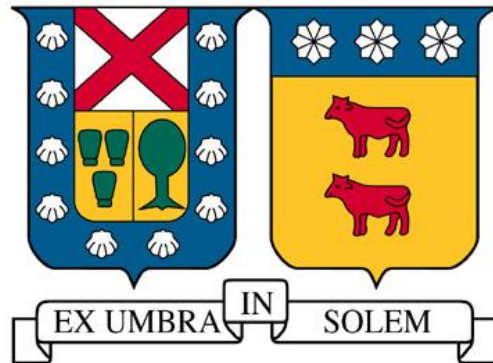


UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA
DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS
VALPARAISO – CHILE



**METODOLOGÍA DEL ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD EN LA EJECUCIÓN DEL
MANTENIMIENTO PARA PLANTAS CONCENTRADORAS DE COBRE.**

OSCAR ORLANDO ARAYA TELLO

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

PROFESOR GUÍA

: SR. CRISTIAN CARVALLO GONZALEZ

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: Metodología del aseguramiento de la calidad en la ejecución del mantenimiento para plantas concentradoras de cobre.

Nombre del candidato(a): Oscar Araya Tello

Carrera / Grado: Magíster en Gestión de Activos y Mantenimiento

Campus: Santiago Vitacura ; **Departamento:** Industrias

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Cristian Carvallo González, 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: 25-09-25 ; Firma:

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 25-09-2025 ; 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.

1. INDICE

INDICE DE ILUSTRACIONES	3
INDICE DE TABLAS	4
INDICE DE ANEXOS	5
INTRODUCCIÓN.....	6
1. CAPÍTULO 1	7
1.1. JUSTIFICACIÓN	7
1.1. OBJETIVOS	8
1.1.1. OBJETIVO GENERAL	8
1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	8
1.2. METODOLOGÍA	8
1.3. ALCANCE.....	9
2. CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE	11
2.1. ANTECEDENTES.....	11
2.1.1. INDUSTRIA MINERA EN CHILE	11
2.1.2. ETAPAS DEL PROCESO EN UNA PLANTA CONCENTRADORA.....	13
2.1.3. PRINCIPALES ROLES EN EL MANTENIMIENTO EN UNA PLANTA CONCENTRADORA DE COBRE.	14
2.1.4. CASOS REFERENCIALES	15
2.2. MARCO TEÓRICO.....	17
2.2.1. ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD	17
2.2.2. JOSEPH JURAN Y LA TRILOGÍA DE CALIDAD	19
2.2.3. EDWARD DEMING Y LA FILOSOFÍA SISTÉMICA.....	19
2.2.4. NORMA ISO 9001; REQUISITOS DE UN SGC	20
2.2.5. NORMA ISO 10005.	20
2.2.6. MAPA DE PROCESO DE LA CALIDAD EN EL MANTENIMIENTO EN PLANTAS CONCENTRADORAS DE COBRE.....	21
2.2.7. HERRAMIENTAS PARA LA CALIDAD	24
2.2.7.1. CICLO DE DEMING	24
2.2.7.2. MATRIZ DE CRITICIDAD.....	25
2.2.7.3. DIAGRAMA DE PARETO.....	28
2.2.7.4. CHECK LIST DE VERIFICACIÓN.	29
2.2.7.5. MATRIZ RACI.	30
2.2.7.5. ANÁLISIS CAUSA Y RAÍZ. 5 POR QUÉ?.....	31
2.2.8. CULTURA DE CALIDAD.....	31
2.3. PROPUESTA METODOLÓGICA.....	32

2.3.1.	GUÍA PARA LA APLICACIÓN.....	32
2.3.2.	ORGANIGRAMA GENERAL ÁREA DE MANTENIMIENTO.....	34
3.	CAPITULO 3. DESARROLLO.....	35
3.1.	DEFINICIÓN INICIAL PARA APLICAR LA METODOLOGÍA.....	35
3.2.	APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD EN LA EJECUCIÓN DEL MANTENIMIENTO PARA PLANTAS CONCENTRADORA.	35
3.2.1.	PLANEAR	36
3.2.1.1.	DEFINICIÓN DE RESPONSABILIDAD EN LA ORGANIZACIÓN. APLICACIÓN DE MATRIZ RACI EN LA METODOLOGÍA.	36
3.2.1.2.	DEFINICIÓN DE RECURSOS.....	37
3.2.2.	HACER	39
3.2.2.1.	ESTRUCTURA BÁSICA DE PROCEDIMIENTOS Y PROTOCOLOS.	39
3.2.2.2.	MATRIZ DE LABORES CRÍTICAS DENTRO DEL PLAN DE MANTENCIÓN. CREACIÓN DE RUTA CRÍTICA DE CALIDAD.	41
3.2.3.	VERIFICAR.....	42
3.2.3.1.	AUDITORÍA EN TERRENO DURANTE LA EJECUCIÓN DEL MANTENIMIENTO EN PLANTAS CONCENTRADORAS.	43
3.2.4.	ACTUAR	44
3.2.4.1.	COMPILACIÓN, ANÁLISIS DE DATA y DESARROLLO DE ESTRATEGÍAS DE MEJORAMIENTO CONTÍNUO.....	44
	COMPILACIÓN	44
	ANÁLISIS DE DATA	45
	DESARROLLO DE ESTRATEGÍAS DE MEJORAMIENTO CONTÍNUO	53
3.2.4.2.	PROPUESTA GUÍA: INDICADORES CLAVES	53
	MEDICIÓN DEL ASEGURAMIENTO DE CALIDAD.....	54
3.3.	IMPACTO OPERACIONAL Y ECONÓMICO.....	56
	CONCLUSIÓN	61
	BIBLIOGRAFÍA.....	62
	ANEXOS	64

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Etapas para el desarrollo; Elaboración propia en base al ciclo de Deming.	9
Ilustración 2 Mapa Minero de Chile (Cochilco 2023).....	12
Ilustración 3 Flujograma Planta Concentradora	13
Ilustración 4 Organigrama referencial área de mantenimiento;.....	14
Ilustración 5 Espiral de progreso en la calidad. Fuente: (Juran, 2007).....	18
Ilustración 6 Trilogía de Calidad, Fuente: Juran 2007	19
Ilustración 7 Mapa de procesos de calidad; Elaboración propia en base a modelo SIPOC.....	23
Ilustración 8 Ciclo de Deming – PDCA.; Fuente: Basic Quality esis, 2009.	25
Ilustración 9 Diagrama de Pareto. Fuente: Basic Quality esis, 2009.....	28
Ilustración 10 Tabla de roles, Matriz Raci. Fuente: IMECAAF 2025	30
Ilustración 11 Integración del ciclo de Deming a la metodología	33
Ilustración 12 Organigrama general área de mantenimiento.	34
Ilustración 13 Estructura básica de procedimiento y protocolo,.....	40
Ilustración 14 Diagrama de pareto; Análisis por tipo de desviación	48

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Ley de mineral y precio del cobre promedio.....	7
Tabla 2 Data capacidad de procesamiento Molino SAG 40', (Revista mch.cl 2020)	7
Tabla 3 Definición de criterios	26
Tabla 4 Tabla de metodología de puntos aplicada al caso.....	27
Tabla 5 Jerarquización.....	27
Tabla 6 Matriz de criticidad; frecuencia y rangos.	28
Tabla 7 Componentes de una lista de verificación, fuente ISO 9001	29
Tabla 8 Roles y responsabilidades.....	37
Tabla 9 Check list definición de recursos.....	38
Tabla 10 Matriz de criticidad adaptada	41
Tabla 11 Matriz de criticidad aplicada al caso.	42
Tabla 12 Labores consideradas para la ruta crítica de calidad	42
Tabla 13 Check list de verificación para auditoría en terreno	43
Tabla 14 Control de recepción de check list y protocolos.....	45
Tabla 15 Resultados supuestos; Evaluación de la ruta crítica de calidad	46
Tabla 16 Clasificación por tipo de desviación.....	47
Tabla 17 Resultado según clasificación por tipo de desviación	47
Tabla 18 Frecuencia por tipo de desviación	48
Tabla 19 Resumen cumplimiento de criterios:	49
Tabla 20 Hallazgos en labor crítica “Retirar corrida superior de cóncavas”	50
Tabla 21 Resumen cumplimiento de criterios:	50
Tabla 22 Hallazgos en labor crítica “Cambio de bujes y sellos”	50
Tabla 23 Análisis causa raíz bajo cumplimiento “Retiro de corrida superior de cóncavas”	51
Tabla 24 Análisis causa raíz bajo cumplimiento “Cambio de bujes y sellos”	52
Tabla 25 Plan de mejoramiento – Acciones	53
Tabla 26 Indicadores claves – Propuesta Guía	55
Tabla 27 Flowsheet – Capacidad por equipo, planta concentradora típica.	56
Tabla 28 Datos considerados para cálculo pérdida de producción.....	57
Tabla 29 Sensibilización pérdida de producción Molino SAG	57
Tabla 30 Labores consideradas en falla de chancador.....	58
Tabla 31 Resumen de cálculos para sensibilizar	59

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Procedimiento de trabajo tipo	64
Anexo 2 Estructura básica de un protocolo de trabajo	65
Anexo 3 Evaluación de matriz de criticidad aplicada al caso.....	66
Anexo 4 Check list de auditoria en terreno	67
Anexo 5 Análisis causa-raíz hallazgo 1.....	68
Anexo 6 Análisis causa-raíz hallazgo 2.....	69

INTRODUCCIÓN

La minería en Chile constituye uno de los pilares fundamentales de la economía nacional, destacándose por su liderazgo mundial en la producción de cobre. En este contexto, las plantas concentradoras juegan un rol estratégico en la cadena de valor del mineral, al permitir la separación eficiente del cobre desde el mineral extraído mediante procesos como chancado, molienda y flotación. La alta exigencia operativa, la complejidad técnica de los equipos involucrados y la necesidad de mantener una producción continua han convertido al mantenimiento industrial en un factor crítico para la sostenibilidad del negocio minero (Consejo Minero 2019).

En los últimos años, el sector ha enfrentado desafíos como la disminución de la ley del mineral, el aumento de los costos operacionales y la presión por mejorar la productividad, lo que ha impulsado la adopción de prácticas más rigurosas en la gestión del mantenimiento (CIMUA 2024).

