

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA

METALÚRGICA



T E S I S

**Análisis causa raíz a los rodamientos del circuito de flotación y su influencia
en el mantenimiento preventivo en la planta concentradora Mallay – Oyón
– 2023**

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Metalurgista

Autor:

Bach. Miguel Angel LANDA GOMEZ

Asesor

Dr. Marco Antonio SURICHAQUI HIDALGO

Cerro de Pasco – Peru – 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA
METALÚRGICA



T E S I S

**Análisis causa raíz a los rodamientos del circuito de flotación y su influencia
en el mantenimiento preventivo en la planta concentradora Mallay – Oyón
– 2023**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Dr. Eduardo Jesús MAYORCA BALDOCEDA
PRESIDENTE

Dr. Cayo PALACIOS ESPÍRITU
MIEMBRO

Mg. Uldarico USURIAGA LÓPEZ
MIEMBRO



Universidad Nacional Daniel Alcides
Carrón Facultad de Ingeniería
Unidad de Investigación

INFORME DE ORIGINALIDAD N° 120-2024-UNDAC/UIFI

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrón en mérito al artículo 23° del Reglamento General de Grados Académicos y Títulos Profesionales aprobado en Consejo Universitario del 21 de abril del 2022, La Tesis ha sido evaluado por el software antiplagio Turnitin Similarity, que a continuación se detalla:

Tesis:

**Análisis causa raíz a los rodamientos del circuito de flotación
y su influencia en el mantenimiento preventivo en la planta
concentradora Mallay – Oyón – 2023**

Apellidos y nombres de los tesisistas:

Bach. LANDA GOMEZ, Miguel Angel

Apellidos y nombres del Asesor:

Dr. SURICHAQUI HIDALGO, Marco Antonio

Escuela de Formación Profesional

Ingeniería Metalúrgica

Índice de Similitud

16 %

APROBADO

Se informa el Reporte de evaluación del software similitud para los fines pertinentes:

Cerro de Pasco, 22 de mayo del 2024



DEDICATORIA

A Dios guía de mi vida.

*A la memoria de mis padres,
por sus consejos, sus valores, por su
fortaleza de salir adelante, pero;
sobre todo, por su amor.*

AGRADECIMIENTO

Al superintendente de la Compañía de Minas Buenaventura, a los trabajadores de la planta concentradora Mallay, y de TECNOMIN DATA, por darme la oportunidad de participar en el diagnóstico de las celdas de flotación.

Agradecer a mi alma máter, a los docentes por los cinco años de formación profesional, y a todas las personas que me apoyaron durante mi carrera profesional.

RESUMEN

El mantenimiento de la planta concentradora Mallay se efectúa cada dos meses y por 48 horas continuas, cuyo tiempo no es suficiente para los intereses de los involucrados. Este y otras variables influyen en la vida útil de los rodamientos de las celdas de acondicionamiento y flotación, generando inconvenientes en la operación, acentuándose continuamente. La presente investigación comete el diagnóstico con la técnica del análisis causa raíz, apoyado en catálogos y principalmente con la intervención del personal de operación y mantenimiento.

Objetivo: La finalidad es distinguir las causas que afectan el acelerado desgaste de los equipos de rodamientos.

Metodología. El estudio presenta un tipo básico, nivel descriptivo, diseño no experimental y método hipotético deductivo. Además, cumple con los requisitos metodológicas de una investigación cuantitativa, donde se utilizaron conocimientos de la ciencia y la experiencia.

Resultados. La utilización de la técnica “análisis causa raíz” y “5 porques”, evidencio identificar la restauración y renovación de repuestos, nivelación en sus bases, cumpliendo los protocolos de seguridad.

Conclusión se pudo determinar los factores que influyeron en el deterioro de los rodamientos y mal funcionamiento de las celdas de flotación.

Palabra claves: Diagnóstico, Fallas, mantenimiento

ABSTRACT

The maintenance of the Mallay concentrator plant is carried out every two months and for 48 continuous hours, which time is not enough for the interests of those involved. This and other variables influence the useful life of the bearings of the conditioning and flotation cells, generating inconveniences in operation, which are continually accentuated. The present investigation undertakes the diagnosis with the root cause analysis technique, supported by catalogs and mainly with the intervention of operation and maintenance personnel.

Objective: The purpose is to distinguish the causes that affect the accelerated wear of bearing equipment.

Methodology. The study presents a basic type, descriptive level, non-experimental design and hypothetical deductive method. In addition, it meets the methodological requirements of a quantitative research, where knowledge from science and experience were used.

Results. The use of the “root cause analysis” and “5 whys” technique, evidenced identifying the restoration and renewal of spare parts, leveling their bases, complying with safety protocols.

Conclusion, it was possible to determine the factors that influenced the deterioration of the bearings and malfunction of the flotation cells.

Keywords: Diagnosis, Failures, maintenance

INTRODUCCIÓN

La importancia del mantenimiento de los componentes de mayor influencia de las celdas de flotación de una planta de procesamiento de minerales, es necesario para los intereses de la empresa en cuestión. La planta concentradora Mallay, opera con dos circuitos de flotación de plomo – plata y zinc, instalados en circuito cerrado, el cual es planificado y programado el mantenimiento general cada dos meses. La parada de la planta o mantenimiento tiene un periodo de 48 horas, tiempo el cual se hace difícil un diagnóstico correspondiente a la identificación de posibles fallas en los componentes de operación. Este inconveniente originó realizar el análisis riguroso de los rodamientos, para el cual se recurrió a la utilización de técnicas, como el “análisis de causa raíz” para resolver problemas y evitar consecuencias mayores, donde la participación del personal de operación fue muy importante. El tema del presente trabajo es identificar cuáles son las posibles fallas que transgreden en mayor escala el continuo deterioro de los rodamientos y mal funcionamiento de las celdas de flotación de la concentradora.

La investigación presenta la siguiente estructura:

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA; Describe y formula el problema, los objetivos, justificación e importancia de la investigación.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO; Presenta los antecedentes, la base teórica del análisis causa raíz, los términos básicos, planteo de hipótesis y la correspondiente estructura de las variables (Independiente, Dependiente).

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN; se traza el tipo, nivel, método y diseño de investigación, donde se establece la muestra y la población estudiada.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN; los resultados son comparados en gráficos y tablas, producto del análisis inferencial y descriptivo. En la discusión los resultados son analizados y comparados con otras investigaciones.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES; se formularon las conclusiones de la investigación y se estableció sugerencias que permitan ampliar trabajos similares.

INDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

INDICE

ÍNDICE DE FIGURAS

INDICE DE TABLAS

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1. Identificación y determinación del problema.....	1
1.2. Delimitación de la investigación.....	3
1.2.1. Delimitación espacial	3
1.2.2. Delimitación temporal	3
1.2.3. Delimitación conceptual	3
1.3. Formulación del problema	4
1.3.1. Problema general	4
1.3.2. Problemas específicos	4
1.4. Formulación de Objetivos	4
1.4.1. Objetivo General.	4
1.4.2. Objetivos específicos.....	5
1.5. Justificación de la Investigación	5
1.6. Limitaciones de la investigación.....	5

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de Estudio

2.1.1.	Antecedentes internacionales	7
2.1.2.	Antecedentes nacionales.....	8
2.2.	Bases teóricas - Científicas	10
2.2.1.	Análisis causa raíz	10
2.2.2.	¿Qué es el análisis causa raíz?.....	12
2.2.3.	Metodología de análisis causa raíz	13
2.2.4.	Etapas del proceso	14
2.2.5.	Mantenimiento preventivo.....	15
2.3.	Definición de Términos Básicos	16
2.4.	Formulación de hipótesis	17
2.4.1.	Hipótesis general	17
2.4.2.	Hipótesis específicas	17
2.5.	Identificación de Variables	18
2.5.1.	Variable independiente	18
2.5.2.	Variable dependiente.....	18
2.6.	Definición Operacional de variables e indicadores.....	18

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1.	Tipo de investigación	20
3.2.	Nivel de investigación.....	20
3.3.	Métodos de investigación.....	20
3.4.	Diseño de investigación	21
3.5.	Población y Muestra.....	21
3.5.1	Población	21
3.5.2	Muestra	21
3.6.	Técnicas e Instrumentos Recolección de datos.....	22
3.6.1	Técnicas de recolección de datos	22

3.6.2	Instrumentos de recolección de datos	23
3.6.3.	Escala de medición de la variable	23
3.7.	Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación	23
3.8.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos	24
3.9.	Tratamiento estadístico	30
3.10.	Orientación ética filosófica y epistémica	31

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.	Descripción del trabajo de campo	32
4.2.	Presentación, Análisis e interpretación de Resultados.....	33
4.3.	Prueba de Hipótesis.....	37
4.3.1	Hipótesis general	37
4.4.	Discusión de Resultados	37

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

ANEXOS:

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1:Circuito de flotación de plomo- plata y zinc.....	2
Figura 2:Etapas a seguir en el análisis causa raíz.....	13
Figura 3: Proceso de análisis causa raíz	15
Figura 4:Análisis de la celda de acondicionamiento de plomo 5´x 5´	26
Figura 5:Análisis de la celda OK 3R del circuito Rougher de plomo	26
Figura 6:Análisis de la celda OK 3R del circuito Scavenger de plomo	27
Figura 7:Análisis de la celda Sub A-24 del circuito Cleaner de plomo	27
Figura 8:Análisis de la celda Sub A-24 del circuito Cleaner de plomo	28
Figura 9:Análisis de la celda de acondicionamiento de zinc 6,5´ x 6,5´	28
Figura 10:Análisis de la celda OK 3R del circuito Rougher de zinc.....	29
Figura 11:Análisis de la celda OK 3R del circuito Scavenger de zinc.....	29
Figura 12:Análisis de la celda Sub A-24 de circuito Cleaner de zinc	30
Figura 13::Análisis de la celda Sub A-18 del circuito Cleaner de zinc.....	30
Figura 14:Acciones correctivas 2023	37
Figura 15:Falla en rodamiento por exceso de grasa, cambio en la coloración de los caminos de rodadura (Problema: lubricación).....	49
Figura 16:Aumento de temperatura en los caminos de rodadura debido a una escasez de lubricante	49
Figura 17:Indentaciones generadas por ingreso de agua en el rodamiento	49
Figura 18:Perdida de ajuste en aro interior con acanaladuras provocadas por vibración	50
Figura 19:Perdida de interferencia a nivel de eje o alojamiento	50
Figura 20:Elementos rodantes impresos en los caminos de rodadura provocado por un montaje inadecuado (Problema: sobrecarga).....	51
Figura 21:Perdida de dureza al calentar el rodamiento para su montaje sin controlar la temperatura	51
Figura 22:Voltaje excesivo en rodamiento, provocando pitting localizado	52

NDICE DE TABLAS

Tabla 1: Matriz de operacionalización de la variable independiente	19
Tabla 2:Matriz de operacionalización de la variable dependiente	19
Tabla 3: Celdas de acondicionamiento y flotación instaladas en la planta concentradora	21
Tabla 4:Celdas de acondicionamiento y flotación con problemas de operación.....	22
Tabla 5:Confiabilidad de la evaluación muestral mediante KR20.....	24
Tabla 6:Problemas y causas.....	25
Tabla 7:5 porqués	34
Tabla 8:Acciones correctivas	35
Tabla 9:Informes 2023	36
Tabla 10:Acciones correctivas 2023	36

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1. Identificación y determinación del problema

La planta concentradora Mallay de la Compañía de Minas Buenaventura S.A.A., se encuentra ubicada en el distrito de Oyón, Lima, Perú dedicado a la explotación de minerales de plomo, plata y zinc. Se tiene una planta concentradora de procesamiento con capacidad de 3,910 toneladas métricas secas por día (TMSD). Para el proceso de separación plomo - zinc, se necesita que el funcionamiento de la planta concentradora sea óptimo, específicamente de las celdas de flotación instaladas.

