

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA**



**T E S I S**

**Análisis causa raíz al sistema de bombeo de pulpa y su  
influencia en el mantenimiento preventivo en la planta  
concentradora Animón – Huayllay – 2020**

**Para optar el título profesional de:  
Ingeniero Metalurgista**

**Autor:**

**Bach. Paul William LAZO VICENTE**

**Asesor:**

**Mg. Eusebio ROQUE HUAMAN**

**Cerro de Pasco – Perú – 2022**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA**



**T E S I S**

**Análisis causa raíz al sistema de bombeo de pulpa y su  
influencia en el mantenimiento preventivo en la planta  
concentradora Animón – Huayllay – 2020**

**Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:**

---

**Mg. José Elí CASTILLO MONTALVAN  
PRESIDENTE**

---

**Dr. Rubén Edgar PALOMINO ISIDRO  
MIEMBRO**

---

**Mg. Ramiro SIUCE BONIFACIO  
MIEMBRO**

## DEDICATORIA

A Dios.

A mis padres, por sus consejos, sus  
valores, por la motivación constante, pero;

sobre todo, por su amor

## **AGRADECIMIENTO**

Al superintendente de la Compañía Minera Chungar, ingeniero Aldo Villegas Sotillo, personal de planta de la planta concentradora Animón, y al personal de TECNOMIN DATA, por permitirme participar en el diagnóstico de las bombas.

Con profundo agradecimiento a mi alma máter, que me acogió durante estos cinco años de formación profesional, gracias a mis compañeros de estudio, fieles amigos y confidentes.

## RESUMEN

El programa de mantenimiento en la planta concentradora Animón que se realiza cada 45 días y por 48 horas continuas, a veces no es suficiente y se deja algunos equipos parcialmente reparados, persistiendo las fallas. Este y otros factores incidieron en 5 bombas de pulpa, de los 10 instalados a que vayan teniendo problemas en su funcionamiento cada vez más acentuado. Con el auspicio del jefe de planta, se procedió a realizar el diagnóstico utilizando la técnica del análisis causa raíz y con la participación del personal de operaciones y mantenimiento, todo esto basado en los catálogos y experiencia de los presentes. El objetivo fue llegar a todos los factores que influyeron para acrecentar el deterioro de los equipos y realizar el mantenimiento adecuado, con los repuestos adecuados y en un solo tiempo

**Metodología.** Por el tipo de la investigación, el presente estudio reúne las condiciones metodológicas de una investigación aplicada y observacional, en razón que se utiliza conocimientos de la ciencia como la experiencia, a fin de aplicar los resultados del diagnóstico para la mejora inmediata de las bombas. Resultados. La aplicación de la técnica análisis causa raíz, si influyó de manera significativa en la reparación y reemplazo de repuestos, reinstalación en sus bases, los protocolos de bioseguridad y paralelo la reducción de ocurrencia de accidentes de trabajo en la planta concentradora Animón.

Conclusión se pudo determinar los factores que influyeron en el deterioro de las partes de las bombas con problemas en su funcionamiento.

**Palabras clave:** diagnóstico, Fallas, mantenimiento

## ABSTRACT

The maintenance program at the Animon concentrator plant, which is carried out every 45 days and for 48 continuous hours, is sometimes not enough and some equipment is left partially repaired, faults persisting. This and other factors affected 5 slurry pumps, of the 10 installed, that they have increasingly accentuated problems in their operation. Under the auspices of the plant manager, the root cause analysis technique and with the participation of the operations and maintenance personnel, all based on the catalogs and experience of those present. The objective was to reach all the factors that influenced to increase the deterioration of the equipment and carry out the adequate maintenance, with the appropriate spare parts and in a single time.

**Methodology.** Due to the type of research, the present study meets the methodological conditions of an applied and observational research, because it uses knowledge of science as well as experience, in order to apply the results of the diagnosis for the immediate improvement of the pumps.

**Results.** The application of the root cause analysis technique, if it significantly influenced the repair and replacement of spare parts, reinstallation in their bases, the biosafety protocols and, in parallel, the reduction of the occurrence of accidents at work in the Animon concentrator plant.

**Conclusion** it was possible to determine the factors that influenced the deterioration of the parts of the pumps with problems in their operation.

**Keywords:** diagnosis, failures, maintenance.

## INTRODUCCIÓN

El análisis minucioso para el mantenimiento de bombas, en las plantas concentradoras es importante porque permite desarrollar la reparación adecuada en el momento oportuno y a un costo adecuado. En la planta concentradora animón, se tiene instalado 10 bombas centrífugas, instalados en stand by, que transportan pulpas en forma permanente y se tiene un programa de mantenimiento general cada 45 días aproximadamente, la parada de la planta dura 48 horas, tiempo que no permite realizar un diagnóstico profundo de las fallas en su funcionamiento. Este inconveniente motivó realizar el análisis riguroso, con la participación del personal de operaciones y de mantenimiento, empleando la técnica del análisis causa raíz para dar solución a los problemas y evitar mayores consecuencias, materia del presente trabajo de investigación.

La investigación se desarrolló del siguiente modo:

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, donde se ha considerado la descripción del problema, formulación del problema, los objetivos, justificación e importancia de la investigación.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO, donde se ha considerado los antecedentes de la investigación, la base teórica del análisis causa raíz, la definición de términos básicos, formulación de hipótesis, identificación de variables.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN, se da a conocer el tipo, método y diseño de investigación aplicado a la población y muestra; resumiéndose los datos obtenidos en tablas y gráficos.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN, se demuestra que la investigación cualitativa no tiene hipótesis, se presenta los resultados obtenidos para luego ser analizados y contrastados con otras investigaciones.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES, se han desarrollado principalmente las conclusiones del estudio de investigación y dar sugerencias para continuar con la investigación.

## INDICE

Pág.

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCIÓN	
INDICE	
INDICE DE TABLAS	
INDICE DE FIGURAS	

### CAPÍTULO I

#### PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1.	Identificación y determinación del problema .....	1
1.2.	Delimitación de la investigación .....	2
	1.2.1. Espacial. ....	2
	1.2.2. Temporal.....	2
1.3.	Formulación del problema .....	2
	1.3.1. Problema General .....	2
	1.3.2. Problemas Específicos.....	3
1.4.	Formulación de objetivos.....	3
	1.4.1. Objetivo general .....	3
	1.4.2. Objetivos específicos .....	3
1.5.	Justificación de la investigación.....	4
1.6.	Limitaciones de la investigación .....	4

### CAPÍTULO II

#### MARCO TEÓRICO

2.1.	Antecedentes de estudio .....	5
2.2.	Bases teóricas - científicas .....	8
	2.2.1. Definición del problema.....	12
	2.2.2. Definición de sistema .....	13
	2.2.3. Jerarquización de problemas .....	13
	2.2.4. Determinación de las causas raíces.....	14
	2.2.5. Implantación de soluciones .....	15
	2.2.6. Bombas.....	16
	2.2.7. Clasificación de bombas .....	18
	2.2.8. Parámetros fundamentales en los sistemas de bombeo .....	19

2.2.9. Bombas de pulpa .....	20
2.2.10. Clasificación de las bombas de pulpa .....	20
2.3. Definición de términos básicos .....	21
2.4. Formulación de hipótesis.....	22
2.4.1. Hipótesis general .....	22
2.4.2. Hipótesis específicas.....	23
2.5. Identificación de variables .....	23
2.5.1. Variables independientes .....	23
2.5.2. Variable dependiente .....	23
2.6. Definición operacional de variables e indicadores .....	23

### CAPÍTULO III

#### METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación.....	25
3.2. Nivel de investigación.....	25
3.3. Método de investigación .....	26
3.4. Diseño de la investigación .....	26
3.5. Población y muestra .....	27
3.5.1. Población .....	27
3.5.2. Muestra.....	28
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	28
3.6.1. Técnicas.....	28
3.6.2. Instrumentos .....	29
3.6.3. Escala de medición de la variable .....	29
3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación .....	29
3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	30
3.9. Tratamiento estadístico .....	32
3.10. Orientación ética.....	33

### CAPITULO IV

#### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo.....	34
4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados .....	35
4.3. Prueba de hipótesis.....	37
4.4. Discusión de resultados.....	39

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

ANEXOS

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Matriz de operacionalización de variables (variable independiente) .....	23
Tabla 2 Matriz de operacionalización de variables (variable dependiente) .....	24
Tabla 3 Problemas y causas .....	31
Tabla 4 Confiabilidad de la evaluación mediante KR 20.....	30
Tabla 5 porqués.....	35
Tabla 6 Acciones correctivas .....	36
Tabla 7 Informes 2020 .....	36
Tabla 8 Acciones correctivas .....	37

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Etapas del sistema causa raíz .....	12
Figura 2 Método hipotético – deductivo.....	27
Figura 3 Análisis de la bomba Wilfley 5K de 1 x 75 HP .....	31
Figura 4 Análisis de la bomba Denver 5 x 4 - 18HP .....	31
Figura 5 Análisis de la bomba SVEDALA SPVC de 40 HP .....	32
Figura 6 Análisis de la bomba SVEDALA SPVC de 40 HP .....	32
Figura 7 Acciones correctivas 2020 .....	37

## **CAPÍTULO I**

### **PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

#### **1.1. Identificación y determinación del problema**

Compañía Minera Chungar S.A. es una empresa privada que se encuentra ubicada en el distrito de Huayllay, dedicado a la explotación de minerales de plomo y zinc básicamente. Para ello tiene una planta de procesamiento de minerales con capacidad de 5 500 TMSD, ubicado en Animón. En la planta concentradora, para el transporte continuo de pulpas, se requiere el adecuado funcionamiento de las bombas; instaladas en stand by.

En la planta concentradora se dispone de bombas de diversa capacidad y potencia para el transporte de pulpa. Actualmente en los sistemas de bombeo se presentan inconvenientes en su funcionamiento, caracterizado por fallas como sobrecalentamiento, exceso de vibración en múltiples partes del sistema, problemas en lubricación en los puntos críticos, impulsores de la bomba erosionados, sobrecarga en el funcionamiento del motor. Ocasionando paradas intempestivas.

A su vez las reparaciones son ejecutadas de forma programada por empresas subcontratadas. por lo antes mencionado se plantea realizar

propuestas de mejoras sustentado en el análisis de fallas de los equipos críticos de los sistemas de bombeo. Para esto se realizara un diagnóstico de la situación actual de los equipos que integra el sistema de bombeo, se realizara un análisis de criticidad para jerarquizar su impacto y así facilitar la toma de decisiones, se identificarán los modos de fallas en los componentes de los equipos críticos y los efectos que este ocasiona, aunado a esto se realizará un análisis causa raíz a las fallas más comunes para identificar el origen de las mismas, una vez realizado todos estos análisis se podrá finalmente realizar las propuesta para la mejora de todo el sistema.

Esta realidad obliga a la empresa a establecer diagnósticos con mayor rigor para garantizar la operatividad constante; por lo que la presente investigación está orientada a indagar cuál es la influencia de la implementación del análisis causa raíz en el mantenimiento del sistema de bombeo en la planta concentradora de la compañía antes mencionada.

## **1.2. Delimitación de la investigación**

### **1.2.1. Espacial.**

El desarrollo del presente trabajo se ejecutará en la Compañía Minera Volcan – Empresa Administradora Chungar – Huayllay.

### **1.2.2. Temporal.**

El trabajo de investigación comprende diez meses (marzo – diciembre del 2020).

## **1.3. Formulación del problema**

### **1.3.1. Problema General**

¿Cómo influye el diseño de un programa de análisis causa raíz al sistema de bombeo de pulpa para el mantenimiento preventivo en la planta concentradora Animón – Huayllay – 2020?

### 1.3.2. Problemas Específicos

- ¿Cómo influye la jerarquización de los problemas frecuentes en el sistema de bombeo para el mantenimiento preventivo en la planta concentradora Animón – Huayllay – 2020?
- ¿Cómo realizar el análisis causa efecto al sistema de bombeo para el mantenimiento preventivo en la planta concentradora Animón – Huayllay – 2020?
- ¿Es posible seleccionar las acciones correctivas al sistema de bombeo para el mantenimiento preventivo en la planta concentradora Animón – Huayllay – 2020?

## 1.4. Formulación de objetivos

### 1.4.1. Objetivo general

Diseñar un programa de análisis causa raíz al sistema de bombeo de pulpa para el mantenimiento preventivo en la planta concentradora Animón – Huayllay – 2020.

### 1.4.2. Objetivos específicos

- Jerarquizar los problemas frecuentes en el sistema de bombeo para el mantenimiento preventivo en la planta concentradora Animón – Huayllay – 2020.
- Realizar el análisis causa raíz al sistema de bombeo para el mantenimiento preventivo en la planta concentradora Animón – Huayllay – 2020.
- Seleccionar las acciones correctivas al sistema de bombeo para el mantenimiento preventivo en la planta concentradora Animón – Huayllay – 2020.

