

**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA
MARÍA**

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

SANTIAGO - CHILE



**“PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO
PARA EQUIPOS CRÍTICOS DE PLANTA DE
HIDROCICLONADO EN UNA EMPRESA DE
ÁRIDOS”**

BRYAN MARCELO ESCUDERO LABBÉ

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL MECÁNICO

PROFESOR GUÍA: ING. LUIS GUZMÁN BONET

PROFESOR CORREFERENTE: ING. NELSON ÁLVAREZ CAMPILLAY

NOVIEMBRE 2022

Agradecimientos

Quiero agradecer a cada persona que estuvo junto a mí en este proceso, ya sean familiares, amigos, compañeros, ayudantes o profesores. En especial quiero agradecer a mi padre Juan Carlos Escudero, por todo el apoyo incondicional brindado en todo este tiempo, pero por, sobre todo, el apoyo entregado durante toda mi vida. Sus palabras de aliento en los momentos de flaqueza me ayudaron a no declinar este camino y poder seguir adelante.

Doy mis sinceros agradecimientos a mis dos abuelas, quienes no alcanzaron a terminar este proceso junto a mí. La abuela Rosa, quien estuvo junto a mí en un momento difícil de mi vida y a quien le debo la mitad de mi futuro sueldo. Mi abuela Tegualda, quien estuvo conmigo durante toda mi vida y prácticamente me formó como persona; le agradezco todas sus enseñanzas.

Agradezco a mi novia Bárbara Mondaca, quien siempre estuvo conmigo, en momentos de incertidumbre y en momentos de felicidad, es mi pilar fundamental y quien me inspira a seguir adelante. Sus palabras de apoyo me han motivado a culminar con este proceso y no decaer en el camino. Le agradezco nuevamente, ya que gran parte de este logro es gracias a ella.

Agradezco a mi primera familia; mis hermanos, Willians y Constanza, que, a pesar de todas las adversidades vividas, el cariño y amor que nos tenemos siempre nos mantendrá unidos. Le doy las gracias a mi madre, Ximena, por darme la vida y entregarme la posibilidad de poder vivir este proceso.

Agradezco de todo corazón a mi segunda familia; la madre de mi novia; Alejandra y la abuela de mi novia; María, por este último tiempo compartiendo y siendo familia, por siempre pensar en mí, como un hijo y un nieto respectivamente, por preocuparse y acogerme en su núcleo familiar.

Agradezco a todos mis compañeros que fueron partes de este proceso y que aportaron un granito de arena para poder llegar a la meta, en especial a Pablo, Martín, Danny, Cristopher, Daniel 1, Daniel 2, María José, Claudio, Thomas y Máximo, quienes más que compañeros de universidad, fueron compañeros de vida.

Finalmente agradezco a todos los profesores que tuve la oportunidad de conocer en esta etapa, quienes me brindaron sus conocimientos y también brindaron consejos y vivencias muy valiosas. En especial quiero agradecer a mi profesor guía Luis Guzmán y a mi profesor correferente Nelson Álvarez, quienes me brindaron la oportunidad de realizar mi trabajo junto a ellos y estuvieron a disposición para mí durante todo el proceso.

Resumen

El presente trabajo de título tiene como objetivo principal generar una propuesta de plan de mantenimiento a equipos y componentes críticos de la planta de hidrociclado de una empresa de áridos, con la finalidad de optimizar las tareas y disminuir los costos actuales del área. Para cumplir el objetivo principal, se plantean objetivos específicos, junto con un plan de trabajo, el cual establece los pasos a seguir en la ejecución de este trabajo.

La primera parte de este trabajo consiste en realizar una introducción a la empresa, mostrando sus valores y principios corporativos, proceso productivo, materia prima, productos elaborados, máquinas y equipos más relevantes. Con esto se sientan las bases del contexto en el cual se desarrolla el trabajo y se entiende la importancia de la planta de hidrociclado en el proceso productivo.

Luego de esto, se explica el funcionamiento de la planta de hidrociclado, dividiéndola en sus 3 módulos; bombeo, escurrido y ciclado. Se recopila data acerca del historial de fallas de la planta, con la cual se realiza un análisis preliminar con un diagrama de Pareto.

Posteriormente, se realiza un análisis de criticidad a los equipos y componentes principales de la planta, mediante la metodología RCM y las herramientas contenidas en las normas ISO 31000 e ISO 31010. Este análisis se realiza mediante FMEA a cada equipo o componente de la planta. Con esto realizado, se procede a ejecutar la herramienta denominada matriz de riesgo, evaluando las consecuencias que tendrían fallas funcionales en cada equipo o componente, con la finalidad de determinar su nivel de criticidad en el contexto, clasificando en críticos, semi críticos y no críticos.

Luego de todo el análisis previo, se procede a diseñar el plan de mantenimiento en base a la metodología RCM y las siete preguntas de base, obteniendo resultados con mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo. Considerando todos los planes elaborados, se construye el plan matriz, el cual contiene la programación en un año calendario de las tareas a ejecutar.

Finalmente, se realiza un análisis económico del plan propuesto, considerando costos fijos y variables. Se compara con los costos que se generarían por paradas no programadas en la planta, obteniendo un ahorro con respecto a estos, concluyendo que el plan es rentable, tanto en el aspecto económico, como en el operacional.

Abstract

The main objective of this work is to generate a proposal for a maintenance plan for critical equipment and components of the hydrocycloning plant of an aggregates company, to optimize the tasks and reduce the current costs of the area. To fulfill the main objective, specific objectives are proposed, together with a work plan, which establishes the steps to follow in the execution of this work.

The first part of this work consists of an introduction to the company, showing its corporate values and principles, production process, raw materials, manufactured products, most relevant machinery, and equipment. This lays the foundations of the context in which the work is developed and the importance of the hydrocycloning plant in the production process is understood.

After this, the operation of the hydrocycloning plant is explained, dividing it into its 3 modules: pumping, dewatering and cycloning. Data is collected about the plant's failure history, with which a preliminary analysis is carried out with a Pareto diagram.

Subsequently, a criticality analysis of the plant's equipment and main components is performed using the RCM methodology and the tools contained in ISO 31000 and ISO 31010 standards. This analysis is performed by means of FMEA to each equipment or component of the plant. Once this is done, the risk matrix tool is executed, evaluating the consequences of functional failures in each equipment or component, to determine their level of criticality in the context, classifying them as critical, semi-critical and non-critical.

After all the previous analysis, the maintenance plan is designed based on the RCM methodology and the seven basic questions, obtaining results with preventive, predictive and corrective maintenance. Considering all the plans elaborated, the matrix plan is built, which contains the schedule for a calendar year of the tasks to be executed.

Finally, an economic analysis of the proposed plan is performed, considering fixed and variable costs. It is compared with the costs that would be generated by unscheduled shutdowns in the plant, obtaining a saving with respect to these, concluding that the plan is profitable, both economically and operationally.

Glosario

Planta hidrociclono: Conjunto de equipos y componentes a estudiar en este trabajo de titulación.

Planta: Hace referencia a planta de hidrociclono.

RAE: Real academia española de la lengua.

RCA: Análisis de Causa Raíz.

KPI: Indicador clave de rendimiento.

TA: Tolva de alimentación.

AV: Alimentador vibratorio.

TM: Triturador de mandíbula.

CT: Cinta transportadora.

TC: Triturador de cono.

TI: Triturador de impacto.

HV: Harnero vibratorio.

ERP: Software de gestión empresarial.

PM: Módulo mantenimiento programado en un ERP.

MTTR: Tiempo medio de reparación.

MTBF: Tiempo medio entre fallas.

RCM: Mantenimiento centrado en la confiabilidad.

OT: Orden de trabajo.

FMEA: Análisis de modos y efectos de falla.

ISO: Organización Internacional de Estandarización.

SAE: Sociedad de ingenieros automotrices.

MF: Módulo de finura.

[m3]: Unidad de medida, metros cúbicos.

CLP: Peso chileno.

RRHH: Recursos humanos.

Pirómetro: Instrumento de medición de temperatura.

TPM: Mantenimiento productivo total.

5S: Sistema japonés de mejora continua, base metodología TPM.

Índice

| | |
|---------------------------------------|----|
| Agradecimientos..... | 2 |
| Resumen | 4 |
| Abstract..... | 5 |
| Glosario | 6 |
| Índice | 8 |
| Índice de figuras | 11 |
| Índice de tablas | 12 |
| 1. Introducción | 14 |
| 2. Objetivos | 16 |
| 2.1 Objetivos específicos..... | 16 |
| 3. Descripción del problema..... | 17 |
| 4. Plan de trabajo..... | 18 |
| 5. Antecedentes generales | 21 |
| 5.1 Historia | 21 |
| 5.2 Marco estratégico | 22 |
| 5.3 Organización de la empresa..... | 24 |
| 5.4 Descripción del proceso..... | 28 |
| 5.5 Productos | 33 |
| 6. Marco teórico | 36 |
| 6.1 Mantenimiento..... | 36 |
| 6.2 Tipos de mantenimiento | 36 |
| 6.3 Indicadores de mantenimiento..... | 37 |

| | |
|---|----|
| 6.4 Costos de mantenimiento..... | 38 |
| 6.5 Herramientas tácticas..... | 39 |
| 6.6 Mantenimiento centrado en la confiabilidad | 40 |
| 6.7 Diagrama de decisión RCM | 42 |
| 6.8 Riesgo | 43 |
| 6.9 ISO 31000..... | 43 |
| 6.10 ISO 31010..... | 44 |
| 6.11 FMEA..... | 45 |
| 6.12 Matriz consecuencia/probabilidad..... | 46 |
| 6.13 ISO 14224..... | 47 |
| 6.14 Técnicas para diagnóstico y análisis de fallas | 49 |
| 6.15 Diagrama de Pareto | 49 |
| 7. Levantamiento..... | 51 |
| 7.1 Tornillo lavador | 51 |
| 7.2 Planta de hidrociclado | 52 |
| 7.3 Descripción de la planta | 52 |
| 7.4 Módulo de bombeo..... | 53 |
| 7.5 Módulo de escurrido..... | 55 |
| 7.6 Módulo de ciclado | 56 |
| 7.7 Tuberías de conexión..... | 58 |
| 8. Diagnóstico e historial de fallas | 59 |
| 8.1 Diagrama de Pareto | 62 |
| 9. Análisis de equipos..... | 64 |
| 10. Criticidad | 66 |
| 10.1 Jerarquización de equipos/componentes | 69 |

| | | |
|------|--|----|
| 11. | Planes de mantenimiento..... | 71 |
| 11.1 | Bomba centrífuga | 72 |
| 11.2 | Harnero vibratorio | 74 |
| 11.3 | Hidrociclón | 75 |
| 11.4 | Canoa | 76 |
| 11.5 | Tuberías y accesorios..... | 77 |
| 11.6 | Cono y ápex | 78 |
| 11.7 | Plan matriz de mantenimiento programado..... | 80 |
| 12. | Análisis económico | 83 |
| 12.1 | Ingresos anuales..... | 83 |
| 12.2 | Ingreso por horas | 84 |
| 12.3 | Parada no programada | 84 |
| 12.4 | Costos plan de mantenimiento..... | 85 |
| 13. | Conclusiones..... | 91 |
| 13.1 | Conclusiones generales..... | 91 |
| 13.2 | Conclusiones específicas | 92 |
| 13.3 | Recomendaciones | 93 |
| 14. | Referencias | 95 |
| 15. | Anexos..... | 97 |
| 15.1 | Análisis FMEA..... | 97 |
| 15.2 | Matriz de riesgos | 99 |

Índice de figuras

| | |
|---|----|
| Figura 4.1: Esquema plan de trabajo. | 18 |
| Figura 5.1: Organigrama de la empresa, secciones de operaciones y mantenimiento. | 24 |
| Figura 5.2: Diagrama de flujo del proceso. | 28 |
| Figura 5.3: Tolva de alimentación. | 30 |
| Figura 5.4: Alimentador vibratorio. | 30 |
| Figura 5.5: Triturador de mandíbulas. | 31 |
| Figura 5.6: Cinta transportadora. | 31 |
| Figura 5.7: Triturador de cono. | 32 |
| Figura 5.8: Triturador de impacto. | 32 |
| Figura 5.9: Triturador de impacto. | 33 |
| Figura 5.10: Planta de hidrociclado. | 33 |
| Figura 6.1: Tipos de mantenimiento. | 37 |
| Figura 6.2: Árbol de decisión RCM. | 42 |
| Figura 6.3: Proceso de gestión del riesgo. | 44 |
| Figura 6.4: Ejemplo formato matriz de riesgos. | 46 |
| Figura 6.5: Jerarquía de equipos según ISO 14224. | 48 |
| Figura 6.6: Ejemplo diagrama de Pareto. | 50 |
| Figura 7.1: Tornillo lavador. | 51 |
| Figura 7.2: Módulo de bombeo. | 53 |
| Figura 7.3: Módulo de escurrido. | 56 |
| Figura 7.4: Módulo de ciclonado. | 56 |
| Figura 8.1: Frecuencia de intervenciones por componentes. | 60 |
| Figura 8.2: Frecuencia resumen de intervenciones por componentes agrupados. | 61 |
| Figura 8.3: Diagrama de Pareto por intervenciones. | 62 |
| Figura 10.1: Distribución criticidad equipos planta hidrociclado. | 70 |

Índice de tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 7.1: Dimensiones conexiones cuba..... | 54 |
| Tabla 7.2: Características bomba de impulsión..... | 55 |
| Tabla 7.3: Características ciclones. | 57 |
| Tabla 7.4: Dimensiones conexiones depósito de lodos. | 58 |
| Tabla 7.5: Tuberías de conexión..... | 58 |
| Tabla 9.1: Análisis FMEA Bomba centrífuga WARMAN 250 Planta de hidrociclonado... 64 | |
| Tabla 10.1: Plantilla base matriz de riesgos de consecuencias..... | 66 |
| Tabla 10.2: Matriz de riesgos de consecuencias para Hidrociclón Planta hidrociclonado... 68 | |
| Tabla 10.3: Escala de puntaje criticidad matriz de riesgos..... | 69 |
| Tabla 10.4: Jerarquización de equipos y componentes. | 69 |
| Tabla 11.1: Plan de mantenimiento para Bomba centrífuga Warman 250 WGR, Planta Hidrociclonado. | 72 |
| Tabla 11.2: Plan de mantenimiento para Harnero vibratorio, Planta Hidrociclonado. | 74 |
| Tabla 11.3: Plan de mantenimiento para Hidrociclones, Planta Hidrociclonado..... | 75 |
| Tabla 11.4: Plan de mantenimiento Canoa, Planta Hidrociclonado. | 76 |
| Tabla 11.5: Plan de mantenimiento Tuberías y accesorios de dirección de flujo, Planta Hidrociclonado. | 78 |
| Tabla 11.6: Plan de mantenimiento Cono y ápex, Planta Hidrociclonado. | 79 |
| Tabla 11.7: Plan matriz de mantenimiento programado Planta Hidrociclonado..... | 81 |
| Tabla 12.1: Nivel de producción planta de áridos, año 2021. | 83 |
| Tabla 12.2: Precio promedio productos año 2021 en CLP..... | 83 |
| Tabla 12.3: Ingreso promedio compañía año 2021 en CLP. | 84 |
| Tabla 12.4: Costos de repuestos e insumos plan de mantenimiento Bomba centrífuga..... | 86 |
| Tabla 12.5: Costos de repuestos e insumos plan de mantenimiento Harnero vibratorio..... | 86 |
| Tabla 12.6: Costos de repuestos e insumos plan de mantenimiento Tuberías. | 86 |
| Tabla 12.7: Costos de repuestos e insumos plan de mantenimiento Hidrociclones. | 87 |
| Tabla 12.8: Costos de repuestos e insumos plan de mantenimiento Canoa. | 87 |
| Tabla 12.9: Costos de repuestos e insumos plan de mantenimiento Cono y ápex. | 87 |
| Tabla 12.10: Costos totales repuestos e insumos según plan de mantenimiento. | 88 |
| Tabla 12.11: Instrumentos plan de mantenimiento. | 88 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 12.12: Remuneraciones personal plan de mantenimiento. | 88 |
| Tabla 12.13: Resumen costos plan de mantenimiento. | 89 |
| Tabla 12.14: Resumen costos plan de mantenimiento, desde el segundo año. | 90 |
| Tabla 15.1: Análisis FMEA Hidrociclón Planta de hidrociclonado. | 97 |
| Tabla 15.2: Análisis FMEA Estructura Planta de hidrociclonado. | 97 |
| Tabla 15.3: Análisis FMEA Canoa Planta de hidrociclonado. | 97 |
| Tabla 15.4: Análisis FMEA Tuberías Planta de hidrociclonado. | 98 |
| Tabla 15.5: Análisis FMEA Cono y ápex Planta de hidrociclonado. | 98 |
| Tabla 15.6: Análisis FMEA Harnero Planta de hidrociclonado. | 98 |
| Tabla 15.7: Matriz de riesgos Estructura Planta hidrociclonado. | 99 |
| Tabla 15.8: Matriz de riesgos Bomba centrífuga Warman 250 Planta hidrociclonado. | 100 |
| Tabla 15.9: Matriz de riesgos Canoa Planta hidrociclonado. | 101 |
| Tabla 15.10: Matriz de riesgos Tuberías y accesorios para dirección de flujo Planta hidrociclonado. | 102 |
| Tabla 15.11: Matriz de riesgos Cono y ápex Planta hidrociclonado. | 103 |
| Tabla 15.12: Matriz de riesgos Harnero Planta hidrociclonado. | 104 |

1. Introducción

Las empresas de áridos son organismos que se dedican a la extracción y procesamiento de material integral, con la finalidad de transformar la materia prima en distintos productos, como grava, gravilla, arena y material estabilizador. Todos estos productos son utilizados en la producción de hormigón en sus distintas aplicaciones (edificios, carreteras, construcciones en general).

Algo fundamental en este tipo de empresas, es asegurar la calidad del producto, ya que el tamaño de estos debe permanecer dentro de rangos específicos dependiendo de la futura aplicación en hormigón, todo esto con la finalidad de obtener las propiedades mecánicas requeridas.

Para asegurar la calidad de los distintos productos, en la línea de producción se cuenta con distintos harneros vibratorios, los cuales son los encargados de discriminar el material procesado, mediante distintos tamices o módulos, que tienen distintos tamaños dependiendo de la ubicación que tengan en la producción.

Un equipo fundamental en la empresa es la planta de hidrociclado, la cual es la encargada de quitar toda la humedad posible la arena producida, a través de hidrociclones y un harnero vibratorio. Esta planta es considerada un equipo crítico en el proceso, tanto en aspectos como la producción, costos, seguridad y medio ambiente.

En este sentido, el departamento de mantenimiento tiene un rol clave con respecto a la disponibilidad del equipo, ya que son los encargados de mantenerlo mediante actividades programadas e inspecciones rutinarias.

Las actividades de mantenimiento son casi diarias actualmente en este equipo, lo que actualmente concurre en grandes gastos, ya sea monetarios, tanto en repuestos, insumos y herramientas, como también en recurso humano, sobre todo en las H/H empleadas.

La razón de existencia de una empresa lucrativa es generar retorno (utilidades) a sus socios. Esto se logra siendo cada vez más competitivas dentro de la industria, en todos sus aspectos, económico, social, ambiental, etc. En este sentido, tener altos costos de mantenimiento, reduce el margen utilitario y también la competitividad de la organización (Pistarelli, 2021).

Es por esto, que el trabajo se orienta en el diseño de un plan de mantenimiento para los equipos críticos de la planta de hidrociclado, donde se busca lograr la reducción de costos asociados al mantenimiento de este, para así contribuir a mejorar el margen de utilidades y la competitividad.

2. Objetivos

El objetivo general de este trabajo es generar una propuesta de plan de mantenimiento para equipos críticos en la planta de hidrociclado en una empresa de áridos, con la finalidad de optimizar las actividades y disminuir los costos de mantenimiento.

2.1 Objetivos específicos

- Realizar levantamiento del proceso con la finalidad de conocer la situación actual del mantenimiento de los equipos de la planta.
- Determinar la criticidad de los equipos y elementos que componen la planta de hidrociclado.
- Seleccionar la herramienta táctica de mantenimiento adecuada a los requerimientos del proceso.
- Elaborar el plan de mantenimiento a equipos críticos.
- Estimar y evaluar los costos asociados al plan de mantenimiento propuesto.

3. Descripción del problema

En el presente trabajo de titulación, se estudiará la factibilidad del diseño de un plan de mantenimiento al conjunto de equipos “planta de hidrociclado” los cuales son los encargados de quitar la mayor cantidad de humedad posible a la arena producida, con la finalidad de recuperar la mayor cantidad de agua del proceso.

El principal problema de este equipo es la falta de un plan de mantenimiento, que trae consigo elevados costos asociados al mantenimiento, lo que provoca un aumento en los costos operacionales y una reducción del margen de utilidad.

Si bien, el departamento de mantenimiento de la empresa realiza mantenimientos preventivos a algunos componentes de la planta (impulsor de la bomba, principalmente), es necesario el diseño de un plan para así incluir en el mantenimiento preventivo más elementos que puedan resultar críticos con respecto a los objetivos del mantenimiento u organización.

Otro problema que se deriva del principal es la falta de análisis del mantenimiento, principalmente, en el caso de fallas, donde se realiza el mantenimiento correctivo. En estos casos, cuando la falla es significativa, se realizan RCA por parte del personal de mantenimiento, los cuales muchas veces carecen de profundidad, por lo que no se identifica la verdadera causa, por ende, no se toman acciones posteriores para tratar de eliminar estas causas, es decir, no se aplica un mantenimiento proactivo.

4. Plan de trabajo

A continuación, se presenta el plan de trabajo, el cual describe las etapas a desarrollar en el trabajo de titulación, con la finalidad de ir respondiendo a cada uno de los objetivos de manera secuencial; obteniendo información de manera correcta y confiable para el desarrollo de la propuesta del plan de mantenimiento.