La figura 1 muestra la distribución de la planta en dos circuitos de flotación plomo – plata y zinc con celdas de flotación de diversa capacidad y potencia, el transporte de la pulpa es alimentado en circuito continuo por el sistema de bombas debidamente acondicionadas. Actualmente en los circuitos de flotación se presentan inconvenientes en su funcionamiento, caracterizado por los vapores de agua que emiten durante la agitación en las celdas, sobrecalentamiento en los rodamientos, vibración en algunos rodamientos, problemas en engrase en

los puntos críticos, impulsores de los ejes con alto deterioro, sobrecarga de pulpas en las celdas de flotación, ocasionando paradas inoportunas.

Figura 1: Circuito de flotación de plomo- plata y zinc



Fuente: Compañía de Minas Buenaventura S. A. A.

Actualmente los trabajos de mantenimiento lo ejecutan las empresas subcontratadas por la entidad principal. En vista de esto, con base al análisis de fallas de los equipos clave de los rodamientos de las máquinas de flotación, se presentan sugerencias de mejora. Para ello se diagnostica el estado actual de los equipos con circuitos integrados de flotación y se realiza un análisis crítico para priorizar sus efectos y así facilitar la toma de decisiones e identificar modos de falla de los componentes de los equipos. y el impacto resultante. En el caso del presente estudio se recurrirá al análisis de causa raíz de las fallas más comunes

para identificar sus causas raíz y cuando se complete todo este análisis, se indicarán las recomendaciones para mejorar el sistema.

Por último, es preciso indicar que el objetivo de la presente investigación es investigar el impacto de implementar un análisis de causa raíz en el mantenimiento de la planta concentradora, específicamente de los rodamientos del circuito de flotación.

1.2. Delimitación de la investigación

1.2.1. Delimitación espacial

El trabajo de investigación se realizó en las instalaciones de la planta concentradora Mallay.

1.2.2. Delimitación temporal

Abarca ocho meses; fecha de inicio: mayo del 2023 y fecha de término de la investigación: diciembre del 2023.

1.2.3. Delimitación conceptual

De los diferentes conceptos que abarcan la presente investigación se centrará en:

- **Análisis causa raíz;** (RCA), es el proceso de identificar la causa raíz del problema y plantear soluciones oportunas, donde la función principal identificar los posibles problemas presentes.
- **Mantenimiento preventivo,** Consiste en la revisión de manera periódica sistemática y bajo ciertos criterios, los diversos equipos o aparatos de cualquier índole, evitando averías por el uso, desgaste o por el tiempo de rutina.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿Cómo influye el diseño de un programa de análisis causa raíz a los rodamientos del circuito de flotación para el mantenimiento preventivo en la planta concentradora Mally – Oyón – 2023?

1.3.2. Problemas específicos

PE1: ¿Cómo influye la jerarquización de los problemas frecuentes a los rodamientos del circuito de flotación para el mantenimiento preventivo en la planta concentradora Mally – Oyón – 2023?

PE2: ¿Cómo realizar el análisis causa efecto a los rodamientos del circuito de flotación para el mantenimiento preventivo en la planta concentradora Mally – Oyón – 2023?

PE3: ¿Es posible seleccionar las acciones correctivas a los rodamientos del circuito de flotación para el mantenimiento preventivo en la planta concentradora Mally – Oyón – 2023?

1.4. Formulación de Objetivos

1.4.1. Objetivo General.

Diseñar un programa de análisis causa raíz a los rodamientos del circuito de flotación para el mantenimiento preventivo en la planta concentradora Mally – Oyón – 2023.

1.4.2. Objetivos específicos.

OE1: Jerarquizar los problemas frecuentes a los rodamientos del circuito de flotación para el mantenimiento preventivo en la planta concentradora Mallay – Oyón – 2023.

OE2: Realizar el análisis causa raíz a los rodamientos del circuito de flotación para el mantenimiento preventivo en la planta concentradora Mallay – Oyón – 2023.

OE3: Seleccionar las acciones correctivas a los rodamientos del circuito de flotación para el mantenimiento preventivo en la planta concentradora Mallay – Oyón – 2023.

1.5. Justificación de la Investigación

Justificación social:

El estudio se justifica debido a que contribuirá en comprender por qué surgen los problemas durante la operación y/o mantenimiento de los equipos, generando con ello mejoras en las acciones sociales.

Justificación técnica

El estudio responde a la necesidad de un análisis del mantenimiento de la planta y corregir los posibles errores encontrados. Puntualmente el estudio está basado en los beneficios que genera los resultados, tanto a la empresa como a los trabajadores. Implica alcanzar nuevos esquemas de investigación, utilizando una mejora en las técnicas de utilización y uso de los equipos convenientes.

1.6. Limitaciones de la investigación

Las limitaciones están sustentadas directamente a la presentación del presente trabajo.

Limitación de Campo: Las limitaciones que se presenta son la programación de mantenimiento, los tiempos breves que se tiene para evaluarlo, por tanto, es necesario realizar con mayor detenimiento el diagnóstico de los rodamientos.

Limitación técnica. El no tener un laboratorio de un difractor de rayos X, que posibilita para realizar estudios de corrosión.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de Estudio

2.1.1. Antecedentes internacionales

Zúñiga (2016) en su tesis “*Análisis causa raíz aplicado a fallas en equipos críticos*” – Universidad Técnica Federico Santa María – Valparaíso, plantea como objetivo la disminución de costos globales a través de la técnica de la mejora continua, aplicando el análisis causa raíz, concluyendo en:

Una buena gestión distingue la calidad de los actores que están ejecutando el análisis correspondiente, donde el análisis de causa raíz, utiliza como premisa el historial correspondiente y la manera de abordar los problemas que se presentan constantemente en la empresa.

Es necesario formar especialistas con una alta preparación en manejo de sistemas de información, con la finalidad de superar los posibles inconvenientes que se presentan, generando ello potenciar el nivel de logro del personal involucrado.

El manejo del análisis causa raíz correspondería estar al frente de una persona que mantenga un porte continuo, de habilidades sociales y de alta capacidad técnica. Estos buenos pareceres técnicos del líder generan una dinámica en las reuniones cotidianas, donde en ocasiones se presentan complejas y quien es la persona indicada que responda a solucionar y plantear acuerdos que ajusten a la empresa y personal en general.

Retamal (2018) en su tesis “*Propuesta de plan de mantenimiento para bombas centrífugas*” – Universidad Técnica Federico Santa María – Viña del Mar, tiene como objetivo, implantar índices de disponibilidad para una mejora del plan de mantenimiento de bombas centrífugas, concluyendo:

El trabajo está orientado a la evaluación de los equipos correspondiente a empresas tercerizadas, quienes presentan en ocasiones equipos que no están de acuerdo a la política de rendimiento de la empresa o en ocasiones fácilmente pierden el rendimiento correspondiente.

Es importante la creación de un plan de mantenimiento para cumplir con los tiempos correspondientes y reducir los costos de sostenimiento, donde la mejora de los tiempos de reparación es el que alcanza mayor incidencia para el buen desenvolvimiento de los trabajadores y la empresa.

Se concluye además que es importante evitar las multas, pérdidas monetarias y los altos costos de mantención que se generan al momento de realizar el mantenimiento correctivo, estos hechos generan una buena vinculación entre trabajadores, terceros y la empresa.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Trejo (2017) en su tesis “*Mejora de gestión de mantenimiento preventivo para incrementar la confiabilidad de bombas de concreto*”, Universidad

Tecnológica del Perú – Lima; tiene como objetivo: evaluar el sistema de gestión de mantenimiento preventivo producto del incremento de confiabilidad de las Bombas de Concreto. La conclusión indica:

El cumplimiento del mantenimiento no es suficiente para acrecentar la confiabilidad; es la calidad del mantenimiento preventivo que logra incrementar la confiabilidad junto con las herramientas de gestión de mantenimiento implementadas.

Las mejoras en la gestión de mantenimiento preventivo incrementaron en 5% la Confiabilidad de las bombas de concreto.

Se comprimieron el 25% las fallas e incrementando la disponibilidad en un 9% de las bombas de concreto.

El número de fallas de las bombas de concreto a rebajado, por lo tanto, se incrementa la confiabilidad, representando cuantitativamente entre 10.36 a 14.98.

Las horas de operación de las bombas de concreto se incrementó y por tanto la confiabilidad, el resultado genero una diferencia significativa de 4.01, donde los valores representan el tiempo promedio entre 6.42 a 10.43

La diferencia de 0.27 del tiempo promedio de reparación representado entre los valores 1.56 a 1.29, incrementa la confiabilidad en el mantenimiento correctivo, por tanto, genera un beneficio a la empresa.

Andia (2018) en su tesis *“Optimización de transporte de mineral mediante sistema de bombeo”* – Universidad Nacional San Agustín – Arequipa, tiene como objetivo: Mejorar el sistema de transporte industrial y la simplificación en el proceso de optimización energética de emisiones de gases de efecto invernadero. Se concluye en:

Se logró demostrar que el transporte de materiales a larga distancia del transporte de materiales gruesos en comparación con las partículas de mineral, es económicamente viable.

El transporte de pulpas minerales a través de ductos es la mejor opción económica y técnica, por tanto, se logra demostrar la hipótesis planteada, debido a que es posible la optimización de transporte de mineral mediante sistema de bombeo.

Fue posible demostrar que existen procedimientos bien rigurosos en cuanto al diseño y operación que hacen del transporte que presente un sistema viable. Además, en el desarrollo del trabajo se analizaron las pruebas que se ejecutan antes del inicio del diseño a fin de evitar eventuales problemas que puedan ocurrir en la operación.

2.2. Bases teóricas - Científicas

2.2.1. Análisis causa raíz

Coexistiendo algunos principios generales que es necesario ser considerados como básicos, en cuanto al propósito y la definición del análisis causa raíz, se presenta algunos alcances que fueron considerados en el presente trabajo.

De acuerdo con (Aranda D. & Aalfaro A. 2014), se presenta que:

- El objetivo principal del análisis en consideración, es promover el logro de mejores consecuencias, donde los resultados de uno o más eventos del pasado puedan ser diligentes para mejorar paradigmas, comportamientos, acciones, inacciones o condiciones que deben ser pertinentes en los interesados, esto

evitara la recurrencia de los resultados nocivos similares e identificar las lecciones que se deben aprender.

