sobre E_{II} . Ahora bien, situándose en el mismo escenario del proceso E si solo existe un solo equipo la disponibilidad se entiende que se calcularía con la siguiente ecuación.

$$A_{Total} = A_{E_I} \quad (6.3)$$

Rendimiento (R)

En primera instancia se identifica el objetivo general de la etapa, para luego buscar la forma de cuantificar el estado de cumplimiento de la misma, es decir, comparar el trabajo real del proceso con un óptimo definido previamente, el cual puede ser relacionado a velocidad de procesamiento [l/s], Oxígeno disuelto [mg/l], Humedad [%], entre otras.

Tasa Calidad (Q)

Este indicador se evalúa como indica su definición expresada en el capítulo III, al realizar una división entre el número de productos conformes a las especificaciones de calidad sobre la producción total de unidades, si bien existe un par de etapas donde es posible identificar y evaluar el producto final, por el hecho que no existe la posibilidad de rechazar las unidades producidas dado que solo se trabaja con un flujo continuo que pasa por el subproceso y continua su trayecto a la siguiente etapa de la planta, para este y todos los casos donde se pueda producir una evaluación numérica o cuantitativa se realiza unas adecuaciones para poder evaluar de manera cuantitativa tal esta como se ve en la Figura-6.2, donde se recuerda la preferencia siempre de los indicadores cuantitativos.

El indicador cualitativo va a estar siempre relacionado a la evaluación del cómo se están elaborando las unidades producidas, generalmente se asocia esto con inspecciones en el olor, color, rangos de trabajo, entre otros. Buscando siempre escoger el más adecuado para cada etapa describiendo de la mejor forma el subproceso.

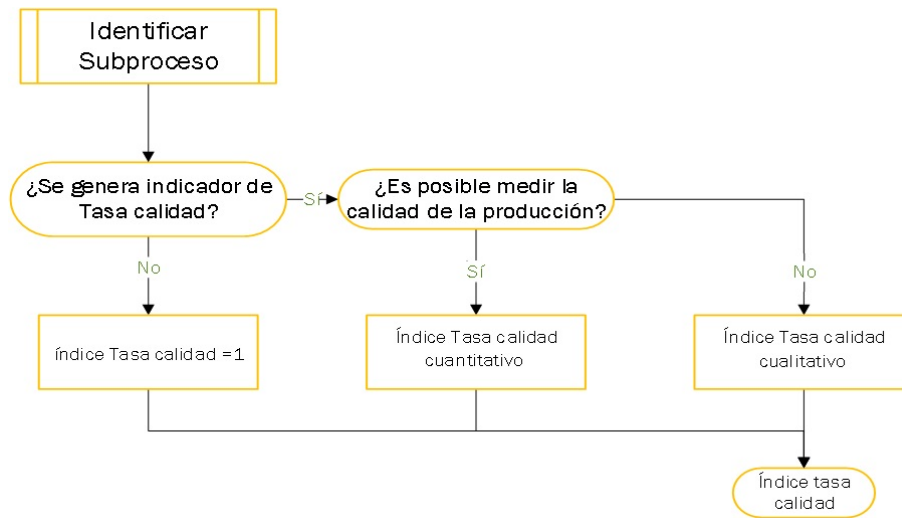


Figura 6.2: Diagrama decisiones para índice tasa calidad

Definida ya la estrategia de abordar la obtención de los índices de disponibilidad, rendimiento y tasa calidad se procede a iniciar los procesos a analizar definidos en la Figura-6.1

Cuando ya está decidido que se realiza una evaluación cualitativa, a sabiendas de que no se logra el óptimo, se realiza una evaluación una inspección mediante el uso de los sentidos visión, olfato. Los cuales se clasificaran tres categorías con las siguientes valoraciones con un máximo alcance de 1.

Valoración del proceso en color	Resultado
Verde	1
Amarillo	0,7
Rojo	0,4

Tabla 6.1: Categorías para la evaluación cualitativa de tasa calidad

Este tipo de valoración está presente en todas aquellas etapas en las cuales sea posible cuantificar un parámetro de manera numérica.

6.1.1. Pre tratamiento (PT)

El principal objetivo de esta etapa es “retener los sólidos en suspensión”, por lo que se procede evaluar este objetivo de la manera más representativa posible.

Disponibilidad

Como se puede ver en la Figura-3.5 el proceso de pretratamiento está compuesta por dos grupos de máquinas: Grit-Separador/Desarenador y Rejilla Fina. Para poder calcular un índice general de disponibilidad representativo, es necesario cuantificar el impacto individual de cada una de estos activos por separado. No es lo mismo operar sin el Grit-Separador / Desarenador que sin la rejilla “Vertical”. Esto calcula al analizar el resultado de múltiples pruebas estadísticas para muestras tomadas al inicio del proceso complejo, después del Grit-Separador/Desarenador y al finalizar el proceso completamente, tal y como se puede ver en la siguiente figura.



Figura 6.3: Esquema cálculo Disponibilidad para Pre tratamiento

Tomando como estado inicial el afluente de la planta se mide que equipo genera más impacto en la densidad de las muestras de agua. Esto representa de mejor manera el proceso. Se obtienen los siguientes resultados:

- Grit-Separador/Desarenador = 60, 25 %
- Rejilla Fina = 39, 75 %

Es decir, genera más impacto una avería en el Grit-Separador/Desarenador que en la rejilla final. Luego se calcula la disponibilidad propia de cada máquina y se pondera según los valores recién entregados obteniendo la siguiente ecuación para el cálculo de la disponibilidad general pre tratamiento.

$$A_{PT} = A_{GS/D} \cdot 0,6025 + A_{Rf} \cdot 0,3975 \quad (6.4)$$

Rendimiento

No se genera una evaluación, ya que se acepta y se trabaja con la totalidad del flujo que pasa por el subproceso. Además no existe posibilidad de reprocesamiento. Se considera valor de rendimiento 1 constante.

Tasa Calidad

Para esta etapa no se puede realizar una evaluación de manera cuantitativa del estado de calidad de la salida del proceso, ya es una producción continua de “Licor mezclado” (nombre que toma el flujo efluente del reactor aireador) aceptando completamente el producto sin la posibilidad de reproceso ni rechazos con referencia a controles de calidad.

El índice general del pretratamiento es:

$$R.G.P._{PT} = A_{PT} \cdot Q_{PT} \quad (6.5)$$

6.1.2. Reactor Aireador (RA)

Luego de pasar por el pre tratamiento el flujo toma el nombre de “.^a agua cruda”, la cual ingresa al proceso de aireación. En esta etapa se encuentran presentes 3 equipos: el Impeller y un par de sopladores que se denominan Soplador Reactor I y Soplador Reactor II. El objetivo general del proceso es facilitar la digestión posterior, entregando condiciones óptimas del oxígeno disuelto (DO) $DO = 2[mg/L]$.

Disponibilidad

En esta etapa participan varios activos realizando trabajo de manera paralela. Considerando que la importancia de las máquinas no es la misma, se pondera el impacto de cada equipo según estimaciones entregadas por personal de la planta, con los cuales se obtienen los siguientes resultados:

- Impeller= 85 %
- Soplador Reactor I = 7,5 %
- Soplador Reactor II = 7,5 %

Obteniendo así una disponibilidad representativa total para el subproceso del Reactor Aireador:

$$A_{RA} = A_{Imp} \cdot 0,850 + A_{SrI} \cdot 0,075 + A_{SrII} \cdot 0,075 \quad (6.6)$$

Rendimiento

El objetivo principal de esta fase de la planta es producir un $DO = 2$ [mg/l], se realizan mediciones de DO de manera periódica y se evalúa la lejanía según los parámetros linealmente

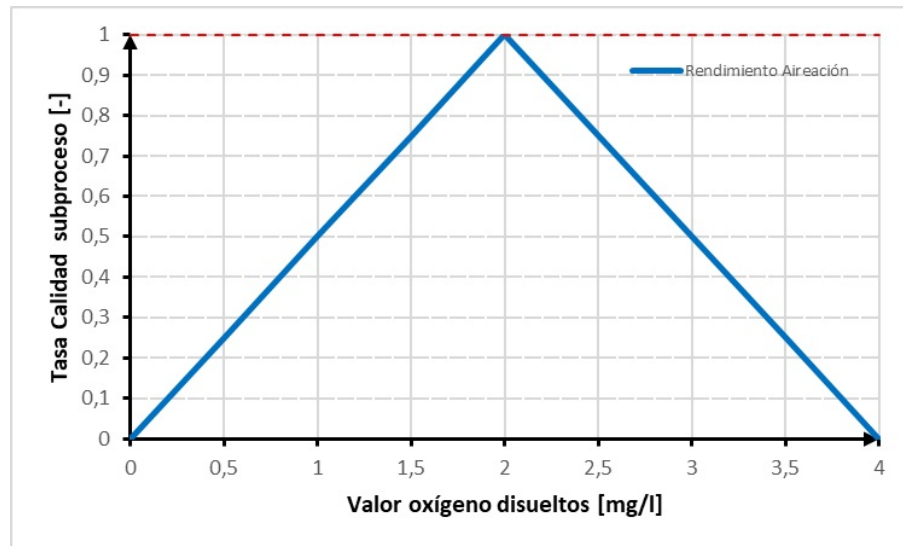


Figura 6.4: Distribución Rendimiento para Subproceso Aireación

Esta distribución se escoge para entender que, si bien, el valor óptimo de DO se encuentra en 2 [mg/l], cualquier valor que tome la medición de DO mayor a esta medida se traduce en una pérdida por exceso de trabajo, el cual no lleva a un mayor beneficio. Esto se ve representado en la ecuación-6.7 y en la figura-6.4. Una cantidad menor también producirá una merma en la producción.

$$R_{RA} = \frac{-1}{2} \cdot |DO - 2| + 1 \quad (6.7)$$

Donde

OD : Valor de Oxígeno Disuelto.

Para aumentar la exactitud de este índice se busca definir distintas distribuciones hasta encontrar la que estime de mejor forma el comportamiento del subproceso.

Tasa Calidad

Se genera un índice de manera cualitativa para evidenciar el estado en que está produciendo la aireación mediante una inspección visual al nivel de grasa acumulada en los bordes del “dique”. Usando misma tabla de evaluación cualitativa-6.1.

El índice general del Reactor Aireador es:

$$R.G.P.RA = A_{RA} \cdot Q_{RA} \cdot R_{RA} \quad (6.8)$$

6.1.3. Clarificador (CL)

Si bien todos los procesos son fundamentales en el tratamiento del agua, es en este en donde se realiza efectivamente división entre los flujos de agua clarificada y de lodos. En este proceso trabaja íntegramente un equipo llamado “Clarifier”, que realiza la separación de flujos. Por ende sin este equipo no sería posible la etapa.

Disponibilidad

Se deja expresa la importancia de estudiar algún tipo de activo en paralelo para suplir alguna falla. Si se presenta una avería en este equipo, el proceso se detiene totalmente.

Volviendo a la obtención de la disponibilidad al ser un solo equipo se calcula con la ecuación-6.3

$$A_{CL} = A_{Clarificador} \quad (6.9)$$

Rendimiento

En este proyecto, no se realiza un análisis en este ámbito. No existen datos ni mediciones con las cuales poder obtener conclusiones. Se propone un seguimiento y una evaluación en la velocidad de diseño mediante un conteo de las rpm en distintos periodos del día para comparar este valor con su análogo teórico y así corroborar que se está trabajando sin reducción de velocidad.

Tasa Calidad

Análogo al elemento anterior al no existir una evaluación del producto finalizado "Agua Clarificada", se debe hacer uso de la Figura-6.2 flujo de elección para pasar del cálculo cuantitativo y generar su análogo cualitativo evaluando el ¿Cómo se está produciendo? Usando la misma distribución entregada en la tabla-6.1 de evaluación cualitativa.

El índice general del Clarificador queda dado por:

$$R.G.P._{CL} = A_{CL} \cdot Q_{CL} \quad (6.10)$$

6.1.4. Cámara Contacto (CC)

Siguiendo con la línea de flujo de agua y llegando finalmente a su última etapa previa a su deposición en el Río Simpson, se realizan varias mediciones para conocer el estado del agua tratada y de descarga. Entre los valores medidos se encuentran; pH, Temperatura, Caudal y Cloro.

Se encuentran presentes dos equipos de cloración y un medidor ultrasónico tal y como se aprecia en la Figura-3.11. El objetivo de este subproceso, como su nombre lo indica es llevar el nivel de cloro al estipulado por el ministerio de medio ambiente y las pretensiones propias de la empresa, es decir, 0,2[mg/l]

Disponibilidad

Como toda esta etapa se realiza en base al funcionamiento de dos equipos, siendo estos una Bomba de Cloración I y Bomba de Cloración II, que se encuentran configuradas en paralelo trabajando la misma capacidad y generando el mismo nivel de impacto, el valor más representativo es un promedio de ambas disponibilidades individuales, es decir:

$$A_{CC} = A_{bccI} \cdot 0,5 + A_{bccII} \cdot 0,5 \quad (6.11)$$

Rendimiento

Este factor se trabaja en relación a un valor óptimo de cloro disuelto de 0,2[mg/l] de manera análoga al valor esperado en el reactor aireador. Obtener una medición por

sobre el valor establecido se traduce como pérdidas por exceso en los gastos de las materias primas. Con una diferencia fundamental la cual será posible apreciar en imagen que se presentara a continuación en la figura-6.5.

Es importante mencionar que el control es más estricto debido a que es la última etapa antes de su deposición en el Río Simpson. El valor de cloro medido está sujeto a una legislación indicada en D.S. N 90 sobre los límites máximos permitidos para la descarga de residuos líquidos a cuerpos de agua fluviales. Debido a esta necesidad de control más exhaustivo se realiza una distribución que se ajusta de mejor forma a las exigencias propias.

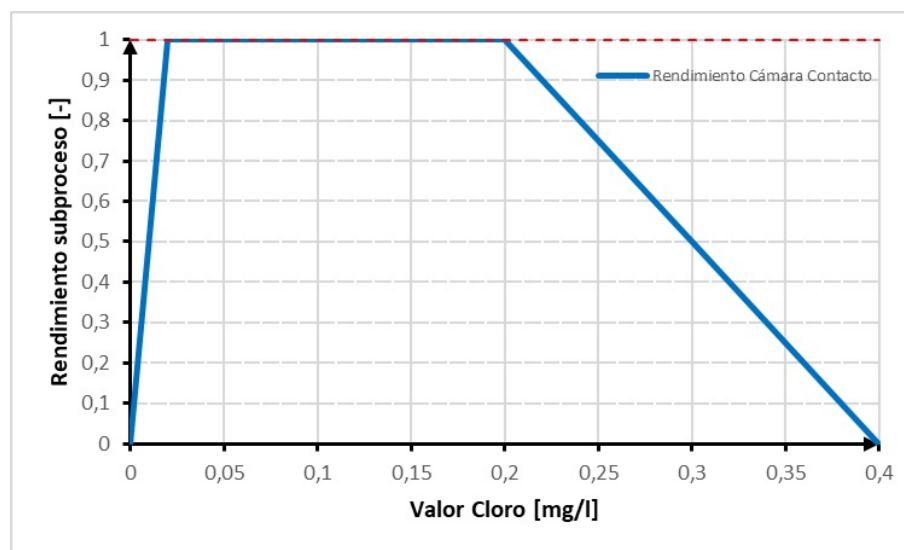


Figura 6.5: Distribución Rendimiento para Subproceso Clarificación

En esta imagen se puede ver los 5 tramos de valores que puede tomar la medición el cloro.