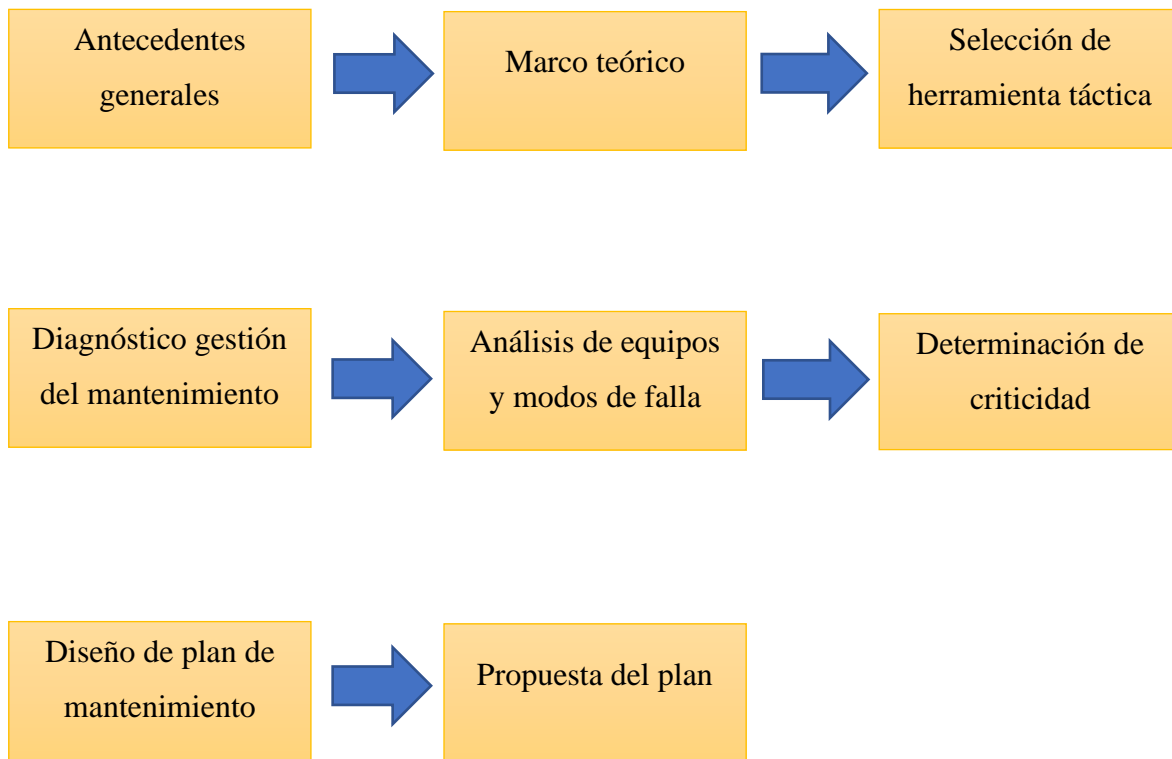


Figura 4.1: Esquema plan de trabajo.

Fuente: Elaboración propia.

Antecedentes generales

Se presenta información respecto a la empresa, rubro en el que participa, equipos, procesos, producción y aspectos organizacionales relevantes.

Marco teórico

Se presentan y definen conceptos asociados al mantenimiento, además de las herramientas tácticas, KPI y normas ISO relevantes al trabajo realizado.

Selección de herramienta táctica

Se selecciona la herramienta táctica de mantenimiento a utilizar en la confección del plan, en base a las estrategias y objetivos de la organización y del mantenimiento.

Diagnóstico

Se realiza un levantamiento de información con respecto al mantenimiento de la planta y sus componentes, con la finalidad de tener una evaluación preliminar sobre la gestión del mantenimiento en la empresa.

Análisis de equipos

Se analiza la información disponible con respecto a las fallas presentadas por equipos y componentes que componen la planta. Se estudia la frecuencia de falla y se determinan sus modos de falla.

Criticidad de equipos

Se realiza un análisis de criticidad de los equipos y componentes, mediante herramientas antes definidas en el marco teórico. El análisis se realiza en base a los objetivos organizacionales de la empresa y del mantenimiento.

Diseño del plan de mantenimiento

Se diseña el plan de mantenimiento a los equipos críticos de la planta, siguiendo la herramienta táctica adecuada a los requerimientos de la organización. En el plan se determinan frecuencias de mantenimiento, rutas de inspección, stock de repuestos críticos y costos asociados.

Propuesta del plan de mantenimiento

Se presenta el plan de mantenimiento, en donde se definen los aspectos a mejorar, el objetivo del plan, las acciones y tareas que se deben realizar y los responsables de ejecutarlas. Además, se presentan los ahorros que presenta el plan, tanto en la disponibilidad de la planta, como en los costos asociados.

5. Antecedentes generales

En el presente trabajo de titulación, se realiza un estudio con respecto al mantenimiento de la planta de hidrociclado de una empresa de áridos.

Esta empresa, es una de las líderes en el rubro del procesamiento de áridos, procesando anualmente más de 1.100.000 metros cúbicos de materia prima. Además, la empresa cuenta con otras divisiones líderes también en su rubro, como lo son la división de hormigones y la división de cementos.

Los productos obtenidos de la producción en la división de áridos son arenas, grava, gravilla y material estabilizador, los cuales son ocupados posteriormente en la producción de hormigón en sus distintas aplicaciones, ya sea por particulares o por otra división de la empresa.

5.1 Historia

La empresa comienza sus operaciones a principios del siglo XX, específicamente en el año 1908, en donde nace su primera división de cementos. En el año 1980, inicia en el rubro de la producción de hormigón.

En los años 90, la empresa continúa con la expansión de su negocio, ahora con la división de áridos.

Actualmente cuenta con más de 50 plantas de hormigón a lo largo de todo el país, lo que le permite tener presencia en la mayoría de las regiones, cubriendo a una gran cantidad de clientes.

En cuanto a la división de áridos, actualmente la empresa posee la planta más grande del país y una de las más importantes de Sudamérica.

Gracias a su amplia trayectoria en el mercado y la excelente calidad de sus productos, la empresa ha participado en la construcción de distintas obras emblemáticas del país, en donde se encuentra el puerto de San Antonio, Torre Entel, Estadio Nacional, Costanera Norte y el edificio Titanium.

5.2 Marco estratégico

El marco estratégico de la empresa contiene principalmente la misión, visión, valores y principios corporativos y éticos que rigen en esta. Estos conceptos se presentan a continuación:

- **Misión:** *Construir en sociedad con nuestros clientes el liderazgo regional en la industria de materiales de construcción cimentado en la calidad, innovación y sustentabilidad de nuestros productos, servicios y procesos, y el entusiasmo y el compromiso de un equipo humano de excelencia.*
- **Visión:** *Ser la marca de mayor reputación en la industria de materiales de construcción de la Región.*

Valores corporativos

- **Integridad:** “Actuar de manera honesta, solidaria y transparente”
- **Excelencia:** “Hacer las cosas siempre mejor”
- **Compromiso:** “Tomar los desafíos como propios”
- **Seguridad:** “Es más que el resultado de hacer bien las cosas”

Principios corporativos:

- Liderazgo y compromiso de la alta dirección.
- Gestión orientada a la satisfacción del cliente.
- Agilidad y flexibilidad.
- Orientación a resultados y a creación de valor.

Código de ética y conductas:

El código de ética y conductas de la empresa describe las obligaciones básicas que tiene cada trabajador, y es una guía y fuente para proporcionar información sobre problemas relacionados con conductas empresariales frecuentes.

Este código establece que es obligación de cada trabajador conocerlo y a la vez cumplir sus políticas, reglas y normas de conducta; como también, es una obligación de los altos directivos o supervisores, velar por el cumplimiento de este.

Los objetivos del código de ética y conductas son los siguientes:

- Expresar de manera clara e inequívoca que la empresa conduce sus negocios con honestidad, transparencia e integridad y con respeto a los intereses de aquellos con quienes se relaciona.
- Hacer lo correcto y respetar los compromisos contraídos, así como las leyes y regulaciones vigentes.
- Lograr que el comportamiento de los integrantes de la empresa coincida con los principios éticos de ésta.
- Mantener la mayor coherencia entre lo que se declara y lo que se hace.
- Incrementar entre nuestros trabajadores el sentido de compromiso, cohesión y responsabilidad.
- Evitar comportamientos de trabajadores, clientes, proveedores y contratistas que sean contrarios a los valores y principios de la empresa.
- Los trabajadores deben usar su sentido común y su buen juicio a la hora de lidiar con problemas relacionados con la conducta empresarial y buscar orientación si no tienen claro cómo conviene proceder en un caso particular.

5.3 Organización de la empresa

La organización de la empresa en todas sus divisiones es bastante extensa, por lo que se presenta un organigrama que comprende sólo las secciones relacionadas con el departamento de operaciones y mantenimiento.

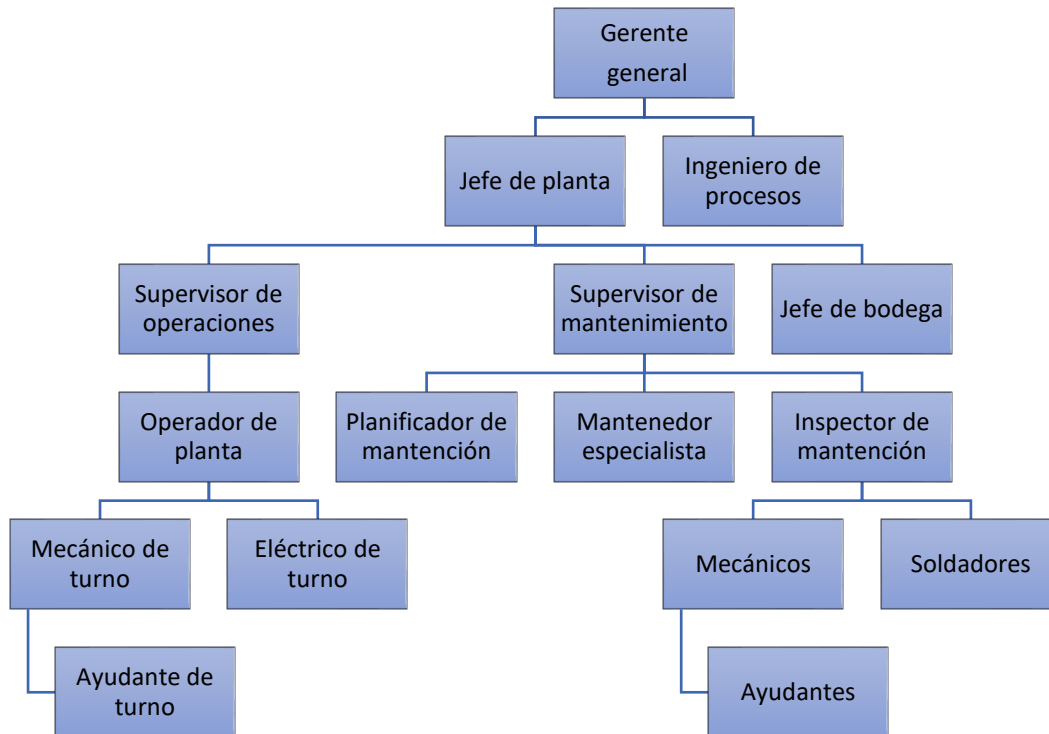


Figura 5.1: Organigrama de la empresa, secciones de operaciones y mantenimiento.

Fuente: Base de datos de la empresa.

A continuación, se detallan los cargos expuestos en el organigrama:

Gerente general:

- Representante legal de la empresa.
- Encargado de las finanzas globales y de decidir el rumbo del negocio.
- Persona encargada de rendir cuentas a accionistas mayoritarios de la compañía.

Ingeniero de procesos:

- Encargado de llevar el control estadístico de la producción

- Encargado de elaborar informes diarios y mensuales, donde se detalla la productividad y la confiabilidad del proceso.
- Encargado de hacer más efectivo el proceso a través herramientas de mejora y de la implementación de nuevas tecnologías en la planta.

Jefe de planta:

- Encargado de supervisar el trabajo de mantenimiento y operaciones.
- Persona encargada del proceso productivo y, por ende, de las metas de producción propuestas.
- Encargado de gestionar contratos con empresas contratistas de mantenimiento.
- Encargado de aprobar presupuestos para la compra de insumos, ya sea para mantenimiento u operaciones.

Jefe de bodega:

- Encargado de administrar las bodegas de repuestos de mantenimiento y de EPP de los trabajadores.
- Encargado de realizar pedidos de repuestos o insumos que sean necesarios para el mantenimiento de la planta.
- Encargado de entregar los insumos solicitados.

Supervisor de operaciones:

- Encargado de supervisar el normal funcionamiento de la producción, ya sea en volumen, tiempos, entre otros factores.
- Encargado de la producción en terreno.
- Encargado del personal de operaciones.
- Encargado de rendir cuentas de la producción al jefe de planta.

Operador de planta:

- Personal encargado de operar la planta.
- Encargado de la producción en el turno.
- Encargado de entregar la planta para mantenimiento.

Mecánico de turno:

- Encargado de realizar tareas rutinarias de mantenimiento, ya sea con la planta en funcionamiento o detenida.
- Encargado de aplicar el mantenimiento correctivo cuando sea necesario.
- Ayuda en las partidas y paradas de la planta, accionando o cerrando válvulas.

Eléctrico de turno:

- Encargado de bloquear todos los equipos desde la sala eléctrica de fuerza antes de comenzar el mantenimiento.
- Encargado de solucionar problemas eléctricos que puedan presentarse en la planta.

Ayudante de turno:

- Encargado de apoyar las labores diarias de limpieza y mantenimiento.
- Encargado de apoyar al eléctrico y/o mecánico de turno en sus labores diarias.

Supervisor de mantención:

- Cara visible del departamento de mantención con la dirección general.
- Encargado de cumplir con los tiempos asignados a mantenimiento.
- Encargado de reducir los costos asociados al mantenimiento.
- Participa en la planificación del mantenimiento.
- Encargado de supervisar las tareas más riesgosas de mantenimiento.

Planificador de mantención:

- Persona encargada de elaborar el plan semanal de mantenimiento.
- Encargado de rendir cuentas a los gerentes de las distintas áreas.
- Tiene comunicación directa con el jefe de bodega, de tal manera de planificar el stock de repuestos necesarios para mantención.

Inspector de mantenimiento:

- Encargado de supervisar en terreno las tareas típicas de mantenimiento de la planta.
- Encargado de encontrar fallas en la planta productiva, a través de inspecciones diarias.
- Encargado de realizar la programación semanal del mantenimiento junto con el planificador.
- Encargado de asignar tareas diarias de mantenimiento al personal.

Mantenedor especialista:

- Encargado de supervisar en terreno los trabajos de mantenimiento.
- Debe realizar inspecciones de rutina a la planta con la finalidad de encontrar oportunidades de mantenimiento preventivo o correctivo.
- Apoya en la programación semanal del mantenimiento.

Mecánicos:

- Personal encargado de llevar a cabo las tareas que requieren mayor experiencia en mantenimiento.
- Se comunican directamente con el inspector de mantenimiento en la asignación de tareas y en la entrega de trabajos finalizados.

Soldadores:

- Personal encargado de llevar a cabo los trabajos relacionados con soldadura de la planta.
- Encargados de realizar trabajos de mantenimiento cuando hay ausencia de mecánicos.
- Se relacionan directamente con el inspector de mantenimiento.

Ayudante de soldador-mecánico:

- Su principal función es brindar apoyo a los soldadores y mecánicos en las labores de mantenimiento.
- Se encargan de mantener la limpieza en el taller mecánico.

5.4 Descripción del proceso

A continuación, se presenta el diagrama de flujo de producción de la empresa:

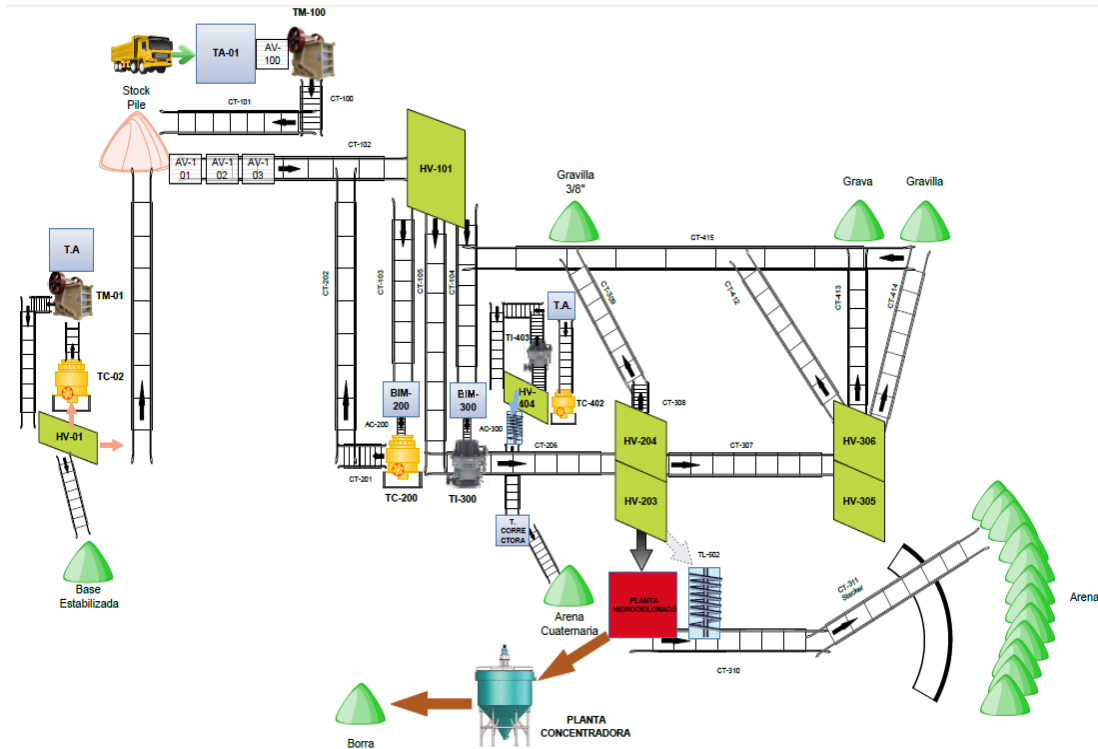


Figura 5.2: Diagrama de flujo del proceso.

Fuente: Base de datos de la empresa.

El proceso de chancado de áridos comprende varias etapas, en donde se encuentra el chancado primario, chancado secundario, harneado primario, harneado secundario y el proceso de desagado, entre otros.

El proceso productivo comienza con la extracción del material integral en el pozo de extracción mediante retroexcavadoras, donde cargadores frontales se encargan de depositar el material en camiones bateas, los cuales se dirigen al segundo pozo de la empresa, que es donde se realiza el procesamiento del material. Estos camiones depositan el material en la tolva de alimentación, la cual se encuentra estratégicamente encima de un alimentador vibratorio, quien es el primer filtro de entrada a la producción, ya que frena la pasada de rocas que puedan dañar al primer chancador.

El material que logra pasar por el alimentador vibratorio se deposita en el chancador primario de mandíbulas donde se reduce su tamaño para posteriormente seguir por dos cintas transportadoras y ser depositado en un stock pile. Por debajo de este cono de material, se ubican estratégicamente tres alimentadores vibratorios en un túnel a lo largo del diámetro, en donde por gravedad y por la vibración de estos equipos, se deposita material en una cinta transportadora de distinto tamaño, dependiendo de cada alimentador.

El material sigue el proceso por la cinta transportadora, la cual desemboca en el primer harnero vibratorio del proceso, donde se clasifica según su tamaño y se vierte en una de las tres cintas que se sitúan por debajo de este equipo. El material de mayor tamaño es enviado por la cinta hacia un chancador de cono (segundo del proceso), el cual tritura el material y lo devuelve hacia el harnero que se mencionó en un principio. El material con tamaño pequeño se envía por una cinta hacia el chancador de impacto (tercer chancador), en donde mediante el giro de su rotor pulveriza el material, transformándolo en arena. El material de tamaño medio que cae del harnero pasa directamente por una cinta transportadora y se une con el material que pasa por el chancador de impacto y juntos siguen el proceso.

El material que ya pasó por este segundo y tercer proceso de chancado se deposita en los dos siguientes harneros vibratorios. Estos equipos son fundamentales, ya que, dependiendo del tamaño del material, lo envían a distintos lugares del proceso. Si el material cumple con los requisitos de tamaño de 3/8 de pulgada, es enviado a un depósito como gravilla 3/8". El material más fino es enviado mediante una cinta hacia la planta de hidrociclado, en donde se le quita la mayor parte de la humedad contenida mediante otro harnero vibratorio con módulos super finos. Este material se deposita en la siguiente cinta y posterior a eso termina su proceso y se acopia como arena. El tercer camino que puede seguir el material es hacia una tercera ronda de harneros.

En la última ronda de harneros, el material puede tomar tres caminos diferentes dependiendo de su tamaño. Los primeros dos caminos son cumplir con el tamaño y forma para convertirse en grava o gravilla, en donde son depositados en sus acopios respectivamente. El tercer camino es realizar un reproceso al material que no cumple con las especificaciones, por lo que se envía nuevamente al proceso productivo.

A continuación, se realiza una breve descripción de los principales equipos utilizados en la descripción del proceso:

- **Tolva de alimentación:** Como lo dice su nombre, TA es una tolva, similar a la de un camión, en donde se deposita material integral que luego cae al chancador que se encuentra bajo la tolva.



Figura 5.3: Tolva de alimentación.

Fuente: (Alibaba, 2021).

- **Alimentador vibratorio:** El AV, es el primer harnero al cual se enfrenta el material en bruto, este equipo es el encargado de seleccionar el material y de no dejar pasar material de sobre tamaño, que puede dañar al chancador que se sitúa debajo.



Figura 5.4: Alimentador vibratorio.

Fuente: (HCL, 2021).

- **Triturador de mandíbula:** El TM, es el chancador de carácter primario, que está encargado de recibir el material en bruto y triturarlo en primera instancia.