- El análisis de interés, por lo general requiere del esfuerzo del equipo de trabajo en general, y ser ejecutados de forma sistemática, en forma general y en forma continua, sin dejar de lado en continuar investigando, a fin de continuar resolviendo las causas de incomodidad en la empresa y trabajadores.
- Es posible que exista más de una causa raíz en una evaluación rutinaria, generando posibles complicaciones, por tanto, es necesario demostrar la persistencia y someternos al esfuerzo necesario para determinarlos.
- En los análisis en cuestión en ocasiones se realiza en base a encontrar un costo correspondiente de la producción objetivo, para ello es necesario identificar todas las posibles soluciones al problema identificado. Si existe alternativas que son igualmente eficaces, entonces se prefiere el método más sencillo y de más bajo costo.
- Las descripciones de los sucesos son rentables y necesarias, los cuales instauran puntos de inicio y final de cada actividad programada, donde la causa raíz identificada estribará de la forma en que se define el problema o suceso.
- En estos hechos es importante examinar la línea de tiempo para lograr entender los factores que contribuyen en generar sucesos o problemas en las actividades programadas, por tanto, exige a la empresa a ser eficaz y eficiente en cada labor encomendada.
- El análisis en cuestión ayuda a transformar una cultura pasiva a una cultura activa, que resuelve los problemas antes de que acontezcan o se incrementan.

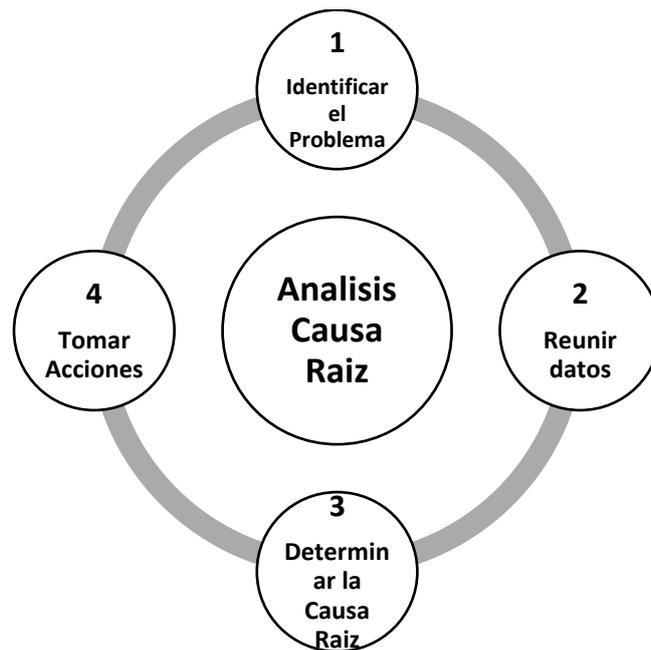
Es importante indicar la reducción de la frecuencia de los problemas que se producen con el tiempo en el entorno donde se utiliza el proceso del análisis desarrollado.

2.2.2. ¿Qué es el análisis causa raíz?

La técnica del análisis causa raíz, es trazadas para la aplicación en diversas actividades, cuya técnica es la identificación e búsqueda de las causas que afectan la seguridad, salud, el medio ambiente, calidad, la operación y todo aquello que repercute en la producción de cualquier sector industrial, debido a la insatisfacción de sus resultados solicitados (Aranda D. & Alfaro A. 2014)

En resumen, la técnica del análisis causa raíz, se presenta como una herramienta de ayuda e identifica no sólo qué y cómo se produjo un suceso no deseado (falla, problema o accidente u incidente particular), sino que también provoca identificar los problemas de mayor incidencia en las actividades industriales. El análisis causa raíz parte de identificar causas de incidencia mayor para encontrar un único efecto y luego ser analizado, donde sugiere pautas para corregir, eliminar y evitar que el problema vuelva a ocurrir. La figura 2 muestra las etapas del análisis causa raíz (Aranda D. & Alfaro A., 2014)

Figura 2: Etapas a seguir en el análisis causa raíz



Fuente: Elaboración propia

2.2.3. Metodología de análisis causa raíz

“El análisis causa raíz es un proceso, método o técnica reactiva de resolución de problemas conducente a identificar causas o sucesos; por tanto, esto representa que el análisis se efectúa después de que el suceso se ha producido” (Flores Zavala, s.f.)

El método del análisis causa raíz, está basado en el supuesto de que los problemas se resuelven para mejor, corregir o incrementar el rendimiento objetivo, no tanto alternar como simple síntoma que posibilita una solución correspondiente (Flores Zavala, s.f.)

En ocasiones la constante reiteración del uso del método del análisis causa raíz, se convierte en un método proactivo; esto demuestra que el análisis de causa raíz es capaz de prever la posibilidad de un suceso, incluso antes de que pudiera ocurrir. (Flores Zavala, s.f.)

Por otra parte, la probabilidad de que un evento o sucede redundara correspondería de ser mínimo al ser analizado correctamente. Las medidas correctivas de las causas de un proceso, se espera que sea de probabilidad mínima de repetición. Lamentablemente para los intereses de los involucrados, la prevención total de la recurrencia o suceso no es siempre posible en una sola intervención. (Flores Zavala, s.f.)

El análisis causa raíz, en ocasiones se considera como un proceso interactivo, siendo utilizado como una herramienta de mejora continua (Plan, hacer, ejecutar, evaluar) indistintamente utilizado en procesos de producción y gestión (Videojet Uptime Peace of Mind, (s/f)).

En una organización es importante la resolución de problemas, la investigación de incidentes y otros inconvenientes que afectan a la organización, por lo que el análisis de causa raíz es fundamental para los intereses de los implicados, por tanto, es necesario tener presente las siguientes tres preguntas básicas:

¿Cuál es el problema?

¿Por qué ocurrió?

¿Qué acciones seguir para prevenirlo? (Flores Zavala, s.f.)

2.2.4. Etapas del proceso

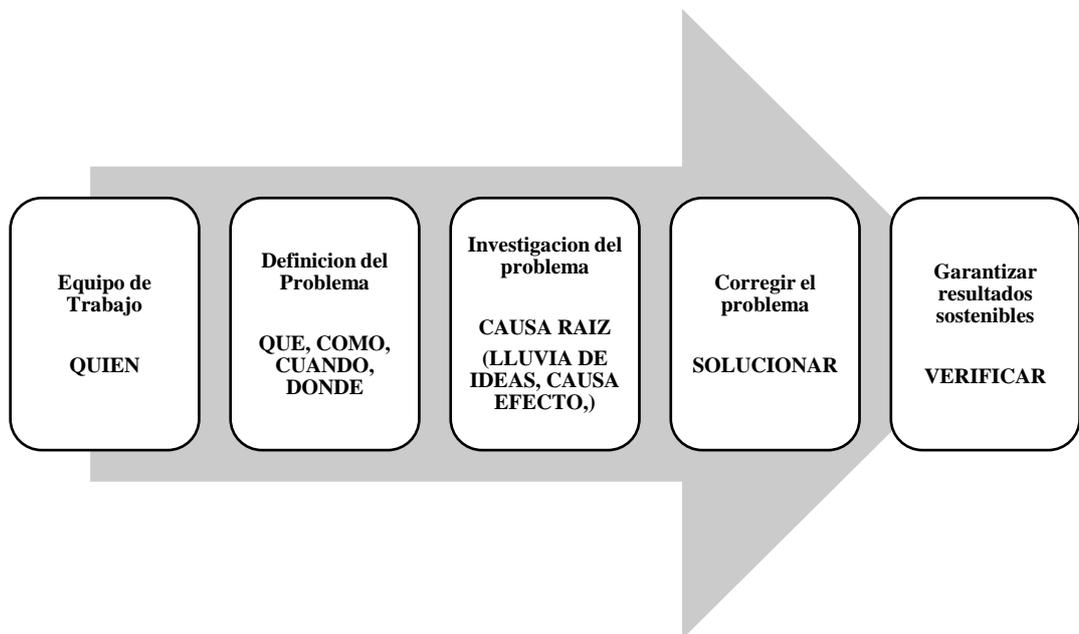
El proceso de análisis causa raíz se muestra en la figura 3, referidos a:

- Conformación del equipo de trabajo.

- Definición del problema
- Investigación del problema
- Corregir el problema

Carrasco y Vega (2011) destacan en su estudio que, “los riesgos laborales más frecuentes, son la exposición a polvo en suspensión y la exposición al ruido”.

Figura 3: Proceso de análisis causa raíz



Fuente: Henry Freyre – Espol

2.2.5. Mantenimiento preventivo

De acuerdo con Vidal (2021); “El mantenimiento preventivo es la revisión de los aparatos, evitando los posibles inconvenientes del equipo y previniendo las incidencias antes de que ocurran (pág. 2).

En otro momento se indica que “El mantenimiento preventivo es adelantarse a las posibles averías que podrían ocurrir” (Order, s.f.).

De acuerdo con (Order, s.f.), existen tres tipos de mantenimiento preventivo y los cuales forman un plan de mantenimiento, siendo estos:

- **Mantenimiento programado:** Ejecutado por tiempo, kilómetros u horas de funcionamiento.
- **Mantenimiento predictivo:** Ejecutado al final del período estimado máximo de utilización.
- **Mantenimiento de oportunidad:** Orientado al período de no utilización del equipo, generando el mantenimiento y evitar cortes de producción.

Además, dependiendo del tipo de servicio y equipo al que realizar el mantenimiento también podemos contemplar:

- **Mantenimiento pasivo:** Aplicando medidas de mantenimiento pasivo a nuestro plan de mantenimiento, generando seguridad al equipo, permitiendo que su operación se presente en condiciones físicas excelentes, evitando factores externos cómo desgaste por condiciones meteorológicas o por manipulaciones intencionadas/accidentales.
- **Mantenimiento activo:** Dependiendo de la calidad y tipo de componente a realizar el mantenimiento preventivo, se supervisará de manera más asidua el desgaste de los mismos debido al uso.

2.3. Definición de Términos Básicos

- **Acción:** Efecto que causa un agente (físico, químico, humano, etc.) sobre algo.
- **Activo:** Término contable que tiene un valor, un ciclo de vida y generando un flujo de caja.
- **Barrera:** Dispositivo físico utilizado para reducir el riesgo del resultado no deseado a un nivel aceptable.
- **Causa:** Evento o condición que resulta en un efecto.

- **Consecuencia:** Resultado de un evento, pudiendo existir una o más consecuencias de un evento.
- **Condición:** Estado que se encuentre ya sea motivado o no por un evento, que puede tener la seguridad operacional.
- **Defecto:** Causa de una falla, desalineamiento, mal ajuste o falla oculta.
- **Disponibilidad:** Medida del grado por el cual un ítem está en un estado operable y confiable en el inicio de una función, cuando la función es solicitada en cualquier momento (aleatorio), distinguidos por disponibilidad inherente y operacional.

2.4. Formulación de hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

El diseño de un programa de análisis causa raíz a los rodamientos del circuito de flotación influirá significativamente para el mantenimiento preventivo en la planta concentradora Mallay – Oyón – 2023.

2.4.2. Hipótesis específicas

OE1: La jerarquización de los problemas frecuentes a los rodamientos al circuito de flotación influirá para el mantenimiento preventivo en la planta concentradora Mallay – Oyón – 2023.

OE2: El análisis causa raíz a los rodamientos al circuito de flotación influirá para el mantenimiento preventivo en la planta concentradora Mallay – Oyón – 2023.