De acuerdo con las exigencias y la competitividad en la industria minera se hace relevante implementar metodologías que vayan en línea con las variaciones del mercado para el control de gastos operacionales. En el caso de la División El Teniente de CODELCO, se evidenció que la implementación de prácticas de mantenimiento de alta calidad, como el uso de metodologías Lean Management y la optimización de frecuencias de intervención, permitió reducir significativamente las horas de mantenimiento planificado y mejorar indicadores clave como el tiempo medio entre fallas y la disponibilidad de planta. Este enfoque no solo mejoró la eficiencia técnica, sino que también tuvo un impacto económico positivo al disminuir las pérdidas por indisponibilidad y aumentar el procesamiento de mineral, demostrando que una gestión de mantenimiento bien ejecutada es esencial para controlar el OPEX y asegurar la competitividad del negocio minero (Olivares Olivares, 2017).

En el contexto de la gestión de calidad en el servicio de mantenimiento, resulta esencial comprender las diferencias estructurales entre los entornos de manufactura y los de servicios. Como señala Deming en *Out of the Crisis*, una diferencia importante radica en la percepción del trabajador respecto a su rol: “el trabajador de producción no sólo tiene un trabajo: él es consciente de que pone algo de su parte para fabricar algo que alguien más verá, sentirá y utilizará de alguna manera. Por el contrario, en muchas empresas de servicios, las personas que allí trabajan sólo tienen un trabajo. No son conscientes de que tienen un producto, y de que este producto es el servicio” (Deming, 1982, aportado por Carolyn A. Emigh). Esta distinción no solo afecta la forma en que se concibe la calidad, sino también la manera en que se diseñan los procesos de mejora continua y los indicadores de desempeño en cada tipo de organización.

En este sentido, se confirma la necesidad de aplicar una metodología de aseguramiento de calidad en la ejecución del mantenimiento para plantas concentradoras de cobre, sustentada en el ciclo de Deming (Plan-Do-Check-Act) y el uso sistemático de herramientas de calidad. El aseguramiento de calidad en la ejecución del mantenimiento se presenta como una herramienta clave para garantizar que las intervenciones técnicas cumplan con los estándares establecidos, minimizando riesgos operacionales, mejorando la confiabilidad de los activos y optimizando el uso de recursos.

1. CAPÍTULO 1

1.1. JUSTIFICACIÓN

La industria minera, como foco de producción en los últimos tiempos, se ha propuesto incrementar la disponibilidad de sus activos, mientras optimiza los recursos y los tiempos de intervención. Un gran aporte para alcanzar estos objetivos proviene de las intervenciones realizadas en mantenimiento. Hay que destacar que, en promedio en Chile, la disponibilidad mecánica para plantas concentradoras es de aproximadamente 92% a 95% y aproximadamente el 4% de no disponibilidad es utilizado en acciones correctivas (CNEP 2018).

A lo largo del periodo de vida de una planta concentradora, se ha observado que ocurren detenciones de planta después de la realización de una detención programada de mantenimiento, lo que destaca la necesidad de adoptar un nuevo enfoque, aplicando mejoramiento continuo hacia las intervenciones futuras. Para abordar este desafío, se empleará un enfoque multifacético que incorpora diversas herramientas para asegurar la ejecución de mantenimiento de alta calidad (Medina Rodriguez J., 2024).

Si se realiza un supuesto base para una detención de Molino SAG de 40 pies con un procesamiento de 3800 ton/hr, se puede analizar lo siguiente:

Una planta con capacidad de procesamiento de 200 mil toneladas de cobre fino al año, con una ley aproximada de 0,6% a un valor por libra de cobre de 4 USD.

Ley de mineral	~0,6% Cu.
Precio del cobre	~US\$ 4,00/lb.

*Tabla 1 Ley de mineral y precio del cobre promedio.
Fuente: Informe trimestral de Cochilco 2025*

La producción por hora estimada sería la siguiente:

200.000 ton/año	≈ 23 ton/hora de cobre fino.
23 ton/hora × 2.204,62 lb/ton × US\$4/lb	≈ US\$ 203.000 por hora.

*Tabla 2 Data capacidad de procesamiento Molino SAG 40'.
Fuente: Revista mch.cl 2020*

De acuerdo con el supuesto presentado, la detención de Molino SAG dentro de la minería podría representar una pérdida de US\$203.000 aproximadamente por hora de detención no programada. Con este análisis se observa el impacto económico que representa la detención de un equipo crítico dentro de una planta concentradora, por lo cual, toma relevancia el aseguramiento de la calidad en la ejecución del mantenimiento con el fin de disminuir las detenciones no programadas.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GENERAL

Proponer una metodología de aseguramiento de calidad para el proceso de mantención, incorporando herramientas de control específicas que aseguren la correcta ejecución de las intervenciones, reduzcan desviaciones y generen mejoras medibles en la disponibilidad, productividad y costos operacionales de una planta concentradora.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar las principales áreas de deficiencia en la ejecución del mantenimiento mecánico en plantas concentradoras de cobre para implementar un plan de mejoras específicas.
- Identificar y priorizar las causas más frecuentes de problemas en el proceso de mantenimiento para desarrollar las oportunidades de mejoras.
- Proponer recomendaciones y soluciones específicas para abordar las causas raíz identificadas, con el objetivo de mejorar la calidad y eficiencia de la ejecución del mantenimiento.
- Establecer indicadores de seguimiento para medir la efectividad de las soluciones implementadas y evaluar continuamente el desempeño del proceso de mantenimiento.
- Evaluar el impacto económico y operacional del plan a proponer para justificar la implementación de la metodología dentro del proceso de mantenimiento de una planta concentradora.

1.2 METODOLOGÍA

La metodología propuesta para abordar el aseguramiento de calidad en la ejecución de la mantención se basará en la aplicación de herramientas de calidad y de gestión como análisis de causa raíz de los 5 Porqués, hoja de verificación en terreno, diagrama de pareto, matriz de criticidad, matriz RACI, gráfico de control y diagrama de flujo, mapa de proceso con una base en el mejoramiento continuo guiado por el ciclo de Deming.

La aplicación de estas herramientas de calidad y de gestión permitirá proponer recomendaciones y soluciones específicas para abordar las causas raíz identificadas, con el objetivo de mejorar la calidad y eficiencia de la ejecución del mantenimiento. Además de lo anterior, se propondrá una guía de indicadores de seguimiento que permitirán medir la efectividad de las soluciones implementadas y evaluar continuamente el desempeño del proceso de mantenimiento.

Para lograr este desarrollo, se llevarán a cabo los siguientes pasos:

1. Desarrollo de herramientas de calidad a utilizar: Es clave dentro de la industria minera disponer de herramientas ágiles que no dificulten y que no desvíen el proceso de mantenimiento programado.

2. Aplicación de las herramientas de calidad: Identificar en que proceso de la planificación, programación y ejecución del mantenimiento se aplicarán las herramientas de calidad.
3. Análisis de data: Para generar un ciclo de mejoramiento continuo es relevante analizar la data compilada en cada mantención programada, a través de los check list de verificación aplicadas en las auditorías en terreno, para generar aprendizaje a la organización y generar estrategias con foco a disminuir los errores en la ejecución del mantenimiento.
4. Estrategias de mejoramiento: Una vez concluido el análisis de la data obtenida en cada ciclo de mantenimiento, se definirán estrategias de mejora basadas en los hallazgos identificados. Estas estrategias estarán orientadas a corregir desviaciones, fortalecer las buenas prácticas detectadas y optimizar continuamente los procesos, asegurando que la organización evolucione de acuerdo con la evidencia y los resultados concretos alcanzados.

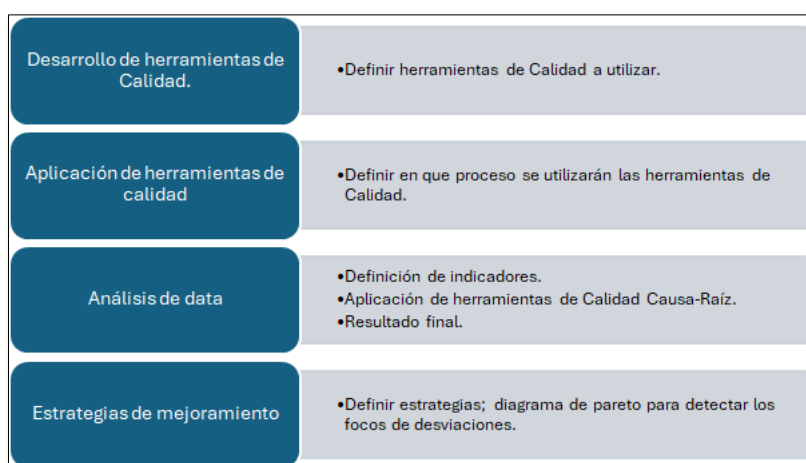


Ilustración 1 Etapas para el desarrollo.

Fuente: Elaboración propia en base a las etapas definidas para el desarrollo.

1.3 ALCANCE

Esta tesis se enmarca en un estudio descriptivo y correlacional, orientado al desarrollo de una metodología para el aseguramiento de la calidad en el mantenimiento de una planta concentradora. El enfoque descriptivo permitirá caracterizar los procesos actuales en la ejecución del mantenimiento, identificando sus principales prácticas, fallas recurrentes, indicadores de desempeño y niveles de cumplimiento de estándares de calidad. Se documentarán las condiciones operativas, los procedimientos técnicos y los recursos involucrados en el mantenimiento preventivo programado.

En paralelo, el enfoque correlacional buscará establecer relaciones entre variables clave, tales como:

- La aplicación de herramientas de calidad y la reducción de fallas.
- Auditorías en terreno y mejora en la calidad de la ejecución mantenimiento.
- El uso del ciclo de mejora continua (Ciclo de Deming) y el aumento en la confiabilidad operativa.

Para ello, se aplicarán herramientas de análisis de calidad como la técnica de los 5 porqués, hojas de verificación, y análisis de Pareto, complementadas con estudios de casos reales que servirán como base comparativa. El Ciclo de Deming (PDCA) será adaptado como marco metodológico para estructurar un proceso sistemático de mejora continua, orientado al aseguramiento de la calidad en el mantenimiento.

El estudio se limitará a una planta concentradora con capacidad de procesamiento de 95.000 toneladas por día (tpd), específicamente al plan de mantenimiento programado del chancador primario, pero la metodología propuesta tendrá potencial de aplicación en otras instalaciones mineras con características operativas similares.

El enfoque para el desarrollo de esta tesis, hacia el aseguramiento de calidad en la ejecución del mantenimiento en plantas concentradoras, será orientado específicamente al Chancador Primario, con un énfasis específico en el mantenimiento mecánico programado.