- 0[mg/l] : Primer rango compuesto por un valor único, el cual como es de esperarse corresponde a un nivel de rendimiento de 0 ya que no se está cumpliendo de ninguna forma el valor del rango óptimo.
- 0[mg/l] – 0,02[mg/l] : este rango representa todas aquellas mediciones que se encuentran bajo lo que se encuentra especificado anteriormente como condiciones idóneas para la realización del proceso. Es decir, no cumple con las especificaciones impuestas por la empresa. La mayor característica de este trayecto es su pendiente pronunciada, lo cual se traduce en un fuerte castigo al acercarse a la medición nula de cloro 0[mg/l].

- 0,02[mg/l] – 0,2[mg/l] : Rango óptimo especificado anteriormente como rendimiento de 100 % y al que se aspira obtener en cada medición.
- 0,2[mg/l] – 0,4[mg/l] : Este rango presenta una pendiente descendiente castigando el exceso del nivel de cloro disuelto, ya que al aumentar el cloro disuelto no se traduce como un valor agregado y tampoco un mayor beneficio para la empresa.
- Mayor a 0,4[mg/l] : Esta última categoría engloba a todas las mediciones mayores a 0,4[mg/l], las cuales se entienden como un exceso de esfuerzo, que no se traduce como aporte al producto final de la empresa. El rendimiento es 0.

Con referencia al nivel de exigencia de la norma versus las normativas impuestas por la misma empresa, aunque en un par de categorías no se alcance el nivel óptimo y se pueda llegar a valores muy bajos de rendimiento incluso hasta 0, esto no significan un incumpliendo desde el punto de vista medio ambiental del D.S. N 90.

Tasa Calidad

No se realiza un seguimiento a este parámetro, ya que el producto final debe ser analizado mediante la evaluación de su nivel de cloración y este se encuentre dentro del análisis del rendimiento. Para esta etapa inicial de la plataforma de monitoreo no se trabaja. La tasa de calidad se mantiene con un valor constante de 1.

El índice general de Cámara Contacto queda dado por:

$$R.G.P_{CC} = A_{CC} \cdot R_{CC} \quad (6.12)$$

6.1.5. Mesa espesadora (ME)

El objetivo principal de este subgrupo es añadirle al flujo de lodos proveniente del Clarificador una mezcla de polímetros para acelerar y potenciar los procesos posteriores de deshidratación y digestión. Antes de entregar las consideraciones realizadas en los cálculos necesarios para la obtención del índice general proceso, es necesario identificar la presencia de los líneas de flujo, una de agua y otra de lodos las cuales se unen en la mesa espesadora la maquina más importante del proceso, la cual le da el nombre a la etapa. Está diseñada para poder trabajar a un caudal de 14 [l/s].

Disponibilidad

Para identificar la configuración de todos estos equipos es importante observar el comportamiento de los flujos en la Figura-3.13. Se puede apreciar que todos los equipos cumplen distintas funciones, por ende no es necesario realizar ponderaciones para el impacto de cada uno. Sin embargo en este caso es fundamental el hecho que no existe acumulaciones de ningún tipo, ni redundancia y flujos auxiliares. Es decir, este proceso se describe en serie. La disponibilidad de este subproceso se calcula con la ecuación-6.13

$$A_{ME} = A_{HAP_{ME}} \cdot A_{BAA_{ME}} \cdot A_{ME_{ME}} \cdot A_{BS_{ME}} \cdot A_{BCM_{ME}} \quad (6.13)$$

De esta última ecuación se puede destacar el hecho de ser una multiplicación de disponibilidades de manera uniforme las cuales revelan el estado real del proceso. Si algunos equipos trabajan en mal estado desde el punto de vista de la disponibilidad pero pueden llevar a cabo la tarea del proceso influyen en el valor global de disponibilidad. De tal modo que aunque se lleva adelante el proceso no se obtendrá un valor óptimo de 1 en la disponibilidad global.

También es importante destacar el hecho que si se presenta una falla catastrófica en algún equipo, es decir, disponibilidad individual 0. Automáticamente se obtiene un 0 total para la disponibilidad global de proceso, ya que imposibilita las líneas de flujo de todo el proceso

Rendimiento

Para esta evaluación se toma como referencia el valor nominal de trabaja de la máquina más importante del proceso, siendo esta la Mesa espesadora:

- Procesamiento de Caudal óptimo de lodos = 14[l/s]

Debido al mal dimensionamiento de algunos equipos del proceso, (en específico la bomba deshidratante) no es posible trabajar a la capacidad que se encuentra diseñado el proceso. Se está va trabajando con flujos más bajos. Este rendimiento se evalúa utilizando la ecuación -6.14

$$R_{ME} = \frac{-1}{14} \cdot |Q_l - 14| + 1 \quad (6.14)$$

Donde

Q_l : Caudal de procesamiento lodos.

Por ejemplo, si se tiene un caudal de trabajo de 7 [l/s], se obtendrá un rendimiento de 50 % del proceso

$$R_{ME} = \frac{-1}{14} \cdot |Q_l - 14| + 1 = -1/14 * 7 + 1 = 0,5 \quad (6.15)$$

Esta distribución se presenta en la Figura-6.6

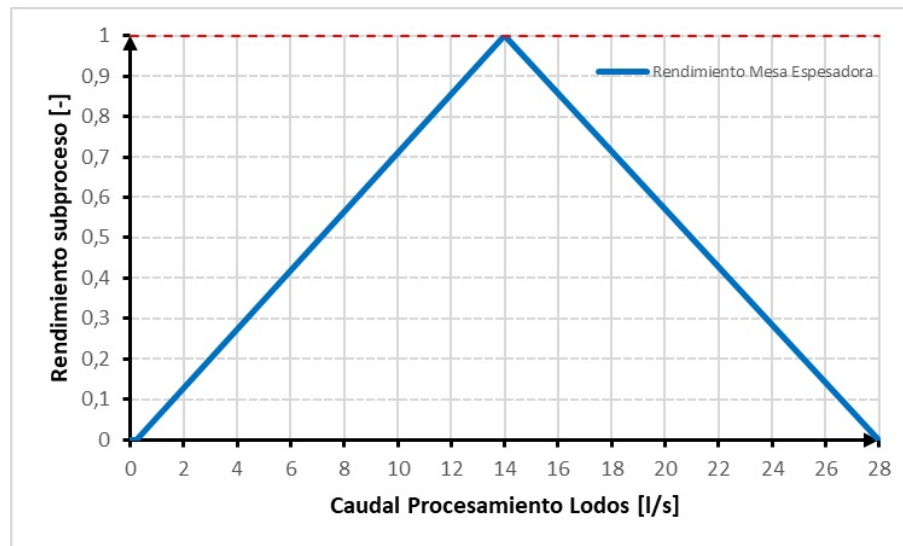


Figura 6.6: Distribución Rendimiento para Subproceso Mesa espesadora

Se escoge esta ecuación ya que castiga de igual forma trabajar por sobre o bajo la velocidad de diseño.

Tasa Calidad

En este proceso no es posible realizar un análisis cualitativo del producto posterior a la bomba deshidratante, haciendo uso del flujo expresado en el Figura-6.2, se genera una evaluación del estado de salida de los lodos al menos de manera cualitativa, en donde se utiliza las categorías expresadas en la tabla-6.1.

El índice general de Mesa espesadora queda dado por:

$$R.G.P._{ME} = A_{ME} \cdot R_{ME} \cdot Q_{ME} \quad (6.16)$$

6.1.6. Digestor (Dig)

Proceso en el cual solo están presentes flujos de lodo, se realiza en un estanque abierto de unos 7 metros de altura tal como se puede apreciar en la Figura-3.14. El objetivo principal del subproceso es inyectar aire desde la parrilla ubicada al fondo del estanque para facilitar el crecimiento de los microorganismos y una estabilización del mismo.

En este subproceso se encuentran presentes 3 sopladores de las mismas características. Todos sus flujos se unen para ingresar mediante el mismo acceso a la parrilla de aireación.

Disponibilidad

Nuevamente se realiza una obtención individual de la disponibilidad de cada equipo presente en el proceso, siendo estos:

- Disponibilidad Soplador Digestor I
- Disponibilidad Soplador Digestor II
- Disponibilidad Soplador Digestor III

La obtención de la disponibilidad total del proceso se realiza usando una ponderación según el impacto de cada equipo, tal como se dio en el caso de subprocesos anteriores. Según estimaciones del personal de la planta la influencia de cada soplador representa:

Disponibilidad Soplador Digestor I : 60 %.

Disponibilidad Soplador Digestor II : 25 %

Disponibilidad Soplador Digestor III : 15 %

Utilizando estas ponderaciones es posible obtener un valor representativo para la disponibilidad total del proceso como:

$$A_{Dig} = A_{SDigI} \cdot 0,60 + A_{SDigII} \cdot 0,25 + A_{SDigIII} \cdot 0,15 \quad (6.17)$$

Rendimiento

Para representar de mejor forma el desempeño de este subproceso, se descompone el indicador de rendimiento en la resultante de dos componentes; "Porcentaje de utilización" "Periodo Retención" los cuales se configuran de la siguiente forma:

$$R_{Dig} = \%U \cdot Periodo Retencion \quad (6.18)$$

A continuación se explica la metodología de cálculo de cada uno de estos componentes para así obtener el rendimiento total del proceso, iniciando por el porcentaje de utilización.

Porcentaje Utilización (%U)

Este índice se obtiene al medir la altura de lodos con que está trabajando, sobre el máximo aprovechable, es decir:

$$\%U = \frac{Altura \ lodos}{Altura \ Maxima} \quad (6.19)$$

Donde altura máxima del estanque es igual a 7[m]

Periodo de Retención

El otro componente que se utiliza para la evaluación del rendimiento es el periodo de retención, Este debería ser idealmente de 8 días, pero por condiciones de límite operacional, en específico la deficiencia en la capacidad de aireación (generada por escaso aporte del Soplador III) no es posible alcanzar estos valores y se trabaja en periodos más bajos, para evaluar esta cantidad de retención es necesario identificarla, para luego categorizar y valorar según los rangos entregados en la tabla-6.2.

Periodo de retención días	Resultado
8,000	1,000
6 a 8	0,700
4 a 6	0,500
menor a 4	0,300

Tabla 6.2: Categorías para la evaluación periodo de retención según la cantidad de días

Entendiendo como impresentable valor de retención menor a 6 días y óptimos valores de retención de 8 días.

Tasa Calidad

Para evaluar la calidad en la producción se realiza un análogo al parámetro del oxígeno disuelto en [mg/l] anteriormente evaluado en procesos como aireación. Aunque en este subproceso el valor óptimo se considera 1[mg/l]. Se utiliza la misma distribución para generar la evaluación, la cual se puede ver graficada en la Figura-6.7

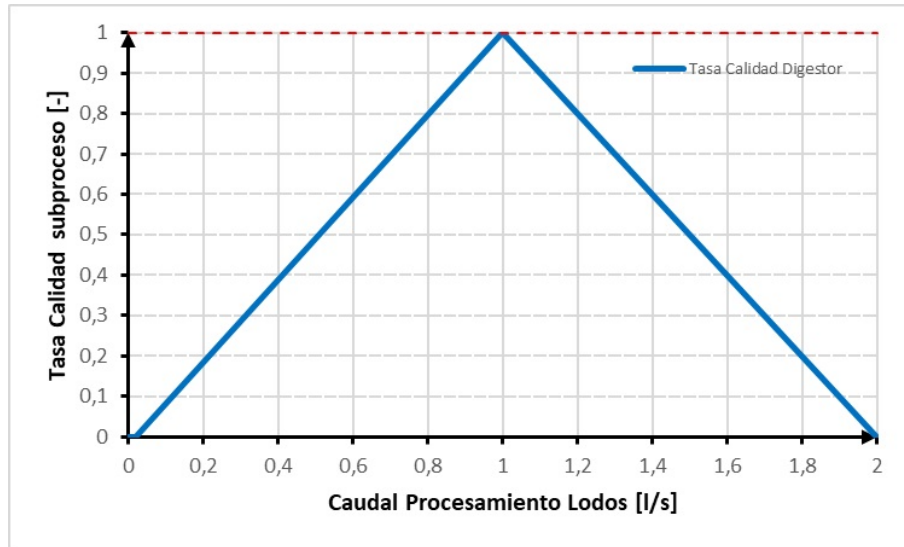


Figura 6.7: Distribución tasa calidad para Subproceso Digestor

Se castiga el hecho de excederse del valor óptimo disminuyendo el rendimiento. Si el óptimo es 1[mg/l], medir un valor de oxígeno disuelto de 1,1[mg/l] cumple con los requerimientos mínimos ambientales, pero no cumple con los estándares de calidad internos de la empresa.

A continuación se expresa la ecuación con la que se obtiene la tasa de calidad

$$Q_{Dig} = -1 \cdot |OD - 1| + 1 \quad (6.20)$$

Donde

Q_{Dig} : Tasa calidad Digestor

OD : Valor de oxígeno disuelto.

El índice general del Digestor queda dado por:

$$R.G.P_{Dig} = A_{Dig} \cdot R_{Dig} \cdot Q_{Dig} \quad (6.21)$$

O bien:

$$R.G.P.Dig = A_{Dig} \cdot Porcentaje Utilizacion \cdot Periodo Retencion \cdot Q_{Dig} \quad (6.22)$$

6.1.7. Prensa Lodos (PL)

Etapa final para la línea de lodos, en este subproceso al igual que en la mesa espesadora, se le inyecta polímeros al flujo trabajado para optimizar el desempeño de la prensa presente en este proceso. El objetivo principal es extraer la mayor cantidad de humedad posible del efluente de lodos.

Es importante mencionar que todo el exceso de humedad eliminado de los lodos por el proceso de prensado es enviado nuevamente al reactor aireador mediante el uso de un par de bombas sumergibles como se puede apreciar en la Figura-3.16

Disponibilidad

En cuanto a la configuración de esta etapa presenta las mismas características que la mesa espesadora. Es necesario el buen funcionamiento de cada equipo para el correcto procesamiento de lodos, por ende se considera una lógica en serie para el cálculo de su disponibilidad:

$$A_{PL} = A_{FiltroB_{PL}} \cdot A_{HAP_{PL}} \cdot A_{BMP_{PL}} \cdot A_{BTE_{PL}} \cdot A_{MP_{PL}} \quad (6.23)$$

Rendimiento

En estos proceso si bien todos los equipos trabajan de manera independiente y son necesarios para la correcta realización de la etapa, existe un equipo crítico. El Filtro Banda se lleva a cabo la deshidratación de los fluidos.

Se propone un sistema de control de rendimiento inspirado en la velocidad de diseño del filtro banda. Se evalúan la velocidad de flujo que se está trabajando sobre la diseñada de 5[l/s] lo cual se expresa con la ecuación-6.24.

$$R_{PL} = \frac{-1}{5} \cdot |F_t - 5| + 1 \quad (6.24)$$

Donde

” R_{PL} : Rendimiento Prensa Lodos.