OE3: La selección de acciones correctivas a los rodamientos al circuito de flotación influirá para el mantenimiento preventivo en la planta concentradora Mallay – Oyón – 2023.

2.5. Identificación de Variables

2.5.1. Variable independiente

- Análisis causa raíz

2.5.2. Variable dependientel

- Mantenimiento preventivo

2.6. Definición Operacional de variables e indicadores

Tabla 1: Matriz de operacionalización de la variable independiente

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Variable independiente Análisis Causa Raíz	Es un método de resolución de problemas dirigido a identificar sus causas o acontecimientos.	Es un enfoque reactivo para detectar y resolver problemas. Esto significa que el análisis se realiza después de que haya ocurrido el evento.	Jerarquización de problemas	Seguridad
				Población
				Ambiente
				Producción
			Análisis causa raíz	Diagnóstico
				Inspección sensorial
				Causas
				Análisis del árbol de fallas
			Acciones correctivas	Determinar responsabilidades

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2: Matriz de operacionalización de la variable dependiente

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Variable Dependiente Mantenimiento preventivo	Es la intromisión de la máquina para la conservarse mediante la realización de una reparación que garantizar su funcionamiento y confiabilidad, antes de que ocurra una falla.	Variable que manifiesta el control de las actividades de mantenimiento, a través de la identificación de sistemas, determinación de errores, dar prioridad de necesidades y selección de tareas.	Aumento de la confiabilidad	Reducción del periodo de tiempo de fallas

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

La tesis es de tipo aplicada. Se revisa el problema de las bombas, a través del análisis causa raíz, para proponer acciones encaminadas hacia un mantenimiento correctivo (Vera *et al*, 2018, pág. 14).

3.2. Nivel de investigación

Debido a la colección de datos y organización de la información, la presente investigación, es descriptiva – explicativa. Según Selltiz *et al* (2017), “la descripción, es la precisión de las características de un determinado individuo, situaciones o grupos con o sin especificación de hipótesis acerca de la naturaleza de tales características” (pág. 68).

3.3. Métodos de investigación

El método de investigación, es el hipotético-deductivo, porque se inicia de premisas generales para llegar a una conclusión particular.

3.4. Diseño de investigación

La tesis se caracteriza de un diseño no experimental, debido a que no existe manipulación en de las variables.

3.5. Población y Muestra

3.5.1 Población

La investigación tiene como población a las celdas de acondicionamiento y flotación de los circuitos de plomo y zinc que se encuentran instalados en la planta concentradora Mallay y son:

Tabla 3: Celdas de acondicionamiento y flotación instaladas en la planta concentradora

Proceso	Etapas	Cantidad	Equipo
Flotación Pb - Ag	Acondicionamiento	1	Tanque agitador 5' x 5'
	Rougher 1	1	Celda OK 3R
	Rougher 2	3	Celda OK 3R
	Scavenger	4	Celda OK 3R
	Cleaner 1	4	Celdas Sub A-24
	Cleaner 2	4	Celdas Sub A-24
	Cleaner 3	2	Celdas Sub A-18
Flotación Zn	Acondicionamiento	2	Tanques agitadores 6.5'x6.5'
	Rougher	4	Celdas OK-3R
	Scavenger	4	Celdas OK 3R
	Cleaner 1	4	Celdas Sub A-24
	Cleaner 2	4	Celdas Sub A-24
	Cleaner 3	4	Celdas Sub A-18
Total		41	

Fuente: Planta concentradora Mallay.

3.5.2 Muestra

Se desarrolló el muestreo intencional, considerando dos criterios:

- Muestreo de inclusión, representado por 14 celdas de flotación que tienen defectos en su funcionamiento.

- b. Muestreo de exclusión, integrado por 27 celdas de flotación que funcionan correctamente.

Las celdas de flotación con defectos fueron:

Tabla 4: Celdas de acondicionamiento y flotación con problemas de operación

Proceso	Etapas	Cantidad	Equipo
Flotación Pb - Ag	Acondicionamiento	1	Tanque agitador 5' x 5'
	Rougher 1	1	Celda OK 3R
	Scavenger	2	Celda OK 3R
	Cleaner 1	2	Celdas Sub A-24
Flotación Zn	Acondicionamiento	1	Tanques agitadores 6.5'x6.5'
	Rougher	1	Celdas OK-3R
	Scavenger	2	Celdas OK 3R
	Cleaner 1	1	Celdas Sub A-24
	Cleaner 2	2	Celdas Sub A-24
	Cleaner 3	1	Celdas Sub A-18
Total		14	

Fuente: Planta concentradora Mallay.

A diferencia de las técnicas de muestreo probabilístico, el muestreo intencional no requiere pasar por una lista de verificación para poderle dar acceso a los miembros o a una población a ser parte de la muestra. En este caso, la recopilación de información y de datos críticos es mucho más simple, práctico y aplicable a una población pequeña.

3.6. Técnicas e Instrumentos Recolección de datos

3.6.1 Técnicas de recolección de datos

Las técnicas de recolección de datos utilizada en esta investigación es la observación, la cual “se define como el proceso sistemático de obtención, recopilación y registro de datos empíricos de un objeto, un suceso, un acontecimiento o conducta humana con el propósito de procesarlo y convertirlo en información” (Carrasco, 2017, p. 282).

También, se hizo la encuesta para obtener información de los trabajadores del área de bombeo de la planta. Con respecto a eso, como lo señala Carrasco (2017), es una técnica que permite “la indagación, exploración y recolección de datos, mediante preguntas formuladas directa o indirectamente a los sujetos que constituyen la unidad de análisis del estudio investigativo” (p. 314).

3.6.2 Instrumentos de recolección de datos

Según las técnicas empleadas en la presente investigación, se utilizó los siguientes instrumentos:

Para la encuesta, se acudió a un cuestionario (ver anexo). En lo cual se presentó “a los encuestados unas hojas o pliegos de papel (instrumentos), conteniendo una serie ordenada y coherente de preguntas formuladas con claridad, precisión y objetividad, para que sean resueltas de igual modo” (Carrasco, 2017, p. 318).

Para el cuestionario se utilizó la escala de Likert.

3.6.3. Escala de medición de la variable

En el cuadernillo de observación se utilizó la escala de medición nominal, esta tiene variables categóricas que se identifican por atributos o cualidades. Las variables de este tipo nombran e identifican distintas categorías: sabe, puede, quiere.

3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación

Para obtener la aprobación o desaprobación de cada celda de flotación se planteó una matriz de 5 pasos (por qué) para aprobar o desaprobar y la respuesta era la siguiente:

Si = 1

No = 0

Por eso, al ser de tipo dicotómica se evaluó con el índice de confiabilidad de Kuder Richardson 20 este índice tiene valores de 0 a 1.

$$KR20 = \frac{K}{K - 1} - \frac{S_t^2 - \sum p * q}{S_t^2} \quad (1)$$

Tabla 5: Confiabilidad de la evaluación muestral mediante KR20

Nº.	Equipo a evaluar	1er porque		2do porque		3er porque		4to porque		5to porque		Suma
		SI	NO									
1	Tanque agitador 5' x 5	1				1		1				3
2	Celda OK 3R			1		1		1		1		4
3	Celda OK 3R	1								1		1
4	Celda OK 3R	1		1						1		3
5	Celdas Sub A-24			1		1		1		1		4
6	Celdas Sub A-24	1				1		1				3
7	Tanques agitadores 6.5x 6.5			1		1		1		1		4
8	Celdas OK – 3R	1										1
9	Celdas OK – 3R	1		1						1		3
10	Celdas OK – 3R			1		1		1		1		4
11	Celdas Sub A-24			1		1		1		1		4
12	Celdas Sub A-24	1										1
13	Celdas Sub A-24	1		1						1		3
14	Celdas Sub A-18			1		1		1		1		4
											Sum Pro.	42 3
	P	0.5										
	Q		0.5									
	P*q	0.25		1.25								

Elaboración propia

K= número de celdas examinadas	14
Varianza obtenida de puntuación de cada celda	1,5
p = proporción de aceptación	0,5
q = proporción de no aceptación	0,5
$\sum p*q$	1,25
KR20 =	0,9103

El valor alcanzado es de **0,9103**, indicando que el instrumento es excelente.

3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

El procesamiento de datos se ejecutó bajo el análisis causa raíz, examinando la parte física de las celdas de acondicionamiento y flotación, el agente humano y la gestión logística, recurriendo para tal hecho a la colaboración

de técnicos y operadores de la planta concentradora, cuyos resultados se indican en la tabla 6.

Tabla 6: Problemas y causas

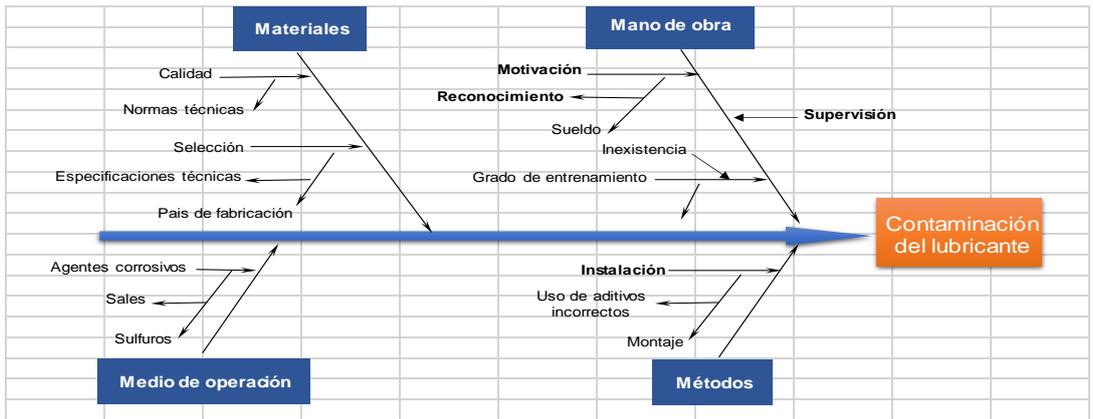
N°	Etapa de operación	Equipo	Criticidad	Causas
1	Acondicionamiento	Tanque agitador 5´x 5	1	Contaminación de lubricante
2	Rougher 1	Celda OK 2R	2	Lubricación
3	Scavenger	Celda OK 2R	2	Lubricación
4	Scavenger	Celda OK 2R	3	Erosión Eléctrica
5	Cleaner 1	Celdas Sub A-24	3	Corrosión con Humedad
6	Cleaner 1	Celdas Sub A-24	3	Desalineación
7	Acondicionamiento	Tanques agitadores 6.5 x 6.5	3	Falso Brinell
8	Rougher	Celda OK 3R	3	Montaje inadecuado (Sobrecargas)
9	Scavenger	Celda OK 3R	3	Montaje inadecuado (sobrecalentamiento)
10	Scavenger	Celda OK 3R	2	Erosión eléctrica
11	Cleaner 1	Celdas Sub A-24	2	Corrosión por rozamiento
12	Cleaner 1	Celdas Sub A-24	2	Corrosión por rozamiento
13	Cleaner 1	Celdas Sub A-24	3	Montaje inadecuado
14	Cleaner 1	Celdas Sub A-18	3	Montaje Inadecuado

Elaboración propia

Para ejecutar el análisis del problema se utilizó el diagrama de Ishikawa.

