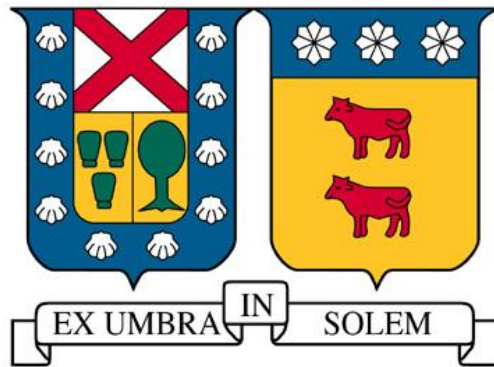


33UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA
DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS
VALPARAISO – CHILE



NOMBRE TRABAJO FINAL

IMPLEMENTACION DE UN PROCEDIMIENTO DE ANALISIS CAUSA RAIZ PARA
UNA PLANTA CEMENTERA

NOMBRE ALUMNO

HENRY ROBERTO DIONISIO PADILLA

TRABAJO FINAL PARA OPTAR AL GRADO DE
MAGÍSTER EN GESTIÓN DE ACTIVOS Y MANTENIMIENTO

PROFESOR GUÍA

: Prof. RAUL STEGMAIER BRAVO

AGOSTO 2025



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): ☐ Memoria o trabajo de título; ☒ Tesis de Postgrado;

Título del trabajo: Implementación de un procedimiento de análisis causa raíz para una planta cementera

Nombre del candidato(a): Henry Dionisio Padilla

Carrera / Grado: Magíster en Gestión de Activos y Mantenimiento

Campus: Santiago Vitacura ; Departamento: Industrias

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Raúl Stegmaier Bravo, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL

☒ El trabajo **NO contiene información que amerite confidencialidad** y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

☐ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (embargo) por:

☐ 6 meses; ☐ 12 meses; ☐ 2 años; ☐ 3 años; ☐ 5 años; ☐ 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 26-09-2025; Firma: 

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 26/09/25; Firma: 

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

INDICE

1	Resumen ejecutivo	1
2	Introducción	3
3	Objetivos.....	5
3.1	Objetivo General.....	5
3.2	Objetivo Específico	5
4	Alcance.....	5
5	Metodología Propuesta.....	6
5.1	Formación del equipo de trabajo.....	6
5.2	Estudio de sistemas y procesos.....	7
5.3	Jerarquización y cuantificación de los problemas	8
5.4	Investigación del evento	9
5.5	Definición de los modos de fallos.....	10
5.6	Definición de hipótesis y determinación de las causas raíces	10
5.6.1	Hipótesis.....	10
5.6.2	Las causas raíces.....	11
5.7	Identificación e implementación de las soluciones	13
5.7.1	Evaluación de las soluciones	15
5.7.2	Cuantificar el costo riesgo beneficio	15
6	Desarrollo del tema.....	16
6.1	Conformación del comité de trabajo	16
6.2	Instancias orgánicas para acoger un ACR de forma sistemática	18
6.3	Factores claves para insertar una buena práctica como ACR.....	20
6.4	Modelo de gestión adecuada para la implementación sistemática del ACR..	21
6.5	Caso Aplicativo del ACR.....	22
7	Conclusiones y Recomendaciones	28
7.1	Conclusiones	28
7.2	Recomendaciones	29

8	Bibliografía.....	30
9	Anexos	31

1 Resumen ejecutivo

Este trabajo consiste en un estudio de la implementación de un procedimiento de Análisis de Causa Raíz (ACR) para encontrar las fallas críticas en las máquinas y equipos de una planta cementera, con el propósito también de fortalecer la gestión de activos, optimizar los costos de mantenimiento y mejorar la confiabilidad operativa.

Este proyecto se centró en los equipos críticos del proceso productivo como molinos, hornos y faja transportadora. Por lo que, se usó herramientas de diagnóstico y jerarquización de fallas como el diagrama de Ishikawa, el árbol lógico de problemas, el análisis de Pareto, el AMEF simplificado, las cuales permitieron identificar los principales modos de falla y establecer lineamientos para su prevención.

La metodología escogida, basada en (Amendola,2014), adopta aspectos técnicos, económicos y organizacionales, permitiendo no solo identificar las causas del problema, sino también priorizar soluciones sostenibles en el tiempo. De tal forma, la propuesta contiene la descripción detallada de un procedimiento estandarizado de ACR en nuevas etapas, que considera la conformación de un comité de trabajo para la guía del proceso, la selección y análisis sistemáticos de los datos, la jerarquización de fallas y la evaluación de soluciones bajo el criterio de Costo, Riesgo y Beneficio.

Asimismo, la propuesta destaca las instancias orgánicas para acoger el ACR de manera sistemática desde la Gerencia de Operaciones hasta el área de SSTMA. Dichas áreas amparan la coordinación de esfuerzos, la priorización de fallas frecuentes, la integración de datos históricos y la vinculación de las acciones correctivas con los objetivos estratégicos de la planta cementera. Igualmente, se identifican factores claves para consolidar el ACR como buena práctica organizacional, tales como liderazgo comprometido, comunicación efectiva,

capacitación continua, integración con sistemas de gestión y cultura preventiva, garantizando la adopción exitosa del procedimiento en la planta cementera.

Lo que se pretende con esta implementación es la reducción de paradas no programadas, la mejora en la calidad del producto (cemento), el aumento en la disponibilidad de los equipos y el fortalecimiento de una cultura organizacional guiada a la confiabilidad y la mejora continua.

2 Introducción

El presente proyecto tiene como finalidad el desarrollo de una propuesta de implementación de un procedimiento ACR (Análisis Causa Raíz) para una planta cementera. Actualmente, la industria del cemento afronta diferentes retos relacionados con la gestión del mantenimiento centrado en la confiabilidad y optimización de procesos.

En tal sentido, identificar y analizar la causa raíz de los problemas repetitivos o fallas que resulta fundamental para garantizar la mejora continua y eficiencia productiva. El análisis de falla es un proceso de inspección cuidadosa y ordenada del producto y de los datos que coinciden al momento de identificar la causa raíz de la falla y de la forma en cómo resolverlos o evitar que sucedan.

Este proceso es mucho más fácil, si antes que se presenten los problemas nos familiarizamos con las maquinas, su historial de mantenimiento y los tipos de fallas Para que un activo funcione correctamente depende de tres actores principales: el fabricante, el distribuidor y el usuario. Cada uno tiene responsabilidades de trabajo importantes y específicas que se deben cumplir para que el producto tenga el funcionamiento y rendimiento como se espera.

La ingeniería de confiabilidad y el mantenimiento predictivo tienen dos objetivos principales: prevenir las fallas catastróficas en los sistemas críticos de una planta de producción y evitar las desviaciones del rendimiento de su nivel aceptable que resulten en prejuicios a las personas, impacto medio ambiental, perdida de la capacidad o baja calidad de los productos (Bjorn & Fagerhaug, 2006)..

ACR se realiza con la comprensión de que los eventos se abordan mediante la comprensión de las causas fundamentales, en lugar de los síntomas evidentes de inmediato. ACR tiene como objetivo revelar las causas fundaméntales de manera que sea la probabilidad de que se produzca o su impacto si ocurre pueda ser cambiado. Una

distinción importante que hacer es que ACR se utiliza para analizar un evento de enfoque que se ha producido, por lo que analiza el pasado (a posteriori). Sin embargo, el conocimiento de las causas fundamentales de los acontecimientos pasados puede conducir a acciones que generen mejoras en el futuro (Amendola, 2014) .

Por ello, se propone implementar un ACR para establecer estrategias de mejora continua, reducir tiempos de espera, optimizar costos de mantenimiento e incrementar la calidad del producto a ofrecer como cemento (Cueva Julca & Linch, 2017).

3 Objetivos

3.1 Objetivo General

Elaborar una propuesta de implementación de un procedimiento de Análisis Causa Raíz en una planta cementera.

3.2 Objetivo Específico

- Conformar el equipo de trabajo cuyo rol es ejecutar el procedimiento ACR.
- Elegir las instancias orgánicas de la organización para acoger un ACR de forma sistemática.
- Determinar los factores claves para insertar una buena práctica como ACR.
- Implementar un plan de acción efectivo para evitar la recurrencia de las fallas.
- Proponer un modelo de gestión para la implementación sistemática del ACR en la organización.