Para la aplicación de la metodología propuesta, se utilizará información técnica proveniente de operaciones mineras ubicadas en el norte de Chile, correspondiente al período comprendido entre los años 2022 y 2025. Asimismo, el desarrollo conceptual y teórico se sustentará en referencias académicas y bibliográficas relevantes, abarcando desde la década de 1950 hasta la actualidad.

2. CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE

2.1. ANTECEDENTES

2.1.1. INDUSTRIA MINERA EN CHILE

La industria minera, particularmente en Chile, ha desempeñado un rol estratégico en el desarrollo económico nacional, destacándose por su contribución en la extracción de minerales como el cobre, el litio y el hierro. Es destacable mencionar que Chile es el primer productor mundial de cobre, con una producción anual que supera los 5,3 millones de toneladas, lo que representa cerca de un cuarto de la oferta global. Además, el país destaca en la extracción de litio, molibdeno, oro y plata, consolidándose como un actor clave en el mercado de metales (Cochilco 2025). Esta industria representa aproximadamente 10 a 15% del PIB nacional con más del 50% de las exportaciones totales, generando con esto miles de empleos directos e indirectos (BCN 2023).

Como se muestra en ilustración 2, regiones como Antofagasta concentran una alta densidad de operaciones mineras, lo que ha exigido una evolución constante en la gestión de activos y procesos industriales.

Uno de los aspectos críticos de esta evolución ha sido el mantenimiento de los equipos e infraestructuras que sustentan la producción. Históricamente, el mantenimiento se realizaba de forma reactiva, es decir, ante la ocurrencia de fallas. Sin embargo, el avance tecnológico, la necesidad de optimizar costos operacionales y el énfasis en la seguridad laboral han impulsado la adopción de estrategias preventivas, predictivas y proactivas, orientadas a maximizar la disponibilidad y confiabilidad de los sistemas (Arata, 2009).

En este contexto, surge el concepto de aseguramiento de calidad en la ejecución del mantenimiento, como una herramienta clave para garantizar que las intervenciones técnicas cumplan con estándares previamente establecidos. Esto se traduce en la implementación de protocolos de trabajo, auditorías internas y externas, seguimiento de indicadores de desempeño y la aplicación de normas como ISO 9001, ISO 55001 (Gestión de activos), ISO 10005 entre otras.

Además, factores como la externalización de servicios, la rotación de personal técnico especializado y el uso creciente de tecnologías de monitoreo remoto han aumentado la complejidad en los procesos de mantenimiento, lo que refuerza la necesidad de establecer mecanismos robustos de aseguramiento de calidad para prevenir fallas, mejorar la trazabilidad de los trabajos realizados y asegurar el cumplimiento de requisitos legales, contractuales y medioambientales (Arata-Furlanetto, 2004)

2.1.2. ETAPAS DEL PROCESO EN UNA PLANTA CONCENTRADORA

Una planta concentradora de cobre es una instalación industrial clave en el proceso minero, encargada de transformar el mineral extraído desde la mina en un concentrado de cobre de alta ley, listo para ser fundido o refinado.

Se llevan a cabo varias etapas técnicas para separar el cobre de otros minerales y materiales no valiosos. Donde la primera etapa que se debe realizar es una reducción del mineral denominada conminución por medio del proceso de chancado y de molienda. De esta manera se logra la liberación del mineral, para ser separada de la ganga en la etapa de concentración a través de los procesos de flotación y filtrado.

- Chancado: Reducción del tamaño del mineral.
- Molienda: Pulverización del mineral para liberar partículas de cobre.
- Flotación: Separación del cobre mediante reactivos químicos.
- Espesamiento y filtrado: Eliminación de agua para obtener el concentrado final

El propósito principal es aumentar la concentración de cobre en el material tratado, reduciendo impurezas y preparando el producto para su fundición o exportación. El concentrado obtenido puede contener entre 25% y 35% de cobre, dependiendo de la eficiencia del proceso (Instituto Nacional de Normalización 2021, informe ensayo de aptitud concentrado de cobre).

En Ilustración 3, se puede observar las etapas y distribución de los equipos en una planta concentradora de cobre.

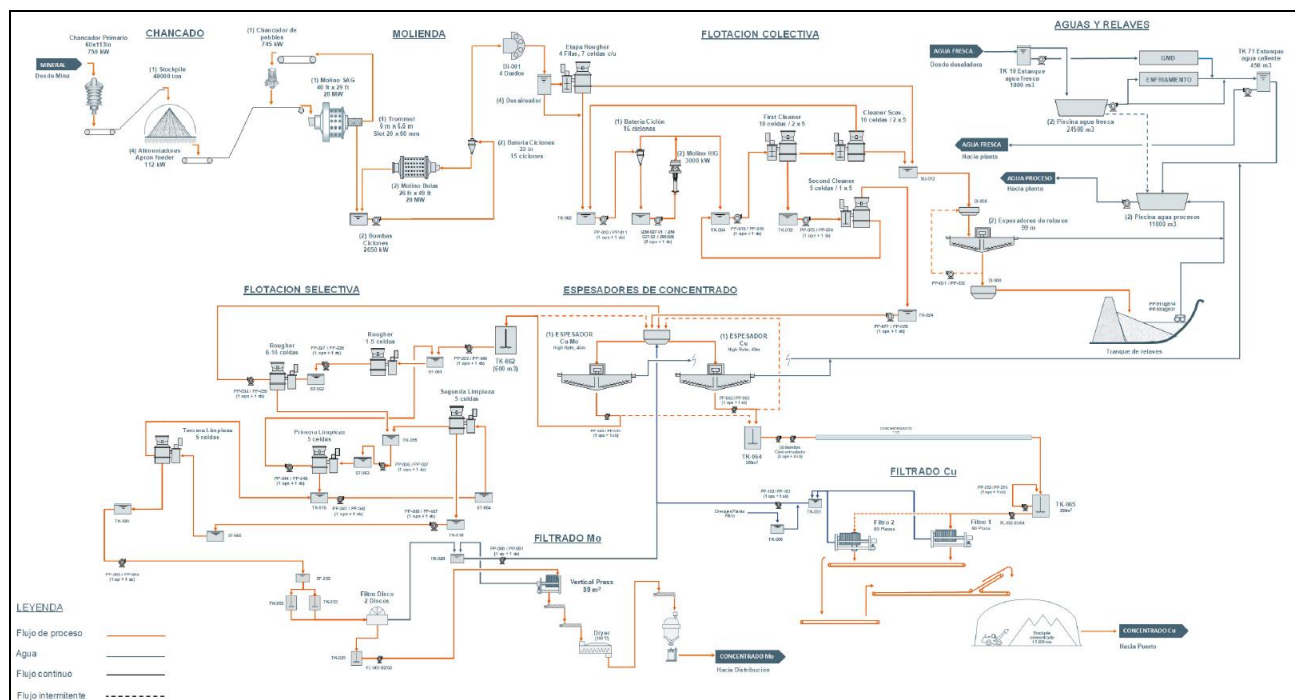


Ilustración 3 Flujograma Planta Concentradora
Fuente: Documento trabajo interno Minera Spence.

2.1.3. PRINCIPALES ROLES EN EL MANTENIMIENTO EN UNA PLANTA CONCENTRADORA DE COBRE.

Para asegurar la efectividad del ciclo de mantenimiento y la adecuada ejecución de los procesos asociados, resulta fundamental identificar y comprender los roles claves que intervienen en cada etapa.

Los roles más relevantes en el área de mantenimiento son:

- **Gerencia de Mantenimiento.** Área responsable de garantizar la disponibilidad, confiabilidad y eficiencia de los activos físicos de la planta mediante la planificación, ejecución y supervisión de actividades de mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo, alineadas con los estándares de seguridad, calidad y productividad.
- **Superintendencia de Mantención.** Es una unidad estratégica encargada de ejecutar la estrategia de mantenimiento cumpliendo todos los estándares para asegurar la continuidad operacional, la seguridad y el cumplimiento de metas productivas. Dentro de su rol es relevante la participación en el diseño y ejecución de las estrategias de mantenimiento (preventivo, correctivo, predictivo y proactivo) y la gestión de recursos técnicos y humanos.
- **Superintendencia de Planificación.** Área responsable de la asignación eficiente de recursos para la ejecución del plan de mantenimiento, así como de mantener una gestión eficaz de repuestos, componentes reparables y materiales. Además, están encargados de planificar y programar de manera estructurada las actividades correspondientes al ciclo de trabajo, asegurando su cumplimiento en tiempo, forma y calidad.
- **Superintendencia de Confiabilidad.** Área encargada de crear y actualizar el plan de mantenimiento óptimo para mantener la performance de los activos de responsabilidad, mantener alta disponibilidad de los equipos, a un bajo costo en el ciclo de vida del activo. Desarrollar estándares, y analizar las oportunidades de mejora a través del seguimiento de indicadores claves de mantenimiento.

Basado en la experiencia y desarrollo organizacional común entre faenas mineras, se propone un organigrama referencial para la implementación de la metodología de aseguramiento de la calidad.

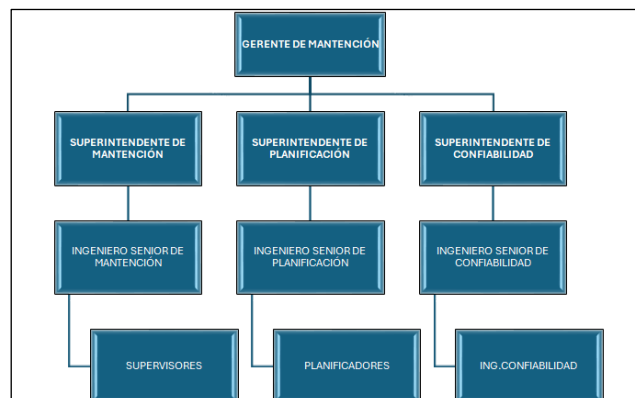


*Ilustración 4 Organigrama referencial área de mantenimiento;
Fuente: Elaboración propia en base a experiencia Minera.*

2.1.4. CASOS REFERENCIALES

A continuación, se presentan tres casos referenciales que servirán de base para el desarrollo de la presente tesis. Estos casos permitirán identificar mejores prácticas y metodologías aplicadas en plantas concentradoras de cobre en el ámbito de la gestión y aseguramiento de calidad en el mantenimiento. Además, de cada caso se extraerá información clave para realizar un análisis cuantitativo del impacto operacional y económico asociado a la implementación de estas metodologías. El estudio comparativo facilitará la evaluación de resultados y la adaptación de enfoques exitosos. Este enfoque integral permitirá fundamentar propuestas de mejora en el aseguramiento de calidad.