La figura 4 presenta el Análisis de la celda de acondicionamiento de plomo 5´x 5´, donde las causas son los materiales, mano de obra, medio de operación y métodos y el efecto es la contaminación del lubricante.

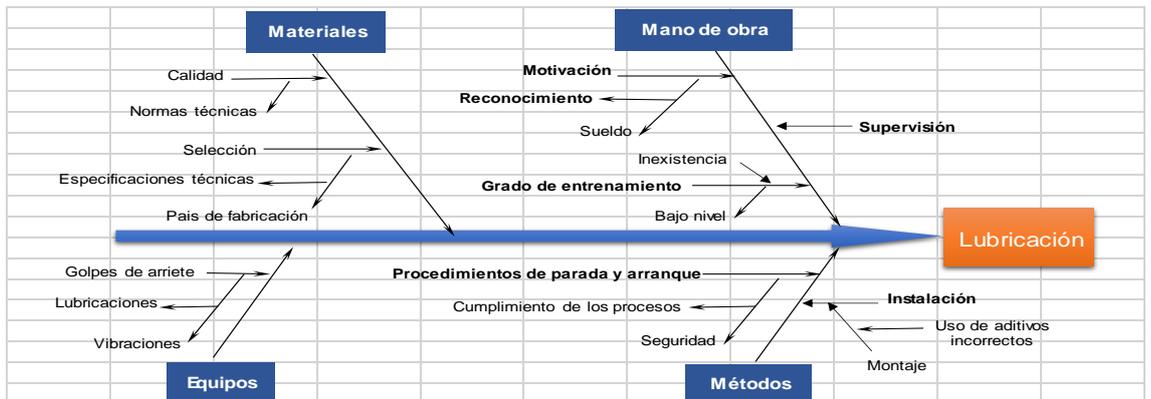
Figura 4: Análisis de la celda de acondicionamiento de plomo 5'x 5'



Fuente: Elaboración propia.

La figura 5 presenta el Análisis de la celda OK 3R del circuito Rougher de plomo, siendo las causas los materiales, mano de obra, equipos y métodos y el efecto la lubricación.

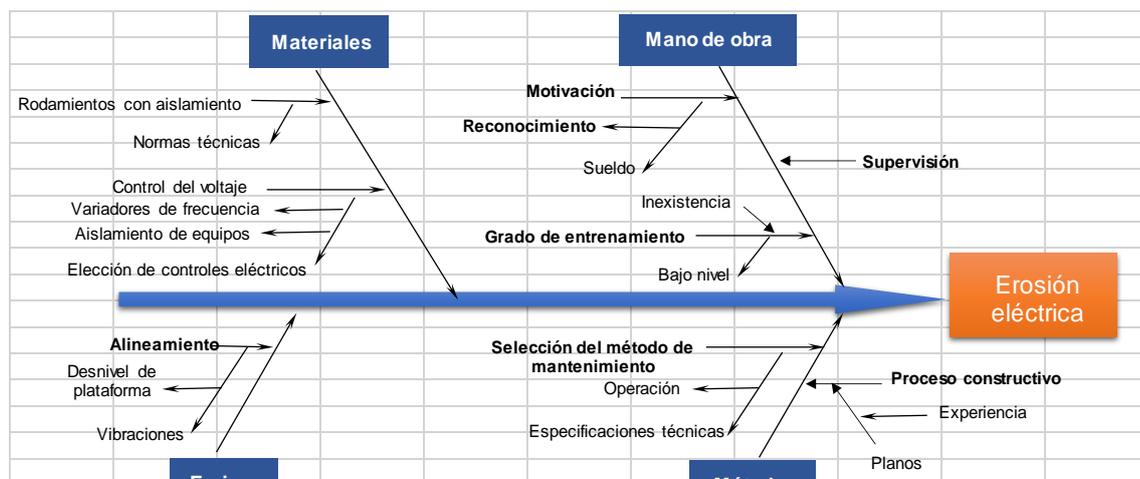
Figura 5: Análisis de la celda OK 3R del circuito Rougher de plomo



Fuente: Elaboración propia.

La figura 6 presenta el Análisis de la celda OK 3R del circuito Scavenger de plomo, siendo las causas los materiales, mano de obra, equipos y métodos y el efecto la erosión eléctrica.

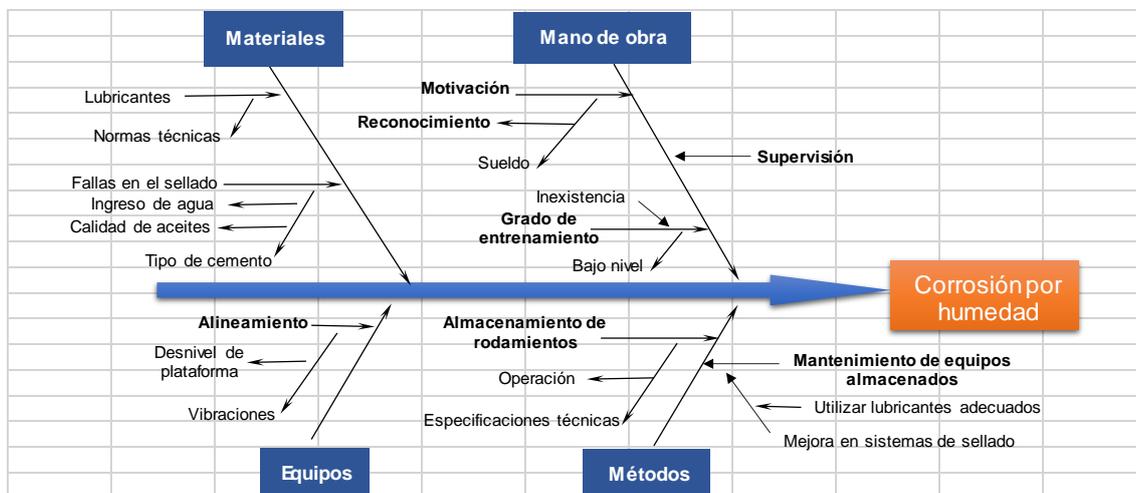
Figura 6: Análisis de la celda OK 3R del circuito Scavenger de plomo



Fuente: Elaboración propia.

La figura 7 presenta el Análisis de la celda Sub A-24 del circuito Cleaner de plomo, siendo las causas los materiales, mano de obra, equipos y métodos y el efecto la corrosión por humedad.

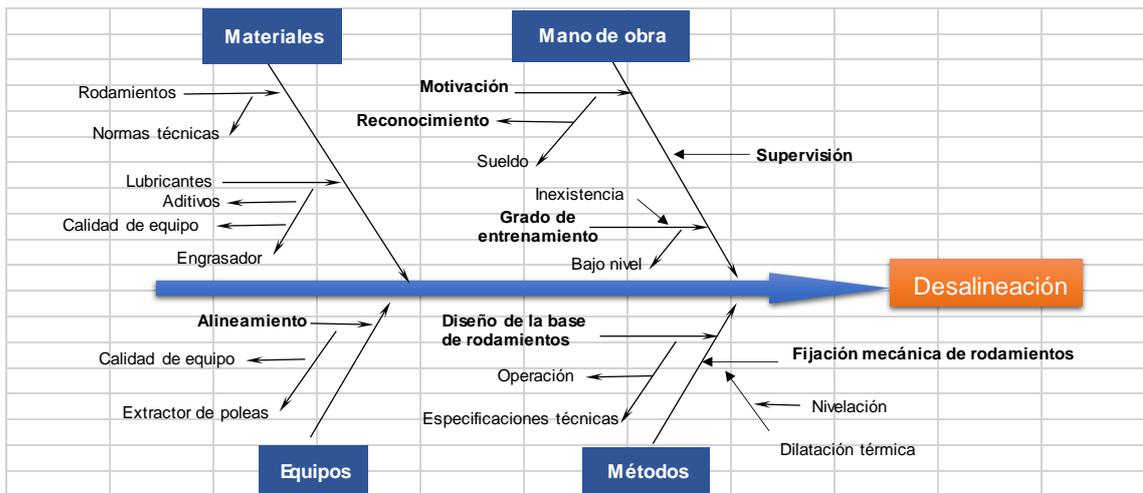
Figura 7: Análisis de la celda Sub A-24 del circuito Cleaner de plomo



Fuente: Elaboración propia.

La figura 8 presenta el Análisis de la celda Sub A-24 del circuito Cleaner de plomo, siendo las causas los materiales, mano de obra, equipos y métodos y el efecto la desalineación.

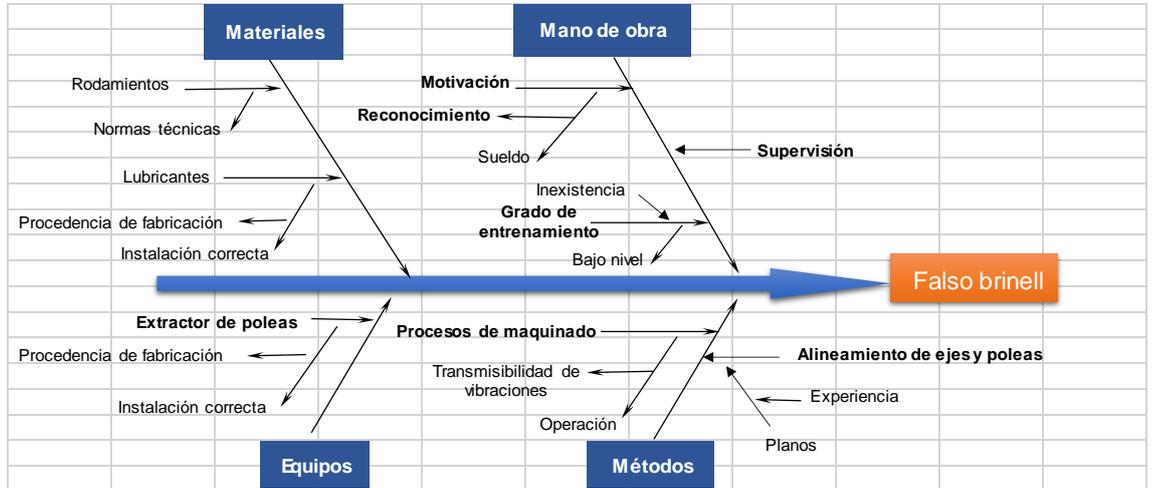
Figura 8: Análisis de la celda Sub A-24 del circuito Cleaner de plomo



Fuente: Elaboración propia.

La figura 9 presenta el Análisis de la celda de acondicionamiento de zinc 6,5' x 6,5', siendo las causas los materiales, mano de obra, equipos y métodos y el efecto el falso brinell.