F_t : Flujo de trabajo subproceso.

En este subproceso la medición del flujo trabajo es realizada por un medidor ubicado antes del mezclador de polímero cómo se puede ver en la Figura-3.16

Tasa Calidad

Finalmente la evaluación del estado final del efluente de los lodos, es decir, la salida de la etapa de filtro banda se mide el porcentaje de humedad presente en los lodos, o bien, cuanto del peso total corresponde a agua.

Para ello se toman muestras las cuales se pesan, nombrándolo como "Peso Húmedo". Posteriormente se deja secar la muestra de lodo para luego pesarla generando así un segundo peso correspondiente al "Peso Seco". Finalmente, con el uso de ecuación-6.25 es posible obtener el porcentaje de peso de lodo deshidrato que corresponde a agua.

$$\text{Porcentaje Humedad} = \frac{\text{Peso Húmedo} - \text{Peso Seco}}{\text{Peso Húmedo}} \cdot |F_t - 5| + 1 \quad (6.25)$$

Este valor de "Porcentaje de Humedad" [%] se evalúa con la siguiente Tabla-6.3, obteniendo así el índice de tasa de calidad.

Porcentaje Humedad de lodos	Tasa calidad
100-85	$\frac{-1}{15} \cdot \%H - 100 + 1$
84-0	1

Tabla 6.3: Categorías para la evaluación de tasa calidad según la humedad de lodos

La tabla-6.3 muestra los dos posibles valores que puede tomar para el rendimiento. Si el porcentaje de humedad cae en la primera categoría(100-85 [%]), el índice de tasa de calidad se obtendrá con la siguiente función:

$$Q_{PL} = \frac{-1}{15} \cdot |\%H - 100| + 1 \quad (6.26)$$

En la Figura-6.8 es posible apreciar la distribución para el índice de calidad en función de su porcentaje de humedad, esta se puede caracterizar de permisiva, o más bien poco exige respecto al estado de deshidratación de los lodos, esto se entiende por ser un proceso poco crítico para la empresa y sin mayor riesgo debido a que estos lodos no se utilizan en ninguna parte del proceso. Simplemente son retirados de la planta. Siempre es importante realizar un seguimiento continuo del estado del efluente

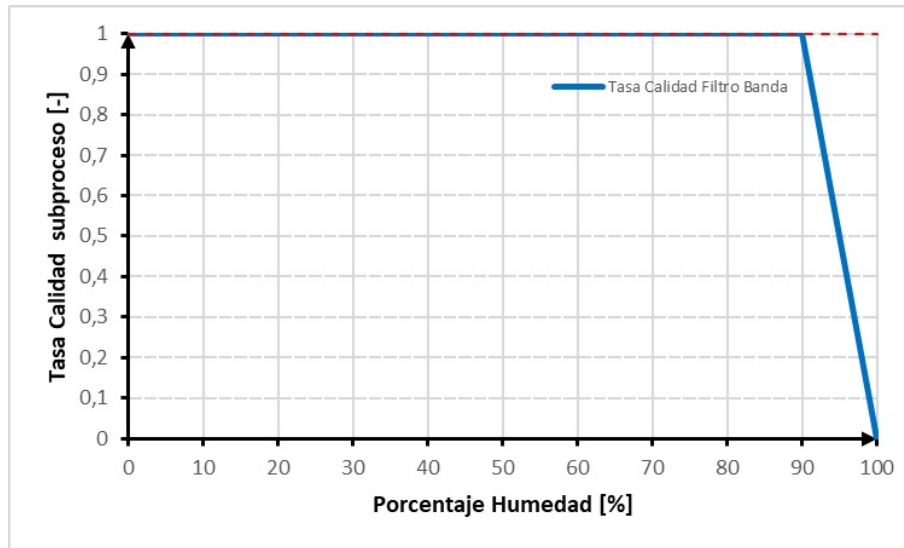


Figura 6.8: Distribución tasa calidad para Subproceso Prensa Lodos

de lodos por la detección de fallas.

Para todos aquellos valores de porcentaje de humedad menor o igual a 84, se puede asegurar el hecho que se está trabajando en rangos óptimos, por ende es posible evaluar el índice de calidad como 1.

El índice general del Prensa Lodos queda dado por:

$$R.G.P._{PL} = A_{PL} \cdot R_{PL} \cdot Q_{PL} \quad (6.27)$$

6.1.8. Grupo Generador (GG)

Esta última etapa, como ya se menciona en la descripción del proceso, no forma parte de ninguna línea de flujo de la empresa y no está incluida como proceso ni en el flujo de aguas ni lodos. Sin embargo es necesario hacerle el mismo seguimiento, ya que es un equipo importante que necesita estar monitoreado para asegurar su buen funcionamiento en el momento que por algún motivo falle el suministro eléctrico.

Disponibilidad

Este grupo generador presentado en la Figura-3.17 solo se usa en momentos de averías con la fuente de poder. Si se llega a cortar el suministro eléctrico se pone en marcha el grupo generador para algunas etapas y equipos indispensables para el funcionamiento de la planta como lo son el pre tratamiento, el reactor aireador, el clarificador, la cámara contacto y la prensa lodos. Algunos no trabajarían a máxima capacidad, sino que a una suficiente para mantener el proceso en marcha mientras se consigue reparar la avería. Por este motivo no es posible realizar análisis para la tasa de calidad ni el rendimiento del proceso. No se realiza según los estándares de calidad normal, sino que unos de emergencia los cuales hasta este punto no fueron delimitados.

El monitoreo de disponibilidad se realiza mediante pruebas semanales para revisar el hecho que el grupo generador se encuentra en estado óptimo para el momento que sea necesario.

La disponibilidad del proceso evidentemente será la disponibilidad individual del equipo y a su vez corresponderá al índice general del proceso, tal como se puede ver a continuación.

$$R.G.P_{GG} = A_{GG} \quad (6.28)$$

A modo de resumen, se acaban de describir todos los análisis y consideraciones que se utilizan para poder calcular los índices de rendimiento, disponibilidad y tasa calidad con el fin de obtener los componentes necesarios para calcular el índice general de cada proceso, los cuales se pueden ver sintetizados en la tabla-8.3.

6.2. Graficación de Resultados

En esta sección se presenta la forma en que son entregados los resultados de los índices generales. Para facilitar la comprensión, discusión y trabajo se suministran de manera gráfica.

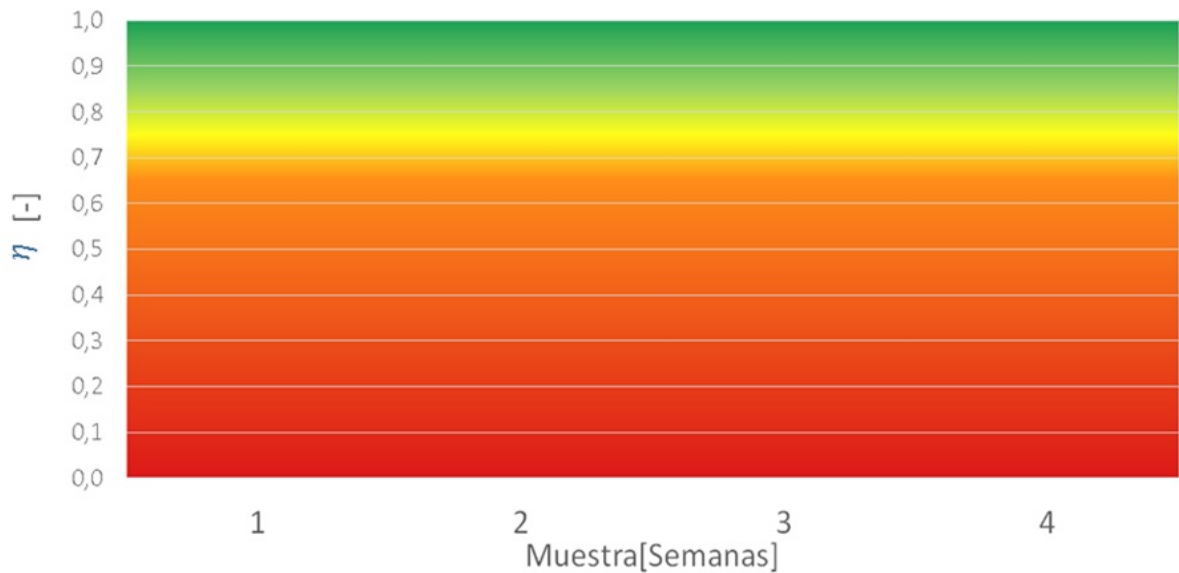


Figura 6.9: Formato básico para gráficos de resultado para un año

6.2.1. Formato de fondo y ejes de coordenadas

Las principales características del gráfico son la presencia de un sistema de coordenadas en dos dimensiones(X,Y) además de un fondo particular cuyos significados son explicados a continuación.

Eje X

La coordenada de la abscisa que están nombradas con el título de "Muestra". Las unidades de medida no son expresadas, esto debido al hecho que se puede ir variando según la sensibilidad del proceso. En este caso se presenta un monitoreo realizado de manera semanal y las 52 muestras representan un año de seguimiento, monitoreo y análisis. Ahora bien si el proceso es más crítico y necesita un monitoreo más minucioso se pueden generar las muestras de manera diaria, horaria y en el caso que lo requiera de manera momentánea "en vivo" mediante un monitoreo constante e instantáneo.

Eje Y

El eje de las ordenas, a diferencia del de las abscisas, presenta un modelo fijo y no da la posibilidad a modificaciones. Se representa el valor del Rendimiento General del Proceso", el cual tiene medidas adimensionales, en un rango desde 0 a 1. Donde 0 representa un índice la mínima medición de rendimiento y 1 su óptimo.

Fondo

Si se toma atención del fondo de la representación, este presenta una degradación que ayuda a simplificar la interpretación de los resultados del gráfico, dándole significado a cada rango de color según como se muestra en la siguiente imagen.

Indice General Proceso	Descripcion de clasificación
95	100 Excelente competitividad. Valores World Class.
85	95 Buena competitividad. Entra en Valores World Class.
75	85 Aceptable. Continuar la mejora para avanzar hacia la World Class.
65	75 Baja competitividad. Aceptable sólo si se está en proceso de mejora.
0	65 Inaceptable. Muy baja competitividad.

Figura 6.10: Clasificaciones según Índice General Proceso

Estos rangos identificados con su color respectivo, interpretan la clasificación según estándares de calidad y competitividad ampliamente utilizados. El rango de excelente competitividad se encuentra en lo más alto del índice entre 95 % a 100 %. La siguiente categoría esta entre 85 % a 95 % la cual se entiende por una buena competitividad entrando a valores de World Class, continuando con los rangos entre 75 % a 85 % se localiza una clasificación "aceptable", la cual llama a seguir en la búsqueda de mejora. Luego se presenta la categoría más esperada para el caso de una primera medición de monitoreo que comprende los valores de 65 % a 75 % como su definición lo indica esta

categoría demuestra una baja competitividad y es aceptable solo si se están proceso de mejora. Finalizando las categorías cierra la clasificación totalmente inaceptable cualquier valor que se encuentre por debajo de 65 %.

A continuación se presentan los resultados gráficos de la implementación de este sistema de monitoreo en la P.T.A.S. para 2 muestras analizadas.

Capítulo 7

Resultados

Presentadas ya las características principales presentes en un gráfico de resultado, se entregan resultados del análisis completo que es realizado a la Planta Tratamiento Agua Potable Coyhaique.

Presentación de gráficos y resultados

En esta sección del capítulo se presentan las mediciones reales que fueron tomadas en terreno durante el periodo de levantamiento del sistema de monitoreo. La cantidad de datos ingresados es insuficiente para realizar un correcto análisis estadístico, ya que solo se consta de dos mediciones por subgrupo. Sin embargo ya es posible ver lo poderosa de esta herramienta debido a que es posible analizar importantes comportamientos en procesos, configuraciones y características presentes en la planta tratamiento de aguas servidas (P.T.A.S.). A continuación se presentan las plataforma de ingreso de datos para cada subproceso con sus respectivas mediciones:

Grupo Generador	Muestra 1	Muestra 2
Tiempo inactividad[horas]	0,00	0,00
Tiempo operativo[horas]	160,00	10,00
número de fallas[-]	0,00	0,00

Figura 7.1: Ingreso mediciones Grupo Generador

Pretratamiento		
	Muestra 1	Muestra 2
Valoración [Verde], [Amarillo] o [Rojo]	Verde	Verde
Grit-Separador Desarenador		
	Muestra 1	Muestra 2
Tiempo inactividad[horas]	0,00	0,00
Tiempo operativo[horas]	160,00	160,00
número de fallas[-]	0,00	0,00
Rejilla		
	Muestra 1	Muestra 2
Tiempo inactividad[horas]	0,00	0,00
Tiempo operativo[horas]	160,00	160,00
número de fallas[-]	0,00	0,00

Figura 7.2: Ingreso mediciones Pre Tratamiento

Para las muestras correspondientes a los primeros dos subgrupos recién mostrados, se aprecia un comportamiento ideal, ya que en el transcurso del monitoreo no se presenta ningún tipo de indisponibilidad ni comportamiento anómalo, es por esto que las valoraciones cualitativas están en verde y las indisponibilidades son 0 horas.

Reactor Aireador		
	Muestra 1	Muestra 2
Valor de oxígeno disuelto [mg/l]	1,800	1,850
Impeller		
	Muestra 1	Muestra 2
Tiempo inactividad[horas]	0,00	0,00
Tiempo operativo[horas]	160,00	160,00
número de fallas[-]	0,00	0,00
Soplador Reactor 1		
	Muestra 1	Muestra 2
Tiempo inactividad[horas]	0,00	0,00
Tiempo operativo[horas]	160,00	160,00
número de fallas[-]	0,00	0,00
Soplador Reactor 2		
	Muestra 1	Muestra 2
Tiempo inactividad[horas]	0,00	0,00
Tiempo operativo[horas]	160,00	160,00
número de fallas[-]	0,00	0,00

Figura 7.3: Ingreso mediciones Reactor Aireador

Pasando ahora al reactor aireador, ocurre el mismo caso en cuanto a la disponibilidad, es decir, todo el tiempo corresponde a tiempo operativo ya que no se presenta ninguna avería ni desperfecto. Se calcula el índice de rendimiento evaluando el nivel de oxígeno disuelto en cada muestra.

Clarificador	Muestra 1	Muestra 2
Valoración [Verde], [Amarillo] o [Rojo]	Verde	Verde
Tiempo inactividad[horas]	0,00	0,00
Tiempo operativo[horas]	160,00	160,00
número de fallas[-]	0,00	0,00

Figura 7.4: Ingreso mediciones Clarificador

Siguiendo con los flujos de trabajo para la etapa del clarificador, en esta no se presentó ningún tipo de contratiempo y el proceso se realiza de manera normal adecuada y controlada lo cual se traduce a un verde en la escala cuantitativa.