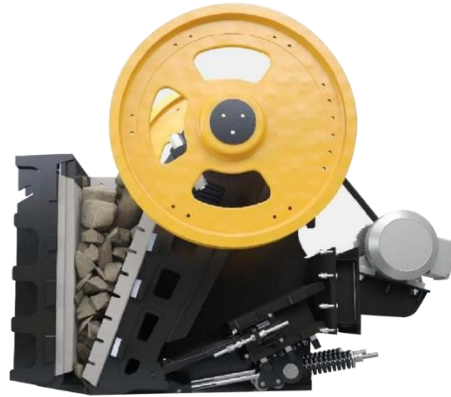


Figura 5.5: Triturador de mandíbulas.

Fuente: (Dismet, 2021).

- **Cinta transportadora:** Las CT, son utilizadas para transportar el material hacia los distintos lugares de la planta.



Figura 5.6: Cinta transportadora.

Fuente: (Tecmacsrl, 2021).

- **BIM:** Cinta transportadora pequeña, utilizada para mover grandes cantidades de material, pero a baja velocidad, que luego será depositado en chancadores secundarios.

- **Triturador de cono:** El TC, es un chancador de cono utilizado en la mitad del proceso, es el encargado de seguir disminuyendo el tamaño del material que ya pasó por la primera trituración en el TM.



Figura 5.7: Triturador de cono.

Fuente: (Interempresas, 2021).

- **Triturador de impacto:** El TI, es el equipo encargado de disminuir al máximo el tamaño del material, de tal manera de generar arena.

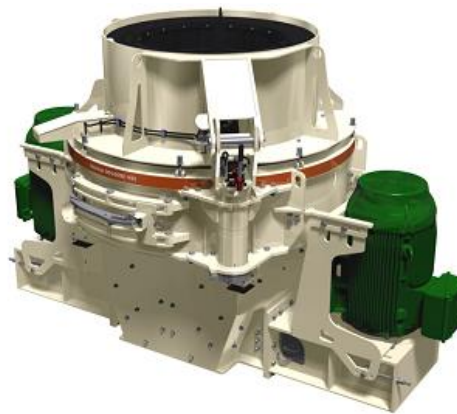


Figura 5.8: Triturador de impacto.

Fuente: (Finning, 2021).

- **Harnero vibratorio:** El HV, es el equipo encargado de seleccionar el material y dependiendo de su tamaño dejarlo seguir el proceso y si no, mandarlo a un reproceso.



Figura 5.9: Triturador de impacto.

Fuente: (HCL, 2021).

- **Planta de hidrociclonado:** Este conjunto de equipos denominado “Planta de hidrociclonado”, es el encargado de quitar humedad a las arenas provenientes del proceso, con la finalidad de recuperar la mayor cantidad de agua posible.



Figura 5.10: Planta de hidrociclonado.

Fuente: Base de datos de la empresa.

5.5 Productos

Los productos elaborados por la empresa, que se obtienen del procesamiento del material integral son la arena, grava, gravilla y el material estabilizado. Las características de estos productos se presentan a continuación:

Arenas

Características generales:

- Tamaño máximo absoluto 10 mm.
- Porcentaje de gravilla en T4, máximo 8%.
- Módulo de finura 3,06 – 3,36.
- 50% partículas rodadas y 50% partículas chancadas.
- Lavada, con bajo porcentaje de finos.
- Dispersión granulométrica controlada en un 90%.

Aplicaciones:

- Hormigones en obra.
- Hormigones industriales (hormigones armados y de alta resistencia).
- Elementos prefabricados de hormigón.

Estabilizado:

Características generales:

- Tamaño máximo 40 mm.
- 60% partículas chancadas.
- IP menor a 6%.
- Producto sin lavar.
- Producto bien graduado.
- Alta capacidad de soporte, controlada en un 90%.

Aplicaciones:

- Bases.
- Sub-bases.
- Rellenos.

Grava:

Características generales:

- Tamaño máximo 40 mm.
- 75% de partículas chancadas.
- Dispersión granulométrica controlada en un 85%.
- Producto lavado.

Aplicaciones:

- Hormigones en obra.
- Hormigones industriales (hormigones armados y de alta resistencia).

Gravilla:

Características generales:

- Tamaño máximo 20 mm / 5mm.
- 80% de partículas chancadas.
- Buena cubicidad.
- Producto lavado.
- Alta trabajabilidad.
- Alta resistencia a la flexotracción.

Aplicaciones:

- Hormigones en obra.
- Hormigones industriales (hormigones armados y de alta resistencia).
- Hormigones bombeados.
- Elementos prefabricados de hormigón.

6. Marco teórico

En el siguiente capítulo, se exponen distintos conceptos relacionados con la elaboración del trabajo de título. Se describen conceptos como, tipos de mantenimiento, estrategias, normas, herramientas tácticas y KPI relevantes en el mundo de la gestión de activos.

6.1 Mantenimiento

Según la real academia española de la lengua, se define el mantenimiento como el conjunto de operaciones y cuidados necesarios para que las instalaciones, edificios e industrias, sigan funcionando adecuadamente (RAE, 2021).

Otra definición válida, es la de Pistarelli, quien afirma que el mantenimiento es un conjunto de acciones de preservación de los activos, en un determinado sector productivo, satisfaciendo estándares de calidad, seguridad y servicio (Pistarelli, 2021).

En palabras simples, el mantenimiento es el conjunto de actividades y tareas necesarias que se deben planificar, programar y ejecutar, con la finalidad de asegurar la continua funcionalidad del activo.

6.2 Tipos de mantenimiento

A continuación, se presentan las principales formas de mantenimiento (Pistarelli, 2021):

- **Mantenimiento correctivo:** Consiste en la reparación de averías o fallas funcionales de los equipos, a medida que se van produciendo. En este tipo de mantenimiento, el personal encargado de identificar las fallas generalmente es el operador de la máquina.
- **Mantenimiento preventivo:** Consiste en planificar las actividades de mantenimiento, de tal manera de ejecutarlas en el momento más oportuno. La finalidad de este mantenimiento es prevenir la falla, para así disminuir la frecuencia de las paradas no programadas.
- **Mantenimiento predictivo:** Este mantenimiento propone que es posible detectar síntomas prematuros de desperfectos o desajustes en equipos o componentes, antes

de que se produzca una detención no programada. Consiste en descubrir los “avisos” que dan los distintos componentes antes de fallar.

- **Mantenimiento proactivo:** Este mantenimiento consiste en monitorear las propiedades de ciertos parámetros en los componentes antes de decidir una intervención. La finalidad de este tipo de mantenimiento es identificar la causa raíz que provoca la falla, para así realizar acciones que eliminen o mitiguen esta falla.

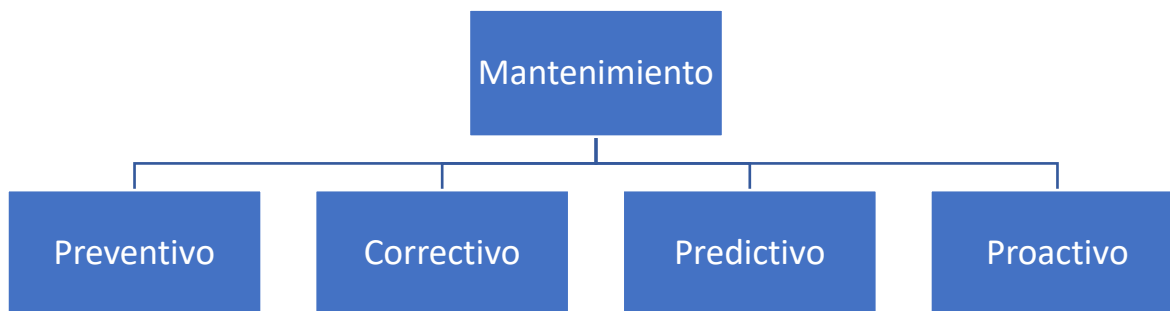


Figura 6.1: Tipos de mantenimiento.

Fuente: Elaboración propia.

6.3 Indicadores de mantenimiento

Para determinar el nivel de éxito de una organización (en cualquier área), es necesario medir ciertos parámetros relevantes, llamados KPI. Estos indicadores permiten identificar de manera objetiva, que tan cerca de los objetivos (establecido inicialmente) está la organización.

La función principal del mantenimiento en todas las industrias es mantener los activos disponibles la mayor cantidad de tiempo posible, siempre mirando a que costo es esto posible.

La disponibilidad en mantenimiento se entiende como todo el tiempo en el que un equipo o componente se encuentra en condiciones de operar. La disponibilidad descansa en dos indicadores principales, el tiempo medio de reparación (mantenibilidad) y el tiempo medio entre fallas (confiabilidad).

Tiempo medio de reparación: El tiempo medio de reparación o MTTR, es el cociente entre el tiempo total que demora la reparación y el número de reparaciones. Este indicador se asocia a la mantenibilidad y su expresión matemática es la siguiente:

$$MTTR = \frac{\textit{T tiempo de reparación}}{\textit{Número de reparaciones}}$$

Tiempo medio entre fallas: El tiempo medio entre fallas o MTBF, se define como el promedio entre dos fallas consecutivas de un activo o componente, la cual es reparada una vez que se presenta la falla. Este indicador se asocia a la confiabilidad de un equipo y se expresa de la siguiente manera:

$$MTBF = \frac{\textit{T tiempo disponible para operar} - \textit{T tiempo de paradas no programadas}}{\textit{Número de fallas detectadas}}$$

Con estos dos indicadores definidos anteriormente, se puede construir la expresión matemática para la disponibilidad:

$$\% \textit{ Disponibilidad} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

6.4 Costos de mantenimiento

Los costos de mantenimiento son todos los gastos en los que se incurren por las acciones ejecutadas para la conservación de los activos. Estos costos son cada vez más relevantes en las distintas empresas del mercado, ya que representan parte importante de los costos operacionales, los cuales son los costos que pueden aumentar o reducir las utilidades de la empresa. En este sentido, los costos asociados al mantenimiento juegan un rol fundamental en la competitividad de la empresa.

Los costos de mantenimiento se pueden dividir en las siguientes categorías:

Costos directos: Son los costos relacionados con el rendimiento del mantenimiento. Mientras la conservación de los activos sea mayor, menores serán los precios. Este costo

depende del tiempo de funcionamiento del equipo y la cantidad de actividades que requiera.

Dentro de este costo se encuentran:

- Mano de obra directa y contratada.
- Repuestos.
- Utilización de herramientas y equipos.
- Contrato con personal externo.

Costos indirectos: Representan los costos que no se atribuyen directamente a una tarea en específico. Por ejemplo: supervisión, instalaciones, servicio de taller, administración, servicios públicos, etc.

Costos financieros: Son todos los costos referentes a los repuestos y amortizaciones de las máquinas.

Costos de tiempos perdidos: Son los costos que no se relacionan directamente con el mantenimiento, pero que se originan de alguna manera por este. Se refiere a los costos que asume la empresa cuando una máquina no está disponible debido a fallas o reparaciones que se estén ejecutando. Estos costos se pueden representar en las siguientes categorías:

- Paros en la producción.
- Desperdicios en materia prima.
- Fallas en la calidad del producto.
- Demoras en las entregas.

6.5 Herramientas tácticas

Las herramientas tácticas del mantenimiento son metodologías lógicas que se utilizan para realizar una apropiada gestión del mantenimiento, intentando alinear los objetivos del mantenimiento con los objetivos de la organización, incluyendo en el mantenimiento a todos los individuos participantes de la organización, etc. Estas herramientas buscan el mismo objetivo (mejorar continuamente la gestión del mantenimiento, creando una cultura del mantenimiento), pero cada una de manera distinta. Las herramientas más utilizadas son *Mantenimiento centrado en la confiabilidad* y *Mantenimiento productivo total*. En el presente

trabajo, se realizará el análisis mediante RCM, por lo que es la metodología que se define más adelante.

6.6 Mantenimiento centrado en la confiabilidad

El mantenimiento basado en la confiabilidad o RCM, es una herramienta táctica muy utilizada en la industria, la cual tiene por objetivo principal maximizar la confiabilidad de algún equipo, proceso o de una planta completa.

Según la norma SAE JA1011, la metodología RCM se rige por las siguientes preguntas como base:

- ¿Cuáles son las funciones del equipo?
- ¿De qué forma puede fallar?
- ¿Cuál es la causa de la falla?
- ¿Qué sucede cuando falla?
- ¿Qué consecuencias provoca si falla?
- ¿Qué se puede hacer para prevenir o predecir fallas?
- ¿Qué debo hacer si no puedo prevenir o predecir la falla?

Para dar respuestas a estas preguntas, la norma SAE JA1012 establece una guía de implementación de RCM, en donde se detalla cómo se deben desarrollar cada una de las preguntas expuestas anteriormente. Para aquello, se deben definir las funciones, fallas funcionales, modos de falla, efectos de estas fallas y consecuencias de estas.

- **Funciones:** Se debe definir el contexto operacional del equipo, identificando las funciones y sus parámetros de funcionamiento.
- **Fallas:** Se deben definir aquellas fallas funcionales del equipo, las cuales no permiten el funcionamiento dentro de los parámetros de operación.
- **Modos de falla:** Se deben definir todos los modos de falla del equipo o componente; es decir, todas las posibles causas de las fallas ya sean causadas por desgaste natural, condiciones ambientales o por manipulación del humano.
- **Efectos de la falla:** Se realiza un listado con todos los efectos que producen las fallas antes descritas.

- **Consecuencias de la falla:** En este punto se debe analizar la importancia que tiene cada modo de falla, es decir, cuanto impacto tiene en el proceso productivo, medioambiente y seguridad y que se debe hacer para mitigar estas fallas.

6.7 Diagrama de decisión RCM

El diagrama de decisión es una herramienta que resume la metodología RCM de manera lógica. Este diagrama es bastante práctico y se utiliza para evaluar los impactos de los modos de falla y para definir las tareas necesarias en cada paso.

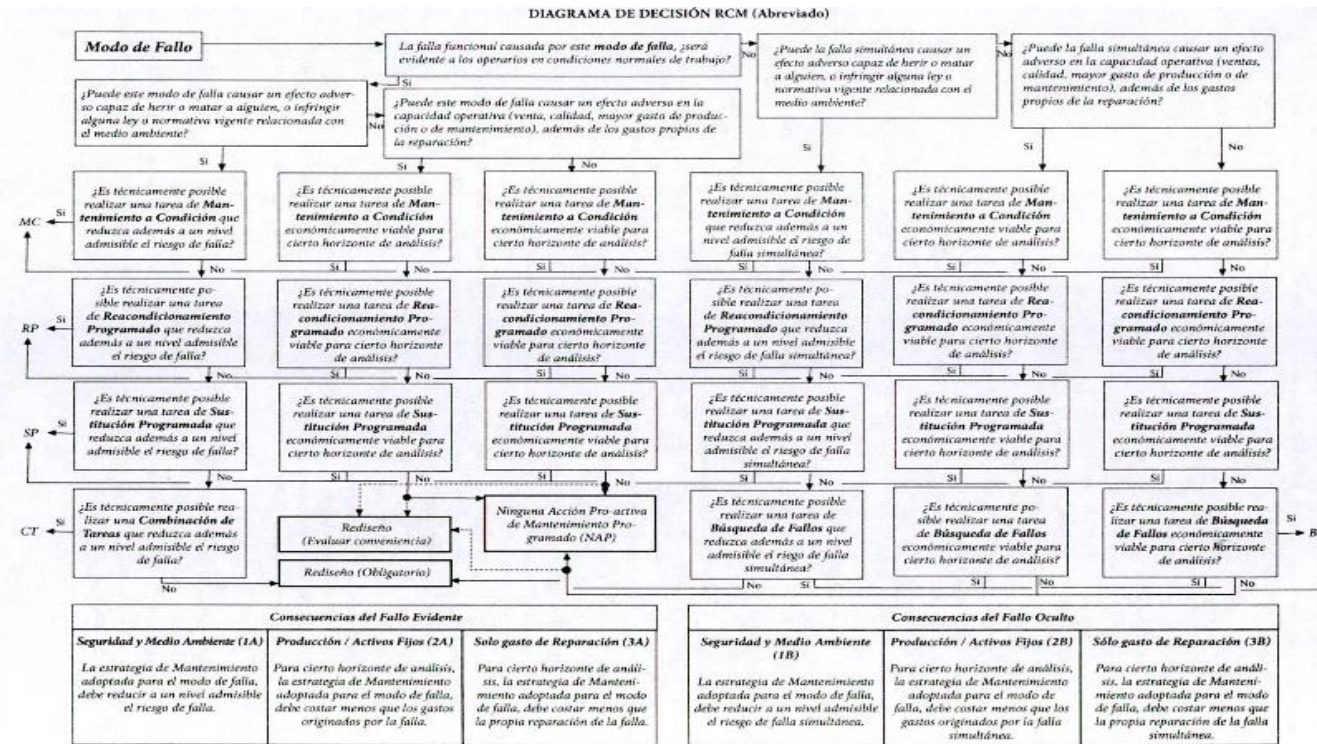


Figura 6.2: Árbol de decisión RCM.

Fuente: Norma SAE JA1012.

6.8 Riesgo

La palabra riesgo se define como la posibilidad de que se produzca un contratiempo o una desgracia, de que alguien o algo sufra perjuicio o daño, según la RAE.

En palabras simples, el riesgo podría definirse como una escala de probabilidad de que ocurra un suceso desfavorable en alguna circunstancia determinada. Generalmente se habla de bajo, medio o alto riesgo.

6.9 ISO 31000

Ya definido lo que es el riesgo, es necesario contar con una metodología que permita realizar la gestión (del riesgo) de manera eficiente, es decir, que permita la eliminación o mitigación de las causas del riesgo tanto en la producción, seguridad, salud ocupacional y medio ambiente. En este sentido, la Norma ISO 31000 sirve como guía para la gestión del riesgo.

La Norma ISO 31000 es una norma internacional, la cual establece las directrices generales para la gestión del riesgo. Esta norma indica de manera genérica como identificar, analizar, evaluar y tratar el riesgo, proveyendo un vocablo base para esta gestión, además de varios criterios de rendimiento.

Para lograr una correcta gestión del riesgo, la Norma ISO 31000 establece seis pasos principales:

1. Planificación de la evaluación:
 - Se definen los alcances y objetivos de la evaluación de riesgos. Se deben realizar preguntas como ¿Por qué se hace? ¿Hasta dónde se hace? ¿A qué proceso se aplica? Además, se debe establecer o definir el contexto operacional en donde se realizará la evaluación o estudio del riesgo.
2. Gestión de la información y desarrollo de modelos:
 - Se debe realizar un levantamiento de información, análisis de datos, desarrollo y aplicación de modelos.
3. Aplicación de técnicas de evaluación del riesgo:
 - Se deben identificar los riesgos, para posteriormente realizar la evaluación de estos y determinar las causas raíz. Además, se debe evaluar la efectividad del

control de riesgo existente, para posteriormente obtener la probabilidad de ocurrencia.

4. Revisión del análisis:

- Se debe realizar la verificación y validación de los resultados obtenidos.

También, se deben revisar los avances.

5. Aplicación de resultados en toma de decisiones.

6. Registro del proceso.

En la figura 12, se puede observar un esquema resumen de la gestión del riesgo:

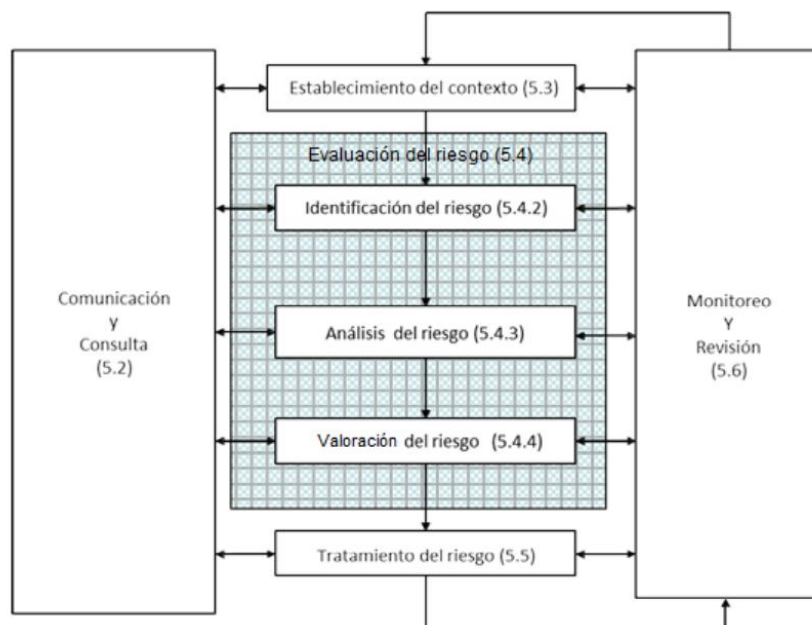


Figura 6.3: Proceso de gestión del riesgo.

Fuente: Norma ISO 31000.

6.10 ISO 31010

Para dar cumplimiento a los pasos establecidos en la Norma ISO 31000, se utiliza la Norma ISO 31010, la cual entrega herramientas prácticas para identificar, analizar, evaluar y mitigar riesgos. Las herramientas para considerar son expuestas a continuación:

6.11 FMEA

El FMEA (análisis de modos y efectos de la falla) es una herramienta de carácter metódico y estructurado de análisis que permite establecer los problemas existentes en un equipo o en los componentes de este.

El análisis se basa en reconocer los efectos que tienen las fallas sobre los equipos y las acciones necesarias para eliminar estos fallos o para controlarlos.

El análisis se realiza por cada elemento del equipo, al cual se le deben identificar los siguientes aspectos:

- Función del componente.
- Distintos modos de falla.
- Qué provoca la falla.
- Consecuencias de la falla.
- Como detectar las fallas.
- Acciones actuales para controlar las fallas.

Como toda herramienta a utilizar, el FMEA posee fortalezas y debilidades, las cuales se presentan a continuación:

Fortalezas

- Se puede aplicar tanto a sistemas técnicos como a sistemas humanos.
- Presenta la información de manera simple para el lector.
- Presenta información para los planes de mantenimiento identificando componentes críticos a considerar.

Debilidades

- No identifica combinaciones de modos de falla.
- Es de difícil aplicación en sistemas muy complejos.