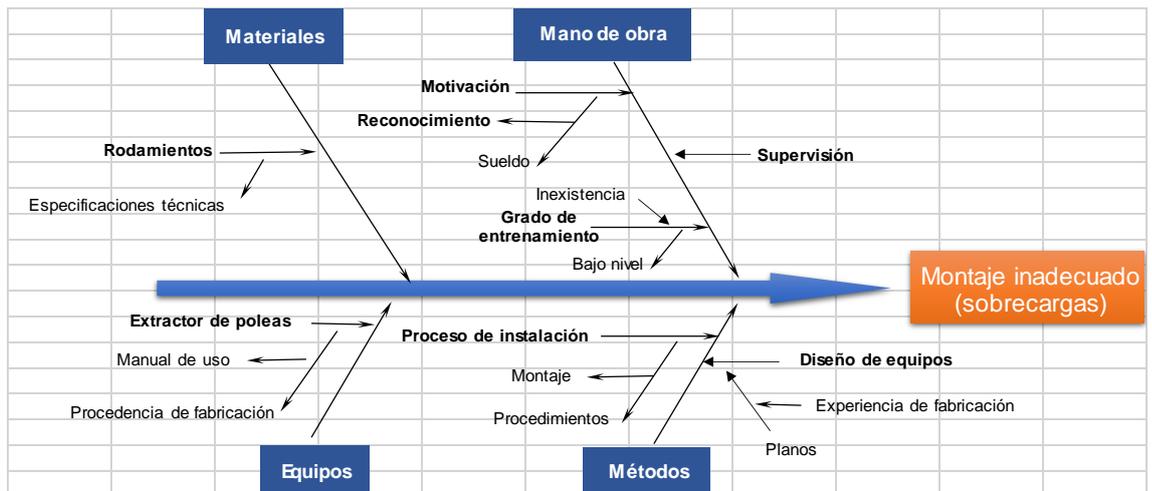
Figura 9: Análisis de la celda de acondicionamiento de zinc 6,5' x 6,5'



Fuente: Elaboración propia.

La figura 10 presenta el Análisis de la celda OK 3R del circuito Rougher de zinc, siendo las causas los materiales, mano de obra, equipos y métodos y el efecto el montaje inadecuado (sobrecargas).

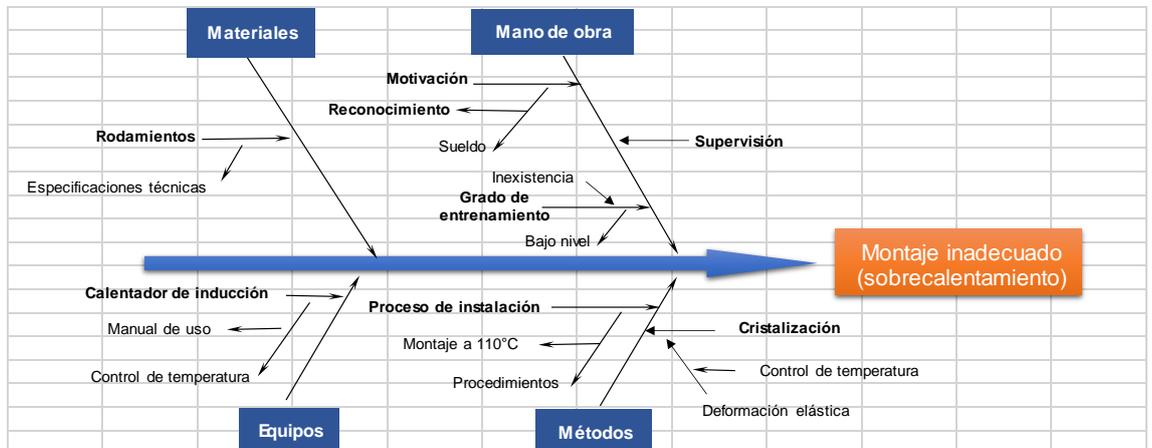
Figura 10: Análisis de la celda OK 3R del circuito Rougher de zinc



Fuente: Elaboración propia.

La figura 11 presenta el Análisis de la celda OK 3R del circuito Scavenger de zinc, siendo las causas los materiales, mano de obra, equipos y métodos y el efecto el montaje inadecuado (sobrecalentamiento).

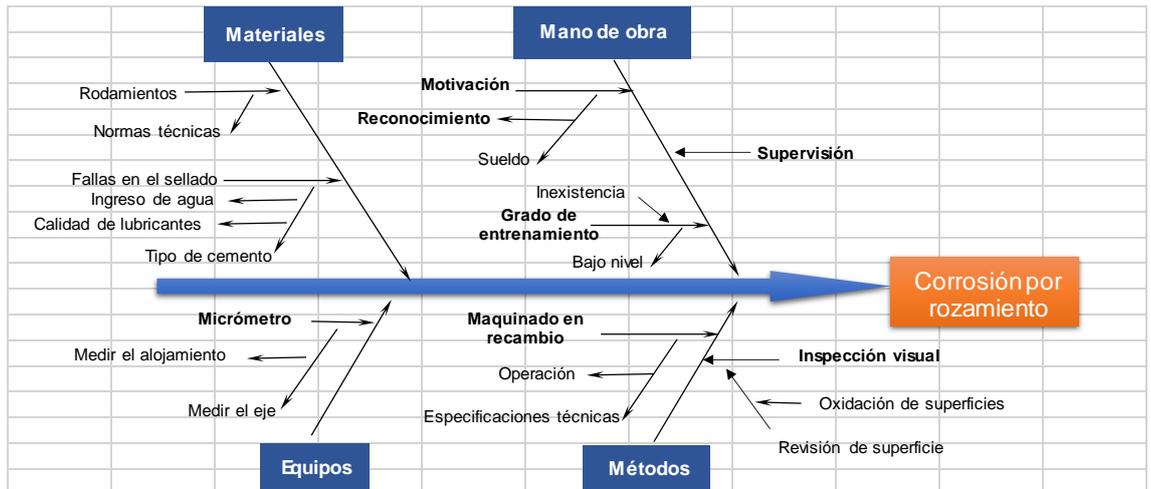
Figura 11: Análisis de la celda OK 3R del circuito Scavenger de zinc



Fuente: Elaboración propia.

La figura 12 presenta el Análisis de la celda Sub A-24 de circuito Cleaner de zinc, siendo las causas los materiales, mano de obra, equipos y métodos y el efecto la corrosión por rozamiento.

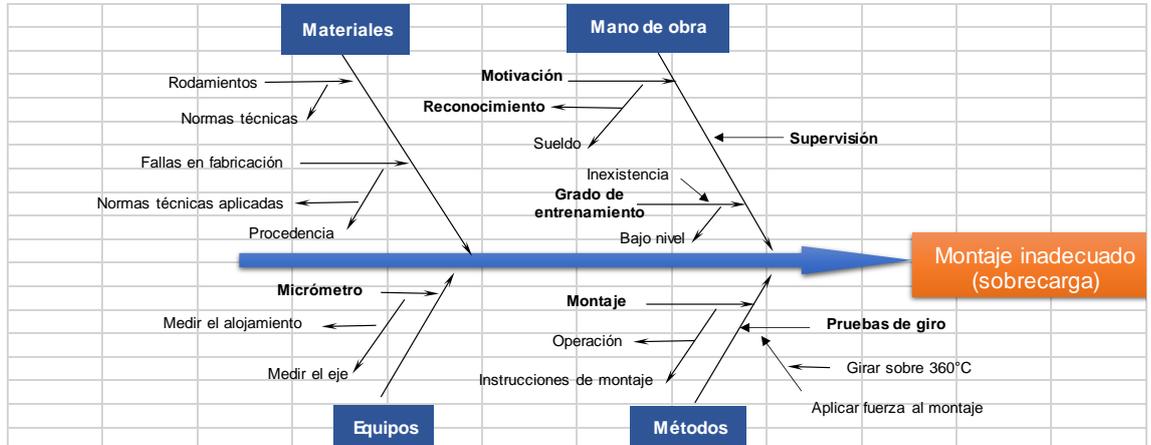
Figura 12: Análisis de la celda Sub A-24 de circuito Cleaner de zinc



Fuente: Elaboración propia.

La figura 13 presenta el Análisis de la celda Sub A-18 del circuito Cleaner de zinc, siendo las causas los materiales, mano de obra, equipos y métodos y el efecto el montaje inadecuado (sobrecarga).

Figura 13: Análisis de la celda Sub A-18 del circuito Cleaner de zinc



Fuente: Elaboración propia.

3.9. Tratamiento estadístico

La investigación tiene un enfoque cuantitativo, donde los resultados indican la descripción de tablas y gráficos, resultado de la experiencia de profesionales que compartieron sus conocimientos en el manejo y funcionamiento de las celdas de flotación, complementado a los conceptos

teóricos extraídos de libros y catálogos; se apeló a la utilización del Software Excel para el diseño de las tablas y gráficos expuestos.

3.10. Orientación ética filosófica y epistémica

En cumplimiento del respeto de los participantes, la presente investigación, planea el cumplimiento de los siguientes principios bioéticos.

Principio de Autonomía: Definido como la capacidad de autodeterminación, de actuar libremente y conscientemente, sin condicionantes externos. Los participantes fueron libres y no coaccionadas; teniendo la potestad de abandonar el estudio, si así lo decidiera.

Principio de Beneficencia: La beneficencia indica beneficio y no caridad. La investigación sirve de utilidad para la empresa ya que el diagnóstico del estado actual y la propuesta planteada ayudará a los involucrados.

Principio de no maleficencia: En cualquier circunstancia no podemos hacer un bien debemos, al menos, no hacer un mal. La presente investigación no causa daño o perjuicio, pues en todo momento se ha guardado la confidencialidad de los encuestados.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo

El trabajo de campo se realizó con la observación rigurosa del funcionamiento de los ejes de las celdas de flotación en la planta concentradora; regularmente, se presenta algún problema en el funcionamiento por sobrecarga. Los trabajadores tienen dos opciones: añadir agua al dosificador hasta diluir la densidad de la pulpa o realizar paradas intempestivas para su revisión y corrección si las circunstancias ameritan. En la mayoría de los casos los problemas mecánicos se reparan cuando se programa el mantenimiento de planta, donde la empresa especialista solo dispone de 48 horas para el mantenimiento de toda la planta y durante este periodo se realizan los cambios más importantes como: chaquetas de molinos, carcasa de las chancadoras, alineamiento de poleas, entre otros, dejando el circuitos de flotación cuando tenga problemas visibles para detenerse y realizar una revisión exhaustiva para la continuidad de las operaciones.

En algún momento se observó que los problemas empeoraron debido a operaciones defectuosas, recurriendo al análisis con la intervención de los responsables directos y la empresa especializada, para orientar una posible solución a los equipos.

4.2. Presentación, Análisis e interpretación de Resultados

El análisis e interpretación de los problemas encontrados las celdas de acondicionamiento y flotación se realizó basándose en la técnica de los 5 porqués, los cuales se expresan en las tablas 7,8, 9 y 10:

Comentario: Para el desarrollo de la tabla 7, se procedió a recibir opiniones del personal de producción, de la empresa especializada en realizar el mantenimiento programado, personal de logística e ingenieros. En la fecha indicada para realizar el mantenimiento programado y viendo que los problemas persistían se decidió desarmar en su totalidad, y cada etapa conducía a opinar el porqué del deterioro llegando a determinar el origen de la causa en la quinta etapa.

Luego del análisis, se programó la reparación de los equipos en la parada programadas de mantenimiento, con el reemplazo de repuestos e insumos adecuados.