### **1.5. Justificación de la investigación**

Desde el punto de vista social, esta investigación se justifica porque ayudará a entender que los problemas vienen de la construcción, operatividad y/o mantenimiento, donde la participación del hombre es importante.

Por otro lado, desde el punto de vista técnico, este estudio responde a la necesidad de analizar profundamente las fallas que se presenta y las reparaciones a realizar. En este sentido, la investigación se basa en los beneficios que traerán los resultados obtenidos tanto a la empresa como a los trabajadores, en este contexto, permitirá reducir paradas intempestivas y demora por el tiempo de reparación de los mismos.

### **1.6. Limitaciones de la investigación**

Las limitaciones de la investigación se dan porque inicialmente no se da la sinergia de comprensión para analizar implementando la cultura de los 5 porqués al problema de las bombas, tardará un tiempo prudencial para entender que existe infinidad de métodos de análisis de los equipos y operaciones.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes de estudio**

##### **Antecedentes internacionales**

Alfaro (2014) en su tesis *“El análisis causa raíz utilizado como herramienta en la evaluación de eventos no deseados en instalaciones de una refinería”* – Universidad Nacional Autónoma de México – México D. F., tiene como objetivo general; describir la metodología del análisis causa raíz (ACR) como herramienta estratégica en la evaluación de eventos no deseados y concluye:

Esta metodología de análisis de eventos es importante debido a su facilidad en la resolución de problemas recurrentes de manera segura. En ocasiones el ACR puede ser visto como un método correctivo, que actúa sobre los efectos producidos por causas latentes no identificadas. La aplicación de esta metodología está definida por un procedimiento, el cual permite integrar conocimientos teóricos y prácticos que fundamentan la construcción de estrategias adecuadas para la eliminación de fallas repetitivas.

En el caso de estudio se observó mediante una ejemplificación, realizado a una bomba en el sector de alquiler el desarrollo de la metodología dividido en fases, se describió desde la problemática y las posibles causas que ocasionaron la falla hasta llegar a las causas raíz del mismo, cabe decir que muchas veces no solamente se llega a una sola causa, sino que, como en el caso descrito fueron varias causas probables las que originaron la falla.

Retamal (2018) en su tesis “Propuesta de plan de mantenimiento para bombas centrífugas ubicadas en Anglo American Sur planta las tórtolas estación de rebombeo” – Universidad Técnica Federico Santa María – Viña del Mar, tiene como objetivo central proponer una mejora de plan de mantenimiento a bombas centrífugas a partir de sus índices de disponibilidad perteneciente a Anglo American Sur, planta Las Tórtolas, estación de Rebombeo. y concluye:

De acuerdo al desarrollo de este trabajo de título, se ha realizado una evaluación a las bombas centrífugas reparadas por la empresa Proseal Ltda. Estos equipos, pertenecen a la empresa minera Anglo American Sur, planta Las Tórtolas, estación de Rebombeo.

Este análisis, se ha desarrollado debido a que, al momento de realizar el mantenimiento correctivo a los equipos pertenecientes a la empresa mandante, Proseal Ltda. no cumple con los tiempos de reparación de cada unidad establecidos por el contrato vigente entre estas empresas, provocando multas y pérdidas monetarias, además de los altos costos de mantención que se estaban generando al momento de realizar el mantenimiento correctivo.

Por esto, que se ha propuesto 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.

### **Antecedentes nacionales**

Trejo (2017) en su tesis “Mejora de gestión de mantenimiento preventivo para incrementar la confiabilidad de bombas de concreto de la unidad negocio de bombas”, Universidad Tecnológica del Perú – Lima; tiene como objetivo general: evaluar de qué manera el sistema de gestión de mantenimiento preventivo produce un efecto en el incremento de la confiabilidad de las Bombas de Concreto de la Unidad de Negocio de Bombas. Concluye:

Las mejoras en la gestión de mantenimiento preventivo **incrementó en 5% la Confiabilidad** de las bombas de concreto de la unidad de negocio de bombas, **Se redujo en un 25% las fallas** e incrementando la **disponibilidad en un 9%** de las bombas de concreto, no solo el cumplimiento de los mantenimientos es lo suficiente para aumentar la confiabilidad, **es la calidad de los mantenimientos preventivos que logra incrementar la confiabilidad** de las bombas de concreto junto con las herramientas de gestión de mantenimiento implementadas.

- El mantenimiento basado en el tiempo **disminuyó el tiempo medio entre fallas de 10,36 a 14,98 una diferencia significativa de 4,62**, esto indica que el número de fallas de las bombas de concreto a disminuido por lo tanto se incrementa la confiabilidad.
- El mantenimiento basado en condición **incrementó el tiempo promedio hasta la falla de 6,42 a 10,43 una diferencia significativa 4,01**, esto indica que las horas de operación de las bombas de concreto se incrementó y la confiabilidad.
- El mantenimiento correctivo **incrementó el tiempo promedio para reparar de 1,56 a 1,29, diferencia de 0,27**, incrementando la confiabilidad.

Andia (2018) en su tesis “*Optimización de transporte de mineral mediante sistema de bombeo*” – Universidad Nacional San Agustín – Arequipa, tiene como objetivo central: seleccionar el mejor sistema de transporte industrial

para un proyecto de minería en superficie de concentrado fosfático, entre el tramo de la planta de concentración y de la terminal de piedra, considerándolos impactos económicos y 2 las simplificaciones en el proceso de optimización energética y de emisiones de gases de efecto invernadero.

Al finalizar el trabajo de tesis propuesto, se logró determinar que el transporte de materiales gruesos en comparación con las partículas de mineral de hierro convencional de larga distancia se demuestra que es técnicamente y económicamente viable. El tipo de tipo de transporte de material en un ducto minero por sistema de bombeo, es una opción para el transporte de materiales gruesos de varias minas para ser entregados en una planta de concentración única para generar el concentrado final.

Por los resultados obtenidos en las etapas de desarrollo del ducto, el transporte de pulpas minerales a través de ductos mineros es la mejor opción económica y técnica como se muestra que es posible la optimización de transporte de mineral mediante sistema de bombeo lo que concuerda con la hipótesis planteada en la presente tesis; fue posible demostrar que existen procedimientos bien rigurosos en cuanto al diseño y operación que hacen del transporte propuesto un sistema fiable, En el desarrollo del trabajo se analizaron rígidas pruebas que se ejecutan antes del inicio del diseño a fin de obtener todos los resultados para eventuales problemas que puedan ocurrir en la operación del ducto minero.

## **2.2. Bases teóricas - científicas**

### **Análisis causa raíz**

Es una forma de analizar los problemas deduciendo los hechos, identifica las causas o componentes de las fallas, descubriéndolas para prevenir o evitar su recurrencia o reparación en el mismo equipo/sistema u otros similares. Al no realizar un análisis exhaustivo de los defectos y sus posibles

causas, se está perdiendo la oportunidad de mejorar los hechos y se refleja en los costos – productividad - confiabilidad (Suarez, 2016, pág. 50).

Cuando el personal responsable de realizar el mantenimiento de los equipos y procesos, no identifican las verdaderas causas de los problemas, generalmente sólo “realizan las mejoras correctivas rutinarias” para seguir funcionando. Cuando se trata de un problema menor, se dice que “es normal”. Cuando se trata de un problema mayor, se dice que se hay que reemplazar algunas piezas. Metafóricamente se dice que solo se apaga el incendio y no se busca las causas que ocasionan (Suarez, 2016, pág. 50).

Posponer la acción correctiva de la “Causa Raíz” es común. En el trabajo diario, los supervisores e ingenieros se encuentran imposibilitados de eliminar el problema de fondo, de manera que puedan dedicarse a atender los síntomas, para que las operaciones continúen y no se detenga la producción. No tiene importancia estar lamentándose al respecto, es simplemente un hecho, a veces es necesario para la supervivencia de la empresa. El segundo factor que contribuye a retardar la acción respecto a los problemas de fondo, es que a pesar de los defectos de funcionamiento la tolerancia es permitida (Suarez, 2016, pág. 50).

Con la virtualización de la educación y capacitación continua en la era post Covid, las circunstancias permiten crear programas tales como el análisis causa raíz, que permita fortalecer los programas de mantenimiento preventivo, para en forma asociada resolver la cantidad de fallos que presentan los equipos.

### **Ventajas**

La metodología del análisis causa raíz presenta diferencias con respecto a otras herramientas de gestión de mantenimiento, en la forma como llegar al fondo del problema.

Las ventajas que presenta el análisis causa raíz son:

- Permite identificar problemas creando un panorama único basado en hechos.
- Mejora la confiabilidad de los procesos a través del análisis e identificación de causas sistemáticas.
- Mejora la eficiencia de los procesos debido a la prevención de fallos o problemas.
- Reducción de los costos de reparación al ser identificados y corregidos los defectos crónicos.
- Amplía el acceso de información obtenido por los análisis a los daños, mejorando la comunicación de las lecciones aprendidas entre las distintas localidades.
- Desarrollo de una memoria técnica de operaciones y mantenimiento de equipos en instalaciones.
- Planificación proactiva de las actividades de mantenimiento en base a los resultados.
- Posibilidad de enfocar esfuerzos en la optimización.
- Motivación al personal de la empresa.

### **Proceso análisis causa raíz**

La metodología análisis causa raíz sigue un procedimiento esquemático basado en etapas que se deben ir completándose para avanzar de un paso a otro. El objetivo principal es llegar al origen del problema. Suarez (2016), sostiene que es fundamental cumplir la secuencia de pasos a seguir de la manera más efectiva posible (Pág. 52).

Primero: tener claro qué es lo que ha ocurrido, en qué circunstancias, escenario y tiempo, es necesario realizar una serie de preguntas básicas y breves que ayuden a definir el problema. Luego de responder dichas preguntas,

conformar el equipo de especialistas que intervendrán en el análisis y solución del problema.

Segundo: definir el sistema y la secuencia de pasos a seguir para evaluar el problema. Esta etapa es importante sobre todo en plantas industriales donde permanecen un gran número de equipos interconectados, los desperfectos ocasionados pueden ser provocados por problemas anteriores procedentes de otros equipos.

Tercero: Recopilar todos los problemas que están relacionados, analizar y elaborar una escala de valoración, para observar la repercusión económica que representa cada problema.

Cuarto: Desarrollo pleno del método. Describir como han surgido los modos de fallos y a partir de estos realizar las hipótesis pertinentes, desglosando los diferentes tipos de causas: física, humana y latente.

Quinto: Se realiza un análisis completo de las soluciones. Esta etapa es importante puesto que se examina el rendimiento del método y se implanta las soluciones propuestas, se ejecuta, comprueba los resultados obtenidos y luego se analiza las mejoras se han hecho en el sistema completo.

A continuación, se presenta de forma esquemática los pasos a seguir de dicha metodología.

Figura 1 Etapas del sistema causa raíz

ETAPA	DESCRIPCIÓN	ACTIVIDAD
1	DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	¿Qué? ¿Cuándo? ¿Dónde?
		Formar equipo de trabajo
2	DEFINICIÓN DEL SISTEMA	Diagrama de proceso
		Contexto operacional
3	JERARQUIZACIÓN DE PROBLEMAS	Impacto
		Análisis criticidad
		Valoración riesgo económico
4	DETERMINACIÓN CAUSAS RAÍCES	Modos de fallos
		Hipótesis
		Tipos de causas: física, humana y latente
5	IMPLANTACIÓN DE SOLUCIONES	Selección de las soluciones
		Efectividad de las soluciones
		Lecciones aprendidas

Fuente: Elaboración propia

### 2.2.1. Definición del problema

#### ¿Qué? ¿Cuándo? ¿Dónde?

- ¿Qué? Se trata de dar respuesta que ocurrió y cuáles fueron los síntomas que permitieron detectar.
- ¿Cuándo? Dejar constancia del momento cuando ocurrió los hechos y desde cuando los síntomas se vienen observando para tomar decisiones.
- ¿Dónde? Es necesario definir el lugar exacto de donde ha ocurrido los hechos y desde donde ya viene afectando (en la fabricación, transporte, construcción y operaciones).

#### Equipo de trabajo

Consiste en reunir un equipo de personas quienes estarán a cargo del diagnóstico, análisis y mejora de los sistemas y equipos defectuosos; debe

incluir supervisores, personal de mantenimiento, operadores, consultores quienes son especialistas de cada defecto y/o fallo (Suarez, 2016, pág. 54).