4 Alcance

La presente tesina se centra principalmente en la implementación de herramientas y técnicas de análisis causa raíz en los procesos críticos de una planta cementera, dando mayor importancia a las máquinas como molinos, hornos y fajas transportadoras. El alcance de dicho trabajo abarca desde la identificación de datos de las posibles fallas, luego del análisis del mismo usando el diagrama del árbol del problema, diagrama de Ishikawa, tabla de jerarquización de fallas mediante el análisis de Pareto, técnica del AMEF (Análisis de modo y efecto de fallas) simplificado y finalmente la elaboración de un procedimiento estandarizado, lo cual permitirá reducir los modos de falla repetitivo. El estudio describe también los principios básicos y especifica los pasos a seguir que un procedimiento ACR.

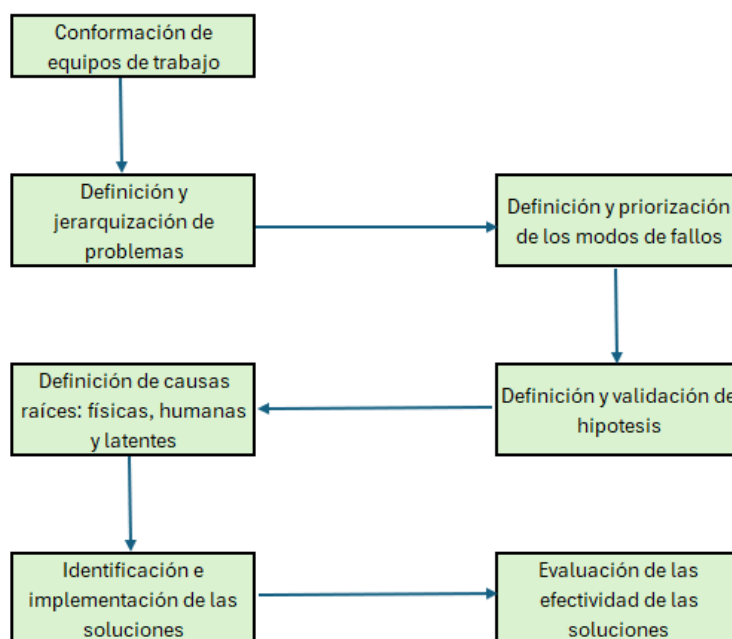
El estudio se ciñe a los procesos internos de la planta cementera y no incluye la cadena de suministro externa ni aspecto de mercado.

5 Metodología Propuesta

Se tomo como metodología lo declarado por (Amendola, 2014) debido a que combina el aspecto técnico con un enfoque sistemático y plantea criterios económicos, lo que la transforma en una herramienta más completa y adaptable a la implementación de un ACR en una planta cementera, en contraste con otras aproximaciones más concentradas al aspecto técnico o descriptivo.

Bajo ese contexto, (Amendola, 2014) plantea que la metodología a emplear para la implementación del procedimiento del ACR en una planta cementera se basa en 9 etapas, tal y como se muestra en la Figura 1.

Figura 1. Flujograma del proceso ACR



Fuente: Tomado de (Amendola, 2014)

5.1 Formación del equipo de trabajo

La forma tradicional para la conformación de un equipo de análisis es mediante la integración de un grupo de expertos compuesto por operadores, técnicos y profesionales con capacidades y habilidades relacionadas al evento que se está analizando, luego de haber formado el comité de trabajo se procede a elaborar un reglamento interno, a desarrollar un cronograma de actividades donde se asigne las

responsabilidades y roles a los expertos, finalmente se desarrolla estrategias para resolver los problemas recurrentes en una planta cementera.

Estos equipos de trabajo asociados al análisis de fallas cuentan como máximo con 7 personas, lo cual son asignados por un experto en la metodología ACR. Dicho equipo de trabajo debe ser dinámico, tal y como se muestra en la Figura 2.

Figura 2. Sinergia del proceso de ACR.



Fuente: Tomado de (Amendola, 2014)

5.2 Estudio de sistemas y procesos

En esta fase, se realiza el análisis causa raíz se debe tener en cuenta el Know how del proceso en donde se pueda visualizar con claridad la información necesaria e identificar las variables operativas a considerar, lo cual permitirá obtener resultados óptimos dentro de la comisión de trabajo.

Por ello, es fundamental que el equipo de trabajo sepa utilizar las herramientas como:

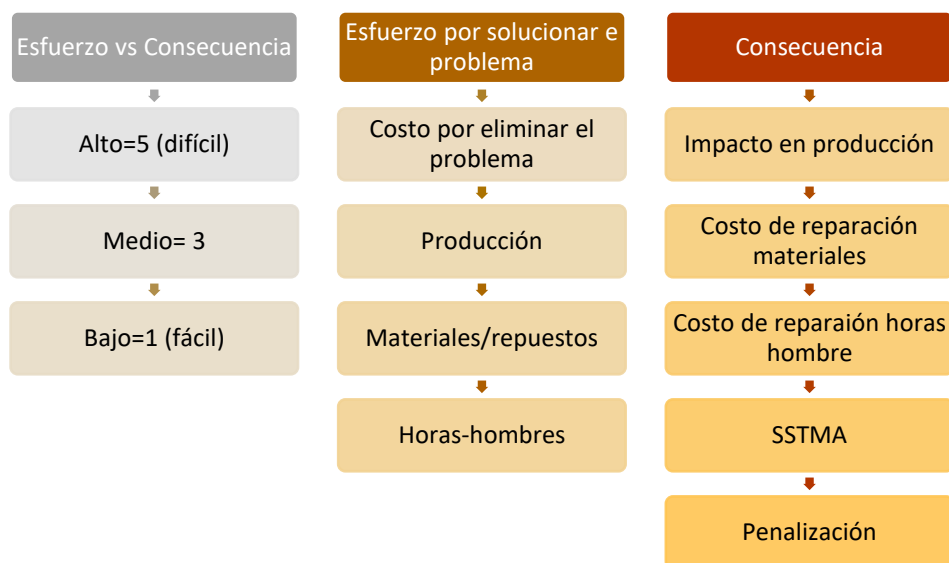
- Flujograma de procesos
- Diagrama de entrada y salida

- Mapas mentales
- Diagrama de flechas, entre otros.

5.3 Jerarquización y cuantificación de los problemas

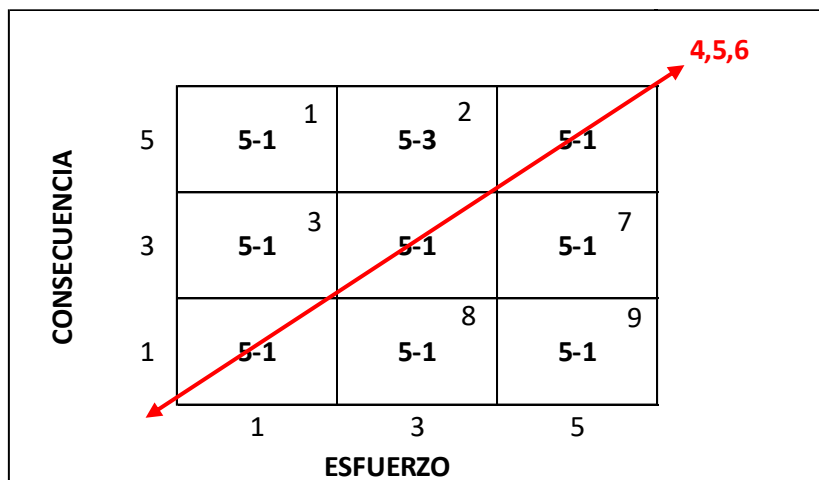
En esta etapa, se lleva cabo la evaluación del impacto de las fallas empleando una matriz de Esfuerzo vs Consecuencia del problema, tal y como se muestra en la Figura 3 y Figura 4, respectivamente.