Tabla 7:5 porqués

Nº	Equipo (Lugar del Problema)	1er porque	2do. porque	3er porque	4to porque	5 porque	¿Descubrió la raíz del problema?	¿Problema Resuelto?
1	Tanque agitador 5'x 5	Contaminación de lubricante	Daño en engranajes	Daño en sellos	Contaminación por partículas	Error en la selección de rodamiento	Si	Si
2	Celda OK 3R	Lubricación	Defecto en sellos	Lubricante insuficiente	Reemplazo de rodamiento fuera de especificación	Error en la selección de rodamiento	Si	Si
3	Celda OK 3R	Lubricación	Caída constante de agua	Lubricante inadecuado	Error en la selección de sellos y empaquetaduras	Deterioro acelerado de las juntas, empaquetaduras y los sellos mecánicos	Si	Si
4	Celda OK 3R	Erosión Eléctrica	Calentamiento del motor	Vibración observable	Mala alineación de los ejes	Montaje defectuoso	Si	Si
5	Celdas Sub A-24	Corrosión con Humedad	Desnivel en la plataforma	Carga portante del concreto inferior a especificaciones	Alta corrosión de concreto y estructura metálica por sales	Diseño de mezcla de concreto, erróneo y geometría de la base	Si	Si
6	Celdas Sub A-24	Desalineación	No mantener colinealidad entre equipos	Esfuerzos provocan sobrecarga	Fijar mecánicamente ambos rodamientos	Rigidez no permite dilatación axial por crecimiento térmico	Si	Si
7	Tanques agitadores 6.5x 6.5	Falso Brinell	Vibración entre elementos rodantes	Transporte inadecuado	Almacenamiento incorrecto	Transmisibilidad de vibraciones	Si	Si
8	Celdas OK – 3R	Montaje inadecuado (Sobrecargas)	Elemento rodante más duro que aros	Impacto axial por sobrecarga	Produce rayaduras y cráteres	Perdida de holgura en alveolos de jaula	Si	Si
9	Celdas OK – 3R	Montaje inadecuado (sobrecalentamiento)	Calentamiento a más de 125°C	Deformación elástica por calentamiento	Nueva cristalización por calentamiento provoca fracturas	Falta de capacitación al personal de mantenimiento	Si	Si
10	Celdas OK – 3R	Erosión eléctrica	Paso de corriente al rodamiento	Voltaje excesivo	Las celdas funcionan con variadores de frecuencia	Perdida de aislamiento en conexiones	Si	Si
11	Celdas Sub A-24	Corrosión por rozamiento	Maquinado no adecuado de superficies	Fijar rodamientos sin considerar la dilatación axial	En recambio no medir el eje y alojamiento	No considerar tolerancias de maquinado	Si	Si
12	Celdas Sub A-24	Corrosión por rozamiento	Maquinado no adecuado de superficies	Diferencia de dureza entre elemento rodante y aros	Control de rotación del rodamiento en el montaje	No considerar tolerancias de maquinado	Si	Si
13	Celdas Sub A-24	Montaje inadecuado	Rodamiento montado en frío con métodos inadecuados	Diferencia de dureza entre elemento rodante y aros	Control de rotación del rodamiento en el montaje	Falta de capacitación al personal de mantenimiento	Si	Si
14	Celdas Sub A-18	Montaje Inadecuado	Rodamiento montado en frío con métodos inadecuados	Diferencia de dureza entre elemento rodante y aros	Control de rotación del rodamiento en el montaje	Falta de capacitación al personal de mantenimiento	Si	Si

Elaboración propia

Comentario: La tabla 8, indica el conocimiento de los rodamientos defectuosos de las celdas de flotación, informando a la empresa, se proyectó la fecha de cambio de los repuestos otorgándole una calificación al estado de los rodamientos a través de sus defectos en la operación. Cabe notar que a esto se sumó las dificultades propias de logística para la obtención de repuestos de fabricación norteamericana y no compatibles, que permitieron realizar un trabajo óptimo teniendo como resultado el funcionamiento correcto de los árboles de agitación.

Tabla 8: Acciones correctivas

N°	Equipo (Lugar del Problema)	Acción correctiva	Fecha de inicio	Fecha de finalización	Estatus
1	Tanque agitador 5'x 5	Cambio de rodamientos adecuados	11/09/2023	12/09/2023	Terminado
2	Celda OK 3R	Cambio de rodamientos adecuados	5/11/2023	6/11/2023	Terminado con retraso
3	Celda OK 3R	Reemplazo de sellos mecánicos adecuados	19/11/23	20/11/2023	Retrasado
4	Celda OK 3R	Aplicación de resinas sintéticas para reducir la vibración	19/12/2023	20/12/2023	Retrasado
5	Celdas Sub A-24	Reemplazo con rodamientos de SKF de fabricación USA	5/11/2023	6/11/2023	Terminado con retraso
6	Celdas Sub A-24	Cambio de rodamientos adecuados	11/09/2023	12/09/2023	Terminado
7	Tanques agitadores 6.5x 6.5	Cambio de rodamientos adecuados	5/11/2023	6/11/2023	Terminado con retraso
8	Celdas OK – 3R	Reemplazo de sellos mecánicos adecuados	19/12/2023	20/12/2023	Retrasado
9	Celdas OK – 3R	Aplicación de resinas sintéticas para reducir la vibración	19/12/2023	20/12/2023	Retrasado
10	Celdas OK – 3R	Reemplazo con rodamientos de SKF de fabricación USA	5/11/2023	6/11/2023	Terminado con retraso
11	Celdas Sub A-24	Cambio de rodamientos adecuados	11/09/2023	12/09/2023	Terminado
12	Celdas Sub A-24	Cambio de rodamientos adecuados	5/11/2023	6/11/2023	Terminado con retraso
13	Celdas Sub A-24	Reemplazo de sellos mecánicos adecuados	19/12/2023	20/12/2023	Retrasado
14	Celdas Sub A-18	Aplicación de resinas sintéticas para reducir la vibración	19/12/2023	20/12/2023	Retrasado

Fuente: Elaboración propia.

Comentario: La tabla 9 indica la programación del mantenimiento correctivo en las paradas de los meses de setiembre, noviembre y diciembre del 2023.

Tabla 9: Informes 2023

Estatus	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Agos.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Total
No se ha iniciado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Terminado	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0	3
Terminado con retraso	0	0	0	1	0	0	2	0	2	0	5
Retrasado	0	0	0	2	0	0	2	0	0	2	6
Total	0	0	0	3	0	0	5	0	4	2	14

Elaboración propia

Comentario: La tabla 10 indica las acciones correctivas presentes en los meses de diciembre, noviembre y setiembre

Tabla 10: Acciones correctivas 2023

Análisis mensual de acciones	Acciones correctivas
Diciembre	2
Noviembre	4
Octubre	0
Setiembre	5
Agosto	0
Julio	0
Junio	3
Mayo	0
Abril	0
Marzo	0
Total	14

Fuente: Elaboración propia.

Comentario: La figura 14 indica la distribución cuantitativa de las acciones correctivas presentes durante el año 2023, presentes principalmente entre los meses de setiembre, noviembre y diciembre.

Figura 14: Acciones correctivas 2023



Fuente: Elaboración propia.

4.3. Prueba de Hipótesis

4.3.1 Hipótesis general

El diseño de un programa de análisis causa raíz a los rodamientos del circuito de flotación influirá significativamente para el mantenimiento preventivo en la planta concentradora Mallay – Oyón – 2023.

4.4. Discusión de Resultados

Para presentar los resultados correspondientes, se realizó un diagnóstico utilizando los catálogos de cada equipo, con la participación de los trabajadores y personal de mantenimiento de la empresa especializada. Para determinar la verdadera causa de los problemas se recurrió a la utilización de la técnica de “los 5 porqués”, donde el análisis indica reemplazar y/o corregir la sección desgastada de los rodamientos, tal como se muestra en las tablas 6 y 7.

Zúñiga (2016), demuestro que gestionar los análisis causa raíz es una parte crítica de la metodología, sirve de historial, y a su vez muestra una forma

sería de abordar las problemáticas que se suscitan en la empresa. “Una buena gestión demuestra la calidad de profesionales que realizan el análisis”.

Retamal (2018), propone “la creación de un plan de mantenimiento que eviten estos hechos, es decir, cumplir con los tiempos de reparación establecidos por contrato y disminuir los costos asociados al mantenimiento por equipo” (Pág. 87).

El resultado de las entrevistas, concluyo en tablas que muestran los criterios de ponderación según la matriz de aplicación y el nivel de criticidad.

La matriz de criticidad evaluó los siguientes factores:

- Cantidad de fallas ocurridas
- Tiempo promedio fuera de servicio
- Disponibilidad de repuestos en el periodo evaluado
- Cumplimiento de mantenimiento preventivo
- Efectividad
- Backlog
- Tipo de conexión
- Seguridad industrial e higiene ocupacional
- Valor de producción

Examinando los antecedentes se asevera que es necesario establecer un registro histórico confiable de fallas de cada equipo, concibiendo que entre uno y otro equipo por diversos factores los deterioros se dan en diferentes partes y en este caso los rodamientos de las celdas de flotación son las piezas más importantes para el proceso de separación del concentrado.

CONCLUSIONES

La planta concentradora Mallay – Oyón, presenta 41 celdas instaladas que sirven para el acondicionamiento y flotación de plomo y zinc en circuito cerrado; donde el año 2023 se ha presentado continuos defectos en su funcionamiento en 14 celdas instaladas, siendo en ellos necesarios realizar un cuidadoso análisis y el mantenimiento correspondiente.

El método del análisis de causa raíz indico las deficiencias y las correcciones que se deberían tener presente durante el año, para nuestro caso la planificación de fechas fue muy importante, además el análisis de los “5 porqués”, identificaron en mejorar los daños en el engranaje, mejorar el desnivel en la plataforma, fijar los rodamientos, etc.

A través del análisis de causa raíz pudimos evaluar secuencialmente los daños ocurridos en los rodamientos, diagnosticar las fallas, reemplazarlos con repuestos originales y preservar el historial para eventos posteriores.

RECOMENDACIONES

Si bien el tiempo de mantenimiento esperado durante el mantenimiento es muy corto, es necesario prestar atención a las partes clave del equipo que causan problemas operativos, utilizando diversas técnicas de análisis cualitativo para la reparación final.

Realizar una evaluación técnica y económica de la reparación de cada dispositivo, sabiendo que, si los defectos no se corrigen a tiempo, será costosa y perjudicial.

Asumir especial cuidado con los circuitos eléctricos al limpiar con agua a alta presión, ya que pueden producir cortocircuitos; igualmente tener cuidado con los rodamientos a los que se les quita grasa y lubricante.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

Bibliografía básica

- Avila, R. (2008). *Metodología de la Investigación*. Lima: R.A.
- Bernal, C. (2016). *Metodología de la investigación*. Bogotá: Pearson.
- Bunge, M. (2008). *La Investigación Científica*. Barcelona - España: Ariel.
- Montgomery, D. (2007). *Diseño y Análisis de Experimentos*. México: Iberoamericana.
- Reyes Castañeda, P. (2009). *Diseño de Experimentos Aplicados*. México: Trillas.
- Taylor, S. y. (1989). *Introducción a los métodos cualitativos de investigación*. Barcelona: Paidós.
- Walpole, R. &. (2007). *Probabilidad y Estadística*. México: McGraw Hill.