### **2.2.2. Definición de sistema**

#### **Diagrama de proceso**

Para entender el funcionamiento del sistema de bombeo es importante diseñar el diagrama de proceso de las instalaciones mecánicas, eléctricas, de funcionamiento y de transporte de pulpa.

#### **Contexto operacional**

En este apartado se acopia la mayor información posible sobre las características técnicas de los equipos (esquemas, datos, planos, etc.) así como de su funcionamiento y las características del sistema que lo rodea.

Toda la información que se aporte será buena, no sobra, añade valor en la documentación y ayudará a resolver mejor y con mayor rapidez el problema.

### **2.2.3. Jerarquización de problemas**

Podría ocurrir diversos problemas simultáneamente, es frecuente, sobre todo en sistemas instalados sucesivamente. Además, cuanto más grande son las plantas industriales, más posibilidades de existencias de fallos ocurren lo cual hace necesario desarrollar un orden de jerarquización de los problemas (Suarez, 2016, pág. 63).

Es importante clasificar los problemas y sus antecedentes, organizarlos y priorizarlos. De acuerdo a Suarez (2016) sugiere la secuencia de pasos a seguir:

- Inventario de todos los problemas / síntomas.
- Seleccionar los problemas que no estén relacionados.
- Agrupar por problemas afines.
- Organizar y priorizar los problemas en base a costos y pérdidas de oportunidad.

- Definir los defectos de operatividad y establecer el equipo de trabajo que diagnosticará.
- Establecer las causas puntuales de los fallos y defectos a evaluar (Pág. 63).

### **Impacto**

Definir el impacto del problema surgido, en función a ciertos factores que pueden ser: producción, mantenimiento, frecuencia, seguridad, ambiental.

### **Análisis de criticidad**

El Análisis de Criticidad es el método que nos permite obtener una jerarquización de los sistemas, instalaciones y equipos, en función de su importancia, cuya finalidad es optimizar la asignación de recursos a cada equipo y/o etapa del sistema.

### **Valoración económica**

En relación al nivel de defectos o fallas de equipos, con los estudios minuciosos, nos permite jerarquizar problemas; de igual modo se puede estimar el riesgo económico que nos permita priorizar los escenarios más complicados por las constantes fallas de determinados equipos.

#### **2.2.4. Determinación de las causas raíces**

El análisis causa raíz utiliza una estructura de árbol lógico para determinar la causa raíz, es decir, se presenta de manera secuencial desde el evento y a través de los distintos modos de fallos, relacionando las causas y efectos, hasta llegar a las causas raíces de dicho evento. Las verdaderas causas raíces son descubiertas permitiendo que las evidencias físicas conduzcan al equipo hasta encontrar los factores que intervinieron para que éstas se produjeran (Suarez, 2016, pág. 68).

La estructura presenta varios niveles, en concreto seis niveles que son:

- Definición del problema.

- Modos de fallos.
- Hipótesis.
- Raíces Físicas.
- Raíces Humanas.
- Raíces Latentes.

#### 2.2.5. **Implantación de soluciones**

##### **Selección de las soluciones**

Del abanico de soluciones a un problema deben seleccionarse la más adecuada y aplicarlas, si éstas evitan o reducen la recurrencia de fallas o problemas. La solución debe soportarse en un análisis costo beneficio riesgo que justifique su aplicación. Significa que si la solución planteada técnicamente, no conduzca a problemas legales y sobre todo tenga vigencia en el tiempo.

##### **Efectividad de las soluciones**

Después de elegir la solución adecuada, hay que evaluar la efectividad de ésta. Para ello se debe evaluar el funcionamiento del equipo, de modo que se examina si la medida adoptada para solucionar el problema ha sido efectiva.

Se plantean dos opciones, sí o no:

- Si es efectiva: Se debe elaborar un informe de como se ha solucionado el/los equipo(s), para dejar un informe que sirva como referencia para futuros problemas similares.
- No es efectiva: El análisis causa raíz realizado no genera una alternativa de solución, por lo tanto, es imprescindible buscar otras soluciones que permitan poner fin al problema.

##### **Lecciones aprendidas**

El análisis causa raíz finaliza, concluye con la reparación del equipo defectuoso, en cuanto al estudio previo realizado, secuencialmente se ha ido analizando conforme se avanza el análisis del árbol ACR y las conclusiones

arribadas tras la implantación y medición de las soluciones propuestas (Suarez, 2016, pág. 73).

#### 2.2.6. Bombas

Una bomba es una máquina capaz de transformar energía mecánica en hidráulica. Un tipo de bombas son las centrífugas que se caracterizan por llevar a cabo dicha transformación de energía por medio de un elemento móvil denominado impulsor, rodete o turbina, que gira dentro de otro elemento estático denominado cuerpo o carcasa de la bomba. Ambos disponen de un orificio anular para la entrada del líquido. Cuando el impulsor gira, comunica al líquido una velocidad y una presión que se añade a la que tenía a la entrada (s.a., 2008, pág. 12).

En una normal aplicación, las propiedades de una bomba centrífuga son:

- Caudal uniforme, sin pulsaciones.
- La presión o altura de elevación disminuye a medida que aumenta el caudal. En general, a partir del punto de funcionamiento, cuando se cierra la válvula de regulación de la tubería de impulsión aumenta la presión y se reduce la potencia. Sin embargo, las bombas de alta velocidad específica (impulsor semi-axial o hélice) no cumplen esta norma general.
- La altura, medida en metros de columna de líquido, a la que eleva una bomba es independiente de la naturaleza del líquido; por tanto, la altura a la que impele una bomba es la misma, obviando de la influencia que ejerce la viscosidad.
- La potencia absorbida por la bomba es proporcional al peso específico del líquido elevado.
- El par requerido para el arranque de una bomba centrífuga es pequeño y la potencia absorbida durante su funcionamiento de

régimen es continua y libre de sobrecargas, cuando la altura no varía y no hay perturbaciones ajenas a la bomba en la aspiración (Metso, 2011, pág. 5).

### **Funcionamiento de las Bombas Centrífugas**

Según Romero (2013), “refiere que las bombas centrífugas mueven un cierto volumen de líquido entre dos niveles; son máquinas hidráulicas que transforman un trabajo mecánico en otro de tipo hidráulico” (Pág. 33).

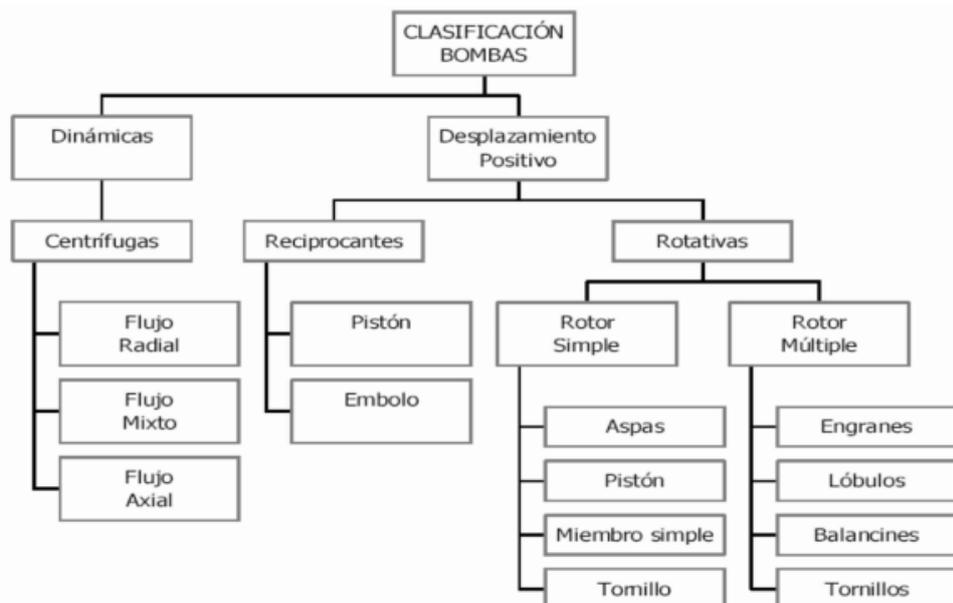
Los elementos constructivos de que constan son:

- a. **Una tubería de aspiración**, que concluye prácticamente en la brida de aspiración.
- b. **El impulsor o rodete**, formado por una serie de álabes de diversas formas que giran dentro de una carcasa circular. El rodete va unido solidariamente al eje y es la parte móvil de la bomba. El líquido penetra axialmente por la tubería de aspiración hasta el centro del rodete, que es accionado por un motor, experimentando un cambio de dirección más o menos brusco, pasando a radial, (en las centrífugas), o permaneciendo axial, (en las axiales), adquiriendo una aceleración y absorbiendo un trabajo.
- c. **Los álabes del rodete** someten a las partículas de líquido a un movimiento de rotación muy rápido, siendo proyectadas hacia el exterior por la fuerza centrífuga, de forma que abandonan el rodete hacia la voluta a gran velocidad, aumentando su presión en el impulsor según la distancia al eje. La elevación del líquido se produce por la reacción entre éste y el rodete sometido al movimiento de rotación; en la voluta se transforma parte de la energía dinámica adquirida en el rodete, en energía de presión, siendo lanzados los filetes líquidos contra las paredes del cuerpo de bomba y evacuados por la tubería de impulsión.

- d. **La carcasa, (voluta)**, está dispuesta en forma de caracol, de tal manera, que la separación entre ella y el rodete es mínima en la parte superior; la separación va aumentando hasta que las partículas líquidas se encuentran frente a la abertura de impulsión; en algunas bombas existe, a la salida del rodete, una directriz de álabes que guía el líquido a la salida del impulsor antes de introducirlo en la voluta.
- e. **Una tubería de impulsión**, La finalidad de la voluta es de recoger el líquido a gran velocidad, cambiar la dirección de su movimiento y encaminarle hacia la brida de impulsión de la bomba.
- f. **La voluta** es también un transformador de energía, ya que disminuye la velocidad (transforma parte de la energía dinámica creada en el rodete en energía de presión), aumentando la presión del líquido a medida que el espacio entre el rodete y la carcasa aumenta.

### 2.2.7. Clasificación de bombas

Según su funcionamiento, las bombas se pueden clasificar en:



Fuente: Benites (2014).

## 2.2.8. Parámetros fundamentales en los sistemas de bombeo

### Altura estática

Definida por la altura geométrica y la carga de presión del sistema.

- Altura geométrica ( $H_{\text{geo}}$ ), es el resultado de la diferencia de altura existente entre el nivel del líquido de succión a ser bombeado y la descarga.
- Carga de presión, es la diferencia de presión existente entre los depósitos de succión y de descarga. Se representa por la siguiente ecuación:

$$\text{Carga de presión} = \frac{P_d - P_s}{\gamma} \quad (1)$$

Donde:

$P_d$  = Presión de descarga

$P_s$  = Presión de succión

$\gamma$  = Peso específico del fluido bombeado ( $\text{N/m}^3$ )

### Altura dinámica

Está compuesta por las pérdidas de carga total y la carga de velocidad en el sistema de bombeo (Martínez, 2019, pág. 9).

- Pérdida de carga total ( $H_{\text{pérdida}}$ ), son las pérdidas de presión producidas en el sistema (instalación) tanto en las tuberías como en los accesorios.
  - ✓ Pérdida de carga en tuberías, conocidas como pérdida distribuidas o pérdidas primarias.
  - ✓ Pérdida de carga en accesorios, conocidas como pérdidas localizadas o pérdidas secundarias. Estas se producen en las tuberías, válvulas, reducciones, cambio de dirección, etc.
- Carga de velocidad, es la diferencia entre la velocidad del fluido en el depósito de succión y el depósito de descarga.

$$\text{Carga de velocidad} = \frac{Vd^2 - Vs^2}{2g} \quad (2)$$

Donde:

Vd = Velocidad del fluido en descarga (m/s)

Vs = Velocidad del fluido en la succión (m/s)

G = Aceleración de gravedad (m/s<sup>2</sup>)

### **Altura manométrica total**

Es la suma de la altura estática y la altura dinámica. Se define como la energía por unidad de peso que se requiere para transportar el fluido desde su depósito de succión al depósito de descarga. Esta energía es entregada por la bomba centrífuga y se expresa por la siguiente ecuación:

$$H = H_{geom} + \frac{Pd - Ps}{\gamma} + \frac{Vd^2 - Vs^2}{2g} + H_{pérdidas} \quad (3)$$

#### **2.2.9. Bombas de pulpa**

Son de tipo centrífugas, de mayor robustez que a las utilizadas en el bombeo de líquidos sin presencia de sólidos. Al igual que todas las bombas centrífugas, las bombas de pulpa presentan distintos elementos, pero los más importantes son el impulsor o rodete y la carcasa.