2.1.4.1. Caso 1. Implementación de un modelo gestión calidad para proceso de mantención en planta concentradora Minera Candelaria (López Valenzuela, T. I., 2025).

La tesis referencia la importancia de la aplicación de un modelo de gestión de calidad en los procesos de mantención de la planta concentradora, basada principalmente en metodologías Lean Maintenance, Six sigma desarrollando un manual de calidad alineado con las Normas ISO 9001 e ISO 55001 estableciendo principios de calidad, como procedimientos estandarizados, control de la calidad en terreno y trazabilidad de mantenimiento. También incluye la utilización de diferentes herramientas de calidad como Ciclo de Deming, diagrama de pareto que serán utilizados en esta tesis “Aseguramiento de calidad en la ejecución del mantenimiento en las plantas concentradoras”

2.1.4.2. Caso 2. Metodologías y herramientas de calidad para el mejoramiento continuo en las organizaciones (García y Portocarrero, 2019).

El documento describe como la mejora continua genera un cambio en las empresas a nivel estratégico, aplicada para el aumento de su productividad, mejora y perfeccionamiento de sus procesos.

Se destaca que, la implementación de un sistema de calidad es promocionada por las partes interesadas de la organización, iniciando por la alta dirección.

En el proceso de implementación se encuentra la planificación, el control, el aseguramiento y la mejora de la calidad como indica el ciclo de Deming haciendo referencia a la descripción que hace la norma ISO 9001:2015.

2.1.4.3. Caso 3. Excelencia operacional en la gestión del mantenimiento en planta concentradora -Division-El-Teniente (Olivares Olivares, A. A. 2017).

Este caso presenta un análisis del impacto de la gestión del mantenimiento en los resultados operacionales de la principal división de Codelco, en el contexto de desafíos económicos y productivos propios de la industria minera del cobre.

El documento describe cómo la División El Teniente ha mantenido un liderazgo sostenido en producción, reducción de costos y seguridad, pese a la baja en los precios internacionales del cobre, gracias a una transformación operacional fundamentada en la excelencia. Esta transformación se basa en la adopción del modelo C+ (sistema de gestión basado en Lean Management) y en la modernización de la estructura, planificación y ejecución del mantenimiento.

Los principales puntos abordados incluyen:

- Contexto y diagnóstico: La crisis de productividad y costos en la industria llevó a la redefinición de estrategias, creación de una Vicepresidencia de Productividad y la fijación de metas exigentes para la continuidad operacional.
- Gestión del mantenimiento: Se analizan los distintos tipos de mantenimiento (correctivo, preventivo, predictivo y proactivo), la importancia de indicadores clave (TMEF, disponibilidad, coeficiente de marcha), la planificación a corto, mediano y largo plazo, y la necesidad de reportabilidad y análisis de fallas.
- Metodología Lean y sistema C+: La implementación de Lean Management y el sistema C+ promueven la eliminación de desperdicios, la estandarización, la mejora continua, el trabajo interdisciplinario y el enfoque en el cliente. Herramientas como SMED, kaizen y 5S son adoptadas para optimizar procesos críticos.

Como aporte al desarrollo de la tesis, las referencias identificadas como Casos 1, 2 y 3 abordan distintos enfoques y dimensiones de la calidad dentro de las organizaciones. A continuación, se detallan respectivamente los principales tópicos identificados en cada uno.

Caso 1: Se concluye que la implementación del Manual de gestión de calidad es una estrategia efectiva para estandarizar el control de calidad. Su aplicación permitió identificar las principales desviaciones en procedimientos permitiendo optimizar las actividades de mantenimiento.

Caso 2: Se expone sobre la relevancia de la calidad como concepto global en el mundo y sus organizaciones, aplicando las diferentes herramientas de calidad para lograr el mejoramiento continuo. Algunas herramientas son: Lean manufacturing, diagrama de Pareto, six sigma, diagrama de causa y efecto, histogramas, gráficos de control, kaizen. Algunas de estas herramientas serán definidas en el marco teórico y aplicadas en el desarrollo de la tesina.

Caso 3: En síntesis, la tesis muestra que aplicar principios de excelencia operacional y Lean Management en la gestión del mantenimiento no solo permite alcanzar los estándares del aseguramiento de calidad, sino que multiplica los beneficios operacionales y económicos, consolidando a la organización como referente en la industria.

Estos casos se alinean con los objetivos específicos al facilitar el uso de las herramientas de calidad, aplicar modelos de propuestas de mejoras, diseño de indicadores y la evaluación del impacto de las mejoras.

2.2. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se presentan los conceptos fundamentales que sustentan la metodología propuesta, entre ellos el aseguramiento de la calidad como enfoque preventivo, la Trilogía de Juran como base para una gestión integral, y el mapa de procesos como herramienta clave para visualizar y optimizar las etapas del mantenimiento

Además, se consideran las principales herramientas de calidad utilizadas para el análisis y mejora continua, como los diagramas de causa-efecto, histogramas y hojas de verificación. También se incluye una breve reflexión sobre la cultura de la calidad, entendida como el compromiso organizacional con la excelencia operativa. Estos elementos teóricos permiten construir una metodología sólida y aplicable al contexto industrial, orientada a mejorar la trazabilidad, eficiencia y resultados del mantenimiento en plantas concentradoras.

2.2.1. ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD

Existen múltiples definiciones para calidad. Una concisa interpretación de calidad podría ser “la satisfacción y la fidelidad del cliente” (Gryna, Chua, Defeo, 2007). Otra definición alternativa breve podría ser “la capacidad de adaptación para su uso” (Taguchi, 1989). A pesar de que estas definiciones breves brindan una visión general, es necesario profundizar en ellas para establecer una base para la acción.

El aseguramiento de la calidad (AC) comprende el conjunto de actividades sistemáticas y planificadas dentro de un sistema de gestión que buscan brindar confianza en que un producto o servicio cumplirá con los requisitos establecidos. A diferencia del control de calidad, que detecta errores una vez ocurridos, el AC actúa de manera preventiva a través de la mejora continua de procesos (ISO 9001:2015). Esta filosofía requiere liderazgo, cultura organizacional, compromiso y el uso de herramientas metodológicas para garantizar estándares coherentes y sostenibles (Ingeniería de Calidad, 2023).

En el contexto del aseguramiento de calidad en el mantenimiento mecánico de plantas concentradoras, la función de calidad se extiende más allá de la producción física de bienes. Implica una amplia gama de actividades que garantizan la satisfacción y lealtad de los clientes, ya sean internos o externos. Esto incluye procesos de diseño, operación, servicio al cliente y otros aspectos relacionados con la calidad en toda la organización (Gryna et al, 2007).

Este enfoque, conocido como “gran C” de calidad, representa un cambio significativo desde el enfoque histórico en la calidad de los productos manufacturados (“pequeña C”). En este nuevo paradigma, la calidad se aplica a todas las actividades y sectores, y la colaboración entre diversos subsistemas es esencial para lograr los objetivos de calidad.

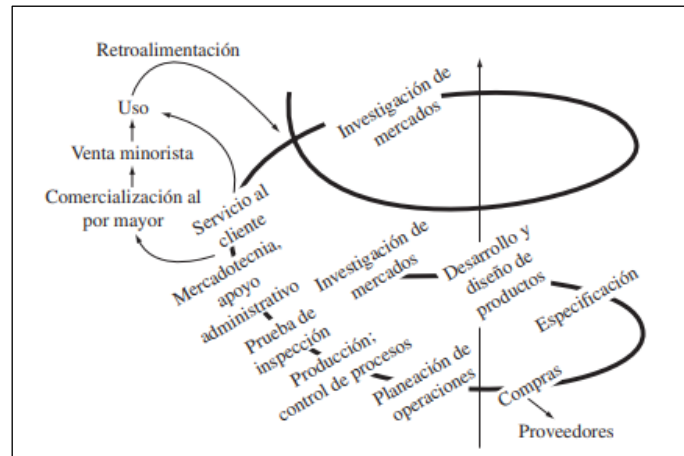


Ilustración 5 Espiral de progreso en la calidad.
Fuente: Gryna et al, 2007

La “espiral del progreso en la calidad” representa una evolución en la forma en que las organizaciones abordan la calidad en sus operaciones. En el contexto del Aseguramiento de Calidad en Mantenimiento Mecánico para Plantas Concentradoras, esta espiral del progreso en la calidad desempeña un papel esencial. Veamos cómo contribuye:

Secuencia de Eventos Relativamente Invariables: La espiral del progreso en la calidad reconoce que existen secuencias de eventos relativamente invariables en la ejecución de proyectos de calidad, como el mantenimiento mecánico en plantas concentradoras. Esto implica que hay una serie de pasos y actividades que deben seguirse para garantizar la calidad del trabajo.

Funciones Esenciales: En el contexto del mantenimiento mecánico, las funciones esenciales como diseño de producto, operaciones y servicio al cliente son cruciales. La espiral reconoce que estas funciones deben realizarse con precisión para lograr la satisfacción del cliente y la calidad del mantenimiento.

Coordinación de Actividades: La espiral destaca la necesidad de coordinar una variedad de actividades, tanto dentro de la organización como con proveedores externos y otros actores. En el mantenimiento mecánico, esto se traduce en la coordinación de tareas como inspección, reparación, reemplazo de piezas y más.

Función de Calidad: La “función de calidad” abarca todas las actividades que buscan garantizar la satisfacción y lealtad del cliente, independientemente de dónde se realicen esas acciones. En el mantenimiento mecánico, esto significa que la calidad no se limita solo a la ejecución del trabajo, sino que abarca todo el proceso, desde la planificación hasta la entrega.

Enfoque en la Calidad Total: La espiral resalta el cambio de enfoque de la calidad en la producción física de bienes (“pequeña C”) hacia la aplicación de conceptos de calidad en todas las actividades y sectores (“gran C”). En el mantenimiento mecánico, esto significa que la calidad se convierte en un aspecto integral de todas las operaciones y procesos.

En resumen, la espiral del progreso en la calidad es relevante en el contexto del aseguramiento de la calidad en el mantenimiento mecánico para plantas concentradoras porque reconoce la importancia de una serie de actividades y funciones esenciales que deben coordinarse para garantizar la calidad del trabajo y la satisfacción del cliente. Esto es fundamental para mantener el rendimiento y la eficiencia de las plantas concentradoras a lo largo del tiempo.