Cámara Cloración	Muestra 1	Muestra 2
Valor de cloro [mg/l]	0,100	0,115
Bomba apoyo Cloración 1	Muestra 1	Muestra 2
Tiempo inactividad[horas]	0,00	0,00
Tiempo operativo[horas]	160,00	160,00
número de fallas[-]	0,00	0,00
Bomba apoyo Cloración 2	Muestra 1	Muestra 2
Tiempo inactividad[horas]	0,00	0,00
Tiempo operativo[horas]	160,00	160,00
número de fallas[-]	0,00	0,00

Figura 7.5: Ingreso mediciones Cámara Cloración

Para la etapa previa a la deposición en el río Simpson, se ingresan los valores de cloro medidos en cada muestra, siendo estos 0,100[mg/l] y 0,115[mg/l]. Para el cálculo del índice de disponibilidad, al no existir ningún tipo de muda no existe indisponibilidad.

Para esta etapa de los lodos, se necesita ingresar 4 categorías de valores, las cuales se realizan para el cálculo de los componentes del índice general del proceso. Como características principales del proceso, se puede mencionar que no hay ningún tipo de contratiempo que pueda mermar la disponibilidad de los equipos y por ende del sub-proceso, la altura de lodos no alcanza al máximo estando en promedio trabajando a un 67,8 % de su capacidad, análogo a esto es el caso del periodo de retención ya que existe una brecha constante entre el valor medido y el esperado idealmente, finalmente con respecto a la calidad del lodo se puede apreciar un valor constante y correspondiente a lo esperado previamente para este proceso.

Digestor	Muestra 1	Muestra 2
Periodo retención[días]	5,4	5,3
Valor oxígeno [mg/L]	1	1
Altura de lodos [m]	5	4,5
Soplador Digestor 1	Muestra 1	Muestra 2
Tiempo inactividad[horas]	0,0	0,0
Tiempo operativo[horas]	160,0	160,0
número de fallas[-]	0,0	0,0
Soplador Digestor 2	Muestra 1	Muestra 2
Tiempo inactividad[horas]	0,0	0,0
Tiempo operativo[horas]	160,0	160,0
número de fallas[-]	0,0	0,0
Soplador Digestor 3	Muestra 1	Muestra 2
Tiempo inactividad[horas]	0,0	0,0
Tiempo operativo[horas]	160,0	160,0
número de fallas[-]	0,0	0,0

Figura 7.6: Ingreso mediciones Digestor

Mesa espesadora	Muestra 1	Muestra 2
Caudal procesamiento lodos [L/s]	6,00	6,00
Estado lodos salida	Verde	Verde
Hélice agitador polímero	Muestra 1	Muestra 2
Tiempo inactividad[horas]	0,0	0,0
Tiempo operativo[horas]	160,0	160,0
número de fallas[-]	0,0	0,0
Mesa espesadora de lodos	Muestra 1	Muestra 2
Tiempo inactividad[horas]	0,0	0,0
Tiempo operativo[horas]	160,0	160,0
número de fallas[-]	0,0	0,0
Bomba deshidratante	Muestra 1	Muestra 2
Tiempo inactividad[horas]	0,0	0,0
Tiempo operativo[horas]	160,0	160,0
número de fallas[-]	0,0	0,0
Bomba alimentación de agua	Muestra 1	Muestra 2
Tiempo inactividad[horas]	0,0	0,0
Tiempo operativo[horas]	160,0	160,0
número de fallas[-]	0,0	0,0
Bomba centrifuga mezcladora polímero (Bomba polímero)	Muestra 1	Muestra 2
Tiempo inactividad[horas]	0,0	0,0
Tiempo operativo[horas]	160,0	160,0
número de fallas[-]	0,0	0,0

Figura 7.7: Ingreso mediciones Mesa Espesadora

Filtro banda		
	Muestra 1	Muestra 2
Caudal procesamiento lodos [L/s]	5,00	4,90
humedad de lodo a la salida [0-100[%]]	88,00	85,00
Hélice agitador polímero		
	Muestra 1	Muestra 2
Tiempo inactividad[horas]	0,0	0,0
Tiempo operativo[horas]	160,0	160,0
número de fallas[-]	0,0	0,0
filtro banda		
	Muestra 1	Muestra 2
Tiempo inactividad[horas]	0,0	0,0
Tiempo operativo[horas]	160,0	160,0
número de fallas[-]	0,0	0,0
Bomba mezcladora polímero		
	Muestra 1	Muestra 2
Tiempo inactividad[horas]	0,0	0,0
Tiempo operativo[horas]	160,0	160,0
número de fallas[-]	0,0	0,0
Compresor		
	Muestra 1	Muestra 2
Tiempo inactividad[horas]	0,0	0,0
Tiempo operativo[horas]	160,0	160,0
número de fallas[-]	0,0	0,0
Bomba expulsión lodos tornillo excéntrico		
	Muestra 1	Muestra 2
Tiempo inactividad[horas]	0,0	0,0
Tiempo operativo[horas]	160,0	160,0
número de fallas[-]	0,0	0,0

Figura 7.8: Ingreso mediciones Filtro Banda

Para los subprocesos de "Prensa Lodos" y "Mesa Espesadora" se puede apreciar el mismo comportamiento, es por esto que se describen juntos de manera general comenzando por el índice de disponibilidad, donde en ambos subprocesos se desarrolla de manera óptima sin contratiempos ni ajustes necesarios al igual que el resto de la planta no existe la indisponibilidad, complementando estos datos ingresados se encuentran los característicos de cada etapa. Con todas estas mediciones y valoraciones ingresadas se realizan los gráficos correspondientes a cada subproceso en conjunto con el general de la planta, en el siguiente capítulo se presentan estos resultados además de su interpretación.

7.1. Interpretación de resultados

Ya presentadas las mediciones ingresadas para todos los subprocesos se da paso a la generación e interpretación de los resultados primero por etapa y luego general de la planta. A continuación se presentan los gráficos de índice general del proceso para todas las etapas de la planta. Esta presentación se entrega en dos grupos para poder facilitar su lectura.

Iniciando con los subprocesos de Grupo generador, Reactor aireador, Cámara cloración, Filtro banda, Mesa espesadora y Digestor presentados en la Figura-7.9

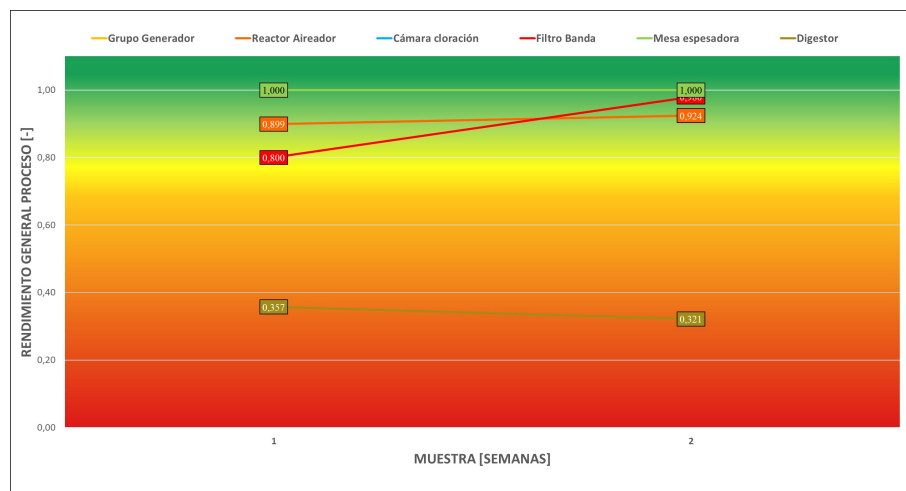


Figura 7.9: Índice General Proceso a

Debido a que los resultados en el rendimiento general proceso para la etapa de pre tratamiento y clarificador son idénticos se presenta solo la figura-7.10 para representar para ambos:

Finalmente se presenta la última herramienta presentada siendo esta el Rendimiento General promedio planta P.T.A.S.

El cual como su nombre lo indica se calcula realizando un promedio entre los R.G.P. de todos los subprocesos presente en la planta, donde sus valores por muestras son 0,848[-] y 0,865[-], obteniendo un valor para el rendimiento general promedio planta de 0,8565 [-]

Presentando ya los resultados en las Figuras-7.9,-7.10 y -7.11 se procede a realizar un análisis de toda la información disponible en ellos, con el fin de poder identificar y jerarquizar los procesos que necesitan más atención debido a su criticidad en cuanto a la calidad y a su vez oportunidades de mejora de planta, enumerando según impacto y

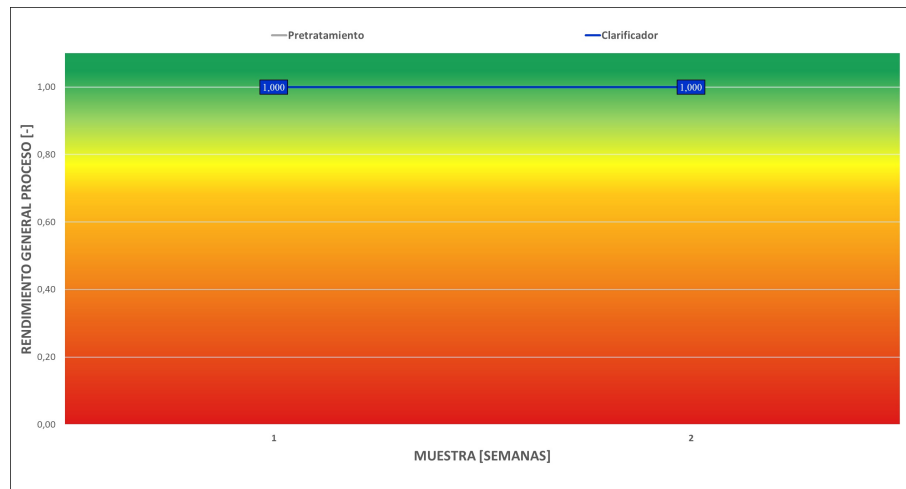


Figura 7.10: Índice General Proceso b

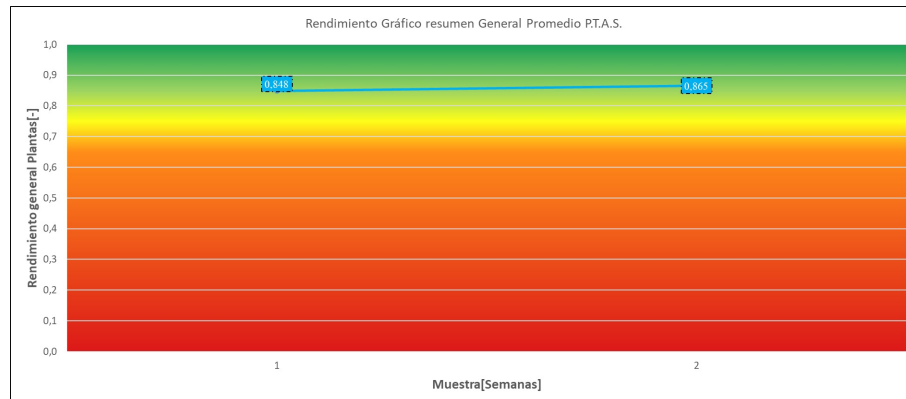


Figura 7.11: Índice General Planta P.T.A.S. Coyhaique

beneficio donde resulta más conveniente realizar algún tipo de mejora.

Debido al hecho que las distribuciones presentadas en la Figura-7.10 son óptimas, para los subprocesos de Pre tratamiento y clarificador, no es posible obtener mayores conclusiones según este resultado, más que el hecho que no es necesario ningún tipo de intervención mayor ni modificación al estado actual para estas dos etapas para alcanzar la excelencia de rendimiento, en otras palabras, bastaría seguir el mismo trabajo con ambos subprocesos y no se presenta ninguna oportunidad de mejora apreciable en este primer análisis.

Al analizar la Figura-7.9, es posible obtener variadas apreciaciones en cuanto al estado de la planta:

- En todos los procesos hay una disponibilidad del 100 %, en donde no hay ningún tipo de avería ni contratiempo, por ende, el impacto del índice de la disponibilidad en el cálculo del rendimiento general del proceso es posible despreciarlo

Dicho esto se va analizando todas las curvas presentes en la Figura-7.9 de manera independiente:

- Grupo Generador: Se mantiene en un valor de excelencia 1 durante las 2 muestras
- Cloración: Al igual que los subprocesos descritos anteriormente se mantiene en una estimación de excelencia debido al hecho que las medidas de cloración disuelta se encuentran entre los valores óptimos para este subproceso, para todos los subgrupos comentados anteriormente durante esta evaluación se presenta una situación de excelencia en el rendimiento general del proceso de 1.
- Reactor Aireador: Esta curva tiene la particularidad que si bien este valor se encuentra en categoría de buena competitiva a puertas de la excelencia no llega a alcanzarla, si se toma en cuenta el hecho que no existe ningún tipo de indisponibilidad, es necesario identificar la fuente de esta brecha para llegar a la excelencia, lo cual se realiza al situarse en la Figura-7.3 de ingreso de datos para este subgrupo. Donde se encuentra en el valor de oxígeno disuelto se presencia una insuficiencia, lo cual se interpreta como que aunque estén en perfectas condiciones todos los equipos presentes en el proceso de Reactor Aireador no es posible llegar a la excelencia absoluta debido a que el flujo de aire inyectado no es suficiente, esto puede verse representado en el resumen de indicadores para este subproceso presentado en la Figura-7.12.

Reactor Aireador		Muestra 1	Muestra 2
Rendimiento		0,900	0,925
Disponibilidad Total reactor		0,999	0,999
Tasa calidad		1,000	1,000
Rendimiento general Reactor Aireador		0,899	0,924

Figura 7.12: Indicador General Proceso Reactor Aireador

Debido al hecho que todos los equipos y el proceso trabajando de manera adecuada se obtiene un indicador tasa calidad y disponibilidad total reactor de 1, y el único origen es el rendimiento, es decir, el nivel que alcanza la oxigenación.

Aquí se encuentra la primera oportunidad de mejora que como se puede apreciar el impacto producido no sería tan alto debido al nivel que tiene actualmente el rendimiento general del proceso es de un promedio de 0,9115[-] lo cual lo categoriza como buena excelencia a las puertas de la excelencia y valores de World Class.

- Filtro Banda: Para la primera muestra es posible apreciar el hecho que se sitúa en la categoría de Aceptable y para su segunda muestra sube a la excelencia, a continuación de manera análoga al caso anterior es conveniente situarse en la Figura-7.13 para identificar el origen de esta diferencia en el valor de rendimiento.

Filtro banda		Muestra 1	Muestra 2
Rendimiento		1,000	0,980
Disponibilidad		1,000	1,000
Tasa calidad		0,800	1,000
Rendimiento general Filtro banda		0,800	0,980

Figura 7.13: Indicador General Proceso Filtro Banda

En estos indicadores es posible apreciar el hecho que para la primera muestra la tasa de calidad es el producto del castigo en el índice general debido a que el porcentaje de humedad es de 88 %. Para el segundo caso solo existe un ligero problema en el rendimiento por el caudal trabado, aquí se encuentra la segunda oportunidad de mejora la cual al no ser de un origen constante, no se traduciría en un gran impacto al índice general del proceso y aun menor grado al índice general de la planta.

- Mesa espesadora: Esta curva se encuentra a un nivel muy bajo y constante, este valor de su índice de rendimiento general del proceso se encuentra en la categoría competitiva más baja el cual es inaceptable, como en los casos anteriores es posible situarla en la tabla de indicadores individuales para excluir el origen.