#### **2.2.10. Clasificación de las bombas de pulpa**

Según Metso (2001) “no existe un criterio específico para la clasificación de las bombas de pulpa. Sin embargo, todos los fabricantes suelen clasificar sus bombas según la industria de aplicación. A continuación, se mencionan algunas clasificaciones realizadas por el fabricante METSO sobre sus bombas de pulpa” (p. 3).

Bombas de pulpa para aplicaciones industriales

- Bombas para espuma.
- Bombas para lixiviación.
- Bombas para alimentar hidrociclones.

Bombas de pulpa para aplicaciones de construcción

- Bombas para transporte de arena.
- Bombas para desaguado

Bombas de pulpa para aplicaciones con carbón

- Bombas para lavado de carbón
- Bombas para mezcla carbón y agua

Bombas de pulpa para aplicaciones químicas

- Bombas para aplicaciones ácidas
- Bombas para salmueras
- Bombas para cáusticos

### 2.3. Definición de términos básicos

- **ACCION:** En el enfoque de mantenimiento, es el efecto que causa un agente (físico, químico, humano, etc.) sobre algún bien o producto de la ejecución de actividades específicas. Por ejemplo, la reparación de un equipo o componente como consecuencia de una falla es una acción correctiva. En análisis de fallas, es la asignación para ejecutar una tarea o series de tareas para resolver una causa identificada en la investigación de una falla o problema.
- **ACTIVO:** Término contable para cualquier recurso que tiene un valor, un ciclo de vida y genera un flujo de caja, puede ser humano, físico y financiero. Ejemplo: el personal, centros de trabajo, plantas, equipos, etc.
- **BARRERA:** Es el dispositivo físico o un control administrativo utilizado para reducir el riesgo del resultado no deseado a un nivel aceptable. Las barreras pueden proporcionar una intervención física.
- **CAUSA (FACTOR CAUSAL):** Un evento o condición que resulta en un efecto o bien es cualquier cosa que le da forma o influye en el resultado.

- **CONSECUENCIA:** Resultado de un evento, pueden existir una o más consecuencias de un evento. Las consecuencias pueden variar de positivas a negativas. Las consecuencias de un evento pueden ser expresadas cualitativa o cuantitativamente, los modelos para el cálculo de consecuencias deben tomar en cuenta el impacto en seguridad, higiene, ambiente, producción, costos de reparación e imagen de la empresa.
- **CONDICIÓN:** Cualquier estado que se encuentre, sea motivado o no por un evento, que puede tener la seguridad operacional.
- **DEFECTO:** Causa inmediata de una falla: desalineamiento, mal ajuste, fallas ocultas, entre otros.
- **DISPONIBILIDAD:**

Una 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), se definen dos indicadores de disponibilidad:

Disponibilidad Inherente: representa el porcentaje del tiempo que un equipo está en condiciones de operar durante un período de análisis, teniendo en cuenta sólo los paros no programados.

Disponibilidad Operacional: representa el porcentaje de tiempo que el equipo quedó a disponibilidad del área de operación para desempeñar su función en un período de análisis. Teniendo en cuenta el tiempo que el equipo está fuera de operación por paros programados y no programados.

## 2.4. Formulación de hipótesis

### 2.4.1. Hipótesis general

El diseño de un programa de análisis causa raíz al sistema de bombeo de pulpa influye significativamente en el mantenimiento preventivo en la planta concentradora Animón – Huayllay – 2020.

### 2.4.2. Hipótesis específicas

- La jerarquización de los problemas frecuentes en el sistema de bombeo influye en el mantenimiento preventivo en la planta concentradora Animón – Huayllay – 2020.
- El análisis causa raíz al sistema de bombeo influye en el mantenimiento preventivo en la planta concentradora Animón – Huayllay – 2020.
- La selección de acciones correctivas al sistema de bombeo influye en el mantenimiento preventivo en la planta concentradora Animón – Huayllay - 2020

## 2.5. Identificación de variables

### 2.5.1. Variables independientes

- Análisis causa raíz

### 2.5.2. Variable dependiente

- Mantenimiento preventivo

## 2.6. Definición operacional de variables e indicadores

Tabla 1 Matriz de operacionalización de variables (variable independiente)

Variable Independiente	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores
Análisis causa raíz	Es un método de resolución de problemas dirigido a identificar sus causas o acontecimientos	Es un método reactivo de detección de problemas y solución. Esto significa que el análisis se realiza después de un evento ocurrido	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 variables (variable dependiente)*

Variable dependiente	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores
Mantenimiento preventivo	Es la intervención de la máquina para la conservación de ella mediante la realización de una reparación que garantice su buen funcionamiento y fiabilidad, antes de una avería.	Variable que expresa el uso y control de las actividades de mantenimiento, a través de la identificación de sistemas, identificación de errores, priorización de necesidades y selección de tareas.	Incremento de la confiabilidad	Disminución del tiempo promedio de fallas

Fuente: Elaboración propia.

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

#### 3.1. Tipo de investigación

La tesis es de tipo aplicada; se pretende analizar a través del diagnóstico la problemática de las bombas probar las hipótesis de este estudio. Este trabajo corresponde a la técnica del análisis causa raíz, que consiste en el estudio sobre las dificultades operacionales de las bombas, para proponer acciones encaminadas hacia un mantenimiento correctivo. (Vera *et al*, 2018, pág. 14).

#### 3.2. Nivel de investigación

Selltiz *et al* (2017), plantean que podemos ubicar dos modalidades de investigaciones a nivel descriptivo:

En primer lugar, aquellos estudios cuyo objetivo es la, “(...) descripción, con mayor precisión de las características de un determinado individuo, situaciones o grupos con o sin especificación de hipótesis acerca de la naturaleza de tales características (...)” (Selltiz *et al*, 2017, pág. 68).

Estas investigaciones podríamos denominar de corte fotográfico, su diferencia con los estudios exploratorios es muy somero; con estos estudios,

según los autores se podrían ubicar en un primer escalón, como una primera aproximación de ver la realidad social.

La segunda modalidad de investigaciones a nivel descriptivo – explicativo; son los estudios cuyo alcance se extiende hasta la “(...) determinación de la frecuencia con que algo ocurre o está asociado o relacionado con otro factor (...)” (Selltiz *et al*, 2017, pág. 68).

Debido a la colección de datos y organización de la información de la presente investigación, es descriptiva – explicativa. (Selltiz *et al*, 2017, pág. 68).

### **3.3. Método de investigación**

La presente investigación tiene como finalidad, comprender la naturaleza de los hechos, explicar el origen o las causas que lo generan, y para ello se parte de dos premisas; una universal (leyes y teorías científicas) y otra empírica (que sería el hecho observable que genera el problema y motiva la indagación), para llevarla a una contrastación empírica.

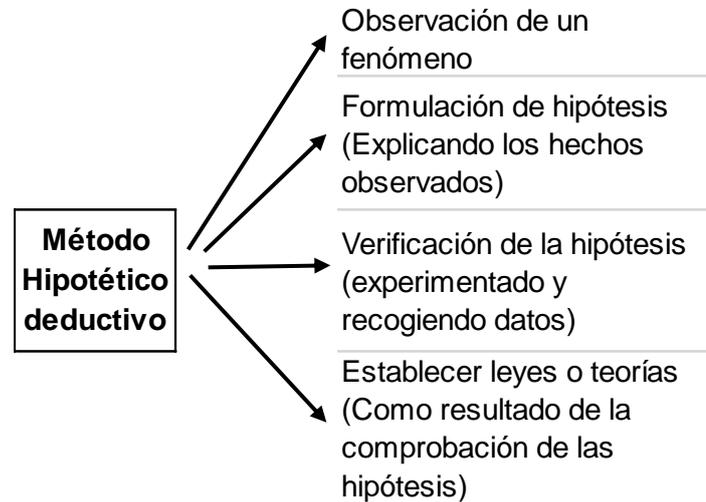
El método de investigación, será el **hipotético-deductivo**, porque se inicia de premisas generales para llegar a una conclusión particular, que sería la hipótesis a falsar para contrastar su veracidad, en caso de que lo fuera no solo permitiría el incremento de la teoría de la que partió (generando así un avance cíclico en el conocimiento), sino también el planteamiento de soluciones a problemas tanto de corte teórico o práctico (llamado también pragmático, aplicativo o tecnológico), en tanto no, podría impulsar su reformulación hasta agotar los intentos para hacerla veraz, o abandonarla y replantearla sobre la base de otros preceptos teóricos que indiquen una alternativa a la anterior (Sánchez, 2018, pág. 108).

### **3.4. Diseño de la investigación**

Asimismo, la tesis se caracteriza por tener el diseño no experimental, donde el método hipotético tiene como propósito medir o especificar las propiedades, dimensiones o características de las variables a estudiar, y deduce

o intenta medir el grado de asociación existente entre las variables en un contexto particular, para luego analizar la manera cómo interactúan entre sí (Hernández *et al.*, 2015, pág. 158).

Figura 2 Método hipotético – deductivo



Fuente: Elaboración propia

### 3.5. Población y muestra

#### 3.5.1. Población

La población en la presente investigación está constituida por el sistema de bombas que se encuentran instalados en la planta concentradora Animón y son:

- 02 bombas Wilfley 5K de 1x75 HP en el circuito de molienda primaria, para alimentar a un ciclón D20 para la dosificación de minerales.
- 02 bombas Denver de 5"x4" de 18 HP para el circuito de molienda secundaria, cuya descarga alimenta a la celda Flask SK – 240, la descarga en enviada a la bomba Wilfley para ser enviado al ciclón D20 donde se realiza la clasificación.
- 03 bombas vertical SVEDALA SPVC de 40 HP, de envío a las celdas de flotación de plomo.
- 03 bombas vertical SVEDALA SPVC de 30 HP, de envío a las celdas de flotación de zinc.

### 3.5.2. Muestra

Se desarrolló el muestreo intencional, considerando dos criterios:

- a. Muestreo de inclusión, representado por las cinco bombas que tenían defectos en su funcionamiento y
- b. Muestreo de exclusión, integrado por las cinco bombas que funcionan correctamente sin problemas.

Las bombas con defectos fueron:

- 01 bomba Wilfley 5K de 1 x 75 HP.
- 01 bomba Denver de 5" x 4" – 18 HP.
- 01 bomba vertical SVEDALA SPVC de 30 HP.
- 01 bomba vertical SVEDALA SPVC de 40 HP.
- 01 bomba vertical SVEDALA SPVC de 40 HP.

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 de recolección de datos

### 3.6.1. Técnicas

Las técnicas de recolección de datos a empleado en este estudio fue 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).

Igualmente, se realizó la encuesta para recopilar información directamente de los trabajadores del área de bombeo de la planta. En este sentido, 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 acuerdo a las técnicas empleadas en la investigación, se aplicó los siguientes instrumentos:

- En el caso de la encuesta, se desarrolló un cuestionario (ver anexo). En este cuestionario 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). De igual manera, para dicho cuestionario se aplicó la escala de Likert.

### 3.6.3. Escala de medición de la variable

En la cartilla de observación se empleó la escala de medición nominal, esta escala comprende 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

Dado que para obtener la aprobación o desaprobación de cada tipo de bomba se planteó una matriz de 5 pasos (por qué) para aprobar o desaprobar y la respuesta era la siguiente:

Si = 1

No = 0

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

$$KR20 = \frac{K}{K - 1} - \frac{S_t^2 - \sum p * q}{S_t^2} \quad (4)$$

k = número de bombas examinadas	5
varianza obtenida de puntuación de cada bomba	1.50
p proporción de aceptación	
q proporción de no aceptación	
$\sum p * q$	1.25
<b>KR20 =</b>	<b>1</b>

Tabla 3 Confiabilidad de la evaluación mediante KR 20

Equipo a evaluar	1er porque		2do porque		3er porque		4to porque		5to porque		Suma	
	SI	NO										
Bomba Wilfley 5K de 1 x 75 HP	1			0	1		1				0	3
Bomba Denver de 5" x 4" - 18 HP			1		1		1		1			4
Bomba vertical SVEDALA SPVC de 30 HP	1			0		0			0		0	1
Bomba vertical SVEDALA SPVC de 40 HP	1		1			0		0	1			3
Bomba vertical SVEDALA SPVC de 40 HP		0	1		1		1		1			4
									Prom			3.00
									D5m			1.22
<b>p</b>	0.50		0.50		0.50		0.50		0.50			
<b>q</b>		0.50		0.50		0.50		0.50		0.50		
<b>P*q</b>	0.25		0.25		0.25		0.25		0.25			1.25

Fuente: Elaboración propia

Dado que el valor alcanzado es de 1 la interpretación nos indica que el instrumento es excelente.

La confiabilidad externa del instrumento fue por juicio de expertos (ver anexo).