2.2.2. JOSEPH JURAN Y LA TRILOGÍA DE CALIDAD

Juran sostuvo que la calidad debe entenderse como un imperativo estratégico y no solo técnico. Su Trilogía de la Calidad incluye: Planificación donde se identifican los clientes y sus necesidades, Control al comparar desempeño con estándares, y mejora eliminando las causas raíz de los errores. (Ingeniería de Calidad, 2023). Además, destacó que el liderazgo gerencial es fundamental para transformar la cultura empresarial y lograr un cambio sostenido.



*Ilustración 6 Trilogía de Calidad.
Fuente: Gryna et al, 2007*

2.2.3. EDWARD DEMING Y LA FILOSOFÍA SISTÉMICA

Es importante mencionar a Deming debido a que revolucionó el enfoque del aseguramiento con su ciclo PDCA (Planificar-Hacer-Verificar-Actuar), promoviendo la mejora continua desde una perspectiva sistémica. En sus 14 principios de gestión, abogó por la constancia en el propósito, la eliminación de prácticas perjudiciales como las cuotas numéricas, y la capacitación constante (Ingeniería de Calidad, 2020). Deming sostenía que la mayoría de los fallos en la calidad (94%) son atribuibles al sistema, y no al personal operativo, evidenciando la necesidad de una gestión inteligente.

Las ideas de estos pensadores han sido la base de modelos modernos como:

- **ISO 9001:** estándares para asegurar calidad y mejora continua.
- **Six Sigma:** enfoque DMAIC para reducir variabilidad y mejorar eficiencia.
- **Lean Management:** eliminar desperdicios y mejorar el flujo hacia el cliente.

Estos modelos aplican los principios clásicos adaptándolos a entornos complejos y cambiantes, desde fábricas hasta hospitales o instituciones educativas (Ingeniería de Calidad, 2023).

2.2.4. NORMA ISO 9001; REQUISITOS DE UN SGC

La norma chilena ISO 9001 establece los requisitos esenciales para la implementación y mantenimiento de un Sistema de Gestión de la Calidad (SGC) efectivo. Esta norma internacional, adaptada a la realidad chilena, se fundamenta en el enfoque de procesos y en la mejora continua, proporcionando directrices claras para la asignación de responsabilidades, la documentación de procedimientos y la evaluación sistemática del desempeño organizacional.

Los requisitos de la ISO 9001 abarcan desde la planificación estratégica y la identificación de riesgos hasta el control documentado de los procesos y la medición de la satisfacción de las personas usuarias. En particular, la norma exige que la organización defina con precisión los roles y responsabilidades, documente procedimientos críticos y asegure que las operaciones se realicen bajo estándares establecidos, lo que garantiza la trazabilidad y el control de las actividades. Esta estructura resulta plenamente compatible con el desarrollo de la presente tesis, ya que ofrece un marco referencial sólido para el diseño y despliegue de metodologías de aseguramiento de calidad en el mantenimiento industrial.

Un aspecto fundamental dentro del cumplimiento de la ISO 9001 es la utilización de instructivos de trabajo, documentos que detallan de manera secuencial cada tarea, minimizando el riesgo de errores y asegurando la uniformidad en la ejecución de los procesos de mantenimiento. Estos instructivos, al estar integrados en el SGC, permiten que todo el personal involucrado comprenda claramente qué se debe hacer, cómo y bajo qué criterios de calidad, lo que contribuye directamente al logro de los objetivos organizacionales.

Asimismo, la elaboración y uso de mapas de procesos facilita la visualización integral del flujo de valor en la industria, permitiendo identificar interacciones, puntos críticos y oportunidades de optimización.

Finalmente, la mejora continua, principio central de la norma ISO 9001, impulsa a la organización a evaluar de manera sistemática sus resultados, implementar acciones correctivas y preventivas, y ajustar sus procedimientos en función de los aprendizajes obtenidos. Este ciclo permanente de retroalimentación y perfeccionamiento asegura que la gestión del mantenimiento sea cada vez más eficiente, segura y alineada con los requisitos de calidad establecidos tanto por la norma como por las necesidades específicas del sector industrial abordado en la tesis (NCh-ISO 9001, 2015).

2.2.5. NORMA ISO 10005.

La Norma ISO 10005 establece las directrices para la elaboración y uso de planes de la calidad, funcionando como un complemento esencial al Sistema de Gestión de la Calidad basado en ISO 9001. Su propósito principal es proporcionar una estructura clara y detallada que oriente la planificación, el desarrollo

y el control de procesos críticos, asegurando que todos los requisitos de calidad sean correctamente identificados, documentados y cumplidos en cada etapa del proyecto o servicio.

En el contexto del mantenimiento industrial, y específicamente en plantas concentradoras, la ISO 10005 cobra especial relevancia al guiar la elaboración de planes de la calidad específicos para las actividades de mantención. Estos planes detallan los procedimientos, responsabilidades, recursos y criterios de aceptación para cada tarea, lo que facilita la comunicación efectiva entre los distintos equipos y asegura la coherencia en la ejecución de los trabajos.

La aplicación de la ISO 10005 en el aseguramiento de calidad en plantas concentradoras permite sistematizar el proceso de planificación y control, minimizando la posibilidad de omisiones, ambigüedades o interpretaciones erróneas que puedan dar lugar a errores o fallas posteriores. Al exigir una documentación clara y procedimientos normalizados, la norma ayuda a prevenir desviaciones, asegurar la trazabilidad de las acciones y evaluar objetivamente el cumplimiento de los estándares de calidad establecidos.

Uno de los principales aportes de la ISO 10005 es su impacto directo en la disminución de reprocesos. Al anticipar y definir detalladamente los puntos de control, las pruebas y las verificaciones requeridas antes, durante y después de las labores de mantenimiento, se reduce significativamente la probabilidad de errores recurrentes o de trabajos incompletos que obliguen a repetir intervenciones. De esta manera, los planes de la calidad actúan como una herramienta preventiva, promoviendo la eficiencia operativa, el uso racional de recursos y la satisfacción de las personas usuarias.

Además, la norma fomenta una cultura de mejora continua, al establecer mecanismos para la retroalimentación y el aprendizaje a partir de las experiencias y resultados obtenidos en cada ciclo de mantenimiento. Así, la documentación y análisis de incidencias, no conformidades y oportunidades detectadas en los planes de la calidad permiten ajustar y perfeccionar los procedimientos, elevando progresivamente el nivel de desempeño y asegurando la sostenibilidad de los estándares alcanzados (NCh-ISO 10005, 2018).

2.2.6. MAPA DE PROCESO DE LA CALIDAD EN EL MANTENIMIENTO EN PLANTAS CONCENTRADORAS DE COBRE.

En el contexto de la minería del cobre, el mantenimiento mecánico en plantas concentradoras constituye un proceso esencial para asegurar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos críticos. La complejidad técnica, la alta exigencia operativa y los estrictos estándares de seguridad hacen necesario adoptar enfoques sistemáticos que permitan gestionar la calidad de manera efectiva. Uno de los instrumentos más útiles para este propósito es el mapa de proceso de calidad, que permite visualizar, analizar y mejorar cada etapa del flujo operativo.

Para construir un mapa de proceso de calidad robusto, el modelo SIPOC (Suppliers, Inputs, Process, Outputs, Customers) ofrece una estructura clara y funcional. Esta herramienta permite identificar los

elementos clave que intervienen en el proceso de mantenimiento: desde los proveedores de recursos y datos, hasta los clientes internos que dependen de los resultados. Al representar gráficamente las entradas, actividades, salidas y relaciones del proceso, el SIPOC facilita la comprensión integral del sistema, promueve la estandarización de procedimientos y apoya la mejora continua (Scholtes, 1998).

Aplicar el SIPOC como base para el mapa de proceso de calidad en mantenimiento mecánico permite detectar desviaciones, eliminar desperdicios, y fortalecer la comunicación entre áreas como planificación, almacén, operaciones y mantenimiento. Además, contribuye a alinear los objetivos técnicos con los criterios de calidad definidos por la organización, elevando así el desempeño global de la planta concentradora y reduciendo los riesgos asociados a fallas mecánicas.

Entradas:

- Planes de Mantenimiento: Documentos que especifican las actividades de mantenimiento programado.
- Instructivos y protocolos de trabajo: Guías detalladas para la ejecución de tareas específicas.
- Procesos Transversales: Actividades que cruzan varias áreas funcionales.
- Subprocesos Asociados al Mantenimiento Mecánico de Chancado Primario y Molienda. Actividades especializadas para equipos y sistemas específicos.
- Insumos de Especialidades: Recursos especializados necesarios para el mantenimiento.

Procesos Principales:

- Planificación de Mantenimiento: Definición de actividades, recursos y tiempos.
- Ejecución de Mantenimiento Mecánico: Realización de tareas según las instrucciones.
- Control de Calidad: Verificación de que las actividades se realicen según los estándares de calidad.
- Gestión de Repuestos e Insumos: Aseguramiento de la disponibilidad de materiales necesarios.
- Generación de Informes: Documentación de las actividades y resultados.
- Protocolos de Control: Registros de inspecciones y pruebas realizadas.
- Cierres y Hallazgos: Evaluación del cumplimiento de los objetivos y detección de problemas.
- Oportunidades de Mejora: Identificación de áreas para la mejora continua.

Salidas:

- Informes de Mantenimiento: Documentos que registran las actividades y resultados.
- Protocolos de Control: Registros detallados de las inspecciones y pruebas realizadas.
- Cierres de Actividades: Evaluación del cumplimiento de los objetivos de mantenimiento.

- Hallazgos y Oportunidades de Mejora: Identificación de áreas que requieren acción correctiva o preventiva.

Este mapa de procesos de calidad en el mantenimiento de plantas concentradoras es una herramienta para garantizar la calidad en la ejecución del mantenimiento y asegurar la mejora continua de las operaciones. La cultura de calidad impulsa cada paso, desde la planificación hasta la identificación de oportunidades de mejora, con el objetivo fundamental de satisfacer las necesidades del cliente y mantener la excelencia en las operaciones de la planta concentradora.

ENTRADAS	PROCESOS	SUB PROCESOS	ACTIVIDADES	SALIDAS
Orden de trabajo asociada a: • Plan Matriz • Mantenimiento programada menor • Mantenimiento programada mayor • Actividad no programada	Mantenimiento transversal	• Mantenimiento mecánico primario	• Mantenimiento de las distintas especialidades, direccionadas por instructivos de trabajo. • Entrega de repuestos e insumos a las distintas especialidades.	• Cumplimiento de solicitud de mantenimiento • Cierre de OT
		• Mantenimiento mecánico molienda		• Informes de mantenimiento
• Procedimientos para las actividades de mantenimiento				• Protocolos de control de calidad en las distintas actividades.
• Protocolos de calidad de trabajo.				• Protocolo de recepción de repuestos • Informes de quiebre de Stock
• Repuestos • Materiales e insumos				• Observaciones, hallazgos, oportunidades de mejora y sus no conformidades correspondientes.
• Personal técnico y sus Competencias				• Informe final de calidad del servicio con evidencias, desviaciones y oportunidades de mejora para la organización y el cliente. No conformidades correspondientes

Ilustración 7 Mapa de procesos de calidad.
Fuente; Elaboración propia en base al modelo SIPOC.