Mesa espesadora	Muestra 1	Muestra 2
Rendimiento	0,429	0,429
Disponibilidad	1,000	1,000
Tasa calidad	1,000	1,000
Rendimiento general Mesa espesadora	0,429	0,429

Figura 7.14: Indicador General Proceso Mesa espesadora

Al observar los índices individuales de cada muestra resalta inmediatamente dos hechos, el primero es que los resultados para ambas muestras es el mismo y la segunda situación es que existe dos valores perfectos siendo estos disponibilidad y tasa calidad, por ende el bajo de nivel general de rendimiento general del proceso se debe integralmente por el rendimiento. Esto indica que la velocidad real del proceso difiere mucho de la velocidad de diseño, como todos los equipos se encuentran en perfecta disponibilidad se entiende que existe un mal funcionamiento de algún equipo, aquí yace la tercera oportunidad de mejora, la cual es cambiar la máquina que limita el trabajo del proceso a su flujo de diseño siendo esta la bomba deshidratante, en esta caso a diferencia de los anteriores, si se realiza algún tipo de perfeccionamiento del proceso este tendrá un gran impacto en el índice general del proceso y a su vez al índice general de la planta.

- Digestor: Última curva de rendimiento presentada en la Figura-7.9, al evaluar este índice según su resultado numérico esta curva es situada en la categoría más baja de rendimiento pero con un valor absolutamente inaceptable de promedio 0,339[-]. Siguiendo con el análisis y la búsqueda de oportunidades es oportuno identificar el origen de este resultado tan inaceptable.

Al observar los valores presentes en cada índice es posible apreciar ciertas situaciones, la primera nace en los dos indicadores de excelencia de la tasa de calidad y disponibilidad para ambas muestras, es decir, aquí no radica el problema. La segunda es el índice de rendimiento el cual se mantiene en un valor de 0,5 el cual de por si es muy bajo y además es una constante, la tercera situación es el hecho que el porcentaje de utilización no llega a alcanzar el máximo en ninguna muestra

Digestor	Muestra 1	Muestra 2
% utilización	0,714	0,643
Rendimiento	0,500	0,500
Disponibilidad	1,000	1,000
Tasa calidad	1,000	1,000
Rendimiento general Digestor	0,357	0,321

Figura 7.15: Indicador General Proceso Digestor

aunque todos los equipos se encuentren disponibles al trabajo en todo momento. Ahora es momento de identificar nuestra cuarta y aparentemente última gran oportunidad de mejora que es la imposibilidad de oxigenar debidamente el tanque de digestión, ocasionado por la mala distribución de los flujos de ingreso de aire por el fondo del estanque ya que para el tercer soplador el aporte de su flujo aunque sea a máxima capacidad es muy bajo de apenas un 15 %, es decir, si bien la dimensionalización de los equipos es correcta debido a una errónea instalación en su configuración se transforma en un imposible llegar al rendimiento esperado, producto de esta mala oxigenación no es posible hacer uso de un mayor porcentaje de utilización del digestor ya que si no es posible oxigenar debidamente el digestor a media capacidad, el digestor lleno es absolutamente inabordable para la configuración actual. Esta oportunidad de mejora genera un impacto absoluto en el rendimiento del proceso y de manera consiguiente al índice general de la planta.

En este punto, en donde ya fueron mostrados los resultados correspondientes a las curvas de rendimiento correspondiente a cada etapa, donde se finaliza la identificación y enumeración (al menos en esta primera prueba) de las oportunidades de mejora es posible generar una lista jerarquizada según el impacto potencial que se puede producir.

Oportunidad	subproceso	Rendimiento general proceso promedio actual	brecha hasta excelencia
1	Reactor aireador	0,9115	0,089
2	Filtro Banda	0,8900	0,110
3	Mesa espesadora	0,4290	0,571
4	Digestor	0,3390	0,661

Tabla 7.1: Identificación de oportunidades P.T.A.S.

Aquí se pueden ver resumidas todas las posibles oportunidades identificadas a priori en donde destacan como las más convenientes para iniciar algún tipo de modificación

los subprocesos de Mesa espesadora y Digestor ya que ambas presentan mayores beneficios potenciales tales para pasar de la última categoría de inaceptable a excelencia, se escoge como la mejor oportunidad de mejora potencial al subproceso de la mesa espesadora ya que para generar un impacto en este proceso, como se menciona anteriormente solo basta con la implementación de un equipo adecuado según el flujo de trabajo. Si se realiza esta modificación en la mesa espesadora, como es de esperarse el flujo de trabajo llega al nivel nominal y siguiendo en las condiciones actuales de disponibilidad y tasa de calidad se llegaría a obtener un resultado de indicadores como el presentado a continuación.

Mesa espesadora	Muestra 1	Muestra 2
Rendimiento	1,000	1,000
Disponibilidad	1,000	1,000
Tasa calidad	1,000	1,000
Rendimiento general Mesa espesadora	1,000	1,000

Figura 7.16: Indicador General Proceso Mesa Espesadora posterior a la intervención

Donde se puede apreciar la excelencia competitiva en el nivel de rendimiento al situarse con un valor constante de 1[-].

Ahora se muestra el impacto de esta modificación en la evaluación global de la planta, es decir, se realiza nuevamente el gráfico correspondiente al indicador general de la planta el cual se muestra en la Figura-7.17.

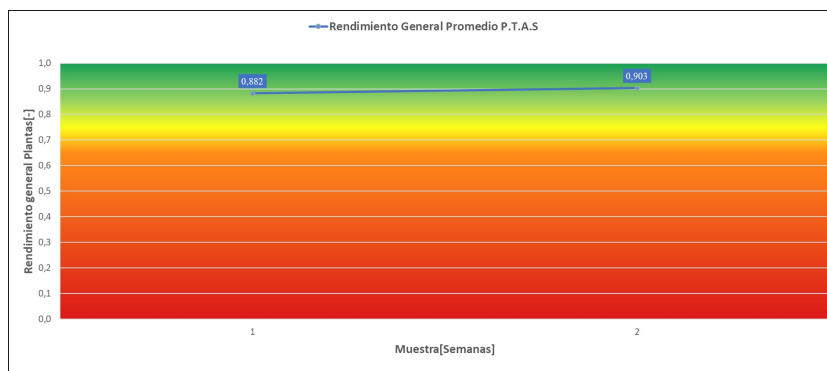


Figura 7.17: Indicador General Planta posterior a la intervención de le Mesa espesadora

Las variaciones de este indicador están registradas en la tabla-7.2 y además en la siguiente imagen-7.18

	Índice general Planta
Caso inicial	0,8565
Caso Modificado	0,8925

Tabla 7.2: Índice general planta para caso original y con modificación

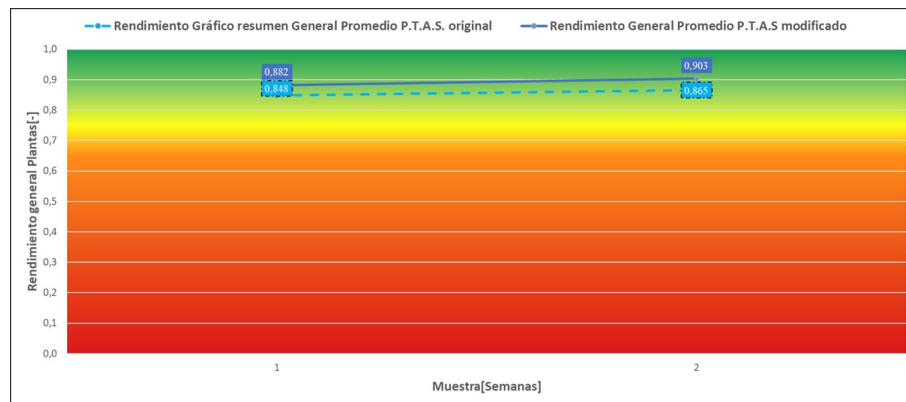


Figura 7.18: Rendimiento Planta Promedio con y sin modificación

En esta tabla es posible apreciar un aumento del índice de Rendimiento general Planta de 4,16 [%] lo cual es un enorme porcentaje teniendo especial consideración que solo fue la modificación de un equipo sin necesidad de realizar algún tipo mayor de intervención.

Antes de pasar al análisis de la Figura-7.11 la cual corresponde a los resultados del índice general de la planta, es necesario volver a comentar el singular hecho que en la primera prueba de muestreo no existe ningún tipo de indisponibilidad apreciable, si bien es posible delatar algunos procesos mal configurados como lo es el hecho del digestor o mal dimensionado para el caso de la mesa espesadora, existe la posibilidad de manera inconsciente exista un sobre esfuerzo por mantener los equipos más de la cuenta y dando como resultado un comportamiento anormal de la planta, en otras palabras antes de tomar cada resultado como un fiel reflejo del estado actual de la planta es necesario indicar y recordar que estas dos muestras iniciales son poco representativas para una planta que trabaja todas las semanas del año, si bien puede ser una acercamiento del proceder de la empresa estas no necesariamente son una muestra representativa de la planta.

Teniendo en consideración esta posibilidad de “manipulación” de los datos presente, debido a una sobrerreparación por el hecho de que está siendo monitoreado el proceso se puede indicar que el nivel máximo actual al que puede aspirar la empresa sin necesidad de realizar la compra ni cambio de ningún activo alcanza el punto de 0,865 como índice general Planta, lo cual observando las categorías de la Figura-6.10 clasifica a la empresa en la categoría de “Buena competitividad. Entra en valores de World Class”. En otras palabras, para poder mantener la empresa el valores altos de rendimiento general y poder considerar su proceso como un apto para la competencia no existe la necesidad de realizar ningún tipo de compra solo mantener la disponibilidad al 100 %, procurando estar disponible en todo momento. Finalizando esa sección correspondiente a los resultados producidos de la primera puesta en marcha del monitoreo, se menciona y destaca nuevamente la gran oportunidad de mejora al realizar el cambio del cuello de botella del proceso Mesa espesadora, siendo este la bomba deshidratante. Lo cual según una estimación podría llegar a generar un salto de calidad tal que llevaría el índice general de la planta a aumentar hasta en un 4,16 % para situar al indicador general hasta un valor promedio de 0,9145[-], dicho valor está a puertas de llegar a la excelencia y valores World Class.

Como método de evaluación, este sistema de monitoreo cuenta con dos formas de interpretación independientes y no excluyentes, una se basa en el estado del rendimiento por la valoración del índice obtenido desde los rendimientos generales del proceso figura-7.9 y -7.10) y el índice general de la planta Figura-7.11 y la otra según su inestabilidad estadística, ambas valoraciones se explican se detallan a continuación.

7.2. Valoración rendimiento general proceso y planta

Primer tipo de evaluación es generado en base a la degradación de colores presente en los fondos de los gráficos resultados, es decir, a la categoría en que se encasilla finalmente el equipo, guiándose siempre en las categorías entregadas en la Figura-6.10, presentada en el capítulo anterior.

La metodología consiste en evaluar el nivel general de la planta de tratamiento aguas servida según estas clasificaciones, luego de identificar la categoría en que se encuentra registrar esta información y proceder a establecer cuáles fueron los motivos del nivel actual en el índice de rendimiento general de planta, buscando identificar la curva con menor índice general del proceso, luego pasar al desglose de este índice para identificar la causa de ese resultado de rendimiento bajo. Se deja establecida la necesidad de un seguimiento más minucioso de este proceso en esa área específicamente para las semanas o muestras venideras, creando así una base de datos, para llegar a conclusiones por ejemplo si el indicador no mejora en unas semanas quizás sea necesario empezar a plantear el reemplazo por un equipo más apropiado o una configuración del proceso o la solución que se estime conveniente.

Se podría decir que esta evaluación es la más sencilla de realizar ya que se baja en identificar la categoría en que se sitúa la distribución y relacionar estos con el resto de indicadores para poder disminuir la posible causa a su menor formato posible, es más se podría decir que esta evaluación es hecha de manera particular para cada muestra lo cual difiere del segundo tipo de el cual se presenta a continuación y se podría relacionar con la distribución de los resultados a lo largo de todas las muestras y como se van relacionando entre ellas, buscando siempre identificar anomalías o rachas presentes en cada proceso y poder diferenciar la inestabilidad de origen normal o especial.

Para esta segundo tipo de evaluación complementario al presentado anteriormente se interpretan los gráficos como si fuesen un tipo de carta de control para poder identificar las causas de su inestabilidad para poder anteponerse a algún tipo de falla identificando comportamiento de desgaste, fatiga, sobre control, deterioro, entre otros.

7.3. Valoración de la inestabilidad estadística

Aquí se interpretan los gráficos resultados del índice general proceso y planta como si fuesen cartas de control, buscando siempre identificar la inestabilidad del proceso, junto con sus causas para poder anteponerse a algún tipo potencial de falla identificando comportamiento de desgaste, fatiga, sobre control, deterioro, entre otros. Complementando la evaluación presentada anteriormente.

La metodología de evaluación para la identificación de comportamientos anómalos y presencias de variación especial, consta de dos pasos, los cuales se presentan a continuación:

- Primero: Se buscan, destacan y aíslan todos aquellos puntos del gráfico de resultados se encuentren fuera de los límites de control (Superior e inferior)
- Segundo: Analizar si la interacción entre cada medición presenta algún tipo de comportamiento no aleatorio, como por ejemplo característica cíclica o descendente, etc.

Luego de corroborar los pasos anteriores y descartar cualquier tipo de manifestaciones de las mismas, es posible asegurar que se está frente a un proceso estable estadísticamente, definiendo este como: “Proceso bajo control estadístico en que los puntos en la carta caen dentro de los límites de control y fluctúan o varían en forma aleatoria a lo ancho de la carta con tendencia a caer dentro de la línea central”¹

7.3.1. Construcción Carta Control

En este apartado del capítulo se procede a explicar todos los procedimientos necesarios en la construcción de una “Carta de control de gráficas” de medias y desviación estándar, con las que se evalúa el nivel de estabilidad estadística y de ser necesario identificar las causas de su inestabilidad, anteponiéndose así a algún tipo de falla identificando comportamiento de desgaste, fatiga, sobre control, deterioro, entre otros. La correcta construcción de esta herramienta forma parte fundamental del proceso de prevención, detección y corrección de variaciones de calidad.