### 3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Para el desarrollo del procesamiento de datos se realizó el análisis cualitativo bajo el método de análisis causa raíz, considerando la parte física de las bombas, el factor humano en la construcción y funcionamiento como también en la adquisición de repuestos (gestión logística).

Se realizó el proceso con la participación de los técnicos y operadores directos de las bombas en la planta concentradora, llegando al siguiente diagnóstico.

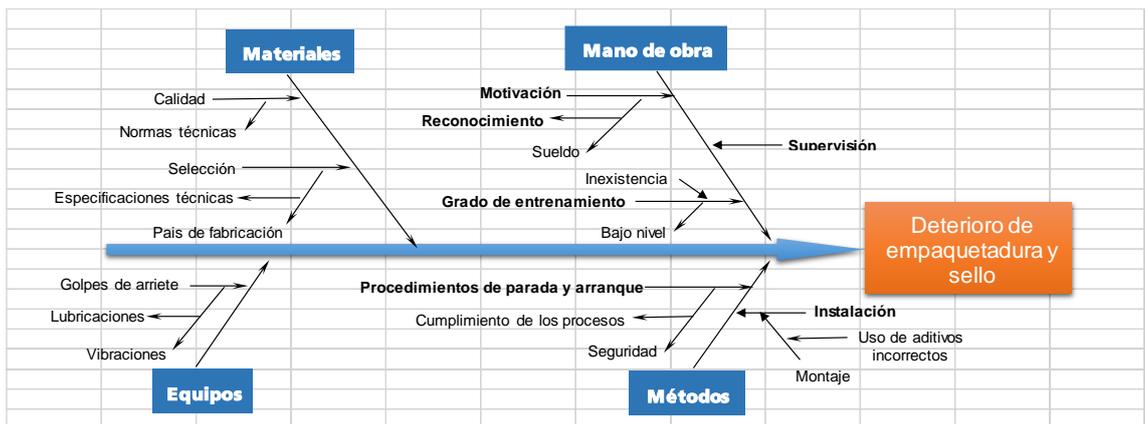
Tabla 4 Problemas y causas

N°	Problema	Criticidad	Causas
1	Bomba Wilfley 5K de 1 x 75 HP	1	Rodamientos
2	Bomba Denver de 5" x 4" - 18 HP	1	Contaminación de partículas
3	Bomba vertical SVEDALA SPVC de 30 HP	2	Contaminación de partículas
4	Bomba vertical SVEDALA SPVC de 40 HP	3	Alto consumo energético
5	Bomba vertical SVEDALA SPVC de 40 HP	3	Alineamiento

Fuente: Elaboración propia.

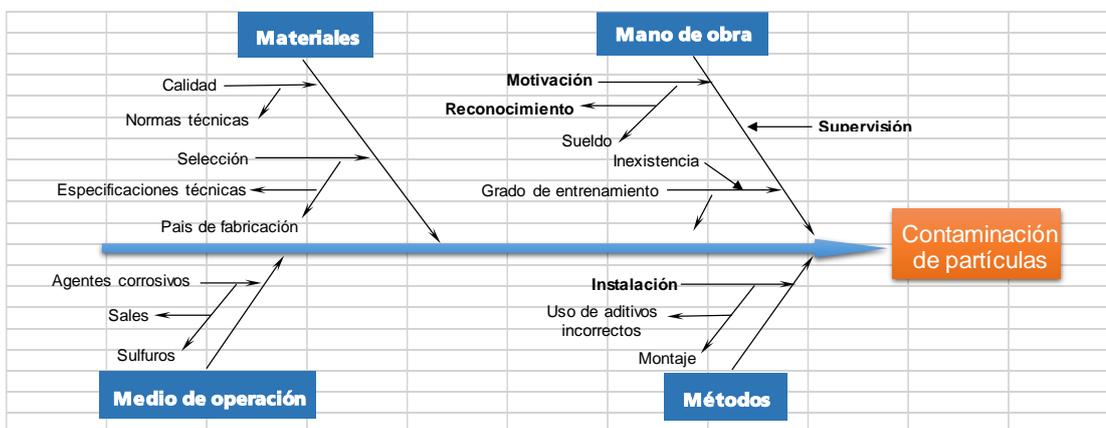
Para realizar el análisis de los problemas que presentaban las bombas en operación se utilizó del diagrama causa efecto, también denominado diagrama de pescado o diagrama Ishikawa.

Figura 3 Análisis de la bomba Wilfley 5K de 1 x 75 HP



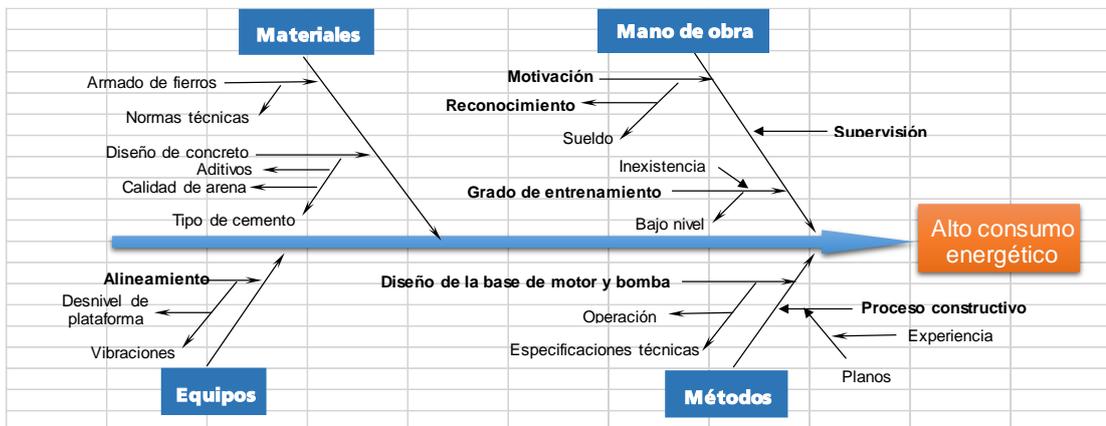
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4 Análisis de la bomba Denver 5 x 4 - 18HP



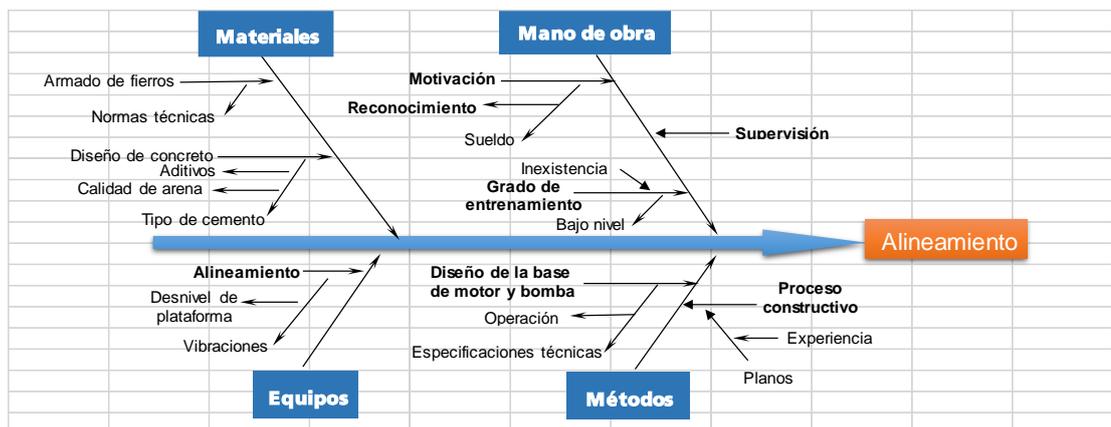
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5 Análisis de la bomba SVEDALA SPVC de 40 HP



Fuente: Elaboración propia.

Figura 6 Análisis de la bomba SVEDALA SPVC de 40 HP



Fuente: Elaboración propia.

### 3.9. Tratamiento estadístico

La presente investigación tiene un **enfoque cualitativo**, por lo tanto, los resultados son textuales, resultado de la experiencia de los trabajadores que en su momento compartieron sus conocimientos en el manejo y operación de bombas, sumado a los conceptos teóricos extraído de los catálogos y libros; solo se utilizó el Excel para el diseño la organización de las tablas y gráficos expuestos.

### **3.10. Orientación ética.**

La aprobación o la desaprobación se basa en la aceptabilidad ética de la investigación, incluyendo su valor tecnológico y su validez científica, un índice aceptable de beneficios potenciales frente a los riesgos de daño, la minimización de los riesgos, los procedimientos adecuados de consentimiento informado (incluyendo la adecuación cultural y los mecanismos para garantizar la voluntariedad), los procedimientos justos para la selección de las variables, y la consideración de la repercusión de la investigación sobre la empresa de donde procede el mineral, tanto durante la investigación como después de que esta finalice. La revisión tiene en cuenta la revisión científica previa y las leyes aplicables.

## **CAPITULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **4.1. Descripción del trabajo de campo**

El trabajo de campo se basó en la observación minuciosa del funcionamiento de las bombas en la planta concentradora; regularmente, si se tiene algún problema en el transporte de la pulpa por alta densidad, los trabajadores tienen dos opciones, añadir agua al cajón alimentador hasta que haya una dilución en la densidad de pulpa o continuar con el bombeo de pulpa en el circuito con el arranque de la bomba paralela instalada en stand by. Los problemas mecánicos en la mayoría de las veces se dejan para su reparación hasta la fecha programada para realizar el mantenimiento de la planta; aquí la empresa especializada tiene solo 48 horas para realizar el mantenimiento de toda la planta y en ese lapso la preocupación es terminar los cambios más importantes como chaquetas de molinos y carcasa de las chancadoras entre otros, dejando para cuando los problemas sean notorios en el circuito para detenerse y realizar una revisión minuciosa para la continuidad de las operaciones.

Los problemas se incrementaron por operaciones defectuosas y cuando ya es una preocupación saltante; los responsables de la planta han decidido buscar la solución para cada equipo, en forma conjunta con la empresa especializada a cargo del mantenimiento de la planta, previo análisis con la participación de todos los actores.

#### 4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

El análisis e interpretación de los problemas que afronta las bombas en la planta concentradora se realizó basándose en la técnica de los 5 porqués, tal como se observa en la tabla siguiente:

*Tabla 5 porqués*

N°	Problema y causas	1er porque	2do porque	3er porque	4to porque	5to porque	¿Descubrió la raíz del problema?	¿Problema resuelto?
1	Bomba Wilfley 5K de 1 x 75 HP	Daño en los rodamientos	Daño en engranajes	Daño en sellos	Contaminación por partículas	Error en la selección de rodamiento	Sí	Sí
2	Bomba Denver de 5" x 4" - 18 HP	Contaminación de partículas	Defecto en sellos	Lubricante insuficiente	Reemplazo de rodamiento fuera de especificación	Error en la selección de rodamiento	Sí	Sí
3	Bomba vertical SVEDALA SPVC de 30 HP	Contaminación por partículas	Caída constante de agua	Lubricante inadecuado	Error en la selección de sellos y empaquetaduras	Deterioro acelerado de las juntas, empaquetaduras y los sellos mecánicos	Sí	Sí
4	Bomba vertical SVEDALA SPVC de 40 HP	Alto consumo energético	Calentamiento del motor	Vibración observable	Mala alineación de los ejes	Montaje defectuoso	Sí	Sí
5	Bomba vertical SVEDALA SPVC de 40 HP	Montaje y alineación defectuosa	Desnivel en la plataforma	Carga portante del concreto inferior a especificaciones técnicas	Alta corrosión de concreto y estructura metálica por sales	Diseño de mezcla de concreto erróneo y geometría de base	Sí	Sí

Fuente: Elaboración propia

Comentario: Para el desarrollo de la tabla 4, 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 6 Acciones correctivas*

N°	Problemas	Acción correctiva	Fecha de inicio	Fecha de finalización	Estatus
1	Bomba Wilfley 5K de 1 x 75 HP	Cambio de rodamientos adecuados	11/09/2020	12/09/2020	Terminado
2	Bomba Denver de 5" x 4" - 18 HP	Cambio de rodamientos adecuados	5/11/2020	6/11/2020	Terminado con retraso
3	Bomba vertical SVEDALA SPVC de 30 HP	Reemplazo de sellos mecánicos adecuados	19/12/2020	20/12/2020	Retrasado
4	Bomba vertical SVEDALA SPVC de 40 HP	Aplicación de resinas sintéticas para reducir la vibración	19/12/2020	20/12/2020	Retrasado
5	Bomba vertical SVEDALA SPVC de 40 HP	Reemplazo con rodamientos SKF de fabricación USA	5/11/2020	6/11/2020	Terminado con retraso

Fuente: Elaboración propia

Comentario: Habiendo conocido la sección o pieza defectuosa de las bombas, se informó a la empresa; se programó la fecha de cambio de los repuestos otorgándole una calificación al estado de las bombas después de la fecha de finalización, tal como se observa en la tabla 5. Cabe notar que a esto se sumó las dificultades propias de la pandemia mundial del Covid 19, que no permitió realizar todas las actividades en el momento oportuno.