Figura 3. Detalle de Jerarquización de fallas



Fuente: Adaptado de (Amendola, 2014)

Figura 4. Matriz de entrada Esfuerzo vs Consecuencia



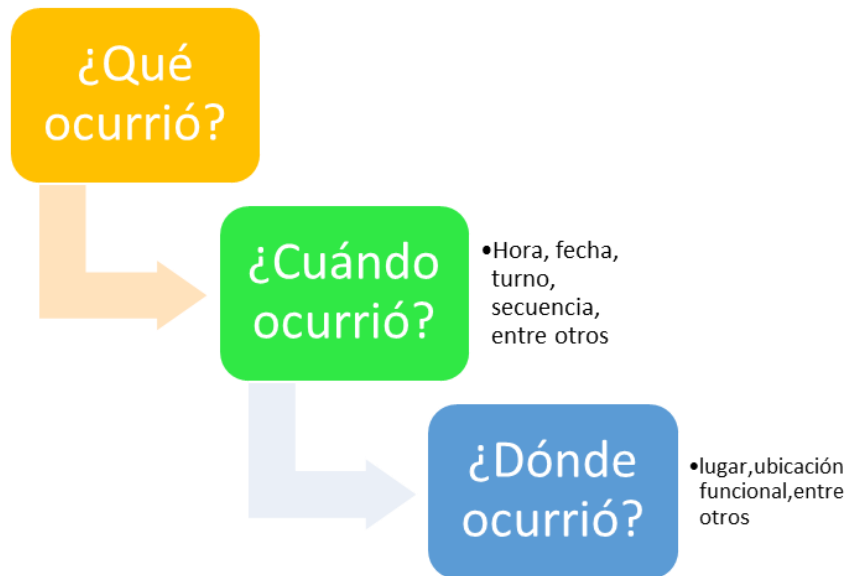
Fuente: Adaptado de (Amendola, 2014)

5.4 Investigación del evento

En esta fase, se realiza un estudio de las causas de las fallas o problemas siguiendo los siguientes pasos:

- Establecer el ¿Qué?, ¿Cuándo? Y ¿Dónde?, tal como se observa en la Figura 5.

Figura 5. Esquema de investigación del evento



Fuente: Adaptado de (Amendola, 2014)

- Identificar la secuencia lógica de sucesos a través de un línea- tiempo lo cual nos permite obtener mejor información de lo ¿Qué ocurrió?, ¿Cuándo ocurrió? Y ¿Dónde ocurrió?,
- En seguida, la implementación de técnicas para recopilar y controlar la información.
- Posteriormente, se clasifican los datos recopilados
- En consiguiente, se levanta la información clasificada
- Así mismo, dicha información se recoge de registro documentario a través de formatos utilizados dentro de la organización como: diagrama de flujo de proceso, diagrama de tuberías e instrumentos, registro de fallas, fichas técnicas de maquinaria, plan de mantenimiento, entre otros.
- Luego, se desarrolla arboles lógicos para mostrar lo que ocurrió.
- Finalmente, se describe el evento. Ver a detalle, en la Figura 6

Figura 6. Descripción detallada del evento



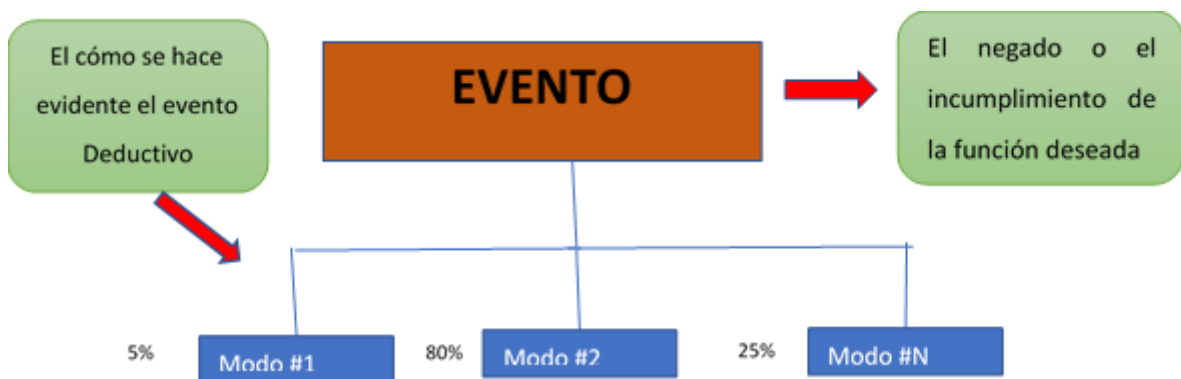
Fuente: Adaptado de (Amendola, 2014)

5.5 Definición de los modos de fallos

En esta etapa del proceso, el comité de trabajo dispone todos los posibles modos de fallas que hayan dado lugar al evento en estudio, utilizando como herramienta la lluvia de ideas, entre otras.

Luego, de identificarse todos los modos de fallas se continua con la elaboración del árbol lógico, tal y como se detalle en la Figura 7.

Figura 7. Distribución de pesos modos de falla



Fuente: Adaptado de (Amendola, 2014)

También, en esta fase se considera importante la claridad en la definición de los modos de fallas, lo cual siguen los modos deductivos, que consiste en observar la falla, recoger la evidencia de la misma y por último colocar a cada nodo de fallo un peso porcentual que representa el impacto total.

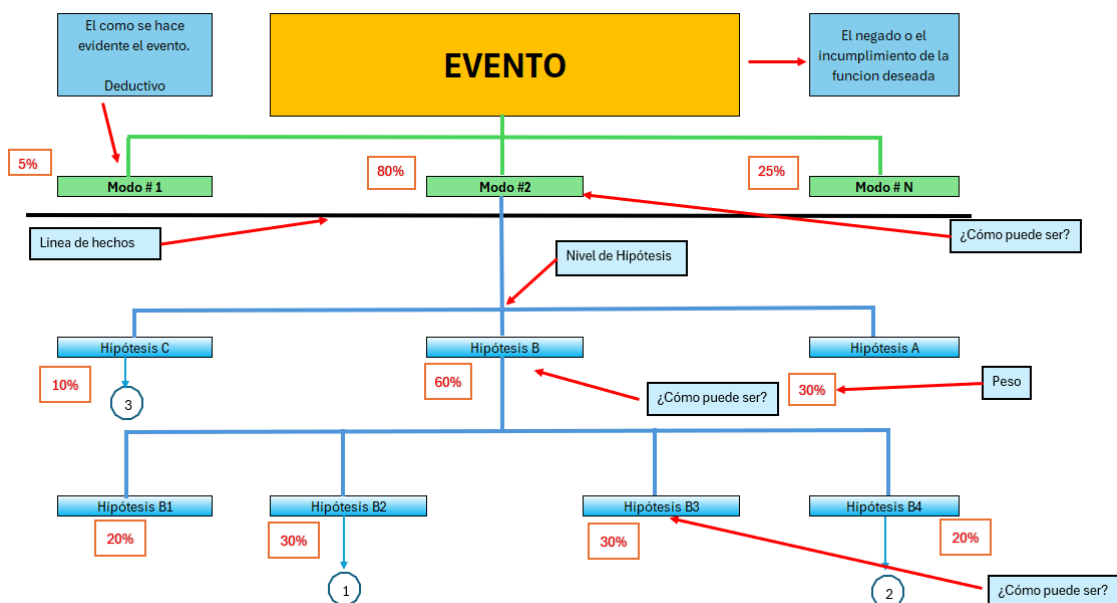
5.6 Definición de hipótesis y determinación de las causas raíces

5.6.1 Hipótesis

En esta parte de la metodología a utilizar se da los siguientes pasos a seguir:

- Responder a las preguntas ¿Por qué? o ¿Cómo se producen estos modos de falla?
- Luego, cada causa representa una hipótesis, por lo que tiene que ser validada por el grupo de expertos. Dicha hipótesis planteada se debe validar con lo expuesto en la línea tiempo.
- Así mismo, para el análisis y validación de la hipótesis existen diversos métodos, que pueden variar dependiendo de la naturaleza de la hipótesis y del modo de falla, a través del análisis de falla, verificación de datos estadísticos, verificación de registros y/o evidencias, entrevistas y pruebas de campo.
- Por último, se realiza la trazabilidad del análisis de hipótesis, es aquí donde se acepta o se rechaza la hipótesis asignando el peso a los modos de fallas, así como a las hipótesis planteadas. Ver a detalle en la Figura 8.

Figura 8. Definición de hipótesis



Fuente: Adaptado de (Amendola, 2014)

5.6.2 Las causas raíces

Son aquellas donde la organización permite que exista fallas humanas para generar fallas en los componentes. Comúnmente, estas fallas están ligadas a las deficiencias latentes de la organización.