¹ [12] Control estadístico de calidad y seis sigma, Interpretación de las cartas de control y causas de inestabilidad

Para la correcta construcción de una carta de control se debe:

1. Como es de esperarse, el primer paso y más elemental para generar una carta de control estadístico en condiciones, es el recabar la mayor cantidad mediciones de una variable para poder evaluar su calidad, donde estos datos deben ser organizados según órganos individuales de muestras, es decir, deber existir una cantidad considerable de mediciones las cuales deben estar organizadas en al menos unas 20 muestras para poder construir la gráfica de control, ya que en este punto se alcanza la independencia estadística.
2. Luego de obtener las mediciones y organizarlas en subgrupos, se procede a calcular el promedio de cada uno de los subgrupos desde 1 a n, con el uso de la ecuación-7.1

$$X' = \sum_1^n \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{n} \quad (7.1)$$

3. Posteriormente se obtiene un Rango para cada uno de los subgrupos, esto se realiza obteniendo la diferencia entre el valor del subgrupo mayor y el menor, lo cual se ve representado en la ecuación-7.2

$$R_{Subgrupo} = X_{Mayor} - X_{Menor} \quad (7.2)$$

4. Siguiendo a esto, se procede a calcular un valor de promedio global, el cual se realiza al promediar los valores medios de todos los subgrupos, como se puede visualizar en la ecuación-7.3

$$\bar{X} = \sum_1^n \frac{X_1' + X_2' + X_3' + \dots + X_n'}{n} \quad (7.3)$$

5. Análogo al punto anterior, se realiza el mismo trabajo pero esta vez para obtener un valor medio del Rango haciendo uso de la ecuación-7.4.

$$\bar{R} = \sum_1^n \frac{R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n}{n} \quad (7.4)$$

6. Paso previo a empezar a graficar las variables es obtener los límites de control tanto superior como inferior. Se calculan a partir del conocimiento de la variación de un proceso, de tal forma que entre estos caiga el estadístico que se grafica en la carta mientras el proceso permanece sin cambios importantes.², por esto los límites de control se representan como:

$$LC = \mu_{\bar{x}} \pm 3\sigma_{\bar{x}} \quad (7.5)$$

En esta ecuación se encuentran presentes los siguientes componentes.

$\mu_{\bar{x}}$: Media de las medias.

$\sigma_{\bar{x}}$: desviación estándar de las medias.

Como en esta etapa inicial del proyecto, se desconoce la desviación estándar el proceso, los límites de control se estima con el uso de siguiente ecuación.

$$3\sigma_{\bar{x}} = A_2\bar{R} \quad (7.6)$$

Donde este componente es una variable que se extrae directamente sin cálculos previos necesarios de la tabla-8.1

A_2 : Media de las medias³

Finalmente para la gráfica de control \bar{X} se obtienen:

$$\text{Línea Central}(LC) = \bar{X} \quad (7.7)$$

$$\text{Límite control Superior (LCS)} = \bar{X} + A_2\bar{R} \quad (7.8)$$

$$\text{Límite control Inferior (LCI)} = \bar{X} - A_2\bar{R} \quad (7.9)$$

² [13] Control estadístico de calidad y seis sigma

³nota ver tabla 7.1

Es ampliamente usada la división de la carta de control en seis zonas, en donde cada una de ellas posee una amplitud similar a la desviación estándar del proceso, esto se puede observar en la Figura-7.19 donde se puede ver el formato utilizado en los análisis estadísticos, al menos en esta etapa del proyecto.

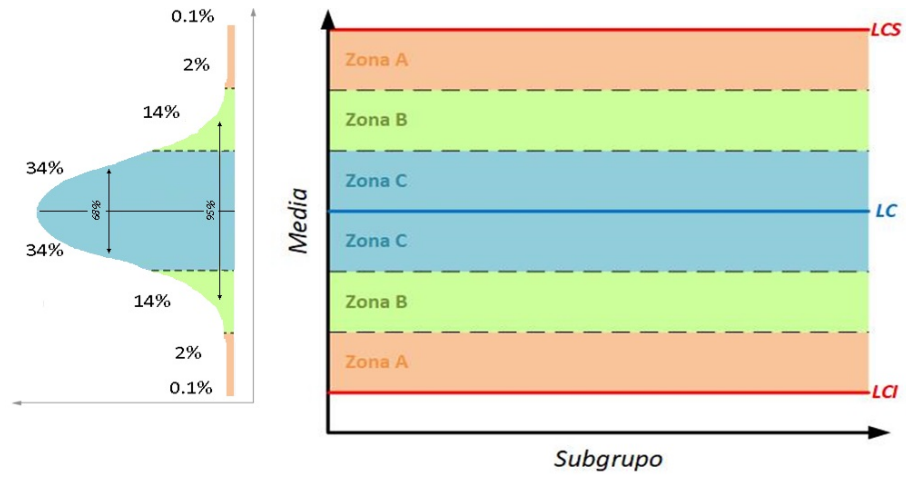


Figura 7.19: Esquema de las zonas presentes en la carta de control

7.3.2. Patrones no Aleatorios

A continuación se enumeran y explican todos los comportamientos o rachas no aleatorias que se buscan identificar en las cartas de control, resaltando así comportamientos de inestabilidad estadística y/o anomalías en la distribución aleatoria de las mediciones. Cada uno de estos patrones se describe brevemente. Además de definir su criterio de evaluación y sus causas respectivas.

Desplazamientos o cambios en el nivel del proceso

Se identifica esta racha cuando es apreciable una o más puntos establecidos fuera de los límites de control o también puede darse este patrón cuando de manera consecutiva las mediciones se establezcan a un solo lado de la línea central. A continuación se enumeraran las posibles causas, criterios objetivos para poder identificar esta racha. La Figura-7.20 que representa un patrón de desplazamiento o cambio en el nivel del proceso.

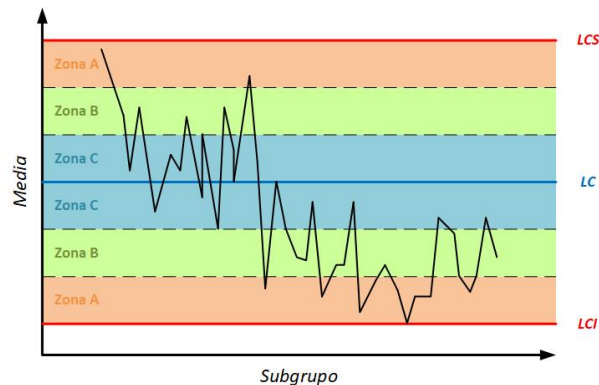


Figura 7.20: Desplazamiento en el nivel del proceso presente en la carta de control

Posibles causas

- Introducción de nuevos trabajadores, máquinas materiales o métodos.
- Cambios en los métodos de inspección
- Una mayor o menos atención de los trabajadores
- El proceso ha mejorado o empeorado

Criterios de evaluación:

- 8 o más puntos consecutivos de un solo lado de la LC.

- Al menos 10 puntos consecutivos caen de un mismo lado de LC.
- Por lo menos 12 puntos consecutivos ocurren de un mismo lado de la LC.

Tendencias en el nivel del proceso

Para poder identificar este tipo de patrón es necesario identificar su característica principal la cual es presentar una racha marcada sin importar su dirección, vale decir, puede ser tendencia ascendente o descendente, de manera análoga al caso anterior se presentan las posibles causas y su representación en una carta de control en la Figura-7.21

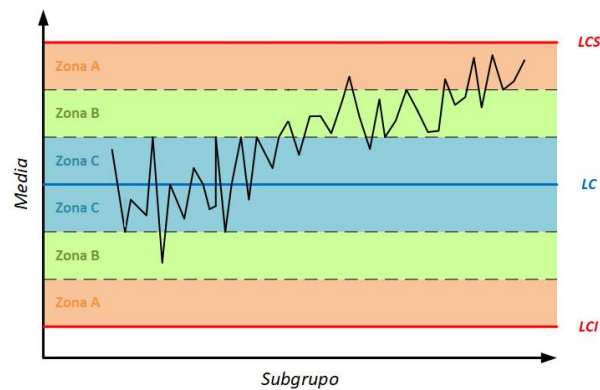


Figura 7.21: Tendencias en el nivel del proceso en la carta de control

Causas:

- Cambios graduales en las condiciones medioambientales
- Deterioro o desajuste gradual del equipo de producción
- Desgaste de las herramientas de corte
- Acumulación de desperdicio en las tuberías
- Calentamiento de las máquinas

Criterios de evaluación:

- 6 o más puntos consecutivo en ascenso o descenso
- Movimiento largo de puntos hacia arriba a o abajo

Ciclos recurrentes

Este es un tipo de movimiento aleatorio muy característico y su principal atributo es como lo indica su nombre, que esté presente una racha cíclica en los valores de la carta de control. Ejemplo de esto puede darse al encontrar una tenencia ascendente de puntos, los cuales al llegar a un máximo comienzan a descender para luego incrementar nuevamente y así sucesivamente. Causas:

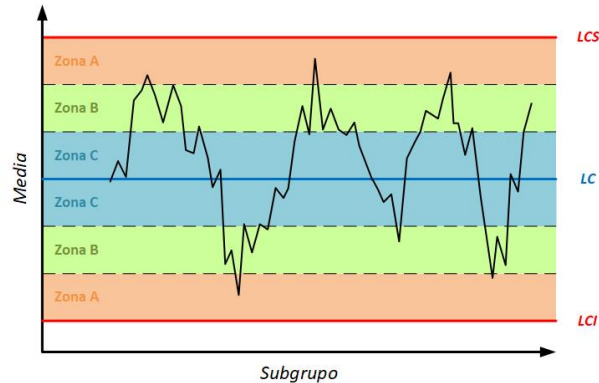


Figura 7.22: Ciclos recurrentes en la carta de control

- Mantenimiento preventivo programado
- Fatiga de trabajadores
- Rotación regular de máquinas u operarios
- Cambios periódicos en el ambiente
- Diferencias en los dispositivos de medición o de prueba

En este caso el criterio de identificación no es único, ya que al existir una gran gamma de combinaciones entre tendencias la única forma de identificarlo es meramente observación e interpretación de la repetitividad en la carta de control, pero generalmente todo apunta al efecto sistemático producido por máquinas, operarios o materiales que se usan alternadamente.

Mucha Variabilidad

El próximo patrón que se busca describir se caracteriza por poseer una gran dispersión en los valores de la carta de control, este se traduce como un alta ración de los puntos cercano a los límites de control, estos pueden ser a ambos lados de la línea central.

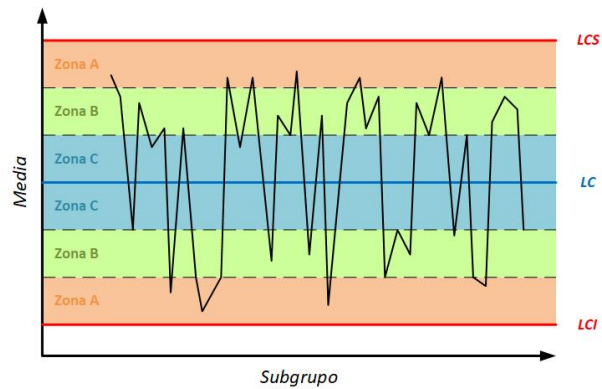


Figura 7.23: Mucha Variabilidad en la carta de control

Causas:

- Sobre control o ajustes innecesarios en el proceso
- Diferencias sistemáticas en la calidad del material o en los métodos de prueba
- Control de dos o más procesos o estratos con diferentes promedios en a la misma carta.
- Mezcla de calidades bastante diferentes.

Criterios de evaluación:

- 8 puntos consecutivos en ambos lados de la LC con ninguno en la Zona C

Falta Variabilidad

Como ultima racha que se busca identificar se presenta una de las señales más notorias de que el proceso presenta algún tipo de anomalía, se caracteriza como la poca dispersión en las mediciones o su agrupación en zona cercana a la línea central como se puede ver representado en la figura-7.24

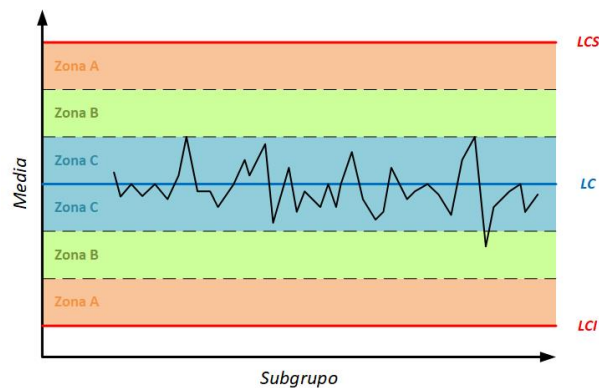


Figura 7.24: Falta variabilidad en la carta de control

Causas:

- Carta de control inapropiada para el estadístico graficado
- Equivocación en el cálculo de los límites de control
- Agrupación de datos con medias diferentes que al combinarse se compensan unos con otros

Criterios de evaluación:

- 15 puntos consecutivos en la zona C ya sea arriba o debajo de la LC

Capítulo 8

Conclusiones

Como producto del desarrollo de este proyecto se obtuvo un sistema de monitoreo para la Planta Tratamientos Aguas Servidas Coyhaique, en donde se analiza la P.T.A.S. a través de indicadores de disponibilidad, rendimiento y tasa calidad. Como es mencionado a lo largo del capítulo 4. Estos indicadores se diseñan y evalúan buscando reproducir de la forma más representativa posible todas las características presentes en las etapas y subprocesos, es decir, diagramas de flujos e identificación de equipos para las líneas de lodos y aguas como se puede ver en la figura-3.1.

Establecer indicadores de disponibilidad, calidad y rendimiento adecuados para la evaluación que represente todas las características del proceso. Evaluando propuestas de comportamiento para los procesos buscando siempre generar la forma de medición más semejante al comportamiento real de los equipos. La elección en la creación de estos indicadores fue guiada por la filosofía TPM (Mantenimiento Productivo Total). Buscando llevar a un equipo a sus condiciones óptimas, a su vez manteniendo dichas condiciones integrándolo como estrategia global de la empresa. Este efecto influencia positivamente a la eficiencia de las instalaciones y máquinas. Mejorando su productividad, ya que en todas las etapas del ciclo de vida se involucra al personal para llegar a los cero accidentes, cero defectos y cero pérdidas.

Los indicadores generados son una gran herramienta para la toma de decisiones de subproceso y general planta. Principalmente se argumentan en la calidad de la base de datos que se busca generar. Mientras más información se recaba se disminuye el margen de error o de incertidumbre en la toma de decisiones y prioridades en el proceso,

ya sea en áreas de disponibilidad, rendimiento y tasa calidad.

Finalmente se realiza la creación de una base de datos con las variables presentes en la planta tratamiento aguas servidas.

Resultados

Luego de analizar los resultados de la implementación del sistema de monitoreo, se obtiene los siguientes resultados para los indicadores de rendimiento para los subproceso y planta.