2.2.7. HERRAMIENTAS PARA LA CALIDAD

La mejora continua de la calidad es un enfoque estratégico que requiere la participación de expertos y líderes organizacionales, apoyados en herramientas específicas para la toma de decisiones y resolución de problemas. Aunque existen más de cien herramientas de gestión de calidad, su correcta selección y aplicación es clave para el éxito de cualquier programa. Entre todas, destacan las siete herramientas básicas de calidad (7QC), propuestas por Ishikawa en los años 60, por su simplicidad, utilidad y capacidad para analizar problemas recurrentes. Estas herramientas siguen siendo fundamentales en metodologías como Kaizen y el enfoque de Juran, consolidándose como pilares esenciales en los procesos de mejora (Sokovic et al, 2009).

2.2.7.1. CICLO DE DEMING

El Ciclo de Deming, también conocido como Ciclo PDCA, es un enfoque metodológico que representa la filosofía de gestión de calidad y mejora continua, aplicable a cualquier etapa del trabajo dentro de una organización.

Este ciclo comienza con la Planificación (Plan), donde se establecen objetivos y se diseñan estrategias para lograr una mejora específica. Luego sigue la fase de Ejecución (Do), que consiste en implementar lo planificado. Posteriormente, se procede a la Verificación (Check), en la que se analizan los resultados obtenidos y se comparan con los objetivos iniciales. Finalmente, en la etapa de Actuación (Act), se proponen ajustes, mejoras y, de ser necesario, se modifican los planes iniciales.

El Ciclo de Deming es un proceso cerrado y cíclico, lo que significa que, tras la implementación de una mejora, se deben establecer nuevos objetivos y repetir el proceso de verificación de forma continua. Para un sistema de gestión de la calidad, es fundamental que este ciclo se mantenga en constante movimiento, fomentando así una cultura de evolución permanente.

Aplicar el Ciclo de Deming (PDCA) en el aseguramiento de calidad permite establecer un sistema de mejora continua que garantiza que los productos o servicios cumplan consistentemente con los estándares definidos.

La implementación del Ciclo de Deming en el contexto del aseguramiento de calidad está estrechamente alineada con los principios de la norma ISO 9001, ya que esta norma internacional promueve un enfoque basado en procesos, la mejora continua y la satisfacción del cliente como ejes centrales de un sistema de gestión de calidad. En la ejecución del mantenimiento dentro de plantas concentradoras de cobre, la aplicación disciplinada del ciclo PDCA permite documentar procedimientos, monitorear resultados y tomar decisiones fundamentadas en datos, asegurando así el cumplimiento de los requisitos normativos y la trazabilidad de las acciones correctivas y preventivas.

De este modo, el Ciclo de Deming no solo respalda la obtención de resultados consistentes y conformes, sino que también es una pieza clave para la certificación y el sostenimiento de un sistema de gestión de calidad bajo los lineamientos de la ISO 9001 (Sokovic et al, 2009).

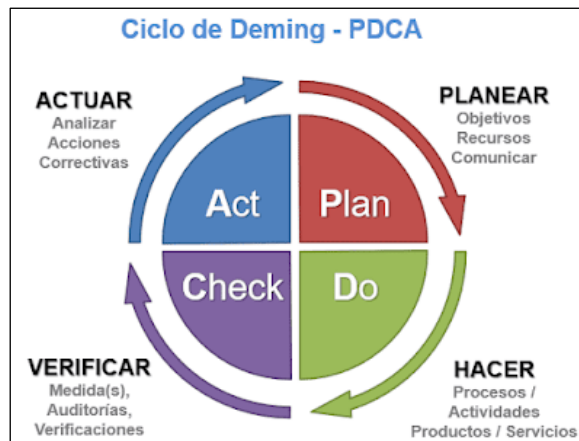


*Ilustración 8 Ciclo de Deming – PDCA.
Fuente: Ingeniería de calidad, 2020.*

2.2.7.2. MATRIZ DE CRITICIDAD

La matriz de criticidad es una herramienta analítica utilizada para identificar y priorizar los activos, procesos o eventos que representan un mayor riesgo para la operación y el cumplimiento de los objetivos organizacionales. Su propósito es clasificar elementos según criterios como la probabilidad de ocurrencia, el impacto en la seguridad, el costo y el efecto en la producción, permitiendo enfocar los recursos en la gestión, mantenimiento o control de aquello que puede causar mayores consecuencias adversas. Esta matriz se construye normalmente en forma de tabla bidimensional, donde las filas y columnas representan los niveles de riesgo y criticidad, respectivamente, facilitando la visualización y toma de decisiones estratégicas (Gutierrez & Agüero, 2024).

En el desarrollo de esta tesis, se emplearán los principios de la matriz de criticidad como eje metodológico para determinar cuáles son las labores críticas dentro del plan de mantenimiento programado. Esta herramienta permitirá analizar y priorizar las actividades de inspección de calidad según las frecuencias de eventos, el nivel de riesgo, impacto en la operación y posibles consecuencias en la producción y la seguridad. De este modo, se orientarán los recursos y la gestión hacia aquellas tareas cuyo correcto desempeño resulta indispensable para el buen funcionamiento y la continuidad operativa de la planta, asegurando así una estrategia de mantenimiento más eficiente y alineada con los objetivos organizacionales.

Para el caso de esta tesis se adaptará la matriz mediante métodos de los puntos con el propósito de identificar y priorizar las labores críticas dentro del plan de mantenimiento. Esta metodología permitirá asignar puntuaciones a diferentes actividades según criterios previamente definidos, tales como frecuencia, impacto potencial o consecuencias de fallas, facilitando así una evaluación estructurada y objetiva. Gracias a este enfoque, será posible focalizar los recursos en las tareas que representan mayor riesgo o criticidad para

la operación, optimizando el uso del tiempo y garantizando la alineación con los estándares de calidad y los requisitos normativos.

Para determinar la criticidad de un evento o tarea en el contexto del aseguramiento de calidad, se utiliza generalmente la ecuación base: $\text{Criticidad} = \text{Frecuencia} \times \text{Impacto}$. En esta fórmula, la frecuencia hace referencia a la recurrencia con que ocurre el evento, mientras que el impacto se calcula como la suma de varios factores relevantes: el nivel de especialidad técnica requerido, la necesidad de herramientas especiales, el impacto en la producción, el impacto ambiental y el impacto en la seguridad. Así, la ecuación considera no solo cuán seguido ocurre un evento, sino también el peso o consecuencias asociadas a cada uno de estos aspectos, proporcionando una valoración integral y priorizada para la toma de decisiones. Ver tabla 3.

$$\text{Criticidad} = \text{Frecuencia} \times (\text{Frecuencia de eventos} + \text{Nivel especialidad técnica} + \text{Herramientas especiales} + \text{Impacto producción} + \text{Impacto Ambiental} + \text{Impacto Seguridad})$$

DEFINICIÓN DE CRITERIOS	
Criterio	Descripción
Frecuencia de eventos o fallas	¿En esta labor, Han ocurrido fallas? Fallas acumuladas post mantención
Nivel especialidad técnica	Se debe identificar que nivel de especialidad técnica es requerida.
Herramientas especiales	¿Se utilizarán herramientas especiales o calibradas en esta labor?
Impacto en producción	¿Esta labor afecta la producción?
Impacto Ambiental	Si existe una desviación, ¿Esta labor generará un impacto ambiental?
Impacto Seguridad	Si existe una desviación, ¿Esta labor generará un impacto en seguridad?

Tabla 3 Definición de criterios.

Fuente: Elaboración propia en base a matriz de criticidad por métodos de puntos.

En este contexto, la elaboración de la tabla de puntuación representa un paso fundamental para la evaluación objetiva de los riesgos y la priorización de acciones dentro del proceso de mantenimiento. Para lograrlo, se adopta una escala del 1 al 9, aplicable tanto a la frecuencia como a cada uno de los criterios de impacto definidos previamente. Esta metodología permite asignar valores numéricos que reflejan la recurrencia con que se presentan los eventos, así como la magnitud de sus consecuencias en parámetros críticos como seguridad, costo, producción o medio ambiente. El uso de esta escala facilita la construcción de matrices y diagramas, y aporta claridad en la interpretación de los resultados y en la toma de decisiones basada en datos cuantificables. Ver tabla 4.

MATRIZ DE CRITICIDAD METODOLOGÍA DE PUNTOS			
ESTIMACIÓN DE PUNTAJE	Frecuencia de eventos o fallas		Puntaje
	Sin fallas o eventos post mantención		1
	Existe desviación, mejora durante mantención		3
	1 Falla o evento post mantención acumulado		6
	2 o más Fallas o evento post mantención acumulado		9
	Alta especialidad técnica		Puntaje
	Técnico nivel 2		1
	Técnico nivel 1		3
	Especialista Senior		6
	Ingeniero Especialista		9
	Herramientas especiales		Puntaje
	Si		9
	No		1
	Impacto en Producción		Puntaje
	Si		9
	No		1
	Impacto Ambiental		Puntaje
	Si		9
	No		1
	Impacto Seguridad		Puntaje
	Si		9
	No		1

Tabla 4 Tabla de metodología de puntos aplicada al caso.
Fuente: Elaboración propia en base a método de puntos.

Para la elaboración de la jerarquización, se utiliza la clasificación de criticidad, donde cada nivel se identifica visualmente: criticidad baja en color verde, media baja en amarillo, media alta en naranja y alta en rojo. Esta categorización se determina según la frecuencia y la sumatoria de impactos asociados a cada labor. Así, las actividades quedan clasificadas dentro de la matriz y señaladas conforme a lo presentado en la tabla Jerarquización. Ver tabla 5

Frecuencia	Impacto	Jeraquización	Identificación
1	1-25	Labor con criticidad baja	B
3	1-25	Labor con criticidad media baja	MB
3	26-37	Labor con criticidad media alta	MA
1	26-37	Labor con criticidad media alta	
1	38-45	Labor con criticidad alta	A
3	38-45	Labor con criticidad alta	
6	1-45	Labor con criticidad alta	
9	1-45	Labor con criticidad alta	

Tabla 5 Jerarquización de criticidad.
Fuente: Elaboración propia en base a método de puntos.