6.12 Matriz consecuencia/probabilidad

La matriz de consecuencias y probabilidades, también utilizada como matriz de riesgos, es una herramienta que permite combinar clasificaciones cualitativas o cuantitativas de consecuencia y probabilidad que producen un nivel de riesgo o una clasificación de este.

El formato de esta matriz depende del contexto en el que es utilizada, por lo que es de vital importancia que se escoja el diseño más apropiado en el contexto antes mencionado.

Como se menciona anteriormente, esta matriz se utiliza para la jerarquización de los riesgos existentes, como también los orígenes o tratamiento de estos. Normalmente, esta herramienta es utilizada para realizar un filtrado cuando se identifican muchos riesgos y se necesita definir cuáles son los que necesitan mayor análisis o cuales necesitan un nivel de gestión más elevado.

| | | | | | | | |
|----------------------------------|---|----------------------------------|-----|-----|-----|----|----|
| Clasificación de la probabilidad | E | IV | III | II | I | I | I |
| | D | IV | III | III | II | I | I |
| | C | V | IV | III | II | II | I |
| | B | V | IV | III | III | II | I |
| | A | V | V | IV | III | II | II |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| | | Clasificación de la consecuencia | | | | | |

Figura 6.4: Ejemplo formato matriz de riesgos.

Fuente: Norma ISO 31010.

Algunas de las fortalezas de utilizar esta herramienta son:

- Facilidad de uso.
- Es capaz de proporcionar una clasificación jerarquizada de manera rápida de los riesgos con distintos niveles de importancia.

Las debilidades de esta herramienta se presentan a continuación:

- La matriz se debe diseñar de manera apropiada para cada contexto.
- Se tiene un grado de dificultad alto al momento de definir escalas que no sean ambiguas.
- Aplicación muy subjetiva, por lo que pueden existir variaciones dependiendo del clasificador.

En el caso del presente trabajo de titulación, esta herramienta será utilizada en los capítulos posteriores para realizar análisis de criticidad (con respecto a distintos aspectos desde el punto de vista del riesgo) de los distintos componentes o equipos existentes en la planta, con la finalidad de encontrar aquellos que necesitan un mayor análisis y son más relevantes en el contexto operacional.

6.13 ISO 14224

La norma ISO 14224 se relaciona con la recolección de datos con respecto a la confiabilidad y mantenimiento en determinadas industrias (petrolera, petroquímica y gas natural). Esta norma establece una estandarización del proceso de recolección de datos.

La norma señala los beneficios de aplicar una correcta recolección de datos, tomando en cuenta la calidad de los datos, tiempos asociados y taxonomía.

En el presente trabajo de titulación, resulta de interés el concepto de taxonomía, el cual se define como la clasificación sistemática de distintos elementos en grupos genéricos, los cuales deben estar jerarquizados por factores en común.

La norma ISO 14224 fija las bases para la jerarquización de equipos. Esta norma realiza una división en dos grupos principalmente, en donde el primero permite identificar la ubicación del equipo, mientras que el segundo permite visualizar los sub niveles.



Figura 6.5: Jerarquía de equipos según ISO 14224.

Fuente: Norma ISO 14224.

A continuación, se definen los niveles jerárquicos:

- Empresa: Este es el nivel más bajo en la jerarquía.
- Rubro: Esta es el rubro en el que se encuentra la empresa.
- Campo de Instalación/Producción: Se refiere a empresas que tienen instalaciones en distintas ubicaciones geográficas.
- Planta: Son unidades de producción dentro de cada instalación que proveen un producto específico. Por ejemplo, una instalación de producción de alimentos se puede encontrar en: fábrica de harina, fábrica de aceite, fábrica de servicios generales, etc.
- Sistemas: Son unidades funcionales y equipos que realizan procesos químicos, termodinámicos o físicos. Por ejemplo, un sistema de generación de vapor.
- Subsistema: Los sistemas que soportan los sistemas principales. Algunos ejemplos son los subsistemas de lubricación.

- Unidad Funcional: Es el conjunto de dispositivos que tienen una función específica. Cuando uno de los elementos falla, afecta a toda la unidad. Por ejemplo, transmisión mecánica.
- Componentes de mantenimiento: Realiza operaciones específicas dentro de las unidades funcionales.
- Componente: Repuesto de mantenimiento crítico. Por ejemplo, acoplamientos de un solo eje.

6.14 Técnicas para diagnóstico y análisis de fallas

Para robustecer el análisis, existen herramientas complementarias a la metodología RCM, con las cuales es posible realizar estudios de análisis de fallas. Estas técnicas, se utilizan también para investigar causas raíz de una falla o problemática.

6.15 Diagrama de Pareto

El diagrama de Pareto surge como consecuencia del principio de Pareto, el cual establece que, en la mayoría de los casos, una problemática se origina por sólo un grupo pequeño del total de las posibles causas.

Con este diagrama, es posible identificar las causas de mayor importancia o magnitud capaces de provocar el problema o inconveniente a estudiar.

Según el principio de Pareto, en cualquier conjunto de eventos o causas, sólo unos pocos factores son más significativos del resto. La regla que se establece es la del 80-20, en donde existen “pocas” causas (20%) que contribuyen mayoritariamente (80%) en la generación del efecto total.

Si se aplica el principio de Pareto en la industria, se podría asegurar que aproximadamente el 80% de las pérdidas de un equipo o proceso son producidas por sólo el 20% del total de causas o modos de falla.

A continuación, se presenta un ejemplo de diagrama de Pareto:

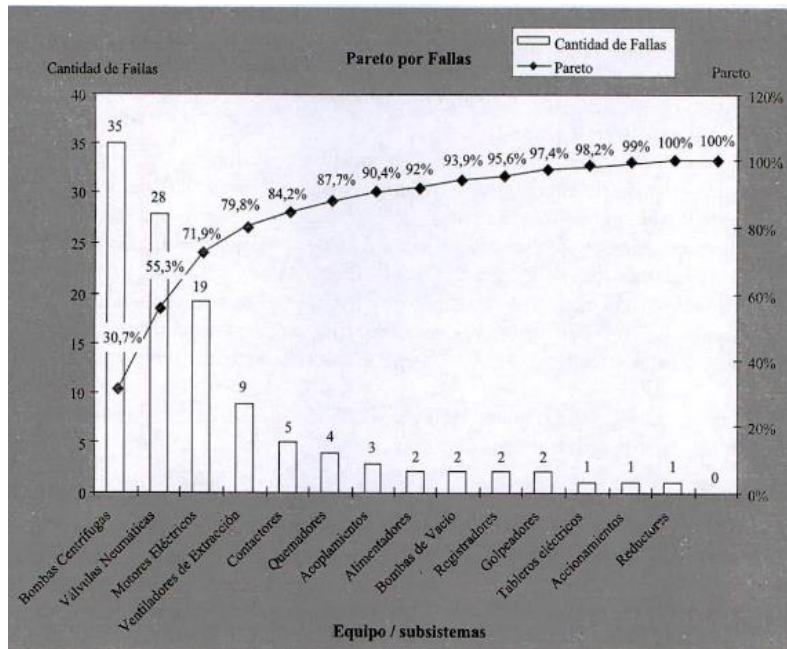


Figura 6.6: Ejemplo diagrama de Pareto.

Fuente: (Pistarelli, 2010).

7. Levantamiento

En este capítulo se realiza un levantamiento de información sobre los equipos que componen la planta, sus características principales y parámetros actuales del mantenimiento.

7.1 Tornillo lavador

El tornillo lavador es un equipo compuesto principalmente por un tornillo sin fin y motores eléctricos que son los encargados de suministrar la energía y el movimiento.



Figura 7.1: Tornillo lavador.

Fuente: (Facsol, 2021)

El principio de funcionamiento de este equipo consiste básicamente en el ingreso de arenas húmedas, las cuales avanzan mediante las zapatas del tornillo en movimiento para luego decantar en una cinta transportadora.

Esta tecnología era utilizada anteriormente por la empresa, no entregando resultados esperados, ya que se perdía gran cantidad de arena, generalmente en las fracciones más finas. Además, las arenas que entregaba el equipo poseían un gran porcentaje de humedad (hasta 25%), por lo que gran parte del producto obtenido era agua.

7.2 Planta de hidrociclono

La planta de hidrociclono viene a reemplazar al tornillo lavador, asegurando principalmente las siguientes metas:

1. Aumento de la producción de arenas como consecuencia de recuperación de fracciones más finas.
2. Disminución del módulo de finura (MF) para entrar dentro de especificaciones necesarias para el hormigón sin necesidad de recurrir a arenas correctoras.
3. Disminución del grado de humedad del producto final (arena).

7.3 Descripción de la planta

El equipo planta de hidrociclono, es un grupo compacto que integra dos procesos habituales en el tratamiento de áridos por vía húmeda:

- Proceso de deslamado.
- Proceso de desaguado.

La utilización de este equipo es recomendable por su carácter compacto, con facilidad de ensamble, poca necesidad de elementos auxiliares como tuberías, estructuras o cableado eléctrico.

La planta de hidrociclono se divide principalmente en tres módulos:

1. Módulo de bombeo.
2. Módulo de ciclono.
3. Módulo de escurrido.

Para la conexión de los distintos módulos, se dispone de tuberías de conexión. Además, se cuenta con plataformas y escaleras con barandas atornilladas a los módulos para facilitar el acceso a las distintas partes de la planta.

7.4 Módulo de bombeo

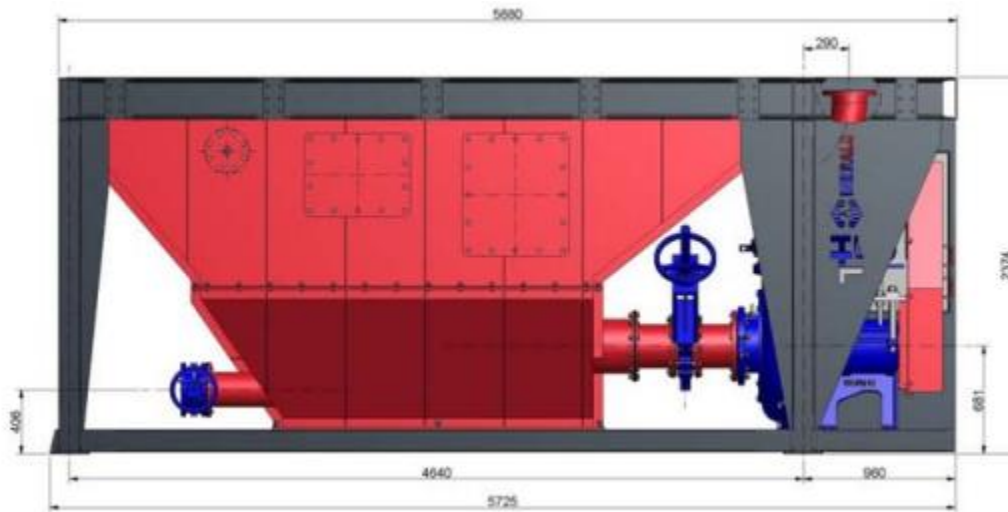


Figura 7.2: Módulo de bombeo.

Fuente: Base de datos de la empresa.

El módulo de bombeo ocupa la parte inferior del equipo y se compone por los siguientes componentes principales:

1. Cuba de bombeo:

La cuba corresponde a la parte inferior de la estructura del equipo, en donde se acumula el agua recuperada de las arenas.

La cuba dispone de las siguientes conexiones para el flujo entrante:

- Boca lateral de alimentación de sólidos en suspensión.
- Aporte de agua limpia para ajuste de concentración del producto a tratar.
- Entrada de recirculación para regular el nivel de agua dentro de la cuba, mediante un flotador.

Las conexiones para el flujo que sale son las siguientes:

- Boca de aspiración.

- Sistema de desborde para concentrar en un punto el líquido que pudiera rebalsar en condiciones anormales, como detención o bajo rendimiento de la bomba, exceso de alimentación, tuberías tapadas, etc.
- Boca de vaciado para limpieza interior de la cuba. La boca está conectada con una válvula de guillotina manual con manguito interno de goma, la cual garantiza un cierre estanco y resistente.

La parte inferior de la cuba se encuentra revestida con caucho para evitar el desgaste, ya que esta zona es la de mayor turbulencia en la zona de aspiración y donde el concentrado de sólidos es más alto. Esta pieza de caucho se atornilla al resto de la cuba para que en caso de desgaste excesivo pueda ser sustituida.

| CONEXIÓN | DIMENSIONES |
|------------------------------------|----------------------|
| Alimentación sólidos en suspensión | 350mm x 500mm |
| Aporte de agua limpia | DN150, PN10, DIN2576 |
| Recirculación | DN150, PN10, DIN2576 |
| Aspiración | DN250, PN10, DIN2653 |
| Desborde | 600mm x 500mm |
| Vaciado | DN200, PN10, DIN2576 |

Tabla 7.1: Dimensiones conexiones cuba.

Fuente: Base de datos de la empresa.

2. Conducto de aspiración:

El conducto de aspiración conecta la cuba de bombeo con la boca de aspiración de la bomba. El extremo del conducto penetra en el interior de la cuba.

Entre la cuba de bombeo y la bomba de impulsión, en la zona central del conducto de aspiración, se encuentra una válvula de guillotina manual con manguito interior, la cual permite labores de mantenimiento de la bomba sin la necesidad de vaciar previamente toda la cuba.

Todo el conducto de aspiración se encuentra revestido con caucho para evitar el desgaste. Cabe destacar que, en toda la aspiración, la abrasión es elevada por la alta velocidad del flujo de producto sólido.

3. Bomba de impulsión:

La bomba de impulsión se encuentra anclada a la base del equipo, sin bancada deslizante. Cubre poleas y placas de anclaje de motor regulable.

Las características se exponen a continuación:

| | |
|-----------------------------------|-------------------------|
| Modelo | WARMAN 250 WGR |
| Potencia Motor | 75 kW |
| Presión de Impulsión | 17,2 m.c.a. |
| Caudal | 700 m ³ /h |
| Velocidad de giro de bomba | 716 r.p.m |
| Correas de transmisión | 5 SPC |
| Polea Motor | DP 236 SPC5 TL3535, Ø75 |
| Polea Bomba | DP 475 SPC5 TL4040, Ø85 |

Tabla 7.2: Características bomba de impulsión.

Fuente: Base de datos de la empresa.

7.5 Módulo de escurrido

Esta parte del equipo es la encargada de eliminar la mayor parte de la humedad del producto grueso (> 100 µ), una vez que ya se han separado las arenas más finas en los ciclones.

El proceso de desaguado se realiza mediante un escurridor. Este equipo vibrador recibe el material más grueso de las bocas inferiores de los ciclones. La vibración provoca que el producto avance sobre las mallas (módulos) que cubren el fondo de la máquina (harnero) hacia la boca de descarga. A medida que avanza el material, el agua o humedad contenida en este, se va filtrando entre los granos hasta llegar al fondo de la cama de producto sólido,

atravesando luego las aberturas de la malla y posteriormente cayendo a la cuba que se encuentra debajo del módulo de escurrido.

El escurridor se apoya en muelles guiados sobre una bancada de soporte. Esta bancada sirve de base para fijar la boca de descarga del producto escurrido.



Figura 7.3: Módulo de escurrido.

Fuente: Base de datos de la empresa.

7.6 Módulo de ciclonado

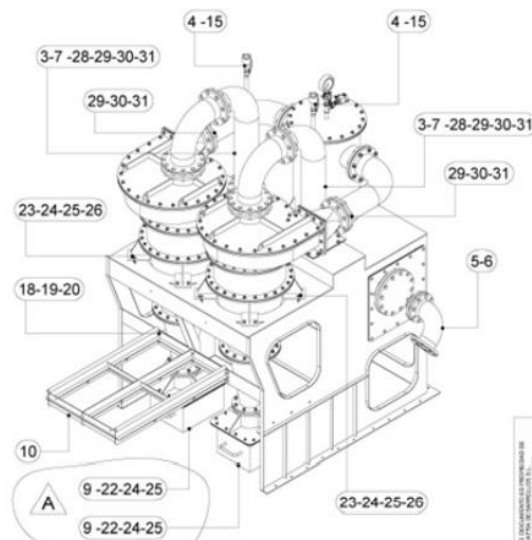


Figura 7.4: Módulo de ciclonado.

Fuente: Base de datos de la empresa.

El módulo de ciclonado es donde ocurre el proceso de deslamado, el cual consiste en separar el producto grueso del producto más fino ($> 100 \mu$). En esta separación, se produce un importante cambio en la concentración de productos obtenidos. El producto más fino se extrae de los ciclones muy diluido ($< 100 \text{ gr/l}$) y el más grueso cae sobre el escurridor con una concentración elevada ($> 1000 \text{ gr/l}$).

La planta de hidrociclonado dispone de dos ciclones para tratar todo el caudal de alimentación requerido. Un depósito distribuidor de reparto garantiza que el caudal se reparta de manera homogénea a ambos ciclones.

Las descargas de producto grueso de los ciclones se juntan en el escurridor y las de producto fino, muy diluidas en agua, se juntan en un depósito (depósito de lodos), que cumple la función de bastidor soporte del conjunto (ciclones y depósito distribuidor).

Tanto el depósito distribuidor, los ciclones y tuberías de unión entre ellos se encuentran vulcanizados. Todos los conductos y depósitos por los que circula el producto sólido a velocidad elevada están recubiertos con goma anti abrasiva y al estar sometidos a desgaste constante, requieren vigilancia periódica.

Los conductos de salida del producto fino de los ciclones contienen válvulas antirretornos que equilibran la presión en el caso de que ésta baje de la presión atmosférica. De esta manera se evita la succión que podría alterar el comportamiento de los ciclones.

| | |
|---------------------------|----------------|
| Modelo | NOVATTIA HCH65 |
| Diámetro Cuerpo | 650 mm |
| Diámetro Underflow | 100 mm |
| Diámetro Overflow | 182 mm |

Tabla 7.3: Características ciclones.

Fuente: Base de datos de la empresa.

El depósito de lodos posee dos conexiones de salida a cada lado. Las conexiones superiores se emplean para evacuar el producto fino diluido y las inferiores para alimentar la recirculación que permite tener el nivel de la cuba de bombeo.

| CONEXIÓN | DIMENSIONES |
|----------------------|----------------------|
| Entrada desde bombeo | DN200, PN10, DIN2576 |
| Evacuación de lodos | DN300, PN10, DIN2576 |
| Recirculación | DN150, PN10, DIN2576 |

Tabla 7.4: Dimensiones conexiones depósito de lodos.

Fuente: Base de datos de la empresa.

7.7 Tuberías de conexión

Las tuberías de conexión conectan el módulo de bombeo con el módulo de ciclonado.

Se trata de dos conexiones realizadas con una manguera flexible embridada que permite un fácil montaje, alta resistencia a la abrasión, corrección de pequeñas desalineaciones y buena capacidad para aislar vibraciones.

| Punto Conexión de Entrada | Punto Conexión de Salida | DIMENSIONES |
|-----------------------------|-------------------------------------|---------------|
| Brida impulsión de bomba | Brida entrada depósito distribuidor | DN200, L 3400 |
| Brida salida depósito lodos | Brida entrada válvula de flotador | DN150, L 2600 |

Tabla 7.5: Tuberías de conexión.

Fuente: Base de datos de la empresa.

8. Diagnóstico e historial de fallas

En el siguiente apartado se presentan los datos históricos del mantenimiento realizado a la planta de hidrociclonado en el periodo 2018-2021. Estos datos son analizados y presentados a través de gráficos para facilitar su comprensión.

Para poder realizar un diagnóstico del mantenimiento histórico y/o actual de la planta, se extraen las distintas OT (que tienen relación con el mantenimiento) del software ERP utilizado por la empresa. La muestra de los datos se encuentra en un rango de tiempo de 3 años aproximadamente, presentando un total de tareas/intervenciones de 916 en la planta, con un promedio de 1 intervención cada 1,69 días.

De la información recopilada, se seleccionan los componentes de relevancia en el mantenimiento de la planta, los cuales presentan 7 o más intervenciones a lo largo del período estudiado; los componentes se exponen a continuación, junto con un pequeño resumen de las tareas realizadas.

- **Hidrociclón:** Inspecciones, reparaciones estructurales, destape de ciclón, cambio por desgaste, reapriete de pernos.
- **Chutes:** Reparación estructural.
- **Resortes:** Inspecciones, cambio por rotura.
- **Goma canoa:** Reparaciones, cambio por desgaste, normalizar goma.
- **Impulsor bomba:** Revisión, revestimiento, cambio impulsor.
- **Curva S:** Reparación estructural, revestimiento, cambio curva S.
- **Ápex:** Revisión, cambio, reapriete de pernos.
- **Canoa:** Reparación estructural.
- **Estructura:** Reparación estructural escaleras, barandas de seguridad, etc.
- **Manguerote:** Posicionar, cambio manguerote.
- **Módulos:** Cambio, reparación porta módulos.
- **Codos:** Reparación estructural, empastar, reapriete de pernos.
- **Cañerías:** Reparación estructural, limpieza, destapar, normalizar, cambio cañería.
- **Ducto rebalse:** Inspección, limpieza, cambio ducto.

- **Harnero:** Reparación estructural, cambio, reparaciones en taller.
- **Bomba:** Inspección, reapriete de pernos, reparación de protecciones, cambio de motor, cambio de correas.
- **Cono:** Reparación estructural, cambio de cono, empastar.
- **Prensa estopas:** Ajuste, cambio prensa estopas.
- **Buje eje bomba (camisa):** Cambio camisa.