*Tabla 7 Informes 2020*

Estatus	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	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	0	0	1
Terminado con retraso	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2
retrasado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2
Total	0	0	0	0	0	0	1	0	2	2	5

Fuente: Elaboración propia

Comentario: Acentuado los defectos en las bombas, se programó el mantenimiento correctivo en las paradas de los meses de setiembre, noviembre y finales de diciembre 2020, tal como se observa en la programación expuesta en la tabla 6.

Tabla 8 Acciones correctivas

Análisis mensual de acciones	Acciones correctivas
Diciembre	2
Noviembre	2
Octubre	0
Setiembre	1
Agosto	0
Julio	0
Junio	0
Mayo	0
Abril	0
Marzo	0

Fuente: Elaboración propia

Figura 7 Acciones correctivas 2020



Fuente: Elaboración propia.

Comentario: En la tabla 7 y figura 6 se observa que conforme pasaba los meses, fue acrecentado los defectos en las operaciones de las bombas, siendo muy necesario la corrección respectiva; si se deseaba que el desplazamiento de la pulpa mineral a ser flotado, no se detengan y que las bombas instaladas en stand by siempre se encuentren en perfectas condiciones para su arranque en el momento requerido.

#### 4.3. Prueba de hipótesis

##### Hipótesis general

El diseño de un programa de análisis causa raíz al sistema de bombeo de pulpa influye significativamente en el mantenimiento preventivo en la planta concentradora Animón – Huayllay – 2020.

Taylor, S.J. y Bogdan R. (1989), sintetizan los criterios definitorios de los estudios cualitativos de la siguiente manera:

1. La investigación cualitativa es inductiva: Así, los investigadores:
  - Comprenden y desarrollan conceptos partiendo de pautas de los datos, y no recogiendo datos para evaluar hipótesis o teorías preconcebidas.
  - Siguen un diseño de investigación flexible
  - Comienzan un estudio con interrogantes vagamente formulados
2. Entiende el contexto y a las personas bajo una perspectiva holística:
  - Las personas, los contextos o los grupos no son reducidos a variables, sino considerados como un todo.
3. Es sensible a los efectos que el investigador causa a las personas que son el objeto de su estudio:
  - Interactúan con los informantes de un modo natural. Aunque no pueden eliminar su influencia en las personas que estudian, tratan de controlarla y reducirla al mínimo. En la observación tratan de no interferir en la estructura; en las entrevistas en profundidad, siguen el modelo de una conversación normal, y no de un intercambio formal de preguntas y respuestas.
4. El investigador cualitativo trata de comprender a las personas dentro del marco de referencia de ellas mismas:
  - Trata de identificarse con las personas que estudia para comprender cómo experimentan la realidad. Busca aprehender el proceso interpretativo permaneciendo distanciado como un observador objetivo y rechazando el papel de unidad actuante.

5. El investigador cualitativo suspende o aparta sus propias creencias, perspectivas y predisposiciones:
  - Ha de ver las cosas como si ocurrieran por primera vez, nada se ha de dar por sobrentendido
6. Todas las perspectivas son valiosas:
  - No se busca “la verdad o la moralidad”, sino una comprensión detallada de las perspectivas de otras personas.
7. Consultado al investigador José Supo, sugiere que la presencia o ausencia de hipótesis depende del enunciado del estudio; lleva hipótesis si el enunciado es proposicional, en este caso no es, solo por fines normativos.

Por los antecedentes bibliográficos expuestos, toda investigación cualitativa no tiene datos que permitan contrastar a la hipótesis, solo se presenta con fines esquemáticos.

#### **4.4. Discusión de resultados**

En la presente investigación, para el análisis de los daños ocasionados a las bombas durante las operaciones en la planta concentradora Animón, se procedió a diagnosticar en base a los catálogos de cada equipo, con la participación del jefe de guardia, técnicos, trabajadores de producción y personal de mantenimiento de la empresa especializada. Para llegar a determinar la verdadera causa de los problemas se realizó sucesivas etapas de análisis empleando la técnica de “los 5 porqués”, para finalmente reemplazar y/o corregir la sección deteriorada, tal como se puede observar en las tablas 2 y 3 que simplifican dicho análisis.

Alfaro (2014) concluye: esta metodología de análisis de eventos es importante debido a su facilidad en la resolución de problemas recurrentes de manera segura. En ocasiones el análisis causa raíz (ACR) puede ser visto como un método correctivo, que actúa sobre los efectos producidos por causas latentes no identificadas. La aplicación de esta metodología está definida por un

procedimiento, el cual permite integrar conocimientos teóricos y prácticos que fundamentan la construcción de estrategias adecuadas para la eliminación de fallas repetitivas (Pág. 83).

En el caso de estudio se observó mediante una ejemplificación, realizado a una bomba en el sector de alquiler el desarrollo de la metodología dividido en fases, se describió desde la problemática y las posibles causas que ocasionaron la falla hasta llegar a las causas raíz del mismo, cabe decir que muchas veces no solamente se llega a una sola causa, sino que, como en el caso descrito fueron varias causas probables las que originaron la falla (Alfaro, 2014, pág. 84).

Retamal (2018), después de haber realizado una evaluación a los trabajos de mantenimiento de las bombas centrífugas de la empresa minera Anglo American Sur, planta Las Tórtolas reparadas por la empresa Proseal; tiene como resultado que dicha empresa, no cumple con los tiempos de reparación de cada unidad establecidos por el contrato vigente entre estas empresas, provocando multas y pérdidas monetarias, además de los altos costos de mantenimiento generados por el mantenimiento correctivo.

Por esto, la empresa Anglo American Sur, se ha propuesto 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).

En la presente investigación, el resultado de las entrevistas realizadas al equipo que trabajo concluyo en una serie de tablas que se muestran donde se especifican los criterios de ponderación según la matriz de aplicación de la metodología D.S y el nivel de criticidad obtenido una vez realizado el análisis a cada equipo.

Para construir la matriz de criticidad fue necesario evaluar una serie de factores tales como:

- 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
- Costos de producción

Analizando los trabajos de investigación se puede afirmar que es necesario contar con un registro histórico confiable de fallas de cada equipo, entendiéndose que entre uno y otro equipo por diversos factores los deterioros se dan en diferentes partes y en este caso de las bombas son los equipos muy importantes para el proceso de transporte de pulpas en la planta concentradora, muy a pesar de estar instalados en stand by, se requiere que se encuentren operativos siempre.

## **CONCLUSIONES**

En la planta concentradora Animón – Huayllay, se encuentran instaladas 10 bombas centrífugas que transportan la pulpa al proceso en circuito cerrado; instalados en stand by, para no interrumpir el flujo de carga; de los cuales en el año 2020 se ha observado que cada vez era persistente defectos en su funcionamiento a 5 bombas los cuales fueron necesarios realizar un cuidadoso análisis y el mantenimiento respectivo.

Se utilizó la metodología de análisis causa raíz; técnica que requiere de seguir una serie de etapas de análisis, denominado los “5 porqués”, diagnosticando el problema principal y para conseguir los resultados esperados, participaron todas las personas involucradas: Jefatura de planta, trabajadores de producción y mantenimiento, para aprovechar las diversas opiniones propuestas y resolver divergencias.

El análisis causa raíz, permitió evaluar secuencialmente las fallas ocasionadas en las bombas, diagnosticar los defectos, reemplazar con repuestos originales y dejar un historial para posteriores eventos.

## **RECOMENDACIONES**

Durante el mantenimiento, si bien se tiene un tiempo programado, para su ejecución, es necesario tomar importancia a los equipos que presentan problemas en su funcionamiento, utilizando diversas técnicas de análisis cualitativo para la reparación definitiva.

Realizar una evaluación técnico económica de la reparación de cada equipo, entendiéndose que resulta costoso si la eliminación de los fallos no se hace a tiempo. Tener mucho cuidado los circuitos eléctricos al momento de realizar la limpieza con agua a presión, por presentarse los cortocircuitos pequeños durante los días posteriores; al igual que los rodamientos, donde inconscientemente se va retirando la grasa.

## REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

### 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. *FUNDABEQ*.
- García, O. (2005). Análisis causa raíz, estrategia de confiabilidad operacional. *Reliability Word Latin América*. Bogotá: Univ. Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
- Harrington, J. (2016). *Mejoramiento de los procesos de la empresa*. Bogotá: 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 Técnica 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 1. Matriz de Consistencia

### ANÁLISIS CAUSA RAÍZ AL SISTEMA DE BOMBEO DE PULPA Y SU INFLUENCIA EN EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN LA PLANTA CONCENTRADORA ANIMÓN – HUAYLLAY – 2020

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Indicadores
<b>General</b>	<b>General</b>	<b>General</b>			Seguridad
¿Cómo influye el diseño de un programa de análisis causa raíz al sistema de bombeo de pulpa para el mantenimiento preventivo en la planta concentradora Animón – Huayllay – 2020?	Diseñar un programa de análisis causa raíz al sistema de bombeo de pulpa para el mantenimiento preventivo en la planta concentradora Animón – Huayllay – 2020.	El diseño de un programa de análisis causa raíz al sistema de bombeo de pulpa influirá significativamente para el mantenimiento preventivo en la planta concentradora Animón – Huayllay – 2020.	<b>Independiente</b> Análisis causa raíz	Jerarquización de problemas	Población
					Ambiente
					Producción
				Análisis causa raíz	Diagnóstico
					Inspección sensorial
					Causas
					Análisis del árbol de fallas
				Acciones correctivas	Determinar responsabilidades
<b>Específicos</b>	<b>Específicos</b>	<b>Específicos</b>			
¿Cómo influye la jerarquización de los problemas frecuentes en el sistema de bombeo para el mantenimiento preventivo en la planta concentradora Animón – Huayllay – 2020?	Jerarquizar los problemas frecuentes en el sistema de bombeo para el mantenimiento preventivo en la planta concentradora Animón – Huayllay – 2020.	La jerarquización de los problemas frecuentes en el sistema de bombeo influirá para el mantenimiento preventivo en la planta concentradora Animón – Huayllay – 2020.	<b>Dependiente</b> Mantenimiento preventivo	Incremento de la confiabilidad	Disminución del tiempo promedio de fallas
¿Cómo realizar el análisis causa efecto al sistema de bombeo para el mantenimiento preventivo en la planta concentradora Animón – Huayllay – 2020?	Realizar el análisis causa raíz al sistema de bombeo para el mantenimiento preventivo en la planta concentradora Animón – Huayllay – 2020.	El análisis causa raíz al sistema de bombeo influirá para el mantenimiento preventivo en la planta concentradora Animón – Huayllay – 2020.			
¿Es posible seleccionar las acciones correctivas al sistema de bombeo para el mantenimiento preventivo en la planta concentradora Animón – Huayllay – 2020?	Seleccionar las acciones correctivas al sistema de bombeo para el mantenimiento preventivo en la planta concentradora Animón – Huayllay – 2020.	La selección de acciones correctivas al sistema de bombeo influirá para el mantenimiento preventivo en la planta concentradora Animón – Huayllay – 2020.			

Fuente : Elaboración propia.

## Anexo 2. Proceso análisis causa raíz utilizando el software disponible el google.com

5 Porques 4.0 - Excel (Error de activación de productos)

Archivos Inicio Insertar Diseño de página Fórmulas Datos Revisar Vista Desarrollador Power Pivot ¿Qué desea hacer? Compartir

Calibri 11 Fuente Ajustar texto General Formato condicional Dar formato como tabla Estilos de celda Insertar Eliminar Formato Celdas Autosuma Rellenar Ordenar y filtrar Buscar y seleccionar

Portapapeles Pegar Alineación Combinar y centrar Número Estilos Celdas

C6 Bomba Wilfley 5K de 1 x 75 HP

	PROBLEMAS Y CAUSAS	5 PORQUÉS	ACCIONES CORRECTIVAS	INFORMES	DASHBOARD	INSTRUCCIÓN
1	PROBLEMAS Y CAUSAS					
2	PROBLEMAS CAUSAS					
3	ATENCIÓN: Esta es una hoja de cálculo de demostración. <a href="#">Comprar la Hoja de Cálculo</a>					
4						
5	Problema	Criticidad				
6	Bomba Wilfley 5K de 1 x 75 HP	1				
7	Bomba Denver de 5" x 4" - 18 HP	4				
8	Bomba vertical SVEDALA SPVC de 40 HP	5				
9	Problema 4	91				
10	Problema 5	37				
11						
12						
13						

Activar Windows

Ver a Configuración para activar Windows.