En conclusión, la matriz de criticidad, estructurada con los valores de frecuencia y los rangos definidos en la tabla correspondiente, servirá como base fundamental para la aplicación de la metodología de aseguramiento de calidad durante la ejecución del mantenimiento en plantas concentradoras. Este enfoque permitirá sustentar la priorización en las actividades de auditoría de calidad en terreno desde una perspectiva cuantitativa y objetiva, facilitando la toma de decisiones informadas y la asignación eficiente de recursos. Ver tabla 6.

9	A	A	A	A
6	A	A	A	A
3	MB	MB	MA	A
1	B	B	MA	A
	1-12	13-25	26-37	38-45

Tabla 6 Matriz de criticidad; frecuencia y rangos.
Fuente: Elaboración propia en base a método de puntos.

2.2.7.3. DIAGRAMA DE PARETO

El diagrama de Pareto es una herramienta gráfica que se basa en el Principio de Pareto o Regla 80/20, este diagrama muestra la frecuencia y el impacto relativo de los problemas o causas en una situación determinada, de esta forma permite a la empresa seleccionar prioridades cuando hay un gran número de problemas.

El diagrama se compone de dos ejes: el eje horizontal representa las categorías de problemas o causas, y el eje vertical muestra la frecuencia o el impacto de cada categoría. Los datos se representan en barras, que se organizan de mayor a menor frecuencia o impacto. El diagrama de Pareto también incluye una línea acumulativa, que muestra el porcentaje acumulado de las categorías (Sokovic, Jovanovic, Krivokapic, Vujovic, 2009).

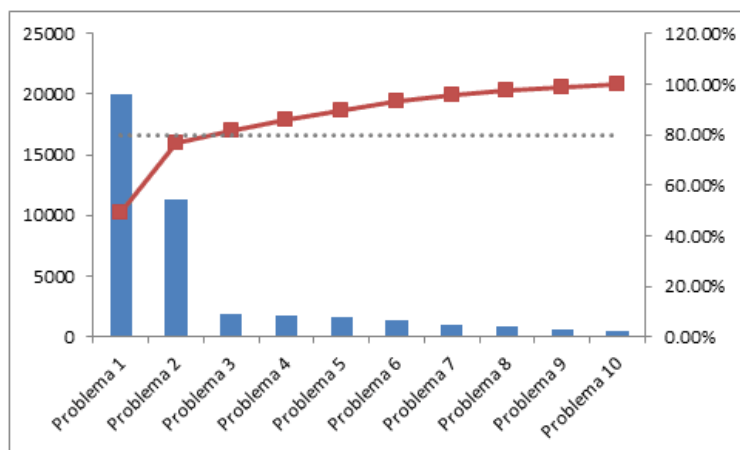


Ilustración 9 Diagrama de Pareto.
Fuente: Excel Total (s.f)

¿Por qué es importante el diagrama de Pareto?

El diagrama de Pareto es una herramienta importante en la gestión empresarial por varias razones:

- Identifica las causas principales: Al utilizar el diagrama de Pareto, es posible identificar rápidamente las causas principales de un problema o situación, lo que permite centrar los esfuerzos en solucionar las causas que generan el mayor impacto.

- Prioriza las soluciones: Al identificar las causas principales, es posible priorizar las soluciones para solucionar los problemas más importantes primero.
- Ahorra tiempo y recursos: Al centrarse en las causas principales, se ahorra tiempo y recursos al no tener que solucionar todas las causas de manera igualitaria.
- Promueve la mejora continua: Al utilizar el diagrama de Pareto, es posible identificar las causas principales y solucionarlas de manera efectiva, lo que contribuye a la mejora continua de los procesos y productos de la empresa.

2.2.7.4. CHECK LIST DE VERIFICACIÓN.

Una checklist o lista de verificación es una herramienta de calidad fundamental que permite realizar evaluaciones sistemáticas, ordenadas y completas de procesos, sistemas o áreas dentro de una organización. Es ampliamente utilizada en auditorías internas y externas, especialmente en el marco de normas como ISO 9001.

El checklist de calidad es una herramienta técnica fundamental dentro de los sistemas de gestión, ampliamente utilizada para asegurar el cumplimiento de estándares en todas las fases de un proyecto (ISO 9001:2015). Su estructura consiste en una lista sistemática de verificación que contiene requisitos, criterios técnicos y puntos de control que deben cumplirse para garantizar la conformidad del producto, proceso o servicio con las especificaciones establecidas. En el contexto del mantenimiento industrial, esta herramienta es especialmente útil para el seguimiento de labores críticas, es decir, actividades cuya omisión o ejecución incorrecta puede comprometer la operatividad, la seguridad o la vida útil de los activos físicos (ISO 55001:2024). El check list permite constatar la ejecución efectiva de dichas tareas, documentar evidencias, identificar desviaciones y fortalecer la trazabilidad operativa. Asimismo, contribuye a la estandarización del trabajo técnico, minimiza el riesgo de errores humanos y provee un marco confiable para la evaluación objetiva del desempeño. Su correcta implementación en entornos industriales promueve una cultura organizacional orientada a la mejora continua y la gestión eficiente de riesgos (García, 2022)

Alineando el check list con la norma ISO 9001 se debe incluir lo detallado en Tabla 7.

Elemento	Descripción
Auditor responsable	Nombre y rol dentro del equipo auditor
Norma de referencia	Por Ejemplo, ISO 9001:2015
Requisitos para verificar	Detalle de los puntos normativos o internos a evaluar
Metodología de evaluación	Criterios: Cumple / No cumple
Evidencias documentales	Aplicación de instructivos, utilización de protocolos.
Hallazgos y observaciones	Notas sobre incumplimientos, fortalezas o áreas de mejora.

*Tabla 7 Componentes de una lista de verificación,
Fuente: Elaboración propia en base a ISO 9001, capítulo 9.2.2*

Las ventajas de utilizar un check list de verificación son las siguientes:

- Evidencia el estado del proceso auditado.
- Facilita la toma de decisiones basada en evidencias.
- Promueve la mejora continua al identificar oportunidades de optimización.

2.2.7.5. MATRIZ RACI.

La matriz RACI (Responsable, Aprobador, Consultado e Informado) es una herramienta ampliamente utilizada en la gestión de proyectos para definir con claridad los roles y responsabilidades de los miembros del equipo.

La matriz RACI se representa generalmente en forma de tabla, donde se asigna un rol específico a cada persona en relación con cada tarea. Esto permite:

- Evitar la duplicidad de funciones.
- Identificar claramente al responsable y al aprobador.
- Involucrar a expertos mediante el rol de consultado.
- Mantener informados a los interesados sin sobrecargar la comunicación.

La implementación de una matriz de asignación de responsabilidades en esta tesis, como la matriz RACI, constituye una herramienta esencial en el aseguramiento de la calidad, especialmente en proyectos de alta complejidad que involucran múltiples actores. Su uso permite definir con claridad los roles funcionales en cada etapa del proyecto, contribuyendo a minimizar ambigüedades y errores operativos que puedan afectar la calidad de los entregables (Asana, 2025).



Ilustración 10 Tabla de roles, Matriz Raci.
Fuente: IMECAF 2025

2.2.7.5. ANÁLISIS CAUSA Y RAÍZ. 5 POR QUÉ?

El análisis de causa y raíz, conocido como “5 Por qué”, es una herramienta fundamental en la gestión de la calidad, utilizada para identificar la causa principal de un problema o desviación en los procesos. Su metodología se basa en cuestionar reiteradamente “¿por qué?” ante la ocurrencia de una situación no deseada, profundizando en cada respuesta hasta llegar a la raíz real del inconveniente. Generalmente, se sugieren cinco iteraciones, aunque el número puede variar según la complejidad del problema.

Este enfoque ayuda a evitar soluciones superficiales, promoviendo en cambio acciones correctivas que eliminen el origen de los fallos y no solo sus síntomas. Como resultado, la herramienta favorece la mejora continua y la prevención de la recurrencia de errores, siendo particularmente valiosa en ambientes industriales donde la confiabilidad y la eficiencia de los procesos son críticas. El análisis “5 Por qué” puede aplicarse tanto de manera individual como en equipo, y suele formar parte de metodologías más amplias de resolución de problemas como el ciclo PDCA o el análisis de causa raíz (Toyoda, 1930).

2.2.8. CULTURA DE CALIDAD.

Si bien no se incorporará un plan para abordar esta tesis, se nombrará debido a la relevancia que tiene el involucramiento de toda la organización para lograr labores de calidad.

Resulta imprescindible implementar estrategias que trasciendan la mera documentación de procesos y aborden el comportamiento organizacional de manera consciente y participativa. Una de las acciones más efectivas es la realización de charlas de calidad previas al inicio de cada programa de mantención, donde se sensibilice al personal respecto a la importancia de los estándares, se discutan expectativas sobre el cumplimiento de requisitos y se refuercen los valores asociados al trabajo bien hecho y al aprendizaje continuo.

De igual manera, la difusión sistemática de las desviaciones observadas en mantenciones anteriores, a través de campañas comunicacionales internas, contribuye a generar conciencia y apertura al aprendizaje colectivo. Estas campañas pueden incluir boletines digitales, exposiciones visuales en áreas comunes o incluso la instalación de carteles informativos junto a los equipos que hayan experimentado detenciones por reproceso. Esta última acción, lejos de buscar la sanción, promueve la reflexión sobre las causas raíz de las fallas y motiva la adopción de buenas prácticas para evitar su repetición.

Sumado a lo anterior, es recomendable establecer espacios regulares para el intercambio de experiencias, tales como círculos de calidad o reuniones breves post-mantención, donde se analicen casos reales, se valoren los éxitos y se identifiquen oportunidades de mejora. La participación de todo el equipo, desde la alta dirección hasta el personal operativo, refuerza el sentido de pertenencia y responsabilidad compartida en el logro de los objetivos planteados por el plan de calidad (Ishikawa, 1988), (Gryna et al, 2007).

2.3. PROPUESTA METODOLÓGICA.

Para el desarrollo de la propuesta metodológica es esencial considerar los conceptos y enfoques tratados en el marco teórico, ya que estos proporcionan el sustento técnico y conceptual necesario para estructurar cada etapa del proceso.

Asimismo, se utilizarán los casos referenciales presentados en el punto 2.1.4 para guiar el desarrollo de la propuesta, permitiendo comparar los análisis cuantitativos, la implementación de herramientas de calidad y evaluación de resultados. Estos casos servirán como base comparativa para identificar beneficios concretos en la aplicación de la metodología de aseguramiento de calidad propuesta.