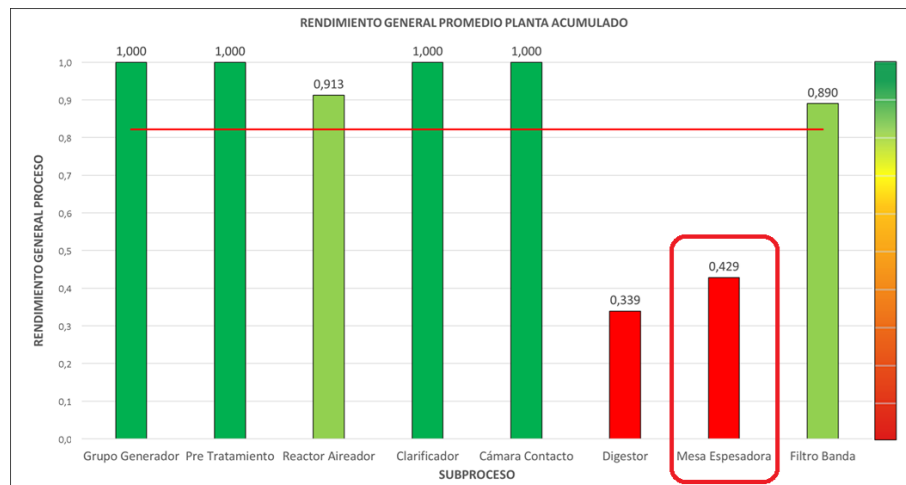


Figura 8.1: Rendimiento general promedio subprocesos

En esta imagen se puede apreciar como barras el resultado de los indicadores general por cada subproceso y como una línea horizontal el Rendimiento general planta, el cual se traza en $0,8215[-]$. Agrupando estos resultados se obtienen los siguientes resultados:

- Valores Excelencia: Grupo Generador, Pre tratamiento, Clarificador, Cámara Contacto.
- Valores Buenos: Reactor Aireador, Filtro Banda.
- Valores inaceptables: Digestor, Mesa espesadora

Para todos los subprocesos que presentan valores de excelencia, siendo estos: “Grupo Generador”, “Pretratamiento”, “Clarificador”, “Cámara Contacto”. No se justifica algún tipo de modificación más mantener todos los esfuerzos necesarios para seguir asegurando la disponibilidad del 100 %, del mismo modo para las etapas que representen valores buenos no existe necesidad mayor de realizar modificaciones considerables ya que el impacto potencial no es tan beneficioso, aunque se toma seguimiento de la brecha restante hacia la excelencia nombrando estas como las primeras dos oportunidades de mejora. Ahora bien si pasamos a los procesos de Mesa espesadora y Digestor el nivel arrojado por el sistema de monitoreo es totalmente inaceptable y estas se convierten en la tercera y cuarta oportunidad de mejora, las cuales son más interesantes por el nivel de beneficio esperado.

Siendo así las oportunidades de mejora.

- Reactor Airedor
- Filtro Banda
- Mesa espesadora
- Digestor

Según los valores entregados en la tabla 6.1 y además por ventajas logísticas se centra la evaluación de la tercera oportunidad.

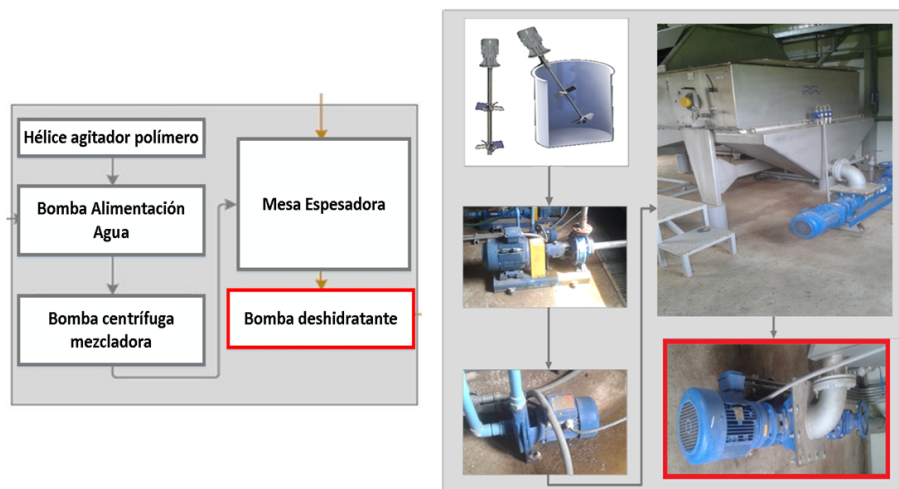


Figura 8.2: Esquema subproceso Mesa Espesadora

En este esquema del proceso se identifica con un cuadro rojo el cuello de botella del proceso, ya que el proceso está diseñado para trabajar a 14[L/s] y la Bomba deshidratante solo puede llegar a flujo máximo de 6[L/s].

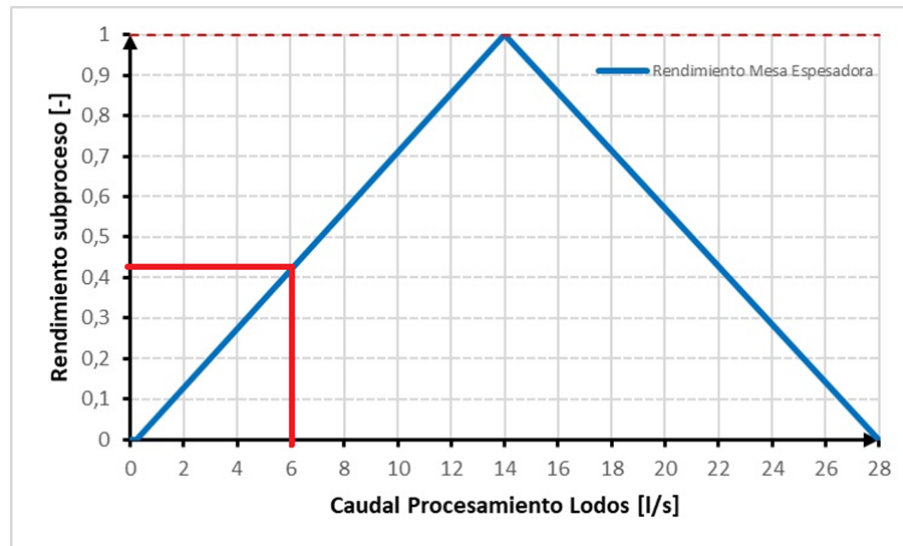


Figura 8.3: Rendimiento subproceso Mesa Espesadora

El efecto de esto se ve reflejado en que el máximo alcanzable en cuanto a valores de rendimiento será de 42,9[%] como se ve en la figura -8.16, si analizamos la curva de funcionamiento de la bomba deshidratante: La demanda necesaria para trabajar a 16[L/s] se ve representada por la línea horizontal en 1000[l/min]. Debido a la densidad del flujo (mayor al agua el modelo de la bomba no puede alcanzar ese rango de trabajo por ende, la única solución es cambiar la bomba a una que soporte esa demanda a esa densidad de flujo.

Los efectos de esta modificación en subproceso “Mesa Espesadora” se ven representados en la figura-8.4

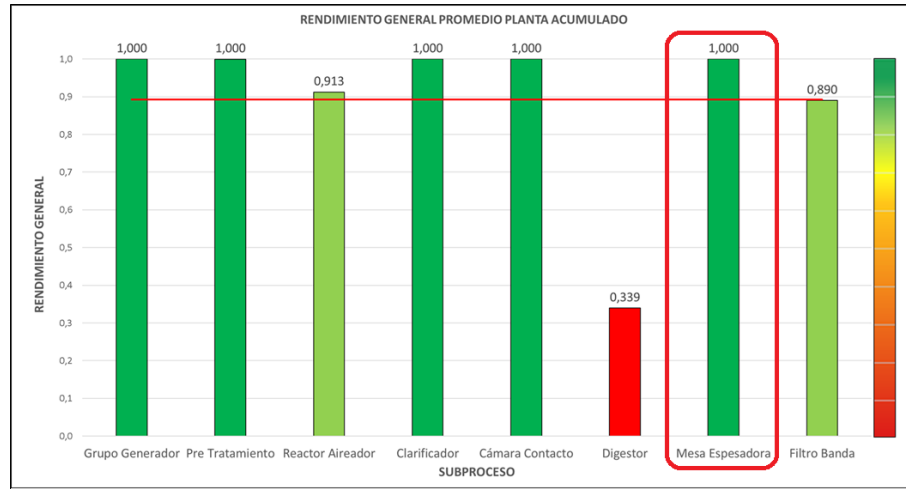


Figura 8.4: Rendimiento general promedio subprocesos cambiando bomba deshidratante

Al llevar a cabo esta modificación es posible llegar a la excelencia para el subproceso “Mesa Espesadora” lo cual a su vez tiene un efecto en el rendimiento genral de la planta que se puede ver representado en la figura-8.5

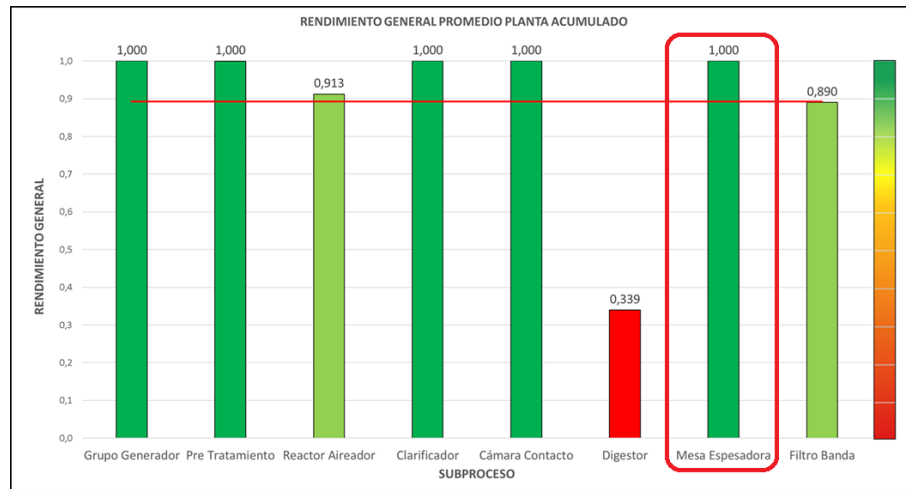


Figura 8.5: Rendimiento general promedio subprocesos modificando “Mesa Espesadora”

Aquí se puede apreciar el aumento del rendimiento que es de un 8,67 % para establecer el Rendimiento general promedio P.T.A.S. modificada en un 89,27 % a puertas de la excelencia competitiva.

A priori se realiza una estimación del beneficio en una modificación al subproceso “Digestor” llegando hasta un valor de rendimiento general subproceso de 0,7[-] como se puede apreciar en la figura-8.6

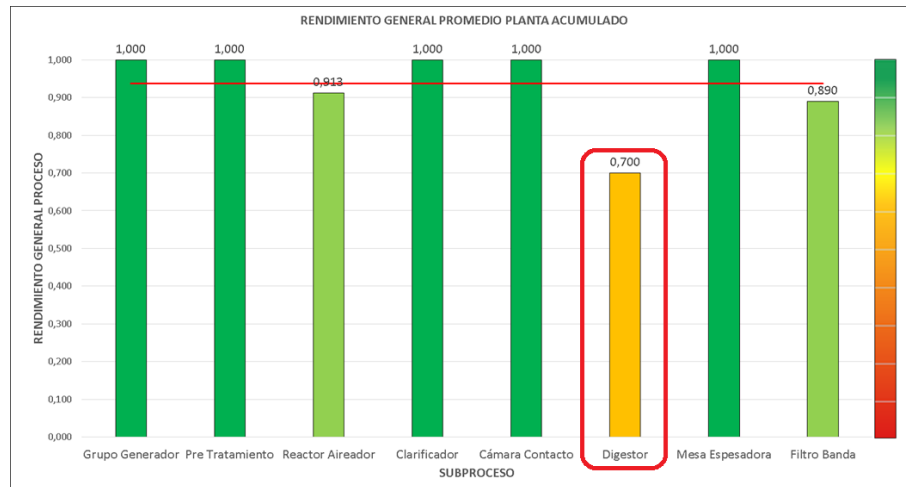


Figura 8.6: Rendimiento general promedio subprocesos modificando “Digestor”

Finalmente en la figura-8.7 se puede apreciar el efecto estimado individual y compuesto de las oportunidades de mejora en “Mesa Espesadora” y “Digestor”.

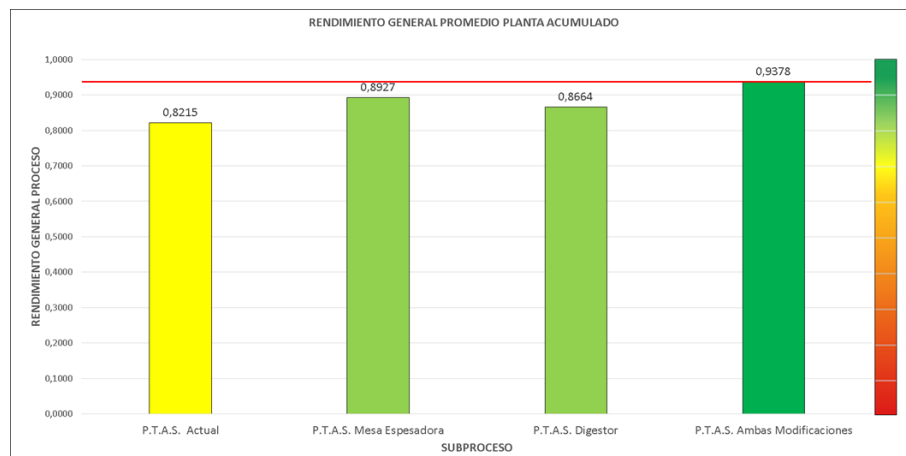


Figura 8.7: Rendimiento general planta promedio tras modificaciones individuales y combinadas

8.1. Horizonte Desarrollo

- Añadir un apartado en donde se valore el estado de las fuentes de información, análogo a un filtro para no incorporar mediciones o cálculos inexactos, la cual no contribuye a un buen análisis y por ende a acertadas conclusiones. Para evitar caer en la saturación de variables, lo cual impide analizar correctamente cualquier tipo de información y en algunos casos produce el efecto de haber perdido el tiempo sin obtener beneficios de tanta data.

Se propone la siguiente metodología para poder evitar y/o eliminar el efecto de saturación.

- Objetivos claros: Automatizar del proceso de captura de la información filtrando y eliminando eficientemente todas aquellas mediciones o parámetros que no son relevantes para alcanzar los objetivos del proceso previamente definidos, los cuales deben estar alineados con los objetivos generales de la empresa.
 - Valorar el estado de las fuentes de información: Del mismo modo se filtra el ingreso de la información pero en este caso se complementa este filtro de entrada mediante la evaluación de la fuente de información, realizando un seguimiento periódico para controlar la calidad.
- Mejorar representatividad de las curvas de evaluación para el rendimiento y tasa de calidad impuestas en esta etapa inicial, lo cual se debe realizar diseñando, evaluando y comprobando siempre nuevos tipos de ecuaciones, para poder pasar de la evaluación cualitativa a cuantitativa, buscando siempre la mejora continua.

- Diseñar, estudiar e incorporar los indicadores para seguridad e inventario

Seguridad: El correcto funcionamiento del sistema de mantenimiento total tiene como resultado 0 accidentes. Las inspecciones monitoreando periódicamente los sectores de la planta, sumando a esto sus intervenciones de mantenimiento producen como resultado un ambiente de trabajo con mayor orden, limpieza y mayor seguridad laboral. Para aumentar el alcance del sistema de monitoreo es beneficioso cuantificar los accidentes laborales midiendo su gravedad y frecuencia para generar.

Inventario: realizar monitoreo a situaciones tan vitales como la disponibilidad en bodega, proveedores de repuesto, costo asociado, criticidad del repuesto, tiempo de despacho, genera efectos positivos, facilitando y conectando esta área con los procesos de mantenimiento y operación.

- Incorporar algún sistema de detección temprana automática para identificar los patrones aleatorios sin criterio establecido como la racha de ciclos recurrentes
- Del mismo modo que las evaluaciones de rendimientos y tasa calidad para todos los subprocesos, es recomendable realizar la misma búsqueda por una mayor representatividad, en este caso para los criterios de los cuatro patrones aleatorios.