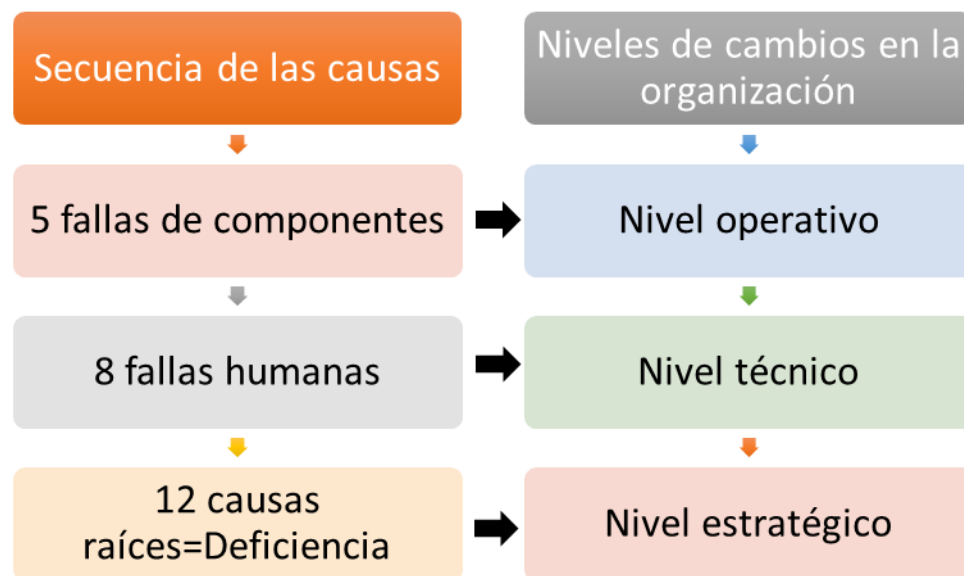
Al eliminar las causas el proceso de producción se hace más esbelta, lo cual también se refleja los cambios a niveles estratégicos de la organización.

En este apartado, se realiza la siguiente secuencia:

- Pueden existir “N” = Fallas de componentes
- Pueden existir “N” = Fallas humanas
- Pueden existir “N” causas raíces = Deficiencia

Cada secuencia de las causas tiene sus consecuencias. Ver en detalle en la Figura 10.

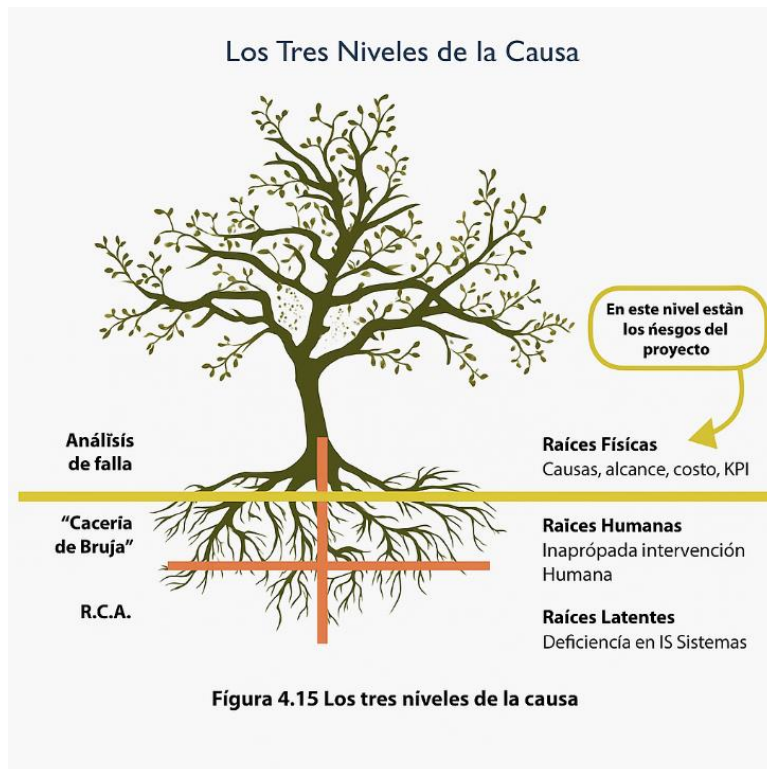
Figura 10. Consecuencias de las causas



Fuente: Adaptado de (Amendola, 2014)

Se puede incluir en este apartado que existe 3 niveles de causas raíz: causas raíz físicas, causas raíz humana y causas raíz latentes. Ver en detalle en la Figura 11

Figura 11. Los tres niveles de las causas



Fuente: Adaptado de (Amendola, 2014)

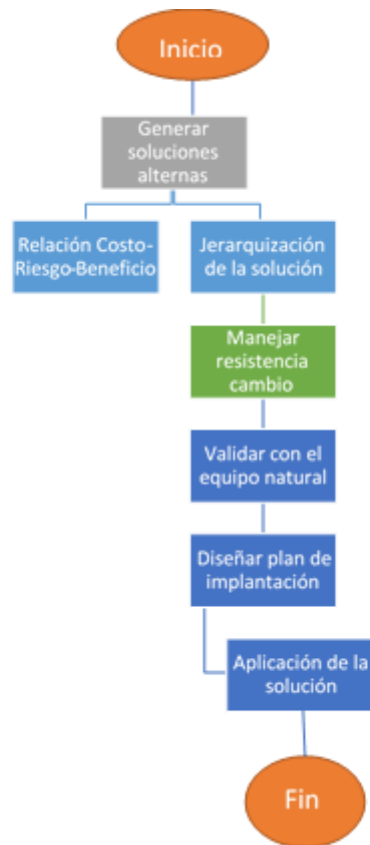
5.7 Identificación e implementación de las soluciones

En esta etapa de la metodología a implementar se determina las soluciones que resolverán el problema de manera sustentable, con el objetivo de eliminar las fallas repetitivas.

Se propone las acciones de mejora necesarias para corregir las causas raíz de los problemas encontrados en la organización.

A continuación, se detalla el proceso de definición de soluciones en la Figura 12.

Figura 12. Diagrama de flujo del proceso para implementar soluciones



Fuente: Adaptado de (Amendola, 2014)

Y para el registro de las soluciones, se propone a utilizar el siguiente formato, ver en la Tabla 1.

Tabla 1. Formato de registro de soluciones

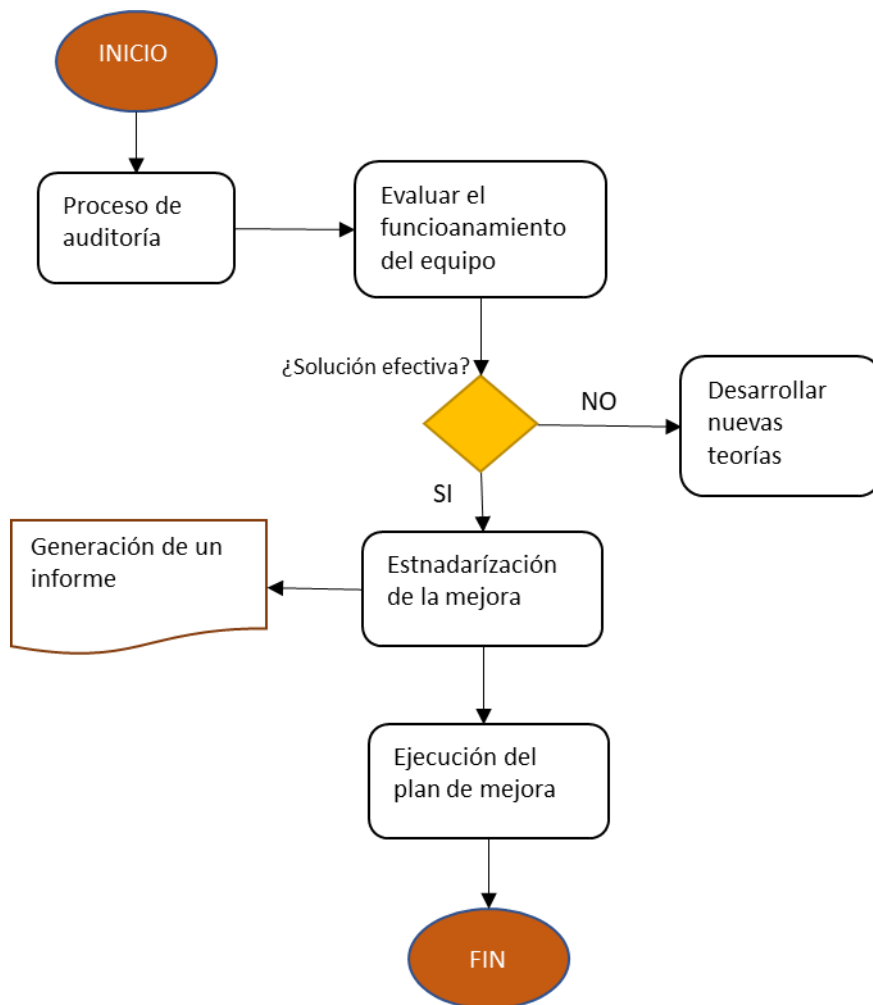
Causas	Pérdidas (\$)	Acciones	Costos	Tiempo de ejecución			Responsable
				Corto	Medio	Largo	
Físicas							
Humanas							
Latentes							

Fuente: Adaptado de (Amendola, 2014)

5.7.1 Evaluación de las soluciones

Una vez implementadas las soluciones en conformidad del comité del trabajo, se verifica la efectividad de las misma, lo cual se ver reflejado en la Figura 13.