A continuación, se presenta cada componente, con su respectiva frecuencia de intervención:

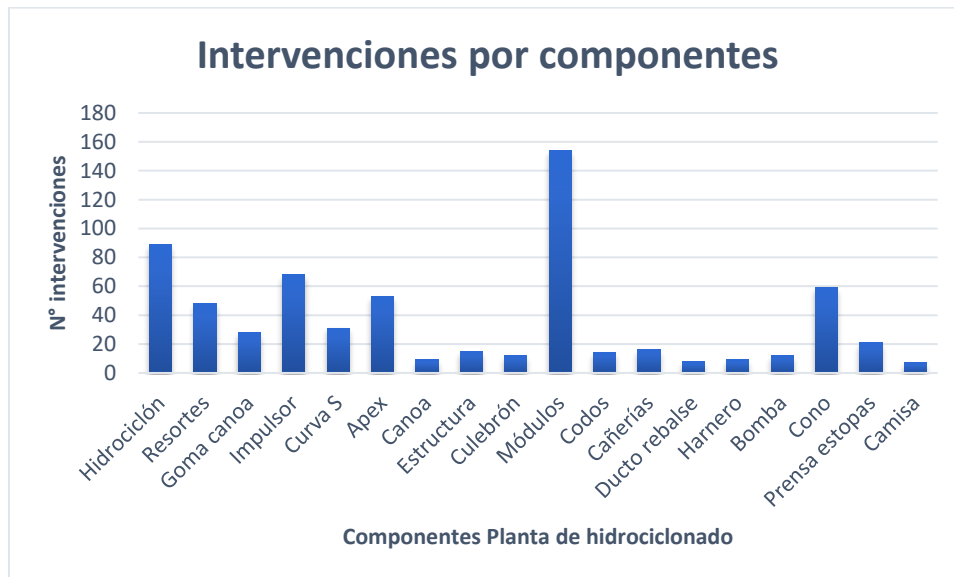


Figura 8.1: Frecuencia de intervenciones por componentes.

Fuente: Elaboración propia.

Al observar el gráfico de la figura 8.1, se puede notar a simple vista que existen datos promedio, como por ejemplo hidrociclón, resortes, impulsor y cono, también existen datos que no son significativos (poca frecuencia) como la canoa, estructura, camisa, entre otros. Además, se tiene que la frecuencia de intervención de los módulos es excesivamente alta si se compara con los demás datos.

Para simplificar el análisis posterior, los datos recopilados y expuestos en el gráfico de la figura 8.1, se agrupan en grupos o componentes más generales, tal como lo establece la norma ISO 14224, resultando el gráfico de la figura 8.2:

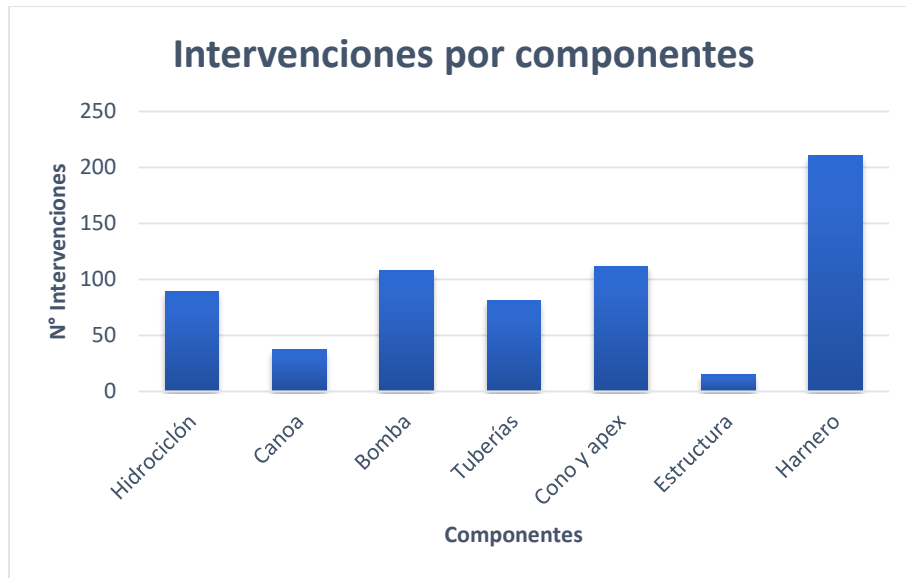


Figura 8.2: Frecuencia resumen de intervenciones por componentes agrupados.

Fuente: Elaboración propia.

Al observar el gráfico de la figura 8.2, se nota una disminución de componentes a considerar, lo que facilitará el desarrollo de los siguientes capítulos. No obstante, el análisis se puede simplificar o acotar aún más mediante un diagrama de Pareto.

8.1 Diagrama de Pareto

Si se reordenan los datos contenidos en el gráfico de la figura 8.2, de tal manera que queden agrupados de mayor a menor frecuencia, es posible construir un diagrama de Pareto, tal como se expone en el capítulo Marco Teórico:

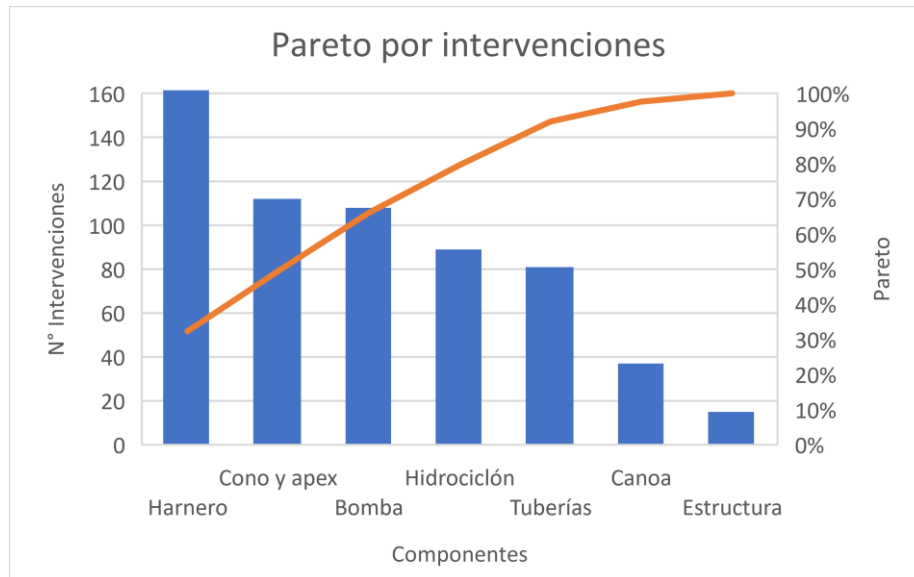


Figura 8.3: Diagrama de Pareto por intervenciones.

Fuente: Elaboración propia.

Del diagrama de Pareto expuesto en la figura 8.3, se observa que son 3 los equipos o componentes denominados significativos (42%), los cuales provocan la mayor cantidad de intervenciones en la planta (80%); *Harnero*, *Cono y Apex*, y *Bomba centrífuga*.

Con el diagrama de Pareto ya ejecutado, se realiza una identificación en primera instancia de los equipos o componentes causantes de la mayor parte de la demanda de intervenciones en el universo estudiado.

Sin embargo, con esta información sólo es posible determinar el número de intervenciones realizadas a los equipos y componentes de la planta, más no así, el impacto que generan estas intervenciones en la organización.

Un análisis de impacto - frecuencia es una herramienta ideal en estos casos, ya que incluye la información contenida en el diagrama de Pareto junto con el impacto que tiene dicha

frecuencia, sin embargo, este análisis no se pudo llevar a cabo por falta de información disponible en la base de datos de la organización, como, por ejemplo, tiempos de reparación de distintas tareas, costos económicos, costos de producción, etc.

9. Análisis de equipos

Ya realizado el levantamiento de información de los equipos y componentes de la planta, tanto en su funcionamiento como en su historial de fallas, es posible continuar con el análisis correspondiente. Para ello, se utiliza como base la Norma ISO 31010 en conjunto con la herramienta táctica RCM para realizar análisis FMEA a cada componente de la planta expuesto en el capítulo anterior.

Esta herramienta es de gran ayuda para el posterior análisis de criticidad, ya que establece ideas de como identificar las fallas, para anticiparse a ellas y así disminuir el impacto de las consecuencias de estas.

A continuación, se presenta el análisis realizado para la bomba centrífuga WARMAN 250:

| Análisis de modos y efectos de falla | | | | | |
|--------------------------------------|---|----------------------|--|---|---|
| Equipo/componente | Función | Modo de falla | Efectos | Causas | Control |
| Bomba centrífuga | Impulsar el agua de la cuba hacia piscinas (australianos) | Falla prensa estopas | Pérdida de eficiencia | Desgaste, sobre presión, recirculación de flujo, cavitación | Inspección visual (fuga de agua) |
| | | Cavitación | Desgaste excesivo impulsor | Presión de entrada mínima | Inspección acústica/visual |
| | | Falla eje | Falla funcional bomba | Vibraciones excesivas, fatiga | Inspección visual |
| | | Desgaste impulsor | Pérdida de eficiencia | Cavitación, flujo abrasivo | Inspección visual |
| | | Falla rodamientos | Falla funcional bomba | Vibraciones excesivas, altas temperaturas, falta de lubricación | Inspección visual/análisis de vibraciones |
| | Q = 700 [m ³ /h] | Falla motor | Pérdida de eficiencia, falla funcional | Motor sobrecalentado | Inspección acústica |
| | P = 1.7 [bar] | | | | |

Tabla 9.1: Análisis FMEA Bomba centrífuga WARMAN 250 Planta de hidrociclado.

Fuente: Elaboración propia.

Al observar la Tabla 6 se da cuenta que para un mismo equipo o componente pueden existir distintos modos de fallar, en donde cada uno presenta sus causas y sus consecuencias si es que ocurren. Con este análisis expuesto en la Tabla 9.1, es posible conocer componentes dentro de la misma bomba que pueden provocar una falla funcional, como por ejemplo el eje y los rodamientos. Además, se establecen las formas de controlar las fallas, como por ejemplo inspecciones visuales, inspecciones acústicas y análisis de vibraciones.

Cabe destacar que esta herramienta fue desarrollada en conjunto con el personal de la empresa, ya sean mantenedores, operadores o supervisores, quienes aportaron con su experiencia y conocimientos sobre los equipos y componentes a analizar. Además, el análisis FMEA de cada equipo, fue aprobado por la jefatura correspondiente.

En el posterior plan de mantenimiento, se debería incluir una inspección diaria a los componentes que podrían provocar una falla funcional, siempre que resultase el equipo considerado crítico en el siguiente capítulo.

Los análisis FMEA de los demás componentes o equipos de la planta son presentados en el capítulo **Anexos**.

10. Criticidad

Para realizar el análisis de criticidad, se ocupa la herramienta denominada matriz de consecuencia/probabilidad o matriz de riesgos, la cual es definida en el capítulo **Marco Teórico** del presente trabajo de titulación.

En este caso, para lo que respecta al análisis de criticidad, sólo es utilizada la matriz de riesgos de consecuencias, la cual es evaluada en para cada componente/equipo en los siguientes aspectos: seguridad, medioambiente, tiempo de detención, costo de reparación y frecuencia de fallas. Un ejemplo de esta matriz se muestra en la tabla 10.1:

| Componente: | | | |
|--|--|-------|---------|
| Consecuencia | Matriz de consecuencias | Valor | Puntaje |
| Seguridad | | | |
| Catastrófico | La falla del componente provoca riesgos que pueden resultar en un accidente de carácter letal. | 5 | |
| Peligroso | La falla del componente provoca riesgos incontrolables que puede resultar en un incidente peligroso. | 4 | |
| Moderado | La falla del componente genera riesgos moderados que pueden ser controlados. | 3 | |
| Menor | La falla del componente genera riesgos menores que pueden ser controlados. | 2 | |
| Insignificante | La falla del componente no genera riesgos a los trabajadores. | 1 | |
| Medioambiente | | | |
| Catastrófico | La falla del componente provoca riesgos que pueden resultar fatales para el medioambiente. | 5 | |
| Peligroso | La falla provoca riesgos incontrolables que puede resultar en incumplimiento de normativas vigentes. | 4 | |
| Moderado | La falla del componente genera riesgos moderados que pueden ser controlados. | 3 | |
| Menor | La falla del componente genera riesgos menores que pueden ser controlados. | 2 | |
| Insignificante | La falla del componente no genera riesgos a al medioambiente. | 1 | |
| Tiempo planta detenida | | | |
| Catastrófico | La falla del componente provoca una detención de la planta mayor a 5 horas. | 5 | |
| Peligroso | La falla del componente provoca una detención de la planta entre 3 a 5 horas. | 4 | |
| Moderado | La falla del componente provoca una detención de la planta entre 2 a 3 horas. | 3 | |
| Menor | La falla del componente provoca una detención de la planta entre 1 a 2 horas. | 2 | |
| Insignificante | La falla del componente no provoca una detención en la planta. | 1 | |
| Costo de reparación - Presupuesto mantenimiento | | | |
| Catastrófico | El costo de reparación requiere gran parte del presupuesto de mantenimiento (>\$5.000 USD) | 5 | |
| Peligroso | El costo de reparación es significativo con respecto al presupuesto de mantenimiento (\$3.000-\$5.000 USD) | 4 | |
| Moderado | El costo de reparación presenta un impacto moderado en el presupuesto (\$1.000-\$3.000 USD) | 3 | |
| Menor | El costo de reparación presenta un impacto menor en el presupuesto (\$100-\$1.000 USD) | 2 | |
| Insignificante | El costo de reparación no presenta impacto en el presupuesto (<\$100 USD) | 1 | |
| Frecuencia fallas - Histórico | | | |
| Catastrófico | El componente falla 1 vez a la semana. | 5 | |
| Peligroso | El componente falla 1 vez al mes. | 4 | |
| Moderado | El componente falla 1 vez cada 3 meses. | 3 | |
| Menor | El componente falla 1 vez cada 6 meses. | 2 | |
| Insignificante | El componente falla 1 vez al año. | 1 | |
| Puntaje total | | | |

Tabla 10.1: Plantilla base matriz de riesgos de consecuencias.

Fuente: Elaboración propia en base a norma ISO 31010.

Al observar la matriz de riesgos de la tabla 7, se aprecia que a cada aspecto se le puede asignar un valor graduado desde 1 hasta 5, donde el valor 1 presenta un riesgo o consecuencia insignificante, el 2 un riesgo o consecuencia menor, el 3 un riesgo o consecuencia moderada, el 4 un riesgo o consecuencia peligrosa y el 5 un riesgo o consecuencia de carácter catastrófico.

Al evaluar cada equipo o componente, se tiene como puntaje máximo 25 puntos y como mínimo 5 puntos. La asignación de este puntaje depende netamente del aspecto a evaluar, ya que, por ejemplo, aspectos como el tiempo de detención, frecuencias de falla y costos de reparación, son de carácter objetivo o cuantitativos, es decir, es posible medirlos y así asignar un puntaje en cada ítem. Sin embargo, en los aspectos de seguridad y medioambiente, las consecuencias o riesgos a evaluar son de carácter subjetivos o cualitativos, por lo que, la apreciación de cada evaluador podría ser distinta.

En el presente trabajo, los análisis de los equipos y la asignación de puntaje sólo fueron realizadas por el autor (siempre teniendo en cuenta las recomendaciones del personal de la empresa), por lo que, al sólo existir una interpretación, en cuanto se refiere a los aspectos cualitativos (seguridad y medioambiente), no se presentaron problemas al momento de realizar la evaluación.

Cabe destacar, que todos los criterios a evaluar, como también el puntaje asignado dependiendo del grado de impacto junto con la determinación del puntaje final obtenido, se relaciona directamente con los lineamientos y principios de la organización, en donde no se pone ninguna categoría por encima de otras, demostrando así su compromiso tanto con el negocio, como también con la seguridad de los colaboradores y el cuidado del medio ambiente.

Para facilitar la comprensión del presente trabajo de titulación para el lector, se presenta a continuación la matriz de riesgos de consecuencias del componente hidrociclón, la cual es realizada en base al análisis FMEA (al igual que todos los demás componentes/equipos):

| Componente: | Hidrociclón | | |
|--|--|-------|-----------|
| Consecuencia | Matriz de consecuencias | Valor | Puntaje |
| Seguridad | | | |
| Catastrófico | La falla del componente provoca riesgos que pueden resultar en un accidente de carácter letal. | 5 | 4 |
| Peligroso | La falla del componente provoca riesgos incontrolables que puede resultar en un incidente peligroso. | 4 | |
| Moderado | La falla del componente genera riesgos moderados que pueden ser controlados. | 3 | |
| Menor | La falla del componente genera riesgos menores que pueden ser controlados. | 2 | |
| Insignificante | La falla del componente no genera riesgos a los trabajadores. | 1 | |
| Medioambiente | | | |
| Catastrófico | La falla del componente provoca riesgos que pueden resultar fatales para el medioambiente. | 5 | 3 |
| Peligroso | La falla provoca riesgos incontrolables que puede resultar en incumplimiento de normativas vigentes. | 4 | |
| Moderado | La falla del componente genera riesgos moderados que pueden ser controlados. | 3 | |
| Menor | La falla del componente genera riesgos menores que pueden ser controlados. | 2 | |
| Insignificante | La falla del componente no genera riesgos a al medioambiente. | 1 | |
| Tiempo planta detenida | | | |
| Catastrófico | La falla del componente provoca una detención de la planta mayor a 5 horas. | 5 | 4 |
| Peligroso | La falla del componente provoca una detención de la planta entre 3 a 5 horas. | 4 | |
| Moderado | La falla del componente provoca una detención de la planta entre 2 a 3 horas. | 3 | |
| Menor | La falla del componente provoca una detención de la planta entre 1 a 2 horas. | 2 | |
| Insignificante | La falla del componente no provoca una detención en la planta. | 1 | |
| Costo de reparación - Presupuesto mantenimiento | | | |
| Catastrófico | El costo de reparación requiere gran parte del presupuesto de mantenimiento (>\$5.000 USD) | 5 | 4 |
| Peligroso | El costo de reparación es significativo con respecto al presupuesto de mantenimiento (\$3.000-\$5.000 USD) | 4 | |
| Moderado | El costo de reparación presenta un impacto moderado en el presupuesto (\$1.000-\$3.000 USD) | 3 | |
| Menor | El costo de reparación presenta un impacto menor en el presupuesto (\$100-\$1.000 USD) | 2 | |
| Insignificante | El costo de reparación no presenta impacto en el presupuesto (<\$100 USD) | 1 | |
| Frecuencia fallas - Histórico | | | |
| Catastrófico | El componente falla 1 vez a la semana. | 5 | 3 |
| Peligroso | El componente falla 1 vez al mes. | 4 | |
| Moderado | El componente falla 1 vez cada 3 meses. | 3 | |
| Menor | El componente falla 1 vez cada 6 meses. | 2 | |
| Insignificante | El componente falla 1 vez al año. | 1 | |
| Puntaje total | | | 18 |

Tabla 10.2: Matriz de riesgos de consecuencias para Hidrociclón Planta hidrociclonado.

Fuente: Elaboración propia en base a norma ISO 31010.

Las matrices de riesgos de los demás equipos son presentadas más adelante en el capítulo **Anexos**.

10.1 Jerarquización de equipos/componentes

Una vez aplicada la matriz de riesgos a cada equipo o componente, es necesario llevar a cabo una jerarquización de estos, para así determinar cuáles resultan críticos, semi críticos y no críticos.

Para realizar la jerarquización es necesario definir una escala de puntaje, para así poder encasillar los componentes de manera objetiva en su estatus final. En este trabajo de titulación se definen los componentes críticos como aquellos que poseen un puntaje igual o superior a 20 puntos, los componentes semi críticos como aquellos que poseen un puntaje entre 19 y 11 puntos y los componentes no críticos son todos aquellos que posean un puntaje inferior a 11 puntos. La escala de puntajes se resume en la siguiente tabla:

| Equipo | Puntaje |
|--------------|---------|
| Crítico | 20-25 |
| Semi-crítico | 11-19 |
| No crítico | 05-10 |

Tabla 10.3: Escala de puntaje criticidad matriz de riesgos.

Fuente: Elaboración propia.

Definida la escala de puntajes, se presenta la jerarquización de los componentes/equipos de la planta de hidrociclonado:

| Equipo | Puntaje | Criticidad |
|-------------|---------|--------------|
| Bomba | 21 | Crítico |
| Harnero | 20 | Crítico |
| Tuberías | 19 | Semi crítico |
| Hidrociclón | 18 | Semi crítico |
| Canoa | 16 | Semi crítico |
| Cono y apex | 14 | Semi crítico |
| Estructura | 10 | No crítico |

Tabla 10.4: Jerarquización de equipos y componentes.

Fuente: Elaboración propia.

Para facilitar la comprensión de estos resultados, se presenta la siguiente figura:

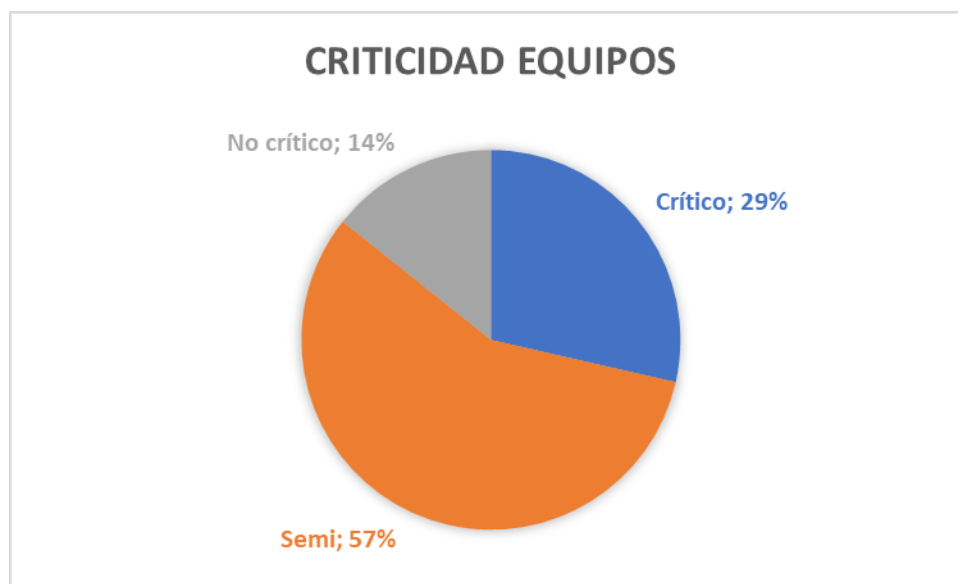


Figura 10.1: Distribución criticidad equipos planta hidrocicladora.