Lista Cad\_pr Cad\_ca 5\_pq Ac\_cor Re\_ac Dash1 Dash2 INI DUV SUG LUZ Hoja1

09:00 27/05/2021

5 Porques 4.0 - Excel (Error de activación de productos)

Archivos Inicio Insertar Diseño de página Fórmulas Datos Revisar Vista Desarrollador Power Pivot ¿Qué desea hacer? Compartir

Calibri 11 Fuente Ajustar texto General Formato condicional Dar formato como tabla Estilos de celda Insertar Eliminar Formato Celdas Autosuma Rellenar Ordenar y filtrar Buscar y seleccionar

Portapapeles Pegar Alineación Combinar y centrar Número Estilos Celdas

D6 Primero

	PROBLEMAS Y CAUSAS	5 PORQUÉS	ACCIONES CORRECTIVAS	INFORMES	DASHBOARD	INSTRUCCIÓN		
1	PROBLEMAS Y CAUSAS							
2	5 PORQUÉS							
3	ATENCIÓN: Esta es una hoja de cálculo de demostración. <a href="#">Comprar la Hoja de Cálculo</a>							
4								
5	Problemas y Causas	1er Porque	2do Porque	3er Porque	4to Porque	5to Porque	Descubrió la raíz del problema?	¿Problema resuelto?
6	Bomba Wilfley 5K de 1 x 75 HP - Causa 1	Primero	Primero	Primero	Primero	Primero	Si	Si
7	Bomba Denver de 5" x 4" - 18 HP - Causa 2	Segundo	Segundo	Segundo	Segundo	Segundo	Si	No
8	Bomba Wilfley 5K de 1 x 75 HP - Causa 3	Tercero	Tercero	Tercero	Tercero	Tercero	No	No
9								
10								

Activar Windows

Ver a Configuración para activar Windows.

Lista Cad\_pr Cad\_ca 5\_pq Ac\_cor Re\_ac Dash1 Dash2 INI DUV SUG LUZ Hoja1

09:00 27/05/2021

5 Porques 4.0 - Excel (Error de activación de productos)

Archivo Inicio Insertar Diseño de página Fórmulas Datos Revisar Vista Desarrollador Power Pivot ¿Qué desea hacer? Compartir

Calibri 11 Fuente Ajustar texto General Formato condicional Dar formato como tabla Estilos de celda Insertar Eliminar Formato Autosuma Rellenar Ordenar y filtrar Buscar y seleccionar

Portapapeles Pegar Fuente Alineación Número Estilos Celdas Modificar

G6 En proceso

	PROBLEMAS Y CAUSAS	5 PORQUÉS	ACCIONES CORRECTIVAS	INFORMES	DASHBOARD	INSTRUCCIÓN
1	ACCIONES CORRECTIVAS					
2	ATENCIÓN: Esta es una hoja de cálculo de demostración. <a href="#">Comprar la Hoja de Cálculo</a>					
3						
4						
5	Problemas	Acción correctiva	Fecha de inicio	Fecha de finalización	estatus	
6	Problema 1 - Causa 1	Acción 1	4/10/2019	11/11/2019	En proceso	
7						
8						
9						
10						
11						
12						

Activar Windows

Cad\_pr Cad\_ca 5\_pq Ac\_cor Re\_ac Dash1 Dash2 INI DUV SUG LUZ Hoja1

5 Porques 4.0 - Excel (Error de activación de productos)

Archivo Inicio Insertar Diseño de página Fórmulas Datos Revisar Vista Desarrollador Power Pivot ¿Qué desea hacer? Compartir

Calibri 12 Fuente Ajustar texto General Formato condicional Dar formato como tabla Estilos de celda Insertar Eliminar Formato Autosuma Rellenar Ordenar y filtrar Buscar y seleccionar

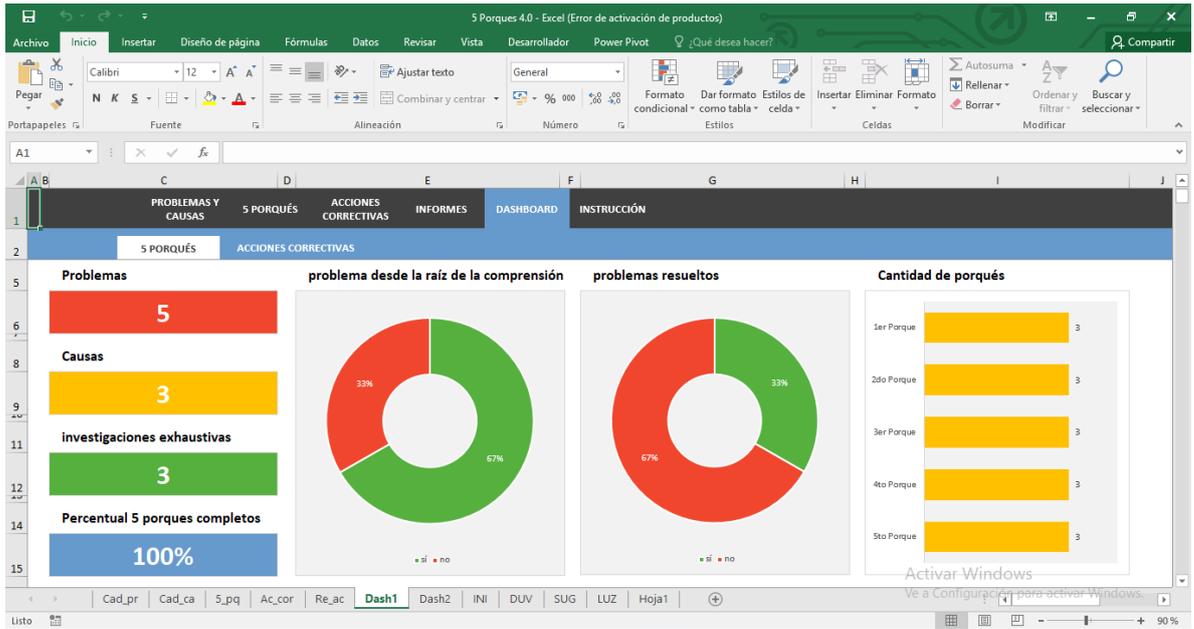
Portapapeles Pegar Fuente Alineación Número Estilos Celdas Modificar

A1

	PROBLEMAS Y CAUSAS	5 PORQUÉS	ACCIONES CORRECTIVAS	INFORMES	DASHBOARD	INSTRUCCIÓN								
1	ACCIONES CORRECTIVAS													
2														
5	estatus	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	total
6	No se ha iniciado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	En proceso	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
8	Terminado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	Terminado com retraso	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	Retrasado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	total	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1

Activar Windows

Cad\_pr Cad\_ca 5\_pq Ac\_cor Re\_ac Dash1 Dash2 INI DUV SUG LUZ Hoja1



5 Porques 4.0 - Excel (Error de activación de productos)

Archivos Inicio Insertar Diseño de página Fórmulas Datos Revisar Vista Desarrollador Power Pivot ¿Qué desea hacer? Compartir

Calibri 11 Fuente Ajustar texto General Formato condicional Dar formato como tabla Estilos de celda Insertar Eliminar Formato Celdas Autosuma Rellenar Ordenar y filtrar Buscar y seleccionar

Portapapeles Pegar Fuente Alineación Número Estilos Celdas Modificar

C7

1 PROBLEMAS Y CAUSAS 5 PORQUÉS ACCIONES CORRECTIVAS INFORMES DASHBOARD INSTRUCCIÓN

2 PASO A PASO DUDAS FRECUENTES SUGERENCIAS SOBRE LA LUZ

6 **IMPORTANTE: seguir los pasos de EJECUCIÓN**

7

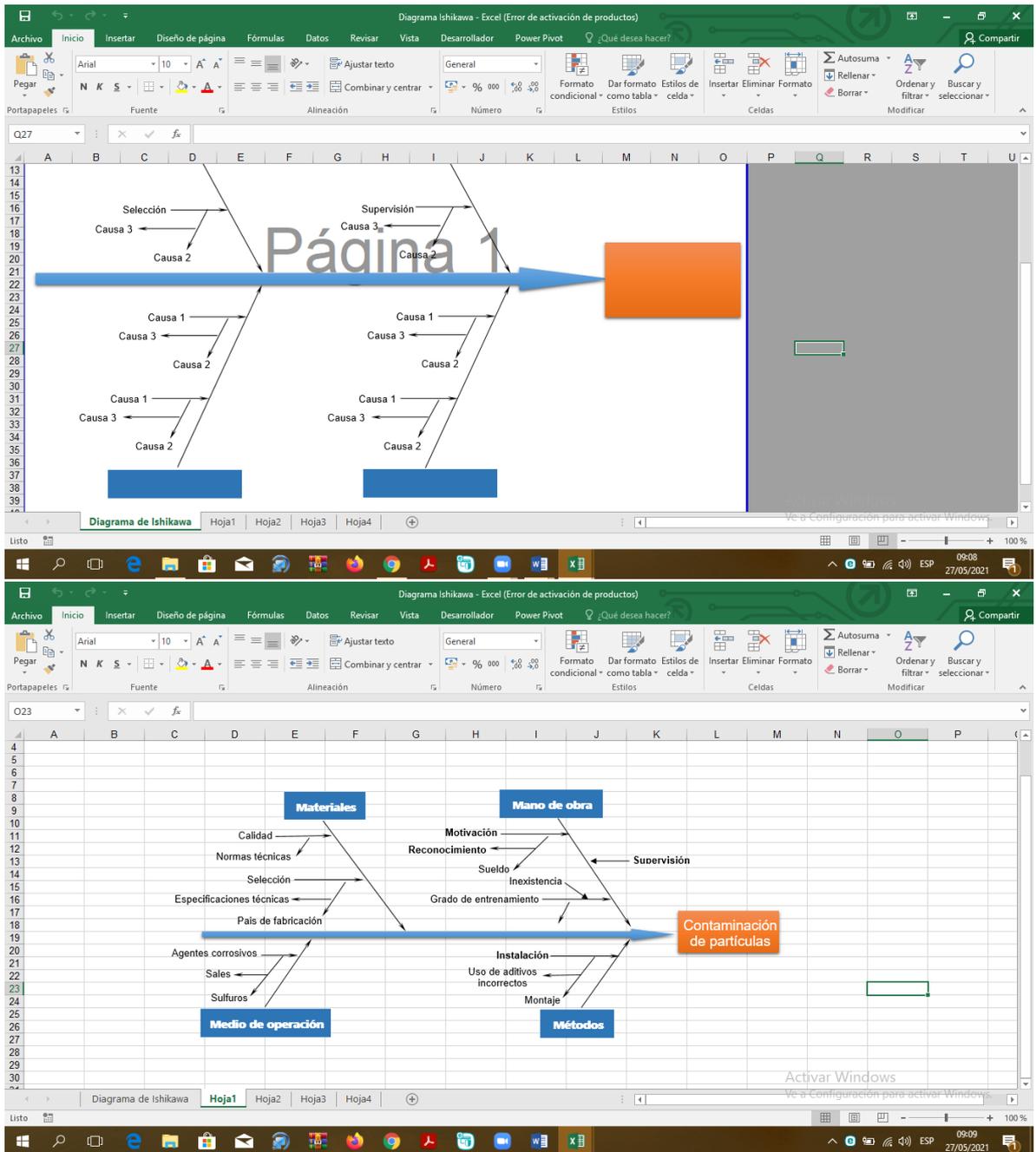
8	Paso 1	PROBLEMAS Y CAUSAS	En esta área registra los problemas que indican la criticidad y sus posibles causas.
10	Paso 2	5 PORQUÉS	En esta pestaña, registra los porqués de cada problema / causa.
12	Paso 3	ACCIONES CORRECTIVAS	Aquí puede registrar acciones correctivas para problemas / causas que indican las fechas de inicio y finalización y el estado de la acción.
14	Paso 4	INFORMES	En esta pestaña tiene acceso al total de acciones correctivas mensuales por estatus.
16	Paso 5	DASHBOARD	Aquí tiene acceso a información rápida sobre los por qué y las causas.