Bibliografía especializada

- Alfaro, M. (2014). *El análisis causa raíz utilizado como herramienta en la evaluación de eventos no deseados en instalaciones de una refinería*. México D. F.: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Andia, M. (2018). *Optimización de transporte de mineral mediante sistema de bombeo*. Arequipa: Universidad Nacional San Agustín .
- ATR Contratista, S. (2008). *Gestión de Seguridad y salud*.
- Bernal, C. (2016). *Metodología de la investigación*. Bogotá: Pearson.
- Calidad, F. I. (2009). *Tormenta de ideas*. FUNDIBEQ.
- Calidad, F. I. (2019). *Diagrama Causa - Efecto*. FUNDIBEQ.
- Calidad, F. I. (2020). *Diagrama de Pareto*. FUNDIBEQ.

- García, O. (2005). *Análisis causa raíz, estrategia de confiabilidad operacional*. Reliability Word Latin América. Bogota: Univ. Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
- Harrington, J. (2016). *Mejoramiento de los procesos de la empresa*. Bogota: McGraw - Hill.
- Ishikawa, K. (1997). *¿Qué es control total de calidad?* Bogotá: Norma.
- Martinez, C. (2019). *Dimensionamiento y selección de un sistema de bombeo aplicado a una operación minera*. Piura: Universidad de Piura.
- METSO. (2001). *Conceptos básicos en bombas de pulpa*. Sweeden: Metso.
- Nacional, I. P. (2008). *Cálculo y selección del equipo de bombeo para el desalojo de aguas pluviales y residuales del fraccionamiento bosques del valle*. México D. F.: IPN.
- PEMEX. (2019). *Metodología de Análisis Causa Raíz*. México: Pemex.
- PEMEX. (23 de 07 de 2020). *aprendizajevirtual.pemex.com*.
- Retamal, s. (2018). *Propuesta de plan de mantenimiento para bombas centrífugas ubicadas en Anglo American Sur planta Las Tórtolas estación de rebombeo*. Viña del mar: Universidad Técnica Federico Santa María.
- RHEINLAND, T. (12 de 08 de 2020). *www.tuv.com/media/mexico/quienes_somos_1/boletines_systems/Boletin_tecnico_No_1*.
- Romero, J. (2013). *Diseño de un banco de pruebas para bombas de desplazamiento positivo*. Bogotá: Fundación Universidad de América.

- S.A., E. (2020). *Manual para la aplicación de la Metodología de Análisis de Causa Raíz para la solución de problemas*. Guayaquil: Interno.
- Selltiz, C. e. (2018). *Métodos de investigación en las relaciones sociales*. Madrid: Rialp S. A.
- Suarez, A. (2016). *Análisis causa raíz* . Sevilla: Escuela Tecnica Superior de Ingenieros.
- Taylor, S. y. (1989). *Introducción a los métodos cualitativos de investigación*. Barcelona: Paidós.
- Trejo, R. (2017). *Mejora de gestión de mantenimiento preventivo para incrementar la confiabilidad de bombas de concreto de la unidad negocio de bombas*. Lima: Universidad Tecnológica del Perú.

ANEXOS:

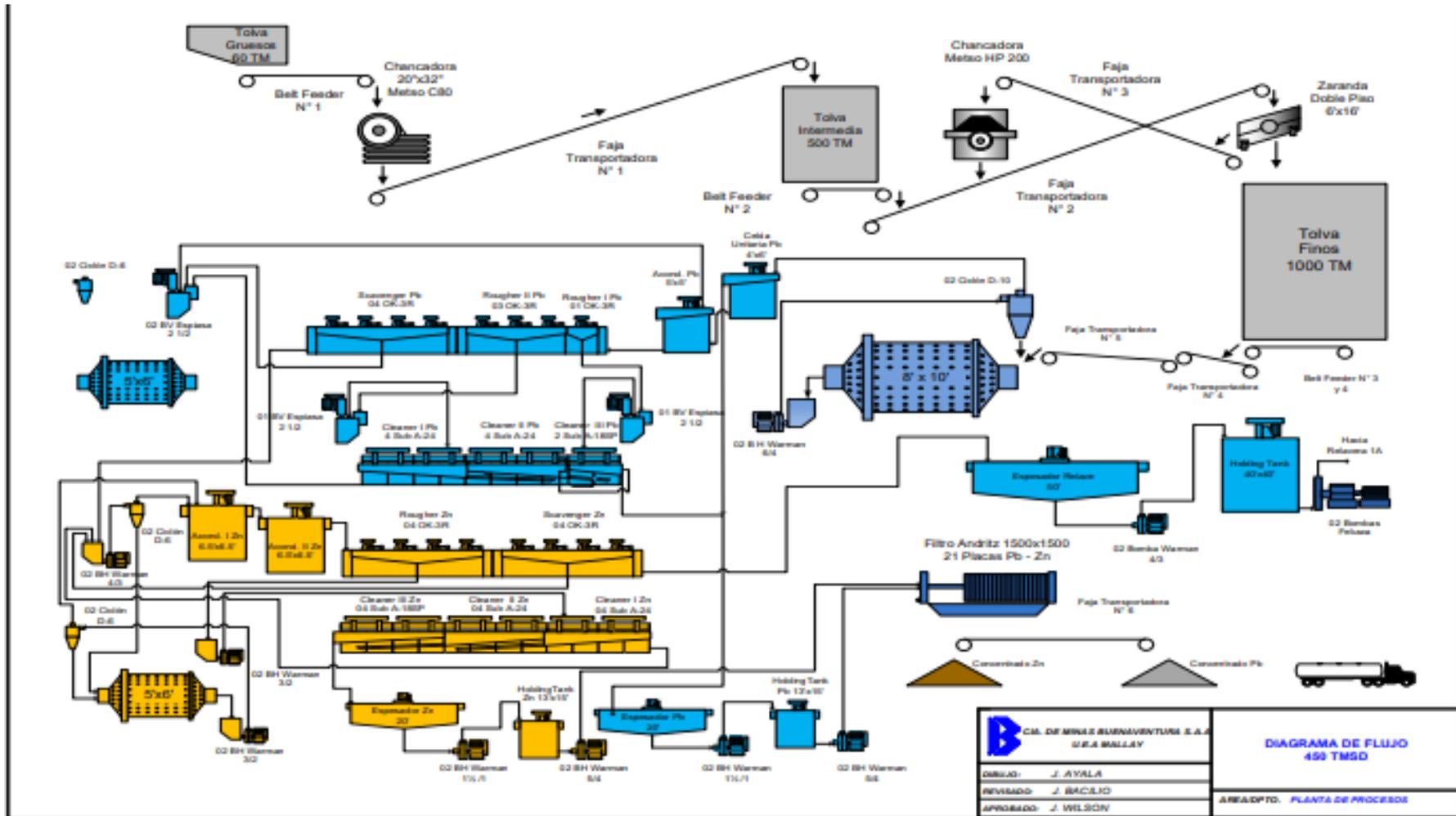
ANEXO 2: MATRIZ DE CONSISTENCIA

Análisis Causa Raíz a los rodamientos del circuito de flotación y su influencia en el mantenimiento preventivo en la planta concentradora Mallay – Oyón – 2023

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Indicadores
<p>General ¿Cómo influye el diseño de un programa de análisis causa raíz a los rodamientos del circuito de flotación para el mantenimiento preventivo en la planta concentradora Mallay – Oyón – 2023?</p>	<p>General Diseñar un programa de análisis causa raíz a los rodamientos del circuito de flotación para el mantenimiento preventivo en la planta concentradora Mallay – Oyón – 2023.</p>	<p>General El diseño de un programa de análisis causa raíz a los rodamientos del circuito de flotación influirá significativamente para el mantenimiento preventivo en la planta concentradora Mallay – Oyón – 2023.</p>	<p>Independiente Análisis causa raíz</p>	<p>Jerarquización de problemas</p>	<p>Seguridad Población Ambiente Producción</p>
				<p>Análisis causa raíz</p>	<p>Diagnóstico Inspección sensorial Causas Análisis del árbol de fallas</p>
				<p>Acciones correctivas</p>	<p>Determinar responsabilidades</p>
<p>Específicos ¿Cómo influye la jerarquización de los problemas frecuentes a los rodamientos del circuito de flotación para el mantenimiento preventivo en la planta concentradora Mallay – Oyón – 2023?</p> <p>¿Cómo realizar el análisis causa raíz a los rodamientos del circuito de flotación para el mantenimiento preventivo en la</p>	<p>Específicos Jerarquizar los problemas frecuentes a los rodamientos del circuito de flotación para el mantenimiento preventivo en la planta concentradora Mallay – Oyón – 2023.</p> <p>Realizar el análisis causa raíz a los rodamientos del circuito de flotación para el mantenimiento preventivo en la planta concentradora Mallay – Oyón – 2023.</p>	<p>Específicos La jerarquización de los problemas frecuentes a los rodamientos del circuito de flotación influirá para el mantenimiento preventivo en la planta concentradora Mallay – Oyón – 2023.</p> <p>El análisis causa raíz a los rodamientos del circuito de flotación influirá para el mantenimiento preventivo en la</p>	<p>Dependiente Mantenimiento preventivo</p>	<p>Incremento de la confiabilidad</p>	<p>Disminución del tiempo promedio de fallas</p>

<p>planta concentradora Mallay – Oyón – 2023?</p> <p>¿Es posible seleccionar las acciones correctivas a los rodamientos del circuito de flotación para el mantenimiento preventivo en la planta concentradora Mallay – Oyón – 2023?</p>	<p>Seleccionar las acciones correctivas a los rodamientos del circuito de flotación para el mantenimiento preventivo en la planta concentradora Mallay – Oyón – 2023.</p>	<p>planta concentradora Mallay – Oyón – 2023.</p> <p>La selección de acciones correctivas a los rodamientos al circuito de flotación influirá para el mantenimiento preventivo en la planta concentradora Mallay – Oyón – 2023.</p>			
---	---	---	--	--	--

ANEXO 3: PLANTA CONCENTRADORA MALLAY



ANEXO 4: FOTOGRAFIAS

Figura 15: *Falla en rodamiento por exceso de grasa, cambio en la coloración de los caminos de rodadura (Problema: lubricación).*



Fuente: Elaboración propia

Figura 16: *Aumento de temperatura en los caminos de rodadura debido a una escasez de lubricante*



Fuente: Elaboración propia.

Figura 17: *Indentaciones generadas por ingreso de agua en el rodamiento*

(Problema: contaminación)



Fuente: Elaboración propia.

Figura 18: *Perdida de ajuste en aro interior con acanaladuras provocadas por vibración*

(Problema: falso Brinell)



Fuente: Elaboración propia.

Figura 19: *Perdida de interferencia a nivel de eje o alojamiento*
(Problema: corrosión por rozamiento)



Fuente: Tomado de NSK

Figura 20: *Elementos rodantes impresos en los caminos de rodadura provocado por un montaje inadecuado (Problema: sobrecarga)*



Fuente: Tomado de NSK

Figura 21: *Perdida de dureza al calentar el rodamiento para su montaje sin controlar la temperatura*



Fuente: Elaboración propia.

Figura 22: *Voltaje excesivo en rodamiento, provocando pitting localizado*



Fuente: NSK