Fuente: Elaboración propia.

Al observar el gráfico de la figura 22, se tiene que el 29% de los componentes o equipos están en la categoría crítico, el 57% en la categoría semi crítico y el 14% categorizado como no crítico.

En el presente trabajo de titulación, todos los equipos o componentes que estén clasificados como críticos y semi críticos, serán considerados en el desarrollo de los planes de mantenimiento.

11. Planes de mantenimiento

En el siguiente capítulo, se exponen los planes de mantenimiento preventivo de los distintos equipos/componentes que tienen calificación de críticos o semi críticos según la sección anterior.

La elaboración de estos planes es realizada bajo la metodología RCM considerando sus siete preguntas base. Además, se considera la información disponible en el análisis FMEA, junto a la información correspondiente a la matriz de riesgo.

La información contenida en los planes confeccionados se seleccionó en conjunto con supervisores, inspectores y operarios de mantenimiento, de tal manera de agregar la experiencia en terreno como un pilar fundamental. Además, se incluye información correspondiente a los manuales de los equipos, por lo que se tienen en cuenta las recomendaciones del fabricante.

11.1 Bomba centrífuga

La bomba centrífuga de la planta de hidrociclado es un equipo crítico según lo expuesto en la matriz de riesgos, y es la encargada de enviar la mezcla agua-fino hacia las piscinas australianas, por lo que una falla funcional de este equipo impediría bombear el agua, generando un atascamiento en el harnero y sobrellenado de la cuba, por consiguiente, la detención de todo el proceso productivo.

A continuación, se presenta el plan de mantenimiento elaborado para este equipo crítico:

| Plan de mantenimiento equipo crítico | | | | |
|--------------------------------------|---------------|--|---|--------------------------|
| Equipo/Componente | | Bomba centrífuga | | |
| Marca | | Warman | | |
| Modelo | | 250 WGR | | |
| Observaciones | | Desgaste acelerado en recubrimiento impulsor por abrasividad del fluido. | | |
| N° | Mantenimiento | Frecuencia | Actividad | Tiempo ejecución [Horas] |
| 1 | Preventivo | Diaria | Inspección visual del equipo/niveles de grasa | 0,25 |
| 2 | Preventivo | Diaria | Inspección visual manómetro | 0,1 |
| 3 | Predictivo | Diaria | Toma de temperatura rodamientos | 0,1 |
| 4 | Preventivo | Semanal | Lubricación rodamientos | 0,2 |
| 5 | Preventivo | Semanal | Reapriete de pernos | 0,5 |
| 6 | Preventivo | Semanal | Ajuste prensa estopa | 0,5 |
| 7 | Correctivo | A la falla | Cambio prensa estopa | 1 |
| 8 | Preventivo | Bimestral | Inspección visual impulsor | 3 |
| 9 | Preventivo | Bimestral | Cambio de impulsor | 5 |
| 10 | Preventivo | Trimestral | Cambio sellos mecánicos | 3 |
| 11 | Predictivo | Según análisis de vibraciones | Cambio de rodamientos | 3 |
| 12 | Preventivo | Trimestral | Centrar base motor | 0,5 |
| 13 | Preventivo | Semestral | Inspección eje | 2 |
| 14 | Preventivo | Semestral | Cambio eje | 4 |
| 15 | Preventivo | Semestral | Cambio de correas | 1 |
| 16 | Predictivo | Según análisis de vibraciones | Cambio de motor | 5 |

Tabla 11.1: Plan de mantenimiento para Bomba centrífuga Warman 250 WGR, Planta Hidrociclado.

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en el plan expuesto, se consideran acciones de inspecciones visuales rutinarias, tanto para el exterior del equipo, como para los niveles de grasa que lubrican

distintos componentes mecánicos, como, por ejemplo, rodamientos. Es de vital importancia realizar estas tareas, ya que pueden entregar un diagnóstico de cómo está funcionando el equipo o si se encuentra algo inusual en él.

Para elementos mecánicos como rodamientos y el motor de la bomba, se incluye el mantenimiento predictivo en base a un análisis de vibraciones. En general, a estos componentes, solamente se les realizaba mantenimiento correctivo, es decir, cuando presentaban una falla funcional, como, por ejemplo, cuando se quema el motor. También, para los rodamientos se incluye la toma diaria de temperatura, la cual debe oscilar entre 50°C y 70°C en invierno y entre 70°C y 90°C en verano. Esta toma de temperatura tiene como finalidad comprobar el correcto rango de temperatura de trabajo del rodamiento, para así evitar pérdidas de grasa y por ende lubricación, lo que reduce considerablemente la vida útil del componente.

Un componente relevante en el equipo es la prensa estopa, la cual actualmente presenta fallas con una alta frecuencia (cada dos semanas aproximadamente), principalmente por el desajuste que va sufriendo por vibraciones, lo que provoca que se queme por falta de lubricación. Por esta razón, se propone un mantenimiento preventivo semanal, el cual consiste en realizar el ajuste de la prensa, al punto que permita una pequeña filtración de fluido, para así permitir su lubricación y regulación de temperatura.

Otro componente importante para considerar en el plan es el impulsor de la bomba, al cual se le establece un mantenimiento preventivo que consiste en inspección mensual y posterior cambio cada dos meses. Este componente sufre desgaste acelerado en su recubrimiento debido a la abrasión de la mezcla, la que se debe en gran medida a la presencia de partículas finas de arena en su interior. Es por esta razón, que es de vital importancia un correcto mantenimiento a este componente, lo que se cumpliría al realizar un diagnóstico preliminar en la inspección visual, para así determinar con mayor certeza la programación del cambio de impulsor, de tal manera que se ejecute antes de que se desgaste por completo el recubrimiento cerámico.

11.2 Harnero vibratorio

El harnero vibratorio de la planta de hidrociclado es el encargado de desaguar el producto (arenas), por ende, separa o escurre el agua hacia la cuba y envía el producto hacia una cinta transportadora. Si en este equipo ocurriera una falla funcional, como, por ejemplo, motovibradores quemados, el proceso se detendría, provocando así, tiempo muerto de producción.

Para tratar de controlar este equipo, se genera el siguiente plan de mantenimiento:

| Plan de mantenimiento equipo crítico | | | | |
|--------------------------------------|---------------|-----------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|
| Equipo/Componente | | Harnero vibratorio | | |
| Marca | | VSW | | |
| Modelo | | 1610/4250-ASK-UVN95W | | |
| Observaciones | | Módulos sufren desgaste excesivo. | | |
| N° | Mantenimiento | Frecuencia | Actividad | Tiempo ejecución [Horas] |
| 1 | Preventivo | Diaria | Inspección visual | 0,5 |
| 2 | Correctivo | A la falla | Cambio de módulos | 1 |
| 3 | Correctivo | A la falla | Reparación estructural cuba | 2 |
| 4 | Predictivo | Según análisis de vibraciones | Calibración motovibradores | 3 |
| 5 | | | Cambio moto vibradores | 5 |
| 6 | Preventivo | Mensual | Cambio goma chute | 2 |
| 7 | Correctivo | A la falla | Reparación estructural chute | 2 |
| 8 | Preventivo | Mensual | Reapriete de pernos | 3 |
| 9 | Preventivo | Mensual | Reparación estructural portamódulos | 3 |
| 10 | Preventivo | Anual | Cambio de harnero | 10 |

Tabla 11.2: Plan de mantenimiento para Harnero vibratorio, Planta Hidrociclado.

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en el plan expuesto, se establecen inspecciones visuales de carácter rutinario con la finalidad de monitorear el funcionamiento del equipo. También, se incluye el cambio de módulos como mantenimiento correctivo, es decir, una vez que falle. Esto es así, ya que al realizar la pregunta 6 del análisis RCM, no se logran establecer acciones para evitar o detectar el modo de falla, lo que se atribuye a las condiciones operacionales del proceso.

En relación con los motores del harnero (moto vibradores), se propone un mantenimiento predictivo, en base al análisis de vibraciones, ya sea para realizar la calibración o el cambio de estos. Esta acción viene en el sentido de mejorar el diagnóstico de estos componentes del harnero, los cuales actualmente sólo son controlados por inspecciones visuales.

Con respecto al equipo completo, se propone un reemplazo con una frecuencia anual, con la finalidad de sacarlo de funcionamiento para así realizar una revisión completa y evaluar reparaciones estructurales o mejoras al equipo en taller.

11.3 Hidrociclón

Los hidrociclones derecho e izquierdo son los componentes encargados de realizar el proceso de deslamado de la mezcla, es decir, separar el producto grueso del más fino, por lo que, es de suma importancia que realice su función principal de manera correcta. Una falla funcional del componente puede provocar la detención de todo el proceso productivo, por lo que resulta de interés, realizar un plan de mantenimiento, de tal manera de intentar evitar la falla funcional.

| Plan de mantenimiento equipo semi-crítico | | | | |
|---|---------------|--|---------------------------------|--------------------------|
| Equipo/Componente | | Hidrociclón | | |
| Marca | | Novattia | | |
| Modelo | | HCH65 | | |
| Observaciones | | Recubrimiento interior sufre desgaste acelerado debido a la abrasión de la mezcla. | | |
| N° | Mantenimiento | Frecuencia | Actividad | Tiempo ejecución [Horas] |
| 1 | Preventivo | Diaria | Inspección visual fugas | 0,25 |
| 2 | Preventivo | Diaria | Revisión manómetro de presión | 0,1 |
| 3 | Preventivo | Semanal | Reapriete de pernos | 1 |
| 4 | Correctivo | A la falla | Reparación estructural | 1,5 |
| 5 | Preventivo | Trimestral | Limpieza interior | 1,5 |
| 6 | Preventivo | Semestral | Inspección visual revestimiento | 1,5 |
| 7 | Preventivo | Semestral | Cambio hidrociclón | 4 |

Tabla 11.3: Plan de mantenimiento para Hidrociclones, Planta Hidrociclonado.

Fuente: Elaboración propia.

En este plan se establecen rutinas de inspección visual de los componentes, para verificar que no existan fugas. Además, se establece la revisión diaria del manómetro de presión que se

ubica en el centro de ambos hidrociclones, de tal manera de corroborar que se está trabajando en el rango aceptado. También se establece un reapriete general de todos los pernos de la base de los hidrociclones, con frecuencia semanal, debido a que el equipo sufre altas vibraciones por la presión de operación.

Con respecto a la inspección interior de los ciclones, se establece una frecuencia semestral, debido principalmente por la experiencia del personal de planta, quienes comunicaron que generalmente el equipo presentaba fallas funcionales pasado los 3 meses en operación (una vez realizado el cambio de hidrociclón), por lo que resulta pertinente, inspeccionarlo y limpiarlo (en caso de ser necesario), para así tener un diagnóstico de su condición operacional. Además, se plantea un cambio del componente de carácter semestral si es que no se determina en la inspección lo contrario.

11.4 Canoa

La canoa es un accesorio o tubería que alimenta la planta de hidrociclonado con mezcla agua-arena. Se trata de una superficie metálica que en su base posee goma, la que está en contacto con el fluido y, por ende, sufre la mayor parte del desgaste. La falla funcional de este componente podría detener el flujo del proceso y, además, comprometer la seguridad de las personas, debido a que, por debajo de esta, podría circular algún trabajador. Por estas razones, resulta de importancia elaborar un plan de mantenimiento.

| Plan de mantenimiento equipo semi- crítico | | | | |
|--|---------------|---|-------------------------|--------------------------|
| Equipo/Componente | | Canoa | | |
| Marca | | - | | |
| Modelo | | - | | |
| Observaciones | | Recubrimiento sufre desplazamiento y desgaste debido al flujo de la mezcla. | | |
| N° | Mantenimiento | Frecuencia | Actividad | Tiempo ejecución [Horas] |
| 1 | Preventivo | Diaria | Inspección visual | 0,2 |
| 2 | Preventivo | Diaria | Lavado canoa | 0,5 |
| 3 | Preventivo | Semanal | Posicionamiento de goma | 2 |
| 4 | Preventivo | Mensual | Cambio de goma canoa | 3 |
| 5 | Correctivo | A la falla | Reparación estructural | 2 |
| 6 | Preventivo | Anual | Cambio canoa | 5 |

Tabla 11.4: Plan de mantenimiento Canoa, Planta Hidrociclonado.

Fuente: Elaboración propia.

En el plan se establece una rutina de inspección visual diaria, además de un lavado de la canoa, con la finalidad de eliminar restos de material grueso que puedan interferir el paso del fluido de trabajo y así rebalsar el componente, provocando caída de material que compromete la seguridad de los trabajadores. También se propone realizar un posicionamiento de la goma que recubre la canoa cada semana, donde también se permitirá evaluar si es necesario un cambio de esta. De no encontrar alguna anomalía, el cambio será mensual.

Con respecto a los fallos estructurales como, por ejemplo, fugas, se realizará solamente un mantenimiento correctivo, es decir, cuando se produzca o detecte la falla. Esto debido a que no fue posible encontrar algún método para evitar o detectar el modo de falla, según la pregunta 6 de RCM.

Si se refiere al cambio o reemplazo del componente, se propone un reemplazo con frecuencia anual, con el objetivo de realizar un mantenimiento estructural en taller en caso de ser necesario.

11.5 Tuberías y accesorios

Las tuberías y accesorios de dirección de flujo son los componentes encargados de permitir y direccionar el flujo en función de donde se encuentren en la planta. Estos componentes sufren desgaste por la abrasión de la mezcla, por lo que podrían provocar fallas que generen riesgos en la seguridad de los trabajadores. Es por esta razón que se elabora un plan de mantenimiento.

| Plan de mantenimiento equipo semi-crítico | | | | |
|---|---------------|---|--|--------------------------|
| Equipo/Componente | | Tuberías y accesorios de dirección de flujo | | |
| Marca | | - | | |
| Modelo | | - | | |
| Observaciones | | | | |
| N° | Mantenimiento | Frecuencia | Actividad | Tiempo ejecución [Horas] |
| 1 | Preventivo | Diaria | Inspección visual superficial | 0,5 |
| 2 | Correctivo | Semanal | Empastado de tuberías | 0,5 |
| 3 | Correctivo | Mensual | Reparación estructural | 2 |
| 4 | Preventivo | Trimestral | Reapriete de pernos | 2 |
| 5 | Preventivo | Semestral | Desmontaje para inspección visual interior | 3 |
| 6 | Preventivo | Semestral | Cambio de tuberías | 5 |

Tabla 11.5: Plan de mantenimiento Tuberías y accesorios de dirección de flujo, Planta Hidrociclono.

Fuente: Elaboración propia.

En el plan propuesto se establecen rutinas de inspección visual de carácter diario, con la finalidad de encontrar posibles existencias en los distintos elementos. Se propone un mantenimiento correctivo para el desgaste estructural que presentan estos elementos debido a la condición operacional existente. En primera instancia se incluye una reparación estructural mediante pasta cerámica en una frecuencia semanal y una reparación estructural cuando sea necesario con soldadura, de frecuencia mensual.

Se propone un reapriete general de pernos a todo el conjunto de tuberías con una frecuencia semestral y un cambio de elementos cada semestre, con la finalidad de enviarlos a reparar (recubrir con goma cerámica el interior) con una empresa especializada.

11.6 Cono y ápex

El componente denominado Cono y ápex, es el encargado de la descarga de la mezcla agua-arena, la que proviene desde los hidrociclones y llega hasta el harnero vibratorio. Estos elementos resultan de interés, ya que una falla podría ocasionar graves daños en el harnero, debido a que los ápex tienen una funcionalidad similar a una tobera, es decir, su trabajo es transformar la energía de presión a energía cinética, por lo que, si su área de descarga aumenta

(debido a desgaste), la presión del flujo podría impactar directamente en los módulos y posteriormente en partes estructurales del harnero.

| Plan de mantenimiento equipo semi-crítico | | | | |
|---|---------------|---------------------|-----------------------------|--------------------------|
| Equipo/Componente | | Cono y apex derecho | | |
| Marca | | - | | |
| Modelo | | - | | |
| Observaciones | | | | |
| N° | Mantenimiento | Frecuencia | Actividad | Tiempo ejecución [Horas] |
| 1 | Preventivo | Diaria | Inspección visual exterior | 0,2 |
| 2 | Preventivo | Bisemanal | Reapriete de pernos | 1 |
| 3 | Correctivo | Mensual | Empastado cono | 2 |
| 4 | Correctivo | Mensual | Reparación estructural cono | 2 |
| 5 | Preventivo | Trimestral | Inspección apex | 3 |
| 6 | Preventivo | Trimestral | Cambio apex | 3 |
| 7 | Preventivo | Semestral | Cambio cono | 4 |

Tabla 11.6: Plan de mantenimiento Cono y ápex, Planta Hidrociclono.

Fuente: Elaboración propia.

El plan de estos componentes propone una inspección visual exterior de los artefactos, con la finalidad de corroborar su estado de funcionamiento. Además, se establece un reapriete de pernos general cada dos semanas, debido a las altas vibraciones y a la alta presión que reciben en la operación.

Con respecto al desgaste estructural de los componentes, sólo es posible establecer un mantenimiento correctivo, que en un principio se realizara mensualmente. Junto a esto, se realizará una inspección visual a los ápex, lo que conlleva un trabajo más complejo, ya que se debe desarmar el componente. Esta inspección se lleva a cabo para verificar el estado del ápex, para así corroborar que su vida útil permita, en primera instancia, realizar el reemplazo en la fecha propuesta.

11.7 Plan matriz de mantenimiento programado

A continuación, se presentan todas las tareas programadas de los equipos y componentes críticos y semi críticos de la planta de hidrociclonado, cuya frecuencia es mayor o igual a una semana.

Esta planilla se elabora con la finalidad de tener una visión más general de lo que serán las tareas programadas de mantenimiento, como también, distribuir las de la manera más eficiente y eficaz posible.

Fuente: Elaboración propia.

En el plan expuesto, se observa una distribución de tareas de mantenimiento programado de tal manera de obtener una correcta distribución de los recursos disponibles, ya sea repuestos, mano de obra, contratistas, etc.

También, este plan contiene las actividades semanales propias de cada equipo o componente, las cuales no superan las dos horas en cada tarea respectivamente y se deberán distribuir dentro de cada semana, dependiendo del contexto operacional del momento.

Las tareas más demandantes o complejas como cambio de impulsor, cambio de componentes como hidrociclones y harnero, se programan de tal manera que no se solapen en una misma semana, para así evitar un sobre estrés de actividades en el personal.

Con respecto al análisis de vibraciones, se programa con una frecuencia de dos meses, tanto para el motor y rodamientos de la bomba centrífuga, como también para el harnero. Este análisis se realizará la misma semana, e idealmente, el mismo día para ambos equipos, para así, optimizar los recursos.

Cabe mencionar que la elaboración de este plan matriz, se lleva a cabo considerando el método actual de trabajo que se tiene en la empresa, el cual consiste en un total de 27 horas de mantenimiento asignadas por semana, las cuales se dividen de lunes a viernes a conveniencia del departamento de mantenimiento. En este sentido, el plan contempla que, en cada semana, todas las tareas a realizar estén dentro del margen de tiempo disponible, también considerando que hay más equipos en el proceso que también requieren gran demanda de HH.

12. Análisis económico

En el presente capítulo, se presenta todo el análisis económico realizado con respecto al plan de mantenimiento propuesto, el cual incluye factores como, nivel de producción, ingresos anuales, gasto promedio actual y costos del plan de mantenimiento elaborado.

12.1 Ingresos anuales

Como se menciona en capítulos anteriores, la empresa es una de las más grandes del país en el rubro de los áridos y sus productos que produce son arena, grava, gravilla y material estabilizador. Al ser una empresa tan grande, posee elevados niveles de producción, los que se presentan a continuación:

| Productos | Producción [m3] |
|--------------|-----------------|
| Arena | 553.338 |
| Gravilla | 391.563 |
| Grava | 169.349 |
| Estabilizado | 29.339 |

Tabla 12.1: Nivel de producción planta de áridos, año 2021.

Fuente: Elaboración propia.

Para obtener los ingresos anuales de la empresa, se deben considerar los precios unitarios de cada producto, es decir, el precio por metro cúbico vendido. Este precio no es fijo, ya que depende del cliente, cantidad del pedido y tiempo de entrega, entre otros factores, por lo que, según la información y sugerencias de la compañía, se considera un precio promedio:

| Productos | Ingreso unitario [m3] |
|--------------|-----------------------|
| Arena | \$ 8.500 |
| Gravilla | \$ 6.500 |
| Grava | \$ 4.000 |
| Estabilizado | \$ 3.500 |

Tabla 12.2: Precio promedio productos año 2021 en CLP.

Fuente: Elaboración propia.

Con las tablas presentadas anteriormente es posible obtener el ingreso promedio anual de la compañía, ya sea por cada producto y el total acumulado.

| Productos | Ingreso total |
|--------------|------------------|
| Arena | \$ 4.703.373.000 |
| Gravilla | \$ 2.545.159.500 |
| Grava | \$ 677.396.000 |
| Estabilizado | \$ 102.686.500 |
| Total | \$ 8.028.615.000 |

Tabla 12.3: Ingreso promedio compañía año 2021 en CLP.

Fuente: Elaboración propia.

12.2 Ingreso por horas

Con los ingresos anuales definidos, resulta de interés, para el análisis, conocer los ingresos en una escala más pequeña, como, por ejemplo, ingresos por hora de producción. Esto se realiza con el objetivo de poder cuantificar cuantos ingresos se perderían en el caso de una falla en la planta que detuviera el proceso. Para obtener aquello, se considera una producción de 24 horas al día, los 7 días de la semana, todas las semanas del año. Además, se incluyen 27 horas de mantenimiento semanal (actual), obteniendo un total aproximado de 7.332 horas de producción en un año calendario.

Con las consideraciones expuestas, se tiene el siguiente ingreso por hora de producción:

$$\text{Ingreso por hora} = \frac{\text{Ingreso anual}}{\text{Horas año calendario}}$$

$$\text{Ingreso por hora} = \frac{8.028.615.000 \text{ [CLP]}}{7.332 \text{ [Horas]}}$$

$$\text{Ingreso por hora} = 1.095.010 \frac{\text{[CLP]}}{\text{[Horas]}}$$

12.3 Parada no programada

Una vez obtenido el ingreso generado por hora de producción en la planta, es posible estimar la pérdida de ingresos que se generaría en la empresa, si es que el proceso se detuviese por una parada no programada debido a una falla funcional de algún equipo o componente de la planta de hidrociclado.