Figura 13. Diagrama de flujo del proceso de evaluación de las soluciones



Fuente: Adaptado de (Amendola, 2014)

5.7.2 Cuantificar el costo riesgo beneficio

Una vez finalizado un ACR, se realiza el Análisis Costo Beneficio para justificar las actividades que requieren inversión u otros gastos.

Por otro parte, la solución debe analizarse no solo desde el punto de vista técnico sino también un Análisis Costo Riesgo Beneficio. Para dicho análisis se considera los siguientes casos para cada tipo de solución. Estos son:

- Recomendaciones necesarias para solucionar las causas raíz física y latente.
- Recomendaciones que resuelvan la causa raíz física y latente en un ramal y resuelvan causas raíces en otros ramales
- Recomendaciones sobre el cambio de diseño para resolver una causa identificada en otro ramal, en este caso al aplicar el ACBR deberán sumarse el análisis de los beneficios obtenidos en los demás ramales.

Para realizar el análisis costo beneficio, se pretende utilizar las fórmulas económicas-financieras como calcular el costo beneficio y determinar el Pay back o retorno de la inversión en un periodo de tiempo, entre otros.

El ACR es una metodología utilizada en diferentes industrias para identificar las causas raíz de fallas y problemas en proceso productivos. De acuerdo a (Andersen & Fagerhaug, 2006) la implementación del ACR permite diseñar el proceso de toma de decisiones por parte de los directivos y enfocar las acciones de mejora en los factores que impactan en la confiabilidad y productividad. Las herramientas a utilizar sería el diagrama de Ishikawa, entre otras.

En la industria del cemento, la implementación del ACR se basa fundamentalmente en la reducción de paradas no establecidas, optimización del mantenimiento y la mejora en la gestión de la calidad del producto (cemento).

6 Desarrollo del tema

En este apartado se mostrarán los resultados del proceso de implementación de un procedimiento ACR de forma clara y precisa. Teniendo en cuenta lo establecido en los objetivos de la presente tesis.

6.1 Conformación del comité de trabajo

Se estableció un comité de trabajo, lo cual se puede observar más a detalle en la Tabla 2.

Tabla2. Características y aportes al ACR del comité de trabajo

Perfil	Área	Capacidades	Habilidades	Aportes
Operador	Planta de producción	Conocimiento del Know how del proceso productivo y control de parámetros en hornos, molinos y faja transportadora	Detección rápida de las fallas, observación de cambios de temperatura, vibraciones o ruidos Comunicación efectiva con su jefe inmediato Registro en formatos establecidos	Primera línea de identificación de fallas
Técnico	Mantenimiento	Diagnóstico de fallas en máquinas y equipo Reparación y ajuste de sistema mecánico-eléctrico	Análisis prácticos de las fallas Experiencia en modos de falla recurrentes Proactivo y trabajo en equipo	Transfieren el conocimiento práctico para la validar causas e implementar acciones de mejora
Ingeniero	Mantenimiento Calidad	Implementación de la metodología de confiabilidad, análisis de la trazabilidad del proceso, análisis de la relación entre las fallas en componentes de	Elaboración de proyectos enfocados en la mejora continua	Conforman el proceso de ACR y sistematizan la información, vinculan el ACR con los impactos en la calidad del

		equipos y calidad del producto		cemento y productividad
Supervisor	Operaciones SSTMA*	Visión integral de las operaciones, cumplimientos del PP**, identificación de riesgos y peligros, verificación de las normas ISO, control de emisiones y ruidos	Selección de las causas raíz para el análisis, evaluación de las causas en temas seguridad y ambiente Mostrar liderazgo en equipo Administrar los recursos Fomentar una cultura preventiva	Definen la causa raíz del problema, asignan los recursos necesarios en el ACR, aseguran que las soluciones sean seguras y sostenibles en el tiempo

Fuente. Elaboración Propia

Nota: La presente tabla especifica los roles y responsabilidades del comité de trabajo propuesto. *SSTMA: Seguridad y Salud en el trabajo y medio ambiente **PP: Plan de Producción

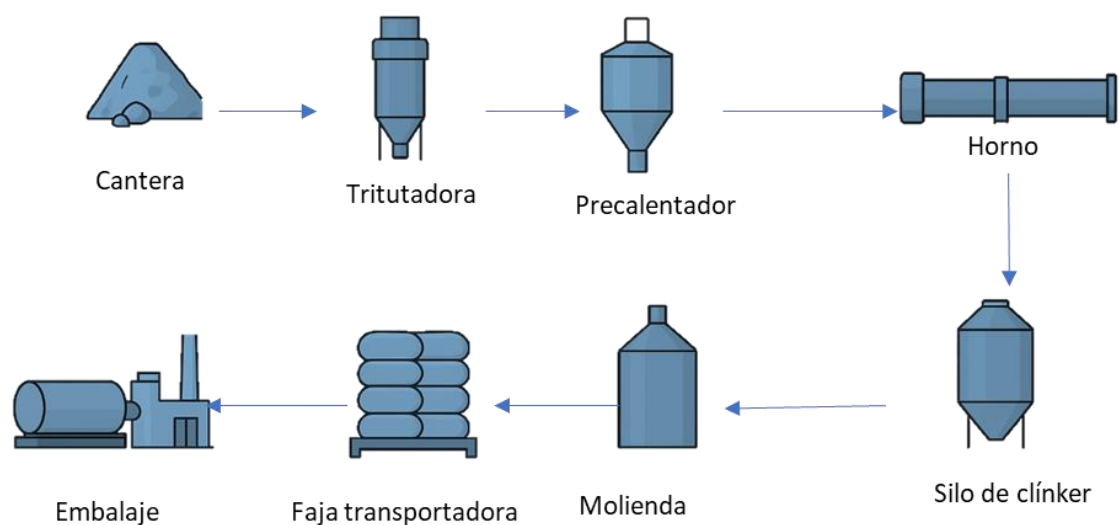
6.2 Instancias orgánicas para acoger un ACR de forma sistemática

En esta parte del desarrollo de la metodología, las instancias orgánicas en donde se puede implementar el procedimiento ACR en una planta cementera son:

Gerencia de operaciones

Encargada de supervisar la producción y la eficiencia global de los equipos que se encuentran en la planta de producción. El personal a cargo de dicha implementación debe conocer el diagrama de proceso de una planta cementera, tal y como se muestra en la Figura 14.

Figura 14. Diagrama de proceso propuesta de una planta cementera



Fuente: Elaboración propia.

Área de Mantenimiento y Calidad

Se divide en mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo en componentes mecánicos y eléctricos. Mientras que en calidad se verifica los productos (cemento) de buena o mala calidad analizando factores como: variabilidad del Clinker, su composición fisicoquímica, entre otros.

El personal de esta área en conjunto con las demás áreas tiene la misión de realizar el estudio de las fallas recurrentes en los equipos con impactos en calidad, recogiendo datos históricos y utilizando la metodología de confiabilidad

Para la identificación de las fallas se empleará el diagrama de Ishikawa y diagrama de árbol lógico, ver a detalle en Anexo 1

Luego, Para la priorización de las fallas, se propone realizar un diagrama de Pareto (80/20). En la cual se puede ver en detalle en Anexo 2.

Posteriormente el equipo de trabajo realiza el planteamiento de la hipótesis y la determinación de los modos de falla, haciendo uso de la técnica AMEF (Análisis de Modos y efectos de fallas). Ver a detalle en el Anexo 3.

Por consiguiente, dicho comité presentará una propuesta de formato de registro de soluciones. Ver a detalle en el Anexo 4.

Finalmente, la gerencia presentará un formato de evaluación a los directivos de la organización. Dicho formato contará con un análisis costo riesgo beneficio. Ver en detalle en el Anexo 5 y Anexo 6, respectivamente.