Anexos

Tamaño de la muestra	Carta \bar{X}	Carta \bar{R}		
n	A_2	d_3	D_3	D_4
2	1,880	0,853	0,0000	3,2686
3	1,023	0,888	0	2,5735
4	0,729	0,88	0,0000	2,2822
5	0,577	0,864	0	2,1144
6	0,483	0,848	0,0000	2,0039
7	0,419	0,833	0,0758	1,9242
8	0,373	0,82	0,1359	1,8641
9	0,337	0,808	0,1838	1,8162
10	0,308	0,797	0,2232	1,7768
11	0,285	0,787	0,2559	1,7441
12	0,266	0,778	0,2836	1,7164
13	0,249	0,77	0,3076	1,6924
14	0,235	0,763	0,3281	1,6719
15	0,223	0,756	0,3468	1,6532
16	0,212	0,75	0,3630	1,637
17	0,203	0,744	0,3779	1,6221
18	0,194	0,739	0,3909	1,6091
19	0,187	0,734	0,4031	1,5969
20	0,18	0,729	0,4145	1,5855
21	0,173	0,724	0,4251	1,5749
22	0,167	0,72	0,4344	1,5656
23	0,162	0,716	0,4432	1,5568
24	0,157	0,712	0,4516	1,5484
25	0,153	0,708	0,4597	1,5403

Tabla 8.1: Factores para la construcción de las cartas de control

CONTAMINANTES	UNIDAD	LIMITE MAXIMO PERMITIDO
Aceites y grasas	Mg/L	20
Aluminio	Mg/L	5
Arsénico	Mg/L	0,5
Boro	Mg/L	0,75
Cadmio	Mg/L	0,01
Cianuro	Mg/L	0,2
Cloruros	Mg/L	400
Cobre Total	Mg/L	1
Coliformes Fecales	NMP/100 m	1000
Índice de Fenol	Mg/L	0,5
Cromo Hexavalente	Mg/L	0,05
DBO	mg O ₂ /l	35*
Fósforo	Mg/L	10
Fluoruro	Mg/L	1,5
Hidrocarburos Fijos	Mg/L	10
Hierro Disuelto	Mg/L	5
Manganeso	Mg/L	0,3
Mercurio	Mg/L	0,001
Molibdeno	Mg/L	1
Níquel	Mg/L	0,2
Nitrógeno Total Kjeldahl	Mg/L	50
Pentaclorofenol	Mg/L	0,009
PH	unidad	6,0-8,5
Plomo	Mg/L	0,05
Poder Espumógeno	Mg/L	7
Selenio	Mg/L	0,01
Sólidos Suspendidos Totales	Mg/L	80*
Sulfatos	Mg/L	1000
Sulfuros	Mg/L	1
Temperatura	Celsius	35
Tetracloroetano	Mg/L	0,04
Tolueno	Mg/L	0,7
Triclorometano	Mg/L	0,2
Xileno	Mg/L	0,5
Zinc	Mg/L	3

Tabla 8.2: Límites máximos permitidos para la descarga de residuos líquidos a cuerpos de aguas fluviales (Fuente D.S. N° 90)

Grupo Generador	Muestra 1	Muestra 2
Tiempo inactividad[horas]		
Tiempo operativo[horas]		
número de fallas[-]		

Figura 8.8: Ingreso mediciones Grupo generador

Pretratamiento	Muestra 1	Muestra 2
Valoración [Verde], [Amarillo] o [Rojo]	Verde	Verde
Grit-Separador Desarenador	Muestra 1	Muestra 2
Tiempo inactividad[horas]		
Tiempo operativo[horas]		
número de fallas[-]		
Rejilla	Muestra 1	Muestra 2
Tiempo inactividad[horas]		
Tiempo operativo[horas]		
número de fallas[-]		

Figura 8.9: Ingreso mediciones Pre Tratamiento

Reactor Aireador	Muestra 1	Muestra 2
Valor de oxígeno disuelto [mg/l]		
Impeller	Muestra 1	Muestra 2
Tiempo inactividad[horas]		
Tiempo operativo[horas]		
número de fallas[-]		
Soplador Reactor 1	Muestra 1	Muestra 2
Tiempo inactividad[horas]		
Tiempo operativo[horas]		
número de fallas[-]		
Soplador Reactor 2	Muestra 1	Muestra 2
Tiempo inactividad[horas]		
Tiempo operativo[horas]		
número de fallas[-]		

Figura 8.10: Ingreso mediciones Reactor Aireador

Clarificador	Muestra 1	Muestra 2
Valoración [Verde], [Amarillo] o [Rojo]	Verde	Verde
Tiempo inactividad[horas]		
Tiempo operativo[horas]		
número de fallas[-]		

Figura 8.11: Ingreso mediciones Clarificador

Cámara Cloración	Muestra 1	Muestra 2
Valor de cloro [mg/l]		
Bomba apoyo Cloración 1	Muestra 1	Muestra 2
Tiempo inactividad[horas]		
Tiempo operativo[horas]		
número de fallas[-]		
Bomba apoyo Cloración 2	Muestra 1	Muestra 2
Tiempo inactividad[horas]		
Tiempo operativo[horas]		
número de fallas[-]		

Figura 8.12: Ingreso mediciones Cámara Contacto

Subproceso	Disponibilidad	Rendimiento	Tasa calidad
Grupo Generador	Disponibilidad Individual	No aplica	No aplica
Pre tratamiento	Disponibilidad ponderada	No aplica	Evaluación Cualitativa
Reactor Aireador	Disponibilidad ponderada	Valor oxígeno disuelto	Evaluación Cualitativa
Clarificador	Disponibilidad Individual	No aplica	Evaluación Cualitativa
Cámara Cloración	Disponibilidad ponderada	Valor Cloro disuelto	No aplica
Mesa espesadora	Disponibilidad Serie	Caudal trabajo	Evaluación Cualitativa
Digestor	Disponibilidad ponderada	Altura de lodos y Días retención	Valor oxígeno disuelto
Filtro Banda	Disponibilidad Serie	Caudal trabajo	% Humedad lodos deshidratados

Tabla 8.3: Índice general del proceso para cada etapa

Mesa espesadora		
	Muestra 1	Muestra 2
Caudal procesamiento lodos [L/s]		
Estado lodos salida	Verde	Verde
Hélice agitador polímero		
	Muestra 1	Muestra 2
Tiempo inactividad[horas]		
Tiempo operativo[horas]		
número de fallas[-]		
Mesa espesadora de lodos		
	Muestra 1	Muestra 2
Tiempo inactividad[horas]		
Tiempo operativo[horas]		
número de fallas[-]		
Bomba deshidratante		
	Muestra 1	Muestra 2
Tiempo inactividad[horas]		
Tiempo operativo[horas]		
número de fallas[-]		
Bomba alimentación de agua		
	Muestra 1	Muestra 2
Tiempo inactividad[horas]		
Tiempo operativo[horas]		
número de fallas[-]		
Bomba centrifuga mezcladora polímero (Bomba polímero)		
	Muestra 1	Muestra 2
Tiempo inactividad[horas]		
Tiempo operativo[horas]		
número de fallas[-]		

Figura 8.13: Ingreso mediciones Mesa espesadora

Digestor	Muestra 1	Muestra 2
Periodo retención[días]		
Valor oxígeno [mg/L]		
Altura de lodos [m]		
Soplador Digestor 1	Muestra 1	Muestra 2
Tiempo inactividad[horas]		
Tiempo operativo[horas]		
número de fallas[-]		
Soplador Digestor 2	Muestra 1	Muestra 2
Tiempo inactividad[horas]		
Tiempo operativo[horas]		
número de fallas[-]		
Soplador Digestor 3	Muestra 1	Muestra 2
Tiempo inactividad[horas]		
Tiempo operativo[horas]		
número de fallas[-]		

Figura 8.14: Ingreso mediciones Digestor

Filtro banda	Muestra 1	Muestra 2
Caudal procesamiento lodos [L/s]		
humedad de lodo a la salida [0-100[%]		
Hélice agitador polímero	Muestra 1	Muestra 2
Tiempo inactividad[horas]		
Tiempo operativo[horas]		
número de fallas[-]		
filtro banda	Muestra 1	Muestra 2
Tiempo inactividad[horas]		
Tiempo operativo[horas]		
número de fallas[-]		
Bomba mezcladora polímero	Muestra 1	Muestra 2
Tiempo inactividad[horas]		
Tiempo operativo[horas]		
número de fallas[-]		
Compresor	Muestra 1	Muestra 2
Tiempo inactividad[horas]		
Tiempo operativo[horas]		
número de fallas[-]		
Bomba expulsión lodos tornillo excéntrico	Muestra 1	Muestra 2
Tiempo inactividad[horas]		
Tiempo operativo[horas]		
número de fallas[-]		

Figura 8.15: Ingreso mediciones Filtro Banda

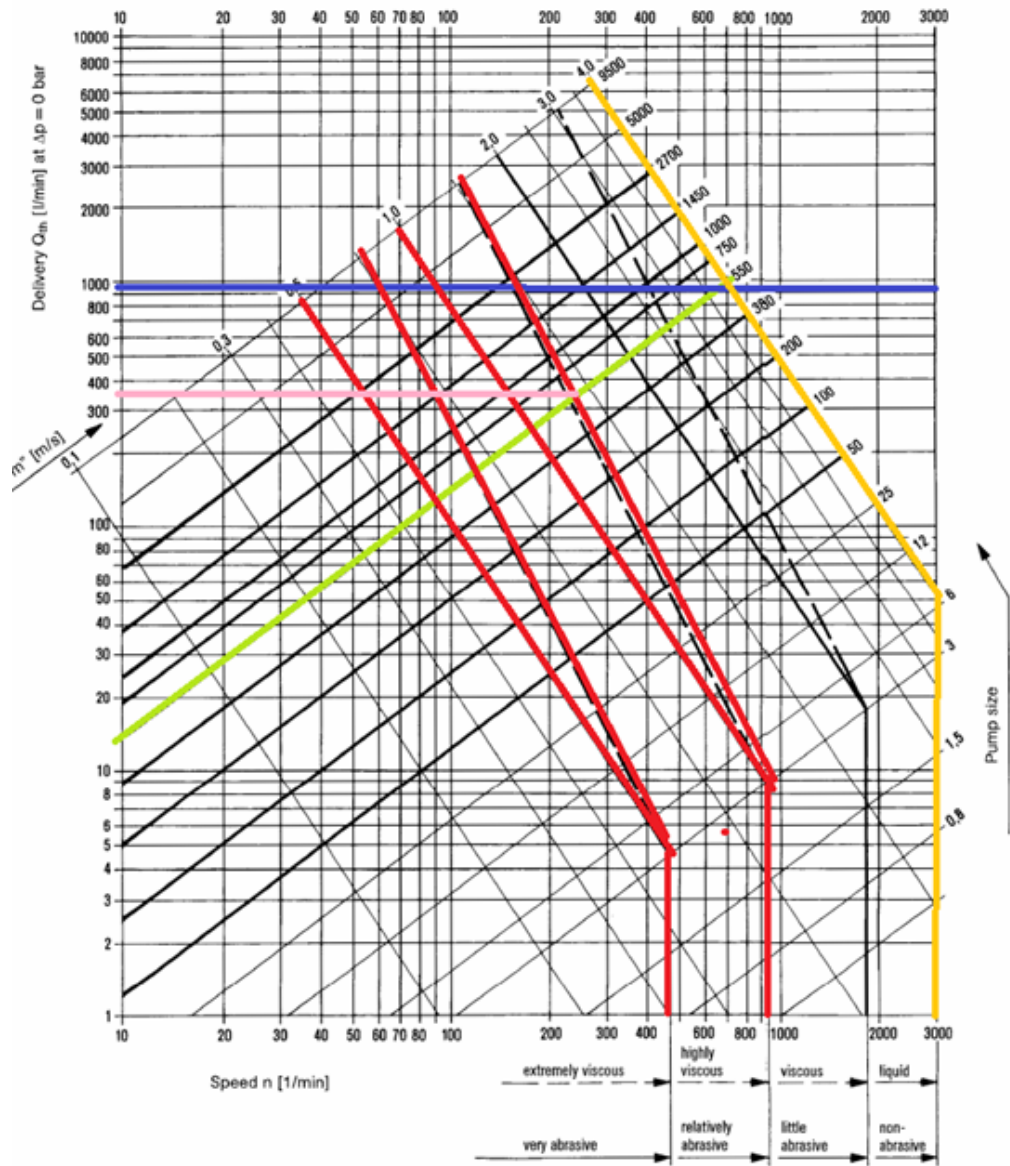


Figura 8.16: Curva Rendimiento Bomba ALLWEILER AEB 1E 550

Bibliografía

- [1] Superintendencia de Servicios Sanitarios. (2017). Tratamientos de Aguas Servidas. diciembre, 2017, de Gobierno de Chile Sitio web: *http : //www.siss.gob.cl/577/w3 – propertyvalue – 3528.html*
- [2] Decreto 90. Diario Oficial de la República de Chile, Santiago, Chile, 30 de mayo de 2000.
- [3] Torres, L. (2005). Tipos de Mantenimiento. En Mantenimiento su implementación y gestión(130). Argentina: Universitas.
- [4] Pistarelli, A. (2012). Mantenimiento y Disponibilidad. En Manual del mantenimiento , Ingeniería Gestión y organización.(61). Argentina: BUENOS AIRES.
- [5] SEAS, Estudios Superiores Abiertos. (2012). Clasificación del Mantenimiento. En Gestión del Mantenimiento I(23). España: SEAS, Estudios Superiores Abiertos.
- [6] SEAS, Estudios Superiores Abiertos. (2012). Clasificación del Mantenimiento. En Gestión del Mantenimiento I(31). España: SEAS, Estudios Superiores Abiertos.
- [7] Kunio Shirose. (1994). TPM para mandos intermedios de fábrica. . LUGAR: Productivity Press.
- [8] Superintendencia de Servicios Sanitarios. (2017). Calidad del agua potable. diciembre, 2017, de Gobierno de Chile Sitio web: *http : //www.siss.cl/577/w3 – propertyvalue – 3525.html*
- [9] Arata, A. (2009). Fundamentos de la Confiabilidad. En Ingeniería y Gestión de la Confiabilidad Operacional en Plantas Industriales(134). Santiago de Chile: RIL editores.

- [10] Gutierrez, H. & De La Vara, R. (2009). Cartas de control para variables . En Control estadístico de calidad y seis sigma (184). México: McGraw-Hill.
- [11] Gutierrez, H. & De La Vara, R. (2009). Cartas de control para variables . En Control estadístico de calidad y seis sigma (184). México: McGraw-Hill.
- [12] Gutierrez, H. & De La Vara, R. (2009). Cartas de control para variables . En Control estadístico de calidad y seis sigma (191). México: McGraw-Hill.
- [13] Gutierrez, H. & De La Vara, R. (2009). Cartas de control para variables . En Control estadístico de calidad y seis sigma (192). México: McGraw-Hill.
- [14] -. (2017). PREFERRED CALCULATION. noviembre, 2017, de Vorne Sitio web: <https://www.oeo.com/calculating-oeo.html>
- [15] Zapata, C. (2011). Confiabilidad en Ingeniería. Colombia: Publiprint Ltda.