Para poder estimar las pérdidas por alguna parada no programada, se recopila información proveniente desde los propios mantenedores, operadores y supervisores, además de revisar el historial de fallas existente, en donde se estima que una parada no programada en la planta de hidrociclonado ocurre aproximadamente una vez al mes, la cual tiene una duración estimada de 3 a 5 horas.

Teniendo en consideración la frecuencia y duración de las paradas no programadas (en el peor de los casos), se tiene lo siguiente:

$$Frecuencia\ parada\ no\ programada = 12 \frac{[Parada]}{[Año]}$$

$$Tiempo\ parada\ no\ programada = 5 \frac{[Horas]}{[Parada]}$$

$$Tiempo\ anual\ parada\ no\ programada = 60 \frac{[Horas]}{[Año]}$$

Teniendo un total de 60 horas de paradas no programadas durante un año calendario, es posible calcular la pérdida monetaria que se generaría en el peor de los escenarios, por la pérdida de producción:

$$Pérdida = Tiempo\ anual\ parada\ no\ programada \cdot Ingreso\ por\ hora$$

$$Pérdida = 60 \frac{[Horas]}{[Año]} \cdot 1.095.010 \frac{[CLP]}{[Horas]}$$

$$Pérdida = 65.700.600 \frac{[CLP]}{[Año]}$$

12.4 Costos plan de mantenimiento

Luego de obtener las pérdidas aproximadas por paradas no programadas en un año calendario, se procede a estimar los costos asociados al plan de mantenimiento elaborado en el presente trabajo de titulación, los cuales comprenden costos fijos, costos variables, costos directos y costos indirectos.

A continuación, se muestran los costos relacionados con insumos, repuestos y reparaciones de componentes para cada elemento o equipo de la planta de hidrociclado, según lo expuesto en el plan matriz de mantenimiento:

| Equipo: Bomba centrífuga | | | |
|--------------------------|----------|----------------|--------------|
| Repuesto | Cantidad | Costo unitario | Costo total |
| Grasa lubricación | 10 | \$ 35.000 | \$ 350.000 |
| Pernos | 20 | \$ 1.000 | \$ 20.000 |
| Tuercas | 20 | \$ 850 | \$ 17.000 |
| Prensa estopas | 20 | \$ 20.000 | \$ 400.000 |
| Impulsor | 6 | \$ 850.000 | \$ 5.100.000 |
| Rodamientos | 6 | \$ 45.000 | \$ 270.000 |
| Sellos mecánicos | 6 | \$ 35.000 | \$ 210.000 |
| Eje | 2 | \$ 180.000 | \$ 360.000 |
| Correas | 4 | \$ 25.000 | \$ 100.000 |
| Motor | 1 | \$ 2.800.000 | \$ 2.800.000 |
| Total | | | \$ 9.627.000 |

Tabla 12.4: Costos de repuestos e insumos plan de mantenimiento Bomba centrífuga.

Fuente: Elaboración propia.

| Equipo: Harnero vibratorio | | | |
|----------------------------|----------|----------------|--------------|
| Repuesto | Cantidad | Costo unitario | Costo total |
| Pernos | 40 | \$ 1.000 | \$ 40.000 |
| Tuercas | 40 | \$ 850 | \$ 34.000 |
| Goma chute | 12 | \$ 40.000 | \$ 480.000 |
| Módulos | 150 | \$ 40.000 | \$ 6.000.000 |
| Harnero | 1 | \$ 10.000.000 | \$10.000.000 |
| Total | | | \$16.554.000 |

Tabla 12.5: Costos de repuestos e insumos plan de mantenimiento Harnero vibratorio.

Fuente: Elaboración propia.

| Equipo: Tuberías | | | |
|------------------|----------|----------------|--------------|
| Repuesto | Cantidad | Costo unitario | Costo total |
| Pernos | 100 | \$ 1.000 | \$ 100.000 |
| Tuercas | 100 | \$ 850 | \$ 85.000 |
| Tuberías | 12 | \$ 350.000 | \$ 4.200.000 |
| Total | | | \$ 4.385.000 |

Tabla 12.6: Costos de repuestos e insumos plan de mantenimiento Tuberías.

Fuente: Elaboración propia.

| Equipo: Hidrociclón | | | |
|-----------------------|----------|----------------|--------------|
| Repuesto | Cantidad | Costo unitario | Costo total |
| Pernos | 40 | \$ 1.000 | \$ 40.000 |
| Tuercas | 40 | \$ 850 | \$ 34.000 |
| Hidrociclón derecho | 2 | \$ 1.500.000 | \$ 3.000.000 |
| Hidrociclón izquierdo | 2 | \$ 1.500.000 | \$ 3.000.000 |
| Total | | | \$ 6.074.000 |

Tabla 12.7: Costos de repuestos e insumos plan de mantenimiento Hidrociclones.

Fuente: Elaboración propia.

| Equipo: Canoa | | | |
|---------------|----------|----------------|--------------|
| Repuesto | Cantidad | Costo unitario | Costo total |
| Pernos | 20 | \$ 1.000 | \$ 20.000 |
| Tuercas | 20 | \$ 850 | \$ 17.000 |
| Goma canoa | 12 | \$ 50.000 | \$ 600.000 |
| Canoa | 1 | \$ 800.000 | \$ 800.000 |
| Total | | | \$ 1.437.000 |

Tabla 12.8: Costos de repuestos e insumos plan de mantenimiento Canoa.

Fuente: Elaboración propia.

| Equipo: Cono y ápex | | | |
|---------------------|----------|----------------|--------------|
| Repuesto | Cantidad | Costo unitario | Costo total |
| Pernos | 20 | \$ 1.000 | \$ 20.000 |
| Tuercas | 20 | \$ 850 | \$ 17.000 |
| Ápex | 4 | \$ 200.000 | \$ 800.000 |
| Cono | 2 | \$ 450.000 | \$ 900.000 |
| Total | | | \$ 1.737.000 |

Tabla 12.9: Costos de repuestos e insumos plan de mantenimiento Cono y ápex.

Fuente: Elaboración propia.

Ya con todos los costos relacionados con los elementos y equipos de la planta, se puede obtener el costo total considerando el peor escenario, en donde se necesitan de todos los insumos descritos en las tablas antes expuestas:

| Equipo | Costo |
|--------------------|----------------------|
| Hidrociclón | \$ 6.074.000 |
| Bomba centrífuga | \$ 9.267.000 |
| Canoa | \$ 1.437.000 |
| Tuberías | \$ 4.385.000 |
| Cono y ápex | \$ 1.735.000 |
| Harnero vibratorio | \$ 16.554.000 |
| Total | \$ 39.452.000 |

Tabla 12.10: Costos totales repuestos e insumos según plan de mantenimiento.

Fuente: Elaboración propia.

Además de los insumos y repuestos correspondientes a cada elemento o equipo de la planta de hidrociclonado, se deben considerar algunos instrumentos necesarios para efectuar tareas principalmente de mantenimiento predictivo, los cuales se presentan en la siguiente tabla:

| Equipo: Instrumentos | | | |
|---------------------------|----------|----------------|---------------------|
| Repuesto | Cantidad | Costo unitario | Costo total |
| Analizador de vibraciones | 1 | \$ 5.500.000 | \$ 5.500.000 |
| Pirómetro | 1 | \$ 50.000 | \$ 50.000 |
| Total | | | \$ 5.550.000 |

Tabla 12.11: Instrumentos plan de mantenimiento.

Fuente: Elaboración propia.

Para contemplar todos los costos del plan de mantenimiento propuesto, se debe considerar también, los costos fijos implicados por las remuneraciones del personal que ejecutará y supervisará las tareas de mantenimiento. En este sentido, se consideran para la ejecución del mantenimiento a 3 mecánicos para las tareas más complejas y 1 supervisor que será el encargado de verificar el correcto proceder del personal.

| RRHH | Cantidad | Sueldo mensual | Total mensual | Total anual |
|--------------|----------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Supervisor | 1 | \$ 900.000 | \$ 900.000 | \$10.800.000 |
| Mecánicos | 3 | \$ 700.000 | \$ 2.100.000 | \$25.200.000 |
| Total | | \$ 1.600.000 | \$ 3.000.000 | \$36.000.000 |

Tabla 12.12: Remuneraciones personal plan de mantenimiento.

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla anterior, se muestra el total de remuneraciones anual, el cual asciende a 36.000.000 CLP. Como se menciona en capítulos anteriores, la planta de hidrociclado es solo una parte del proceso general de áridos de la empresa, por lo que, resulta razonable ponderar las remuneraciones, ya que el personal divide su tiempo y tareas no sólo en la planta de hidrociclado, sino que también en otros equipos del proceso. En este sentido, en conjunto del personal de mantenimiento de la planta, se decide asignar un 20% de las remuneraciones a la planta, esto en relación de la cantidad de tareas ejecutadas en esta, en comparación con la cantidad de tareas realizadas en el resto del proceso productivo. Por lo que los costos por remuneraciones de la planta de hidrociclado sería el siguiente:

$$\text{Costos RRHH} = 7.200.000 \text{ [CLP]}$$

Con esto definido, se puede obtener el costo total del plan de mantenimiento elaborado considerando el peor escenario, en donde se realizan todas las tareas y se necesitan todos los insumos y repuestos descritos anteriormente para cada componente o equipo de la planta:

| Costo | Total CLP |
|-----------|--------------|
| Inversión | \$ 5.550.000 |
| Variable | \$39.452.000 |
| Fijo | \$ 7.200.000 |
| Total | \$52.202.000 |

Tabla 12.13: Resumen costos plan de mantenimiento.

Fuente: Elaboración propia.

Con esto obtenemos un costo total del plan de mantenimiento propuesto de 52.202.000 CLP. Si se compara este monto con los ingresos totales anuales de la empresa, este refleja tan solo el 0,65% del total percibido en un año calendario. Además, si se tiene en consideración lo expuesto anteriormente con respecto a los costos generados por paradas no programadas debido a alguna falla funcional, se tiene que el plan de mantenimiento propuesto representa el 79,5% del costo que se genera por estas detenciones no programadas.

Además, si se considera que la inversión en instrumentos sólo se realiza el primer año de implementación del plan, los costos totales del plan propuestos serían:

| Costo | Total CLP |
|-----------|--------------|
| Inversión | \$ - |
| Variable | \$39.452.000 |
| Fijo | \$ 7.200.000 |
| Total | \$46.652.000 |

Tabla 12.14: Resumen costos plan de mantenimiento, desde el segundo año.

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla se muestra que se tendría un costo total del plan de 46.652.000 CLP a partir del segundo año de implementación. En este sentido, los costos del plan ascienden al 71% de los costos que se generarían por paradas no programadas de la planta.

En resumen, se tiene que los costos del plan de mantenimiento disminuyen al segundo año de implementación, debido a que ya no se presentan costos de inversión de instrumentos. Además, si se realiza una correcta y eficiente planificación y programación del mantenimiento en todas sus dimensiones, es probable que los costos del plan sean aún menores que los expuestos en el presente trabajo de titulación, teniendo en consideración que todos los cálculos y supuestos se realizaron en el peor escenario posible.

Por todo el análisis económico realizado anteriormente, se concluye la factibilidad económica del plan de mantenimiento propuesto en este trabajo de titulación.

13. Conclusiones

Para dar término al presente trabajo de titulación, se presentan las conclusiones de este, dividiéndose en conclusiones generales, las cuales responden en gran parte al objetivo general planteado en el inicio del documento, las conclusiones específicas, que dan respuesta a los objetivos específicos y las recomendaciones o sugerencias finales que se proponen para seguir con la mejora continua en la implementación del plan propuesto.

13.1 Conclusiones generales

El objetivo principal de este trabajo de titulación se cumple a cabalidad, generando una propuesta de plan de mantenimiento a equipos y componentes críticos de la planta de hidrociclado, obteniendo un ahorro en los costos asociados al mantenimiento, gracias a una optimización de tareas de carácter preventivo.

Todo el trabajo realizado, como los resultados del análisis, son producto de seguir la metodología RCM junto a las normas ISO 31000 e ISO 31010. Por lo mencionado anteriormente, este trabajo presenta un gran nivel de certeza, ya que, al ser realizado en base a las herramientas ya mencionadas, debe tener gran efectividad en su implementación, por tratarse de instrumentos mundialmente comprobados.

El presente trabajo se ha realizado con la ayuda de algunos colaboradores de la empresa relacionados con el departamento de mantenimiento, como lo son mecánicos, operadores y supervisores, por lo que el desarrollo de este y posterior resultado sigue los lineamientos de la organización, teniendo la aprobación de estos colaboradores. Por estas razones, se concluye que el plan propuesto satisface las necesidades de la empresa, ajustándose a sus recursos y contexto operacional actual.

13.2 Conclusiones específicas

En el siguiente apartado se presentan las conclusiones específicas, las cuales buscan dar respuesta al cumplimiento de los objetivos específicos de este trabajo.

- Se realiza el levantamiento de información con respecto a la empresa, al proceso productivo, contexto operacional e historial de fallas de la planta de hidrociclado. En este levantamiento, se muestra el proceso productivo completo del negocio de la empresa, junto con los principales equipos como chancadores, harneros y la planta de hidrociclado. También se ahonda más en los distintos módulos que posee la planta, describiendo los equipos y componentes que la componen. Para finalizar el levantamiento, se recopila información sobre el historial de fallas de la planta, obteniendo un diagnóstico inicial del mantenimiento de la planta, mediante un diagrama de Pareto.
- El segundo objetivo específico establece determinar la criticidad de componentes y equipos de la planta, lo cual se cumple y se realiza en base a las normas ISO 31000 e ISO 31010, mediante herramientas propuestas en estas, como lo son el análisis de modos y efectos de falla (FMEA) y matrices de riesgos, específicamente con matrices de consecuencia, midiendo el impacto que una falla tendría en distintos aspectos, como, por ejemplo, seguridad, medio ambiente, costo económico, entre otras.
- Se selecciona RCM como la herramienta táctica a utilizar en la generación del plan de mantenimiento, dando respuesta a las 7 preguntas base de la metodología, mediante herramientas presentes en la norma ISO 31010. Se declina complementar con la metodología TPM, ya que no se pudo implementar la base de los pilares (5S), debido a que no se contaba con los permisos correspondientes para ingresar regularmente a las operaciones de la empresa, principalmente por motivos de protocolos internos de seguridad.
- Se logra elaborar y generar un plan de mantenimiento a todos aquellos elementos, componentes o equipos que se clasificaron como críticos y semi críticos en la planta de hidrociclado. Todo esto se realiza luego de un análisis exhaustivo, utilizando las

herramientas de la norma ISO 31010, con ayuda de operadores, mecánicos y supervisores que están presentes día a día en la operación.

- Se realiza un análisis económico, en donde se logran estimar y evaluar los costos asociados a la propuesta de plan de mantenimiento generada, considerando costos fijos, como, por ejemplo, las remuneraciones del personal necesario y también costos variables como repuestos e insumos necesarios para llevar a cabo las tareas planificadas. Para verificar la rentabilidad del plan en el aspecto económico, se compara con los costos que se generarían por paradas no programadas del proceso debido a fallas funcionales en componentes o equipos de la planta de hidrociclado. La comparación se realiza suponiendo que se realizan todas las actividades de mantenimiento programadas, utilizando todos los insumos y repuestos considerados (peor escenario), obteniendo la rentabilidad del plan, por ende, el beneficio económico para la organización.

13.3 Recomendaciones

En el siguiente apartado, se presentan recomendaciones o sugerencias tanto a la organización, como a posibles nuevos memoristas, con respecto a temas que no fueron abordados en el presente trabajo de titulación, ya sea porque escapaban de los objetivos planteados en un inicio o porque no se tuvo la oportunidad de abordarlos.

- Al momento de realizar el levantamiento de información, con respecto al historial de falla, este presenta enunciados vagos con respecto a las tareas realizadas y no contiene información respecto a los insumos o repuestos utilizados en cada trabajo. Se sugiere implementar algún documento o planilla similar a una orden de trabajo, la cual deberá ser llenada por la persona que ejecuta el mantenimiento, en la cual se debe incluir el detalle de la actividad realizada, los insumos y repuestos utilizados en esta, con la finalidad de incluir toda esta información en el sistema, para así mejorar la base de posibles análisis futuros.
- Se recomienda mejorar el uso de las herramientas que presenta el ERP implementado en la empresa, como lo son las OT, las cuales actualmente no contienen toda la información de las tareas ejecutadas. Esta mejora debe ir acompañada de capacitaciones al personal, explicando la importancia y beneficios de llevar un buen

registro de mantenimiento; también se deben establecer auditorias aleatorias al módulo PM del ERP en cuestión, con la finalidad de monitorear la correcta utilización de estas herramientas.

- Junto con la implementación del plan, se recomienda medir los indicadores claves en la gestión del mantenimiento, como lo son el MTTR y el MTBF, los cuales actualmente sólo son medidos en el proceso en general y no en cada máquina en específico, por lo que se carece de información acerca de la mantenibilidad y confiabilidad de la planta de hidrociclado.
- Se sugiere evaluar la factibilidad de realizar planes de mantenimiento a otros equipos críticos del proceso productivo de la empresa, con la finalidad de ir mejorando la gestión del mantenimiento cada vez más.
- Se recomienda implementar la metodología TPM, comenzando con la base de los pilares, 5S, la cual hace referencia a la limpieza y el orden en el lugar de trabajo. La implementación de esta metodología va en la dirección de la mejora continua y la búsqueda de la excelencia operacional.
- Se recomienda recurrentemente monitorear el plan de mantenimiento, con respecto al contexto operacional del momento y los recursos disponibles de la empresa. El plan puede sufrir modificaciones siempre que vaya en beneficio de la organización.

14. Referencias

- [1] *Alibaba*. (junio de 2021). Obtenido de <https://spanish.alibaba.com/product-detail/coke-handling-system-feed-hopper-made-with-a36-and-ar400-60560841454.html>
- [2] *alsglobal*. (2021). Obtenido de <https://www.alsglobal.com/es-CO/news/Articles/2020/08/como-calculer-a-disponibilidad-de-maquinas-e-equipamentos>
- [3] *Dismet*. (junio de 2021). Obtenido de <https://www.dismet.com/productos/triturador-de-mandibula-meka/>
- [4] Engineers, S. o. (2002). *SAE JA1012*. Obtenido de <https://fddocuments.es/document/94542210-norma-sae-ja1012.html?page=1>
- [5] Engineers, S. o. (2009). *SAE JA1011*. Obtenido de <http://www.pdmtechusa.com/criterios-evaluacion-rcm/>
- [6] Fabio, E. (2021). *Diseño de propuesta de estrategia de mantenimiento en la sala de máquinas de una empresa faenadora agrícola*. USM.
- [7] *Facsol*. (Noviembre de 2021). Obtenido de <https://facsol.com.pe/lavadora-de-arena/>
- [8] *Finning*. (junio de 2021). Obtenido de https://www.finning.com/es_CL/finning-products/new/equipment/stationary-plants/vsi-crushers/b9100se.html
- [9] Gallardo, F. (2019). *Propuesta de plan de mantenimiento en activos críticos de fablab universitario*. USM.
- [10] *HCL*. (junio de 2021). Obtenido de <http://www.hcl.cl/productos.html>
- [11] *HCL*. (junio de 2021). Obtenido de <https://www.hclmaquinarias.cl/harneros.php>
- [12] *Interempresas*. (junio de 2021). Obtenido de <https://www.interempresas.net/ObrasPublicas/FeriaVirtual/Producto-Trituradoras-de-cono-Trio-Serie-TP-156863.html>

- [13] ISO. (15 de Noviembre de 2009). ISO 31000. *Risk management - principles and guidelines*. Geneva.
- [14] ISO. (2019). ISO 31010. *Risk management. Risk assessment techniques*.
- [15] Melón. (junio de 2021). Obtenido de <https://www.melon.cl/nosotros/historia/>
- [16] Netsigem. (6 de agosto de 2020). *Como hacer una jerarquía de equipos efectiva ISO 14224*. Obtenido de netsigem: <https://netsigem.com/como-hacer-una-jerarquia-de-equipos-efectiva-iso-14224/>
- [17] Pistarelli, A. (2010). *Manual de mantenimiento, ingeniería, gestión y organización*. Buenos Aires.
- [18] RAE. (junio de 2021). Obtenido de <https://dle.rae.es/mantenimiento>
- [19] SAE. (2009). SAE JA1011. *Evaluation Criteria for Realiability-Centered Maintenance (RCM) Processes*.
- [20] SAE. (2009). SAE JA1012. *Una Guía para la norma de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC)*.
- [21] Tecmaqsl. (junio de 2021). Obtenido de <https://www.tecmaqsl.com/html/section/productos/proceso-de-transporte>
- [22] webyempresas. (2021). Obtenido de <https://www.webyempresas.com/que-son-los-costos-de-mantenimiento/>
- [23] Zúniga, P. (2021). *Diseño de plan de mantenimiento para Planta de Osmosis Inversa de una Central de Cogeneración*. USM.

15. Anexos

En el presente capítulo se exponen las distintas herramientas y estudios realizados a cada componente de la planta de hidrociclono en este trabajo de titulación.

15.1 Análisis FMEA

| Análisis de modos y efectos de falla | | | | | |
|--------------------------------------|--|----------------------|---|---|-------------------|
| Equipo/componente | Función | Modo de falla | Efectos | Causas | Control |
| Hidrociclón | Conducir el flujo de mezcla hacia el harnero | Desgaste estructural | Fuga de caudal y pérdida de presión del flujo | Exceso de fino en mezcla, alta velocidad de flujo | Inspección visual |
| | Q = 700 [m ³ /h] | Hidrociclón tapado | Reducción de caudal y acumulación de material | Exceso de humedad en la mezcla | Inspección visual |

Tabla 15.1: Análisis FMEA Hidrociclón Planta de hidrociclono.