Área de Seguridad, Salud en el trabajo y medio ambiente

En esta instancia orgánica contribuye en la información sobre incidentes y condiciones de riesgo en salud, seguridad y medioambiente en la cual también se puede implementar un ACR.

6.3 Factores claves para insertar una buena práctica como ACR

En dicho apartado se describirá los factores claves para insertar una buena práctica como ACR en el marco de la cultura de la organización. Ver a continuación en la Figura 15.

Figura 15. Buenas prácticas como ACR en una planta cementera

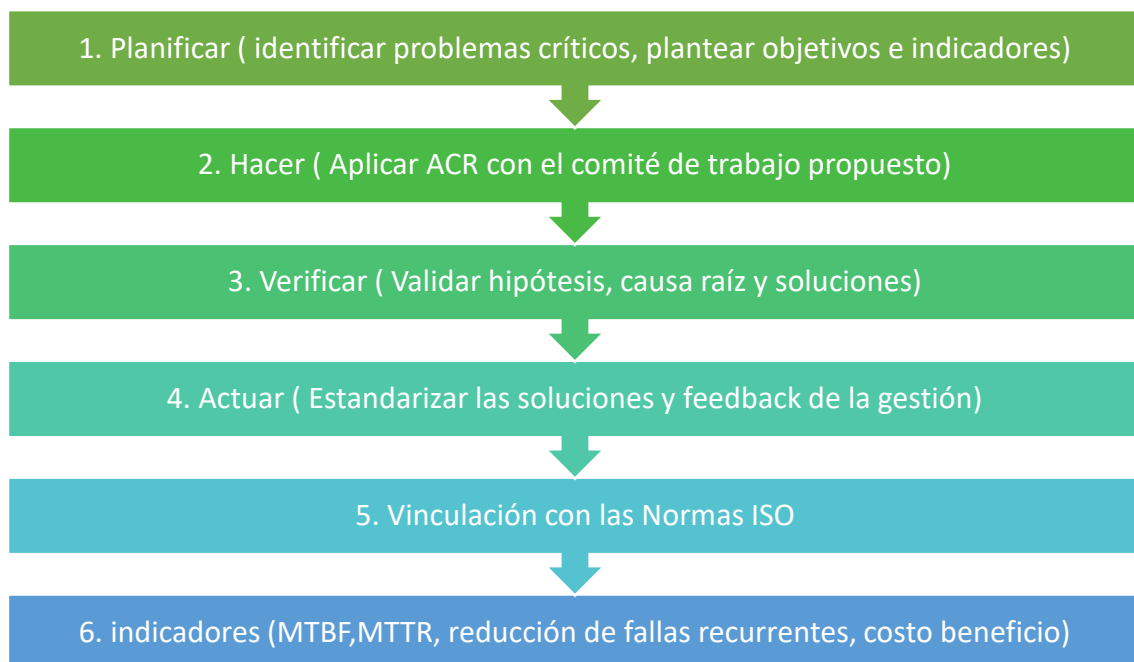
Compromiso de la alta dirección	Formación y capacitación	Trabajo en equipo	Gestión del conocimiento	Reconocimiento y motivación	Cultura de seguridad y prevención
• Que la gerencia asuma el ACR • Incorporarlo en políticas de mantenimiento, calidad y seguridad. • Acoplar con las Normas ISO	• Fortalecer las habilidades y capacidades técnicas y de todo el personal. • Talleres prácticos sobre el uso de herramientas ACR • Fomentar una mentalidad de aprendizaje	• Crear grupos para cada análisis técnico • Establecer roles claros en cada etapa del ACR • Reconocer los logros colectivos	• Documentar cada ACR en reportes técnicos normalizados • Crear una base de datos de fallas recurrentes y soluciones • Comunicar dicho aprendizaje a través de boletines informativos	• Incentivar al personal que identifican problema y brindan soluciones • Relacionar el ACR con indicadores seguimiento y control • Retribuir la prevención de fallas críticas con programas de reconocimiento	• Vincular el ACR no solo con productividad sino con seguridad y salud en el trabajo • Explicar como identificar y atacar causas raíz para evitar accidentes y reducir el impacto ambiental

6.4 Modelo de gestión adecuada para la implementación sistemática del ACR

El modelo propuesto garantiza que los resultados estén relacionados con los objetivos estratégicos de la organización y, además estandariza los procesos de estudios de fallas. El ACR se incorpora como parte de la mejora continua a través del ciclo PHVA (Planear- Hacer-Verificar- Actuar) e incluye indicadores de gestión como MTBF (tiempo medio entre fallas) , MTTR (tiempo de reparación entre fallas), disponibilidad de equipos y costos del ciclo de vida del producto de los activos tangibles de la organización.

Ver en detalle en la Figura 16.

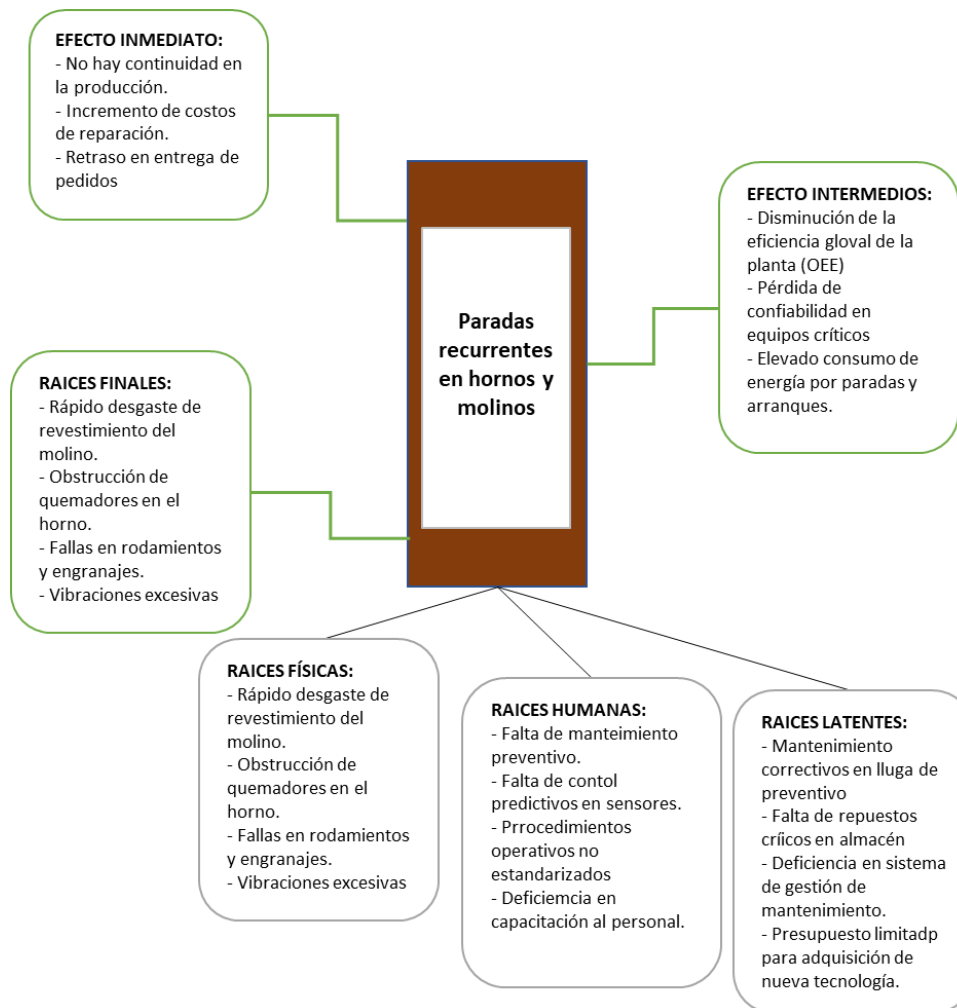
Figura 16. Diagrama de modelo de gestión para la implementación sistemática del procedimiento ACR en una planta cementera