19

20

Cad\_pr Cad\_ca S\_pq Ac\_cor Re\_ac Dash1 Dash2 INI DUV SUG LUZ Hoja1

### ANEXO 3. Diagrama Ishikawa desarrollado en Excel



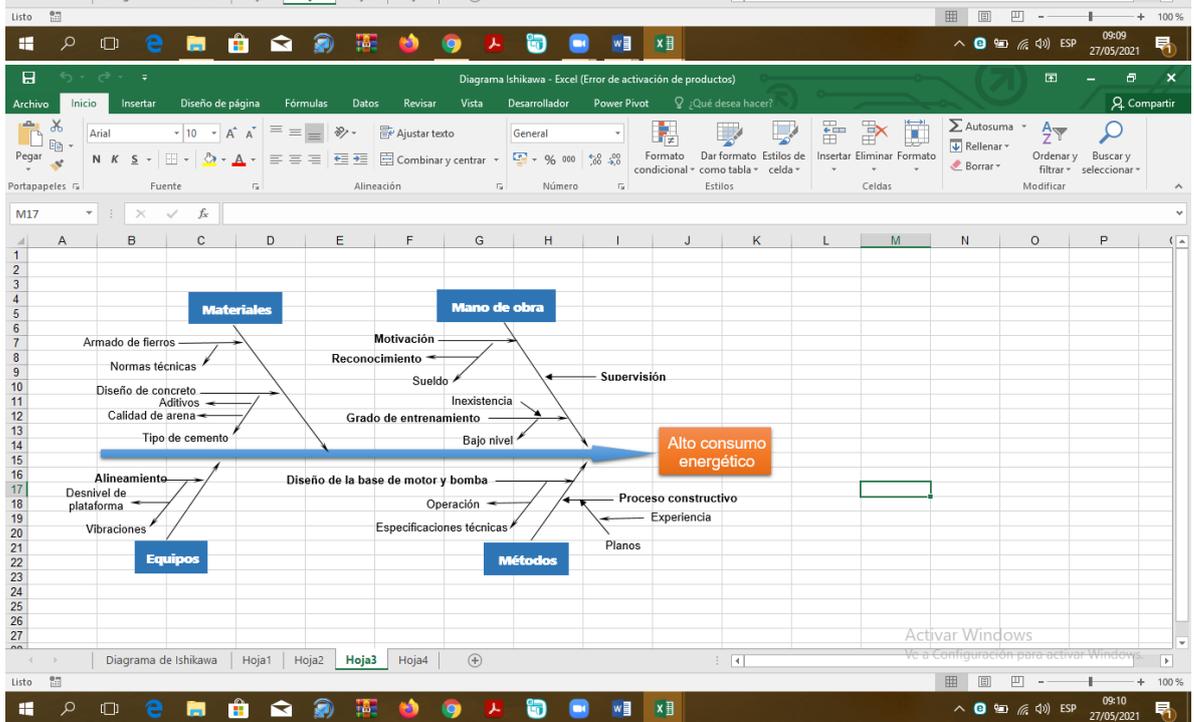
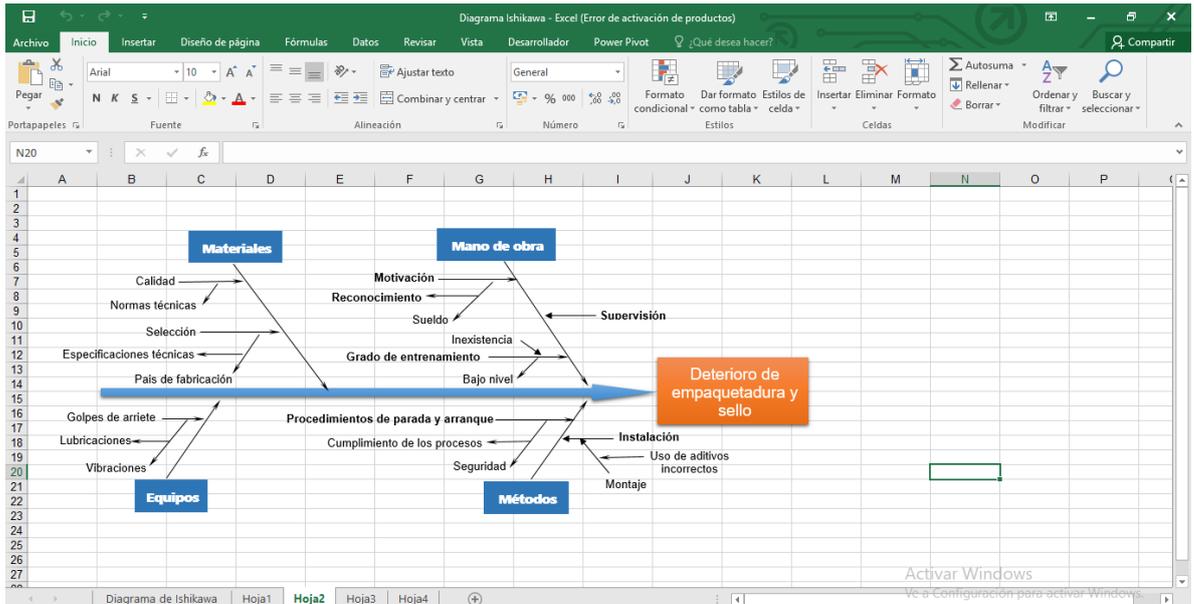


Diagrama Ishikawa - Excel (Error de activación de productos)

Archivos Inicio Insertar Diseño de página Fórmulas Datos Revisar Vista Desarrollador Power Pivot ¿Qué desea hacer? Compartir

Portapapeles Fuente Alineación Número Estilos Formato Dar formato Estilos de celdas Insertar Eliminar Formato Celdas Autosuma Rellenar Ordenar y filtrar Buscar y seleccionar Modificar

N20

The diagram is an Ishikawa (fishbone) diagram with a central arrow pointing to the right, labeled 'Alineamiento' (Alignment). The arrow is blue and points to a box labeled 'Alineamiento' in orange. The causes are grouped into four main categories in blue boxes: 'Materiales' (Materials), 'Mano de obra' (Manpower), 'Equipos' (Equipment), and 'Métodos' (Methods). Each category has several specific causes listed with arrows pointing to the central arrow.

- Materiales:** Armado de fierros, Normas técnicas, Diseño de concreto, Aditivos, Calidad de arena, Tipo de cemento.
- Mano de obra:** Motivación, Reconocimiento, Supervisión, Inexistencia, Grado de entrenamiento, Bajo nivel.
- Equipos:** Alineamiento, Desnivel de plataforma, Vibraciones.
- Métodos:** Diseño de la base de motor y bomba, Operación, Especificaciones técnicas, Proceso constructivo, Experiencia, Planos.

Activar Windows

Diagrama de Ishikawa Hoja1 Hoja2 Hoja3 Hoja4

09:10 27/05/2021

## Anexo 4

### UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN FACULTAD DE INGENIERÍA

#### FICHA DE VALIDACION DE INSTRUMENTO

1. DATOS GENERALES
  - 1.1 Apellidos y nombres del experto: MAUTINO ROSALES, Marco Antonio
  - 1.2 Grado Académico: Ingeniero Metalúrgico
  - 1.3 Cargo e institución donde labora: Cía. Minera Volcan - Alpamarca
  - 1.4 Título de la investigación: ANALISIS CAUSA RAÍZ AL SISTEMA DE BOMBEO DE PULPA Y SU INFLUENCIA EN EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN LA PLANTA CONCENTRADORA ANIMÓN – HUAYLLAY - 2020
  - 1.5 Autor del instrumento: Paul William LAZO VICENTE
  - 1.6 Tesis: Ingeniero metalúrgico
  - 1.7 Nombre del instrumento: Validez del instrumento

INDICADORES	CRITERIOS CUALITATIVOS/CUANTITATIVOS	Deficiente 0-20%	Regular 21-40%	Bueno 41-60%	Muy bueno 61-80%	Excelente 81-100%
19. CLARIDAD	Está formulado en lenguaje apropiado					X
20. OBJETIVIDAD	Está expresado en conductas observables				X	
21. ACTUALIDAD	Adecuado al alcance de la ciencia y tecnología				X	
22. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica				X	
23. SUFICIENCIA	Comprende los aspectos de cantidad y calidad				X	
24. INTENCIONALIDAD	Adecuado para valorar aspectos de estudio				X	
25. CONSISTENCIA	Basados en aspectos teóricos – científicos y del tema de estudio				X	
26. COHERENCIA	Entre los índices, indicadores, dimensiones y variables				X	
27. METODOLOGÍA	La estrategia responde al propósito del estudio				X	
10. CONVENIENCIA	Genera nuevas pautas en la investigación y construcción de teorías				X	
SUB TOTAL						
TOTAL					8,00	

VALORACION CUANTITATIVA (Total x 0.20): .....

VALORACION CUALITATIVA: .....

OPINIÓN DE APLICABILIDAD: ..... *puede aplicarse* .....

Lugar y fecha: *St. 18/06/2021*

  
 .....  
 Firma del experto

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**FICHA DE VALIDACION DE INSTRUMENTO**

- I. DATOS GENERALES
- I.1 Apellidos y nombres del experto: CHICCHEAPAZA DEUDOR, Aldo
- I.2 Grado Académico: Ingeniero Metalúrgico
- I.3 Cargo e institución donde labora: SENATI - Oroya
- I.4 Título de la investigación: ANALISIS CAUSA RAÍZ AL SISTEMA DE BOMBEO DE PULPA Y SU INFLUENCIA EN EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN LA PLANTA CONCENTRADORA ANIMÓN – HUAYLLAY - 2020
- I.5 Autor del instrumento: Paul William LAZO VICENTE
- I.6 Tesis: Ingeniero metalúrgico
- I.7 Nombre del instrumento: Validez del instrumento

INDICADORES	CRITERIOS CUALITATIVOS/CUANTITATIVOS	Deficiente 0-20%	Regular 21-40%	Bueno 41-60%	Muy bueno 61-80%	Excelente 81-100%
10. CLARIDAD	Está formulado en lenguaje apropiado					✓
11. OBJETIVIDAD	Está expresado en conductas observables				✓	
12. ACTUALIDAD	Adecuado al alcance de la ciencia y tecnología				✓	
13. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica				✓	
14. SUFICIENCIA	Comprende los aspectos de cantidad y calidad				✓	
15. INTENCIONALIDAD	Adecuado para valorar aspectos de estudio				✓	
16. CONSISTENCIA	Basados en aspectos teóricos – científicos y del tema de estudio				✓	
17. COHERENCIA	Entre los índices, indicadores, dimensiones y variables				✓	
18. METODOLOGÍA	La estrategia responde al propósito del estudio				✓	
10. CONVENIENCIA	Genera nuevas pautas en la investigación y construcción de teorías				✓	
SUB TOTAL						
TOTAL						

VALORACION CUANTITATIVA (Total x 0.20): .....

VALORACION CUALITATIVA: .....

OPINIÓN DE APLICABILIDAD: PUEDA APLICARLO

Lugar y fecha: La Oroya: 12/06/2021

*Chicchepaza Df*

Firma del experto

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**FICHA DE VALIDACION DE INSTRUMENTO**

**I. DATOS GENERALES**

- 1.1 Apellidos y nombres del experto: BALVIN CURI, Héctor Juan
- 1.2 Grado Académico: Ingeniero Mecánico
- 1.3 Cargo e institución donde labora: Ecosem Pucará
- 1.4 Título de la investigación: ANALISIS CAUSA RAÍZ AL SISTEMA DE BOMBEO DE PULPA Y SU INFLUENCIA EN EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN LA PLANTA CONCENTRADORA ANIMÓN – HUAYLLAY - 2020
- 1.5 Autor del instrumento: Paul William LAZO VICENTE
- 1.6 Tesis: Ingeniero metalúrgico
- 1.7 Nombre del instrumento: Validez del instrumento

INDICADORES	CRITERIOS CUALITATIVOS/CUANTITATIVOS	Deficiente 0-20%	Regular 21-40%	Bueno 41-60%	Muy bueno 61-80%	Excelente 81-100%
1. CLARIDAD	Está formulado en lenguaje apropiado				X	
2. OBJETIVIDAD	Está expresado en conductas observables				X	
3. ACTUALIDAD	Adecuado al alcance de la ciencia y tecnología					X
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica				X	
5. SUFICIENCIA	Comprende los aspectos de cantidad y calidad					X
6. INTENCIONALIDAD	Adecuado para valorar aspectos de estudio					X
7. CONSISTENCIA	Basados en aspectos teóricos – científicos y del tema de estudio				X	
8. COHERENCIA	Entre los índices, indicadores, dimensiones y variables					X
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde al propósito del estudio				X	
10. CONVENIENCIA	Genera nuevas pautas en la investigación y construcción de teorías					X
SUB TOTAL						
TOTAL					84.00	

VALORACION CUANTITATIVA (Total x 0.20): .....

VALORACION CUALITATIVA: .....

OPINIÓN DE APLICABILIDAD: *..... puede aplicarse sin problema*

Lugar y fecha: *Pucará - 10/06/2021*

*Balvin Curi*  
 .....  
 Firma del experto

Anexo 5  
Fotografía 1



Fuente: Elaboración propia

Fotografía 2



Fuente: Elaboración propia.