Fuente: Elaboración propia.

| Análisis de modos y efectos de falla | | | | | |
|--------------------------------------|--|-------------------|---|--|-------------------|
| Equipo/componente | Función | Modo de falla | Efectos | Causas | Control |
| Estructura peatonal | Permitir la movilidad humana dentro de la planta | Falla estructural | Riesgo de incidentes o accidentes del personal. | Desgaste natural y corrosión por humedad ambiental | Inspección visual |

Tabla 15.2: Análisis FMEA Estructura Planta de hidrociclono.

Fuente: Elaboración propia.

| Análisis de modos y efectos de falla | | | | | |
|--------------------------------------|------------------------------------|----------------------------|---------------------------------|---|-------------------|
| Equipo/componente | Función | Modo de falla | Efectos | Causas | Control |
| Canoa | Transportar mezcla hacia la planta | Desgaste goma | Filtraciones, pérdida de caudal | Mezcla abrasiva, material de goma poco resistente | Inspección visual |
| | Q = 700 [m ³ /h] | Desgaste estructural chute | Filtraciones | Mezcla abrasiva, velocidad de flujo alta | Inspección visual |

Tabla 15.3: Análisis FMEA Canoa Planta de hidrociclono.

Fuente: Elaboración propia.

| Análisis de modos y efectos de falla | | | | | |
|---|--------------------------|----------------|--|--|-------------------|
| Equipo/componente | Función | Modo de falla | Efectos | Causas | Control |
| Tuberías y accesorios de dirección de flujo | Dirigir flujo de trabajo | Rotura | Falla funcional proceso | Mezcla abrasiva, desgaste de tuberías, sobre presión | Inspección visual |
| | Q = 700 [m3/h] | Fuga de fluido | Pérdida de caudal, pérdida de eficiencia | Desgaste uniones y empaquetaduras, mezcla abrasiva | Inspección visual |

Tabla 15.4: Análisis FMEA Tuberías Planta de hidrociclono.

Fuente: Elaboración propia.

| Análisis de modos y efectos de falla | | | | | |
|--------------------------------------|---|---------------------------|---|--|------------------------------------|
| Equipo/componente | Función | Modo de falla | Efectos | Causas | Control |
| Cono y apex | Dirigir y bajar presión del flujo de la mezcla (similar a una tobera) | Desgaste apex | Pérdida de eficiencia, mayor presión de flujo en harnero, mayor carga módulos, desgaste | Exceso de caudal, mezcla abrasiva. | Inspección visual |
| | | Desgaste estructural cono | Pérdida de eficiencia, fuga de mezcla. | Apex desgastados. | Inspección visual (fuga de mezcla) |
| | Q = 700 [m3/h] | Apex tapados | Falla funcional componente | Exceso de material sólido en la mezcla, presencia de cuerpos extraños en la mezcla | Inspección visual flujo |

Tabla 15.5: Análisis FMEA Cono y ápex Planta de hidrociclono.

Fuente: Elaboración propia.

| Análisis de modos y efectos de falla | | | | | |
|--------------------------------------|--|-------------------------|---|---|-------------------|
| Equipo/componente | Función | Modo de falla | Efectos | Causas | Control |
| Harnero | Separar arena y material fino de la mezcla | Rotura módulos | Pérdida de eficiencia, acumulación de arena en cuba de bombeo, desgaste excesivo | Exceso de carga harnero, resortes en mal estado, vibración excesiva | Inspección visual |
| | | Falla en motovibradores | Excesivas o bajas vibraciones, falla funcional del equipo | Motovibrador desbalanceado | Inspección visual |
| | Potencia = 15,2 [KW] w = 1000 [rpm] | Desgaste estructural | Pérdida de eficiencia, carga acumulada en solo un sector del harnero, rotura de módulos | Excesiva carga al harnero, desgaste natural estructura | Inspección visual |

Tabla 15.6: Análisis FMEA Harnero Planta de hidrociclono.

Fuente: Elaboración propia.

15.2 Matriz de riesgos

| Componente: | Estructura | | |
|--|--|-------|-----------|
| Consecuencia | Matriz de consecuencias | Valor | Puntaje |
| Seguridad | | | |
| Catastrófico | La falla del componente provoca riesgos que pueden resultar en un accidente de carácter letal. | 5 | 4 |
| Peligroso | La falla del componente provoca riesgos incontrolables que puede resultar en un incidente peligroso. | 4 | |
| Moderado | La falla del componente genera riesgos moderados que pueden ser controlados. | 3 | |
| Menor | La falla del componente genera riesgos menores que pueden ser controlados. | 2 | |
| Insignificante | La falla del componente no genera riesgos a los trabajadores. | 1 | |
| Medioambiente | | | |
| Catastrófico | La falla del componente provoca riesgos que pueden resultar fatales para el medioambiente. | 5 | 1 |
| Peligroso | La falla provoca riesgos incontrolables que puede resultar en incumplimiento de normativas vigentes. | 4 | |
| Moderado | La falla del componente genera riesgos moderados que pueden ser controlados. | 3 | |
| Menor | La falla del componente genera riesgos menores que pueden ser controlados. | 2 | |
| Insignificante | La falla del componente no genera riesgos a al medioambiente. | 1 | |
| Tiempo planta detenida | | | |
| Catastrófico | La falla del componente provoca una detención de la planta mayor a 5 horas. | 5 | 1 |
| Peligroso | La falla del componente provoca una detención de la planta entre 3 a 5 horas. | 4 | |
| Moderado | La falla del componente provoca una detención de la planta entre 2 a 3 horas. | 3 | |
| Menor | La falla del componente provoca una detención de la planta entre 1 a 2 horas. | 2 | |
| Insignificante | La falla del componente no provoca una detención en la planta. | 1 | |
| Costo de reparación - Presupuesto mantenimiento | | | |
| Catastrófico | El costo de reparación requiere gran parte del presupuesto de mantenimiento (>\$5.000 USD) | 5 | 2 |
| Peligroso | El costo de reparación es significativo con respecto al presupuesto de mantenimiento (\$3.000-\$5.000 USD) | 4 | |
| Moderado | El costo de reparación presenta un impacto moderado en el presupuesto (\$1.000-\$3.000 USD) | 3 | |
| Menor | El costo de reparación presenta un impacto menor en el presupuesto (\$100-\$1.000 USD) | 2 | |
| Insignificante | El costo de reparación no presenta impacto en el presupuesto (<\$100 USD) | 1 | |
| Frecuencia fallas - Histórico | | | |
| Catastrófico | El componente falla 1 vez a la semana. | 5 | 2 |
| Peligroso | El componente falla 1 vez al mes. | 4 | |
| Moderado | El componente falla 1 vez cada 3 meses. | 3 | |
| Menor | El componente falla 1 vez cada 6 meses. | 2 | |
| Insignificante | El componente falla 1 vez al año. | 1 | |
| Puntaje total | | | 10 |

Tabla 15.7: Matriz de riesgos Estructura Planta hidrociclado.

Fuente: Elaboración propia en base a norma ISO 31010.

| Equipo: | Bomba centrífuga Warman 250 | | |
|--|--|-------|-----------|
| Consecuencia | Matriz de consecuencias | Valor | Puntaje |
| Seguridad | | | |
| Catastrófico | La falla del componente provoca riesgos que pueden resultar en un accidente de carácter letal. | 5 | 4 |
| Peligroso | La falla del componente provoca riesgos incontrolables que puede resultar en un incidente peligroso. | 4 | |
| Moderado | La falla del componente genera riesgos moderados que pueden ser controlados. | 3 | |
| Menor | La falla del componente genera riesgos menores que pueden ser controlados. | 2 | |
| Insignificante | La falla del componente no genera riesgos a los trabajadores. | 1 | |
| Medioambiente | | | |
| Catastrófico | La falla del componente provoca riesgos que pueden resultar fatales para el medioambiente. | 5 | 3 |
| Peligroso | La falla provoca riesgos incontrolables que puede resultar en incumplimiento de normativas vigentes. | 4 | |
| Moderado | La falla del componente genera riesgos moderados que pueden ser controlados. | 3 | |
| Menor | La falla del componente genera riesgos menores que pueden ser controlados. | 2 | |
| Insignificante | La falla del componente no genera riesgos a al medioambiente. | 1 | |
| Tiempo planta detenida | | | |
| Catastrófico | La falla del componente provoca una detención de la planta mayor a 5 horas. | 5 | 5 |
| Peligroso | La falla del componente provoca una detención de la planta entre 3 a 5 horas. | 4 | |
| Moderado | La falla del componente provoca una detención de la planta entre 2 a 3 horas. | 3 | |
| Menor | La falla del componente provoca una detención de la planta entre 1 a 2 horas. | 2 | |
| Insignificante | La falla del componente no provoca una detención en la planta. | 1 | |
| Costo de reparación - Presupuesto mantenimiento | | | |
| Catastrófico | El costo de reparación requiere gran parte del presupuesto de mantenimiento (>\$5.000 USD) | 5 | 5 |
| Peligroso | El costo de reparación es significativo con respecto al presupuesto de mantenimiento (\$3.000-\$5.000 USD) | 4 | |
| Moderado | El costo de reparación presenta un impacto moderado en el presupuesto (\$1.000-\$3.000 USD) | 3 | |
| Menor | El costo de reparación presenta un impacto menor en el presupuesto (\$100-\$1.000 USD) | 2 | |
| Insignificante | El costo de reparación no presenta impacto en el presupuesto (<\$100 USD) | 1 | |
| Frecuencia fallas - Histórico | | | |
| Catastrófico | El componente falla 1 vez a la semana. | 5 | 4 |
| Peligroso | El componente falla 1 vez al mes. | 4 | |
| Moderado | El componente falla 1 vez cada 3 meses. | 3 | |
| Menor | El componente falla 1 vez cada 6 meses. | 2 | |
| Insignificante | El componente falla 1 vez al año. | 1 | |
| Puntaje total | | | 21 |

Tabla 15.8: Matriz de riesgos Bomba centrífuga Warman 250 Planta hidrociclono.

Fuente: Elaboración propia en base a norma ISO 31010.

| Componente: | Canoa | | |
|--|--|-------|-----------|
| Consecuencia | Matriz de consecuencias | Valor | Puntaje |
| Seguridad | | | |
| Catastrófico | La falla del componente provoca riesgos que pueden resultar en un accidente de carácter letal. | 5 | 4 |
| Peligroso | La falla del componente provoca riesgos incontrolables que puede resultar en un incidente peligroso. | 4 | |
| Moderado | La falla del componente genera riesgos moderados que pueden ser controlados. | 3 | |
| Menor | La falla del componente genera riesgos menores que pueden ser controlados. | 2 | |
| Insignificante | La falla del componente no genera riesgos a los trabajadores. | 1 | |
| Medioambiente | | | |
| Catastrófico | La falla del componente provoca riesgos que pueden resultar fatales para el medioambiente. | 5 | 2 |
| Peligroso | La falla provoca riesgos incontrolables que puede resultar en incumplimiento de normativas vigentes. | 4 | |
| Moderado | La falla del componente genera riesgos moderados que pueden ser controlados. | 3 | |
| Menor | La falla del componente genera riesgos menores que pueden ser controlados. | 2 | |
| Insignificante | La falla del componente no genera riesgos a al medioambiente. | 1 | |
| Tiempo planta detenida | | | |
| Catastrófico | La falla del componente provoca una detención de la planta mayor a 5 horas. | 5 | 3 |
| Peligroso | La falla del componente provoca una detención de la planta entre 3 a 5 horas. | 4 | |
| Moderado | La falla del componente provoca una detención de la planta entre 2 a 3 horas. | 3 | |
| Menor | La falla del componente provoca una detención de la planta entre 1 a 2 horas. | 2 | |
| Insignificante | La falla del componente no provoca una detención en la planta. | 1 | |
| Costo de reparación - Presupuesto mantenimiento | | | |
| Catastrófico | El costo de reparación requiere gran parte del presupuesto de mantenimiento (>\$5.000 USD) | 5 | 3 |
| Peligroso | El costo de reparación es significativo con respecto al presupuesto de mantenimiento (\$3.000-\$5.000 USD) | 4 | |
| Moderado | El costo de reparación presenta un impacto moderado en el presupuesto (\$1.000-\$3.000 USD) | 3 | |
| Menor | El costo de reparación presenta un impacto menor en el presupuesto (\$100-\$1.000 USD) | 2 | |
| Insignificante | El costo de reparación no presenta impacto en el presupuesto (<\$100 USD) | 1 | |
| Frecuencia fallas - Histórico | | | |
| Catastrófico | El componente falla 1 vez a la semana. | 5 | 4 |
| Peligroso | El componente falla 1 vez al mes. | 4 | |
| Moderado | El componente falla 1 vez cada 3 meses. | 3 | |
| Menor | El componente falla 1 vez cada 6 meses. | 2 | |
| Insignificante | El componente falla 1 vez al año. | 1 | |
| Puntaje total | | | 16 |

Tabla 15.9: Matriz de riesgos Canoa Planta hidrociclado.

Fuente: Elaboración propia en base a norma ISO 31010.

| Componente: | Tuberías y accesorios de dirección de flujo | | |
|--|--|-------|-----------|
| Consecuencia | Matriz de consecuencias | Valor | Puntaje |
| Seguridad | | | |
| Catastrófico | La falla del componente provoca riesgos que pueden resultar en un accidente de carácter letal. | 5 | 4 |
| Peligroso | La falla del componente provoca riesgos incontrolables que puede resultar en un incidente peligroso. | 4 | |
| Moderado | La falla del componente genera riesgos moderados que pueden ser controlados. | 3 | |
| Menor | La falla del componente genera riesgos menores que pueden ser controlados. | 2 | |
| Insignificante | La falla del componente no genera riesgos a los trabajadores. | 1 | |
| Medioambiente | | | |
| Catastrófico | La falla del componente provoca riesgos que pueden resultar fatales para el medioambiente. | 5 | 3 |
| Peligroso | La falla provoca riesgos incontrolables que puede resultar en incumplimiento de normativas vigentes. | 4 | |
| Moderado | La falla del componente genera riesgos moderados que pueden ser controlados. | 3 | |
| Menor | La falla del componente genera riesgos menores que pueden ser controlados. | 2 | |
| Insignificante | La falla del componente no genera riesgos a al medioambiente. | 1 | |
| Tiempo planta detenida | | | |
| Catastrófico | La falla del componente provoca una detención de la planta mayor a 5 horas. | 5 | 5 |
| Peligroso | La falla del componente provoca una detención de la planta entre 3 a 5 horas. | 4 | |
| Moderado | La falla del componente provoca una detención de la planta entre 2 a 3 horas. | 3 | |
| Menor | La falla del componente provoca una detención de la planta entre 1 a 2 horas. | 2 | |
| Insignificante | La falla del componente no provoca una detención en la planta. | 1 | |
| Costo de reparación - Presupuesto mantenimiento | | | |
| Catastrófico | El costo de reparación requiere gran parte del presupuesto de mantenimiento (>\$5.000 USD) | 5 | 3 |
| Peligroso | El costo de reparación es significativo con respecto al presupuesto de mantenimiento (\$3.000-\$5.000 USD) | 4 | |
| Moderado | El costo de reparación presenta un impacto moderado en el presupuesto (\$1.000-\$3.000 USD) | 3 | |
| Menor | El costo de reparación presenta un impacto menor en el presupuesto (\$100-\$1.000 USD) | 2 | |
| Insignificante | El costo de reparación no presenta impacto en el presupuesto (<\$100 USD) | 1 | |
| Frecuencia fallas - Histórico | | | |
| Catastrófico | El componente falla 1 vez a la semana. | 5 | 4 |
| Peligroso | El componente falla 1 vez al mes. | 4 | |
| Moderado | El componente falla 1 vez cada 3 meses. | 3 | |
| Menor | El componente falla 1 vez cada 6 meses. | 2 | |
| Insignificante | El componente falla 1 vez al año. | 1 | |
| Puntaje total | | | 19 |

Tabla 15.10: Matriz de riesgos Tuberías y accesorios para dirección de flujo Planta hidrociclado.

Fuente: Elaboración propia en base a norma ISO 31010.

| Componente: | Cono y apex | | |
|--|--|-------|-----------|
| Consecuencia | Matriz de consecuencias | Valor | Puntaje |
| Seguridad | | | |
| Catastrófico | La falla del componente provoca riesgos que pueden resultar en un accidente de carácter letal. | 5 | 2 |
| Peligroso | La falla del componente provoca riesgos incontrolables que puede resultar en un incidente peligroso. | 4 | |
| Moderado | La falla del componente genera riesgos moderados que pueden ser controlados. | 3 | |
| Menor | La falla del componente genera riesgos menores que pueden ser controlados. | 2 | |
| Insignificante | La falla del componente no genera riesgos a los trabajadores. | 1 | |
| Medioambiente | | | |
| Catastrófico | La falla del componente provoca riesgos que pueden resultar fatales para el medioambiente. | 5 | 2 |
| Peligroso | La falla provoca riesgos incontrolables que puede resultar en incumplimiento de normativas vigentes. | 4 | |
| Moderado | La falla del componente genera riesgos moderados que pueden ser controlados. | 3 | |
| Menor | La falla del componente genera riesgos menores que pueden ser controlados. | 2 | |
| Insignificante | La falla del componente no genera riesgos a al medioambiente. | 1 | |
| Tiempo planta detenida | | | |
| Catastrófico | La falla del componente provoca una detención de la planta mayor a 5 horas. | 5 | 4 |
| Peligroso | La falla del componente provoca una detención de la planta entre 3 a 5 horas. | 4 | |
| Moderado | La falla del componente provoca una detención de la planta entre 2 a 3 horas. | 3 | |
| Menor | La falla del componente provoca una detención de la planta entre 1 a 2 horas. | 2 | |
| Insignificante | La falla del componente no provoca una detención en la planta. | 1 | |
| Costo de reparación - Presupuesto mantenimiento | | | |
| Catastrófico | El costo de reparación requiere gran parte del presupuesto de mantenimiento (>\$5.000 USD) | 5 | 3 |
| Peligroso | El costo de reparación es significativo con respecto al presupuesto de mantenimiento (\$3.000-\$5.000 USD) | 4 | |
| Moderado | El costo de reparación presenta un impacto moderado en el presupuesto (\$1.000-\$3.000 USD) | 3 | |
| Menor | El costo de reparación presenta un impacto menor en el presupuesto (\$100-\$1.000 USD) | 2 | |
| Insignificante | El costo de reparación no presenta impacto en el presupuesto (<\$100 USD) | 1 | |
| Frecuencia fallas - Histórico | | | |
| Catastrófico | El componente falla 1 vez a la semana. | 5 | 3 |
| Peligroso | El componente falla 1 vez al mes. | 4 | |
| Moderado | El componente falla 1 vez cada 3 meses. | 3 | |
| Menor | El componente falla 1 vez cada 6 meses. | 2 | |
| Insignificante | El componente falla 1 vez al año. | 1 | |
| Puntaje total | | | 14 |

Tabla 15.11: Matriz de riesgos Cono y ápex Planta hidrociclono.

Fuente: Elaboración propia en base a norma ISO 31010.

| Equipo: | Harnero | | |
|--|--|-------|-----------|
| Consecuencia | Matriz de consecuencias | Valor | Puntaje |
| Seguridad | | | |
| Catastrófico | La falla del componente provoca riesgos que pueden resultar en un accidente de carácter letal. | 5 | 5 |
| Peligroso | La falla del componente provoca riesgos incontrolables que puede resultar en un incidente peligroso. | 4 | |
| Moderado | La falla del componente genera riesgos moderados que pueden ser controlados. | 3 | |
| Menor | La falla del componente genera riesgos menores que pueden ser controlados. | 2 | |
| Insignificante | La falla del componente no genera riesgos a los trabajadores. | 1 | |
| Medioambiente | | | |
| Catastrófico | La falla del componente provoca riesgos que pueden resultar fatales para el medioambiente. | 5 | 2 |
| Peligroso | La falla provoca riesgos incontrolables que puede resultar en incumplimiento de normativas vigentes. | 4 | |
| Moderado | La falla del componente genera riesgos moderados que pueden ser controlados. | 3 | |
| Menor | La falla del componente genera riesgos menores que pueden ser controlados. | 2 | |
| Insignificante | La falla del componente no genera riesgos a al medioambiente. | 1 | |
| Tiempo planta detenida | | | |
| Catastrófico | La falla del componente provoca una detención de la planta mayor a 5 horas. | 5 | 5 |
| Peligroso | La falla del componente provoca una detención de la planta entre 3 a 5 horas. | 4 | |
| Moderado | La falla del componente provoca una detención de la planta entre 2 a 3 horas. | 3 | |
| Menor | La falla del componente provoca una detención de la planta entre 1 a 2 horas. | 2 | |
| Insignificante | La falla del componente no provoca una detención en la planta. | 1 | |
| Costo de reparación - Presupuesto mantenimiento | | | |
| Catastrófico | El costo de reparación requiere gran parte del presupuesto de mantenimiento (>\$5.000 USD) | 5 | 5 |
| Peligroso | El costo de reparación es significativo con respecto al presupuesto de mantenimiento (\$3.000-\$5.000 USD) | 4 | |
| Moderado | El costo de reparación presenta un impacto moderado en el presupuesto (\$1.000-\$3.000 USD) | 3 | |
| Menor | El costo de reparación presenta un impacto menor en el presupuesto (\$100-\$1.000 USD) | 2 | |
| Insignificante | El costo de reparación no presenta impacto en el presupuesto (<\$100 USD) | 1 | |
| Frecuencia fallas - Histórico | | | |
| Catastrófico | El componente falla 1 vez a la semana. | 5 | 3 |
| Peligroso | El componente falla 1 vez al mes. | 4 | |
| Moderado | El componente falla 1 vez cada 3 meses. | 3 | |
| Menor | El componente falla 1 vez cada 6 meses. | 2 | |
| Insignificante | El componente falla 1 vez al año. | 1 | |
| Puntaje total | | | 20 |

Tabla 15.12: Matriz de riesgos Harnero Planta hidrociclonado.

Fuente: Elaboración propia en base a norma ISO 31010.