Fuente: Elaboración propia

6.5 Caso Aplicativo del ACR

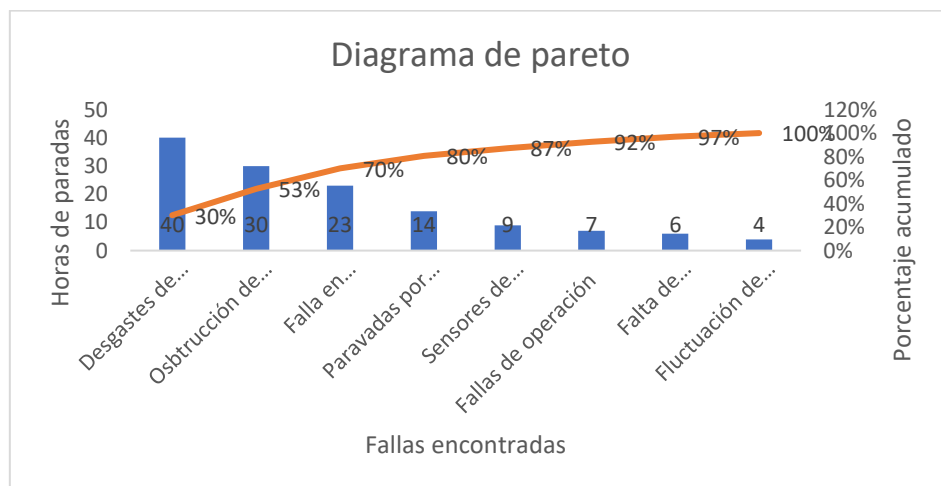
Diagrama de Ishikawa y diagrama de árbol lógico



Análisis y diagrama de Pareto

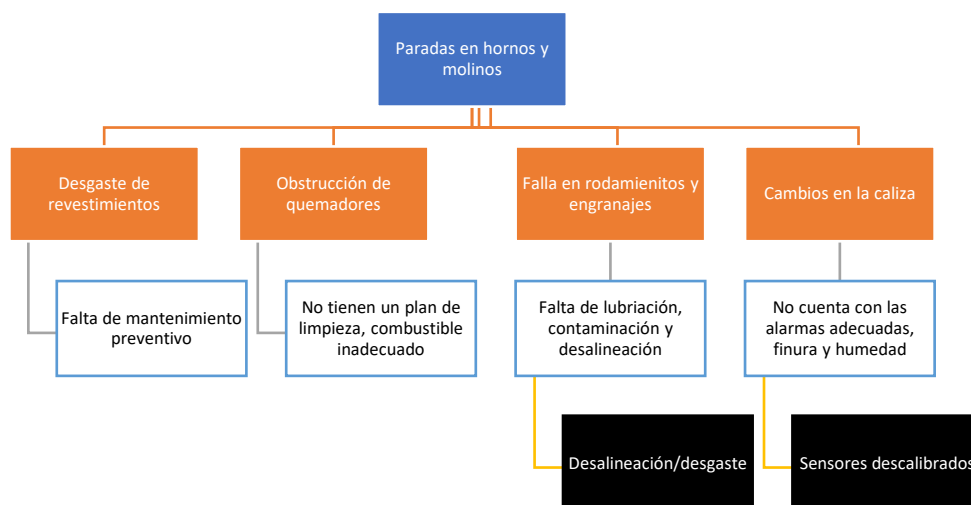
Causas Identificadas	Tiempo de paradas (horas/mes)
Desgastes de revestimiento de molinos	40
Obstrucción de quemadores del horno	30
Falla en rodamientos y engranajes	23
Paradas por cambios en la calidad de la caliza	14
Sensores de temperatura descalibrados	9
Fallas de operación	7
Falta de mantenimiento preventivo	6
Fluctuación de fluido eléctrico	4
Total:	133

Causas	Tiempo	Porcentaje	Acumulado
Desgastes de revestimiento de molinos	40	30	30
Obstrucción de quemadores del horno	30	23	53
Falla en rodamientos y engranajes	23	17	70
Paradas por variabilidad en la calidad de la caliza	14	11	80
Sensores de temperatura descalibrados	9	7	87
Fallas de operación	7	5	92
Falta de mantenimiento preventivo	6	5	97
Fluctuación de fluido eléctrico	4	3	100
Total:	133	100	



Formato de planteamiento de la hipótesis y determinación de los modos de falla

Causas jerarquizadas	Componentes	Hipótesis Nula(Ho)	Hipótesis Alterna(H1)
Desgastes de revestimiento de molinos	Molino- Revestimientos	El desgaste de los revestimientos no guarda relación con el total de paradas	A mayor desgaste de revestimientos, mayor tiempo de parada
Obstrucción de quemadores del horno	Horno- quemadores	La reincidencia de obstrucción de quemadores no impacta en el tiempo de parada	A mayor obstrucción de quemadores aumenta el tiempo de parada
Falla en rodamientos y engranajes	Molino/horno - rodamientos y engranajes	Los niveles de temperatura y vibración no pronostica fallas	A mayor temperaturas y vibraciones pronostican fallas y paradas
Paradas por variabilidad en la calidad de la caliza	Materia prima- caliza	Los cambios en la humedad o composición de la caliza no influyen en el proceso	A mayores cambios en la caliza eleva la variabilidad del proceso y genera paradas



Formato de registro soluciones en el periodo anual

Causas priorizadas	Pérdidas* (S/)	Acciones	Costo ** (S/)	Tiempo de ejecución (mes)			Responsable
				Corto	Mediano	Largo	
Desgastes de revestimiento de molinos	140,000	Plan y cronograma sobre mantenimiento preventivo	80,000		6-12		Jefe de Mantenimiento
Obstrucción de quemadores del horno	105,000	Plan de limpieza Compra de combustible de buena calidad	40,000	1-3			Supervisor
Falla en rodamientos y engranajes	80,500	Elaboración de un manual sobre la lubricación sistemáticos y control de vibraciones	100,000		6-12		Ing. Mecánico
Paradas por variabilidad en la calidad de la caliza	49,000	Plan de acción de mejora para un sistema de alarmas y control de humedad	70,000			12-24	Jefe de Producción

Formato de evaluación de soluciones

Causas	Acción	Costo (S/)	Tiempo de ejecución	Nivel de impacto	Riesgos	Responsable	Eficacia esperada (%)
Desgaste de revestimiento de molinos	Plan y cronograma sobre mantenimiento preventivo	80,000	Mediano plazo	Alto	Requiere de indicadores financieros	Jefe de Mantenimiento	29
Obstrucción de quemadores del horno	Plan de limpieza Compra de combustible de buena calidad	40,000	Corto plazo	Medio	Depende de los proveedores	Supervisor	52
Falla en rodamientos y engranajes	Elaboración de un manual sobre la lubricación sistemática y control de vibraciones	100,000	Mediano plazo	Alto	Requiere un taller de capacitación	Ing. Mecánico eléctrico	52
Paradas por variabilidad en la calidad de la caliza	Plan de acción de mejora para un sistema de alarmas y control de humedad	70,000	Largo plazo	Alto	Requiere alta inversión y tiempo de implementación	Supervisor	28

Formato de análisis costo riesgo beneficio

Causas	Solución	Costo (S/)	Riesgo	Beneficios	Evaluación
Desgastes de revestimiento de molinos	Usar revestimiento de alta resistencia y el control de desgaste Elaborar un plan de manteniendo preventivo sobre la implementación de sensores de vibración	1,200,000	Alta inversión Requiere un curso taller intensivo sobre análisis de datos	Incremento de la vida útil del equipo al 50% Incrementa el MTBF de 200 h a 350 h	Beneficio alto/Costo alto Alto beneficio/Costo medio
Obstrucción de quemadores del horno	Plan de limpieza Taller de entrenamiento sobre operación y control de combustión	200,000	Rediseño de hornos Depende de la disciplina de los operarios	Disminuye las obstrucciones en un 60% Reducción del 20% en paradas	Alto beneficio/costo medio Beneficio medio/ Bajo costo
Falla en rodamientos y engranajes	Usar rodamiento de mayor capacidad Analizar el aceite lubricante	500,000	Elevado costo de compra Requiere de personal experto y capacitado	Disminución del tiempo muerto u ocioso Disminución de las fallas en un 50% Reduce las paradas por productos de	Muy alto beneficio/Costo medio Alto beneficio/Costo medio

Paradas por variabilidad en la calidad de la caliza	Realizar protocolos de clases virtuales sobre cantera Desarrollar protocolos sobre muestra y monitoreo rápido en laboratorio	50,000	Requiere de una coordinación con instituciones del sector minero	Reduce paradas por mala calidad de la materia prima Reducción al 20% en cambios de la calidad de la caliza	Muy alto beneficio/Costo alto Alto beneficio/Costo bajo
---	---	--------	--	---	--

7 Conclusiones y Recomendaciones

7.1 Conclusiones

- Se concluye que, la concentración de fallas está vinculadas a 4 causas raíz que representa casi el 80% de las pérdidas anuales. Las cuales son el desgaste de revestimientos de molinos, obstrucción de quemadores del horno, fallas en rodamientos y engranajes y cambios en la calidad de la caliza.
- En conclusión, existe una relación directa entre confiabilidad y costo de mantenimiento, dado que las fallas repetitivas disminuyen el MTBF en 180 horas aproximadamente, obteniendo pérdidas estimadas anuales de S/ 49,000, básicamente por paradas no programadas y menor eficiencia productiva
- Se concluye también que el cambio de la calidad de la caliza impacta negativamente en la estabilidad del horno, lo cual genera paradas
- Se puede decir que, la estandarización del procedimiento ACR facilita la toma de decisiones de los directivos, disminuye tiempos ociosos, reduce los costos de mantenimiento, permitiendo así lograr con los objetivos estratégicos de la organización.
- Se concluye también que, la implementación sistemática del ACR, no solo permite reducir fallas recurrentes, sino que promueve una cultura de prevención dentro de

las áreas de mantenimiento, calidad y operaciones, alineadas con los principios de la gestión de activos.

- En términos generales, la mayoría de soluciones evaluadas de costo medio bajo presentan beneficios significativos, obteniendo como resultado la disminución de paradas entre el 20-60%, logrando mejorar así la disponibilidad y productividad de la organización.
- Finalmente, la participación de las instancias orgánicas específicas asegura que el ACR se ejecute de manera sostenible y ordenada, facilitando el flujo de información, el análisis de las fallas y el seguimiento y control de las soluciones. Asimismo, factores claves como la formación del personal, el liderazgo, la comunicación fluida y la integración del ACR a la cultura organizacional fortalecen la sostenibilidad de la mejora continua y aseguran el alineamiento con los objetivos estratégicos de la empresa

7.2 Recomendaciones

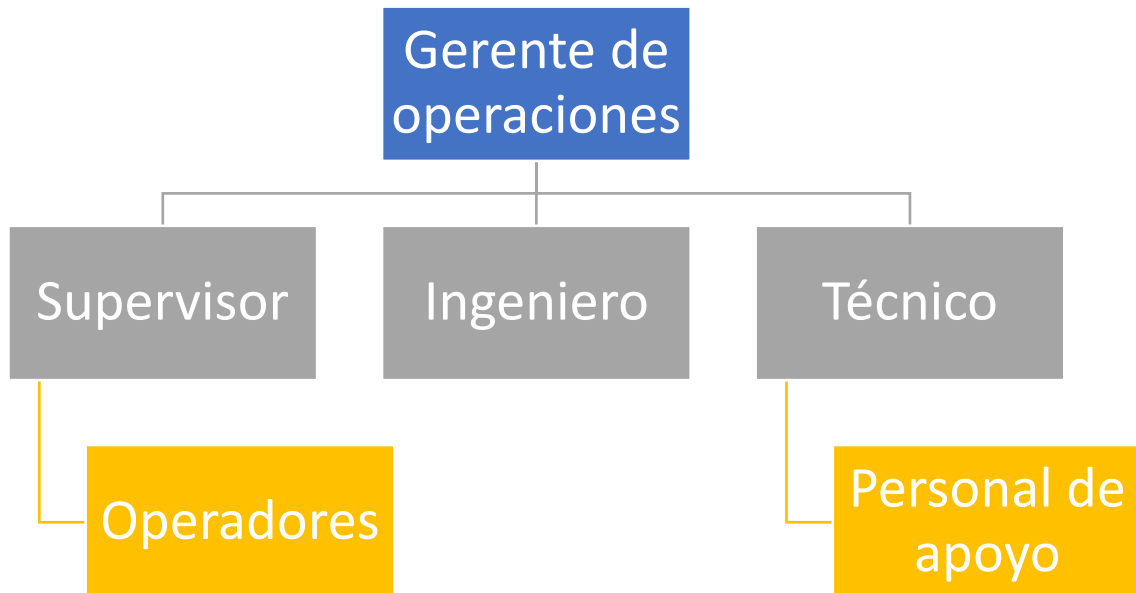
- Se sugiere realizar acciones a corto plazo como capacitación técnico productiva, protocolos de blending, plan de mantenimiento preventivo y predictivo.
- Se recomienda hacer acciones a mediano plazo como la lubricación automática, el desarrollo del plan de limpieza, entre otros.
- Sería bueno que, implementar acciones a largo plazo inversiones estratégicas en tecnología.
- Es importante también, elaborar un registro continuo de indicadores de confiabilidad para retroalimentar la toma de decisiones.

8 Bibliografía

- Andersen , B. & Fagerhaug, T., 2006. *Herramientas y técnicas simplificadas*, Wisconsin: ASQ Quality Press Milwaukee.
- Amendola, L., 2014. ACR: Análisis Causa Raíz como negocio. En: *Identifica los costos ocultos*. Primera ed. Estados Unidos: PMM Institute for Learning, pp. 80-81.
- Amendola, L., 2014. *Análisis causa raíz como negocio*. USA: PMM Institute for Learning.
- Amendola, L., 2014. Conformación del equipo de trabajo. En: *ACR: Análisis de la causa raíz como negocio*. Estados Unidos: PMM Institute for Learning, p. 72.
- Amendola, L., 2014. Definición del ACR. En: *ACR: Análisis de la Causa Raíz como negocio-identifica costos ocultos*. Estados Unidos: PMM Institute for Learning, pp. 69-70.
- Amendola, L., 2014. Definición de hipótesis y determinación de las causas raíces. En: *ACR: Análisis de la causa raíz como negocio-Identifica costos ocultos*. Estados Unidos: PMM Institute for Learning, pp. 82-88.
- Amendola, L., 2014. Definición de modos de fallos. En: *ACR: Análisis de la causa raíz como negocio-Identifica costos ocultos*. USA: PMM Institute for Learning, p. 81.
- Amendola, L., 2014. Descripción detallada del Evento. En: *ACR: Análisis de la causa raíz como negocio-Identifica los costos ocultos*. USA: PMM Institute for Learning, pp. 76-80.
- Amendola, L., 2014. Determinación de las soluciones. En: *ACR: Análisis de la causa raíz como negocio- Identifica costo ocultos*. USA: PMM Institute for Learning, pp. 90-91.
- Amendola, L., 2014. Implementación de soluciones. En: *ACR: Análisis de la causa raíz como negocio- Identifica costos ocultos*. USA: PMM Institute for Learning, pp. 89-90.
- Amendola, L., 2014. Investigación del evento. En: *ACR: Análisis de la causa Raíz como negocio-Identifica los costos ocultos*. Estados Unidos: PMM Institute for Learning, p. 76.
- Amendola, L., 2014. Sistemas del proceso, jerarquización y cuantificación de los problemas. En: *ACR: Análisis de la causa raíz como negocio*. Estados Unidos: PMM Institute for Learning, pp. 73-75.
- Bjorn, A. & Fagerhaug, T., 2006. *Herramientas y técnicas simplificadas*. Primera ed. Wisconsin: ASQ Quality Press Milwaukee.
- Cueva Julca, F. & Linch, C., 2017. *Plan de Mantenimiento en Cementos Pacasmayo S.A.. [Arte]* (Universidad Nacional de Trujillo).

9 Anexos

ANEXO I ORGANIGRAMA DE LA COMISIÓN EL ACR



ANEXO II CHECK LIST PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL ACR

INTRUCCIÓN-Marcar con una (x) si se completó dicha actividad.

Etapa	Actividad	Sí	No
Integración del comité	Definir responsabilidades, roles, plan de actividades y cronograma		
Recolección de datos	Identificar datos históricos de fallas y registros técnicos		
Jerarquización de fallas	Aplicar diagrama de Ishikawa, los 5 porqués, Pareto		
Validación de hipótesis	Verificar hipótesis con datos y comité		
Definición de soluciones	Ejecutar soluciones aprobadas		
Evaluación y seguimiento	Indicadores MTBF, MTTR y documentar resultados		

ANEXO III MODELO DE ACTA DE REUNIÓN DEL COMITÉ DE ACR

Lugar:: _____
Fecha: _____
Asistentes: _____

Tema _____ tratado:

- Acuerdos:
- 1. _____
 - 2. _____
 - 3. _____
 - 4. _____

Responsables _____ y _____ plazos:

Firma del responsable: _____