Finalmente, para operacionalizar la metodología, se utilizará un organigrama funcional que delimita los roles y responsabilidades en cada etapa, permitiendo la aplicación de la matriz RACI.

2.3.1. GUÍA PARA LA APLICACIÓN.

La aplicación del ciclo de Deming —Planear, Hacer, Verificar y Actuar— constituye la columna vertebral de la metodología de aseguramiento de calidad. Este enfoque permite instaurar un proceso sistemático de mejoramiento continuo, donde cada fase aporta elementos concretos para la consolidación de estándares superiores en la ejecución del mantenimiento. Si bien esta metodología puede ser aplicada para la totalidad de los equipos y áreas de una planta concentradora, en este desarrollo se acotará la aplicación para el equipo chancador primario.

Durante la etapa de *Planear*, se establece el objetivo central del plan de calidad, el cual puede orientarse, por ejemplo, a reducir la incidencia de reprocesos posteriores a la mantención. Esta definición se enriquece con la retroalimentación obtenida de los hallazgos y desviaciones identificadas en ciclos previos, asegurando que el aprendizaje sea el punto de partida para la mejora. En esta fase, se definirá la responsabilidad por roles dentro la organización frente a la aplicación de la metodología en una mantención programada, también se determinará la cantidad de auditores de calidad que supervisarán las actividades en terreno, garantizando la cobertura adecuada durante la ejecución.

En la fase de *Hacer*, se lleva a cabo la revisión detallada del plan de mantención, enfocándose especialmente en la identificación de las labores críticas a través de la puntuación estructurada en una matriz. Se verifica la existencia de protocolos y procedimientos específicos asociados a cada una de estas labores; en caso de no contar con ellos, se procede a su elaboración antes del inicio de la intervención, resguardando así la estandarización y el control de los procesos más sensibles.

La etapa de *Verificar* implica la auditoría en terreno de la ruta de calidad, desarrollada conforme a las labores críticas previamente definidas. Para ello, se utiliza un listado de verificación en terreno que permite constatar la correcta ejecución de los procedimientos y detectar, en tiempo real, posibles desviaciones respecto a lo planificado.

Finalmente, en la fase de *Actuar*, se recopilan todos los protocolos aplicados y los listados de verificación utilizados en la ruta crítica de calidad. Sobre esta base, se realiza un análisis exhaustivo de las desviaciones y hallazgos detectados durante la mantención, empleando herramientas como el diagrama de Pareto para identificar tendencias y causas predominantes. Estas conclusiones permiten definir estrategias concretas de mejoramiento que alimentan el siguiente ciclo de planificación. Al concluir cada mantención, se elabora un informe de calidad donde se presentan los indicadores clave: grado de cumplimiento del plan de calidad definido, cantidad de desviaciones detectadas, hallazgos relevantes y el análisis de estos elementos.

La integración disciplinada de este ciclo de Deming asegura que cada proceso de mantención no solo cumpla con los requerimientos actuales, sino que evolucione progresivamente hacia la excelencia operativa y la sostenibilidad de los resultados.

Como bien se observa en la guía para la aplicación, la norma ISO 10005, es también la base que permitirá estructurar y documentar de manera rigurosa el proceso de auditoría en terreno, asegurando que cada actividad crítica cuente con criterios claros de aceptación y registros objetivos de cumplimiento. El uso de listados de verificación, recomendados por la norma, facilita la trazabilidad de las acciones y la detección oportuna de desviaciones respecto a lo planificado. Como también permite orientar la recopilación y análisis sistemático de los hallazgos y no conformidades, promoviendo la utilización de información documentada para identificar causas raíz y definir acciones correctivas. Esta metodología fomenta la mejora continua, ya que cada ciclo de mantención incorpora las lecciones aprendidas y las estrategias de prevención derivadas del análisis de datos. Así, la norma asegura que las acciones tomadas no solo resuelvan problemas puntuales, sino que contribuyan a elevar el estándar global del proceso.

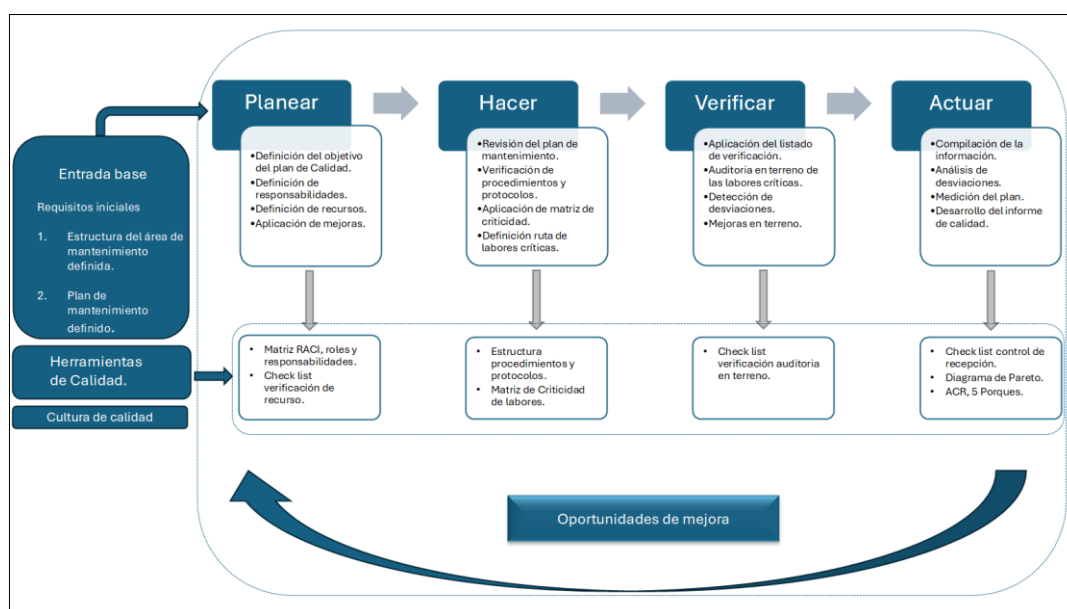


*Ilustración 11 Integración del ciclo de Deming a la metodología.
Fuente: Elaboración propia basado en el ciclo de Deming.*

2.3.2. ORGANIGRAMA GENERAL ÁREA DE MANTENIMIENTO.

El caso 3, presentado en el punto 2.4.1.3, hace referencia a la estructura organizacional del área de mantenimiento de la Minera El Teniente y para efectos de ilustrar la aplicación práctica de la metodología de aseguramiento de calidad descrita, se ha considerado pertinente utilizar como ejemplo un organigrama general actualmente adoptado por la gran mayoría de las áreas de mantenimiento de plantas procesadoras de cobre en Chile. Es importante señalar que el enfoque de esta aplicación se centrará exclusivamente en el área de chancado primario y el área de molienda, permitiendo así un análisis más específico y contextualizado de los procesos y roles involucrados (Olivares Olivares, 2017).

Es fundamental destacar que la estructura organizacional propuesta no es rígida ni única, sino que puede y debe ser adaptada a las características y necesidades específicas de cada organización interesada en implementar esta metodología de aseguramiento de calidad. Cada empresa cuenta con particularidades propias en cuanto a su tamaño, complejidad de procesos, recursos disponibles y cultura interna. Por ello, la metodología descrita permite flexibilizar la asignación de roles y responsabilidades, integrando los principios de la norma ISO 9001 y el enfoque de matrices como la RACI, de modo que se ajusten a la realidad operativa y a los objetivos estratégicos de la organización en cuestión.

Esta capacidad de adaptación favorece la apropiación de la metodología por parte de distintas áreas o plantas, asegurando que el modelo organizativo facilite la trazabilidad, la comunicación efectiva y la supervisión directa de las actividades críticas, sin perder de vista la importancia del control de calidad. En este sentido, cada organización puede modificar o complementar el organigrama base, siempre y cuando se mantenga la claridad en las funciones y la responsabilidad sobre los procesos fundamentales de mantenimiento. (Viveros, Stegmaier, Kristjanpoller, Barbera, Crespo, 2013).

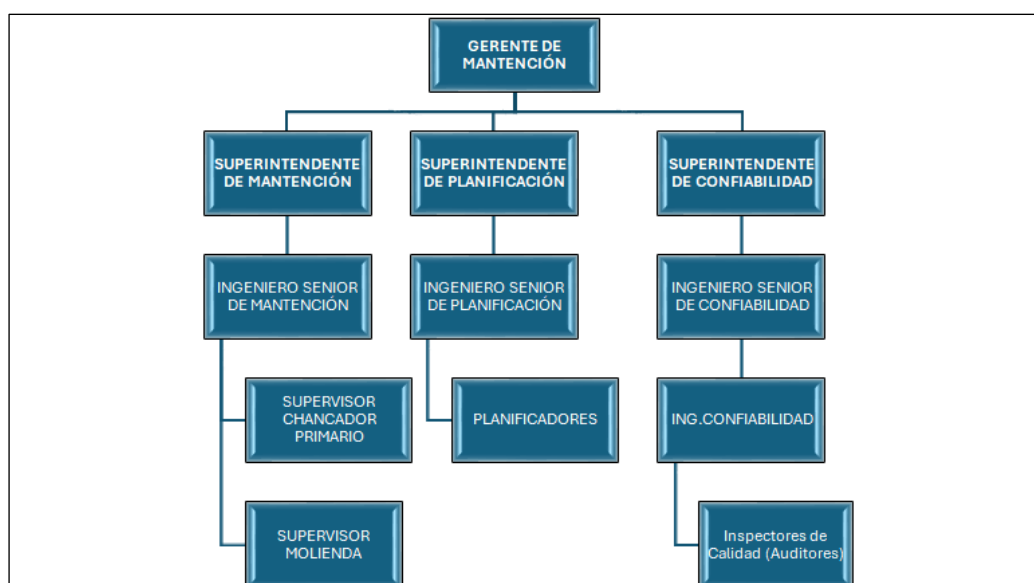


*Ilustración 12 Organigrama general área de mantenimiento.
Fuente: Elaboración propia basado en experiencias de Minerías.*

3. CAPITULO 3. DESARROLLO.

3.1. DEFINICIÓN INICIAL PARA APLICAR LA METODOLOGÍA.

Antes de iniciar la aplicación de la metodología de aseguramiento de calidad en la ejecución del mantenimiento en plantas concentradoras, es imprescindible contar, en primer lugar, con una estructura organizacional del área de mantenimiento definida y en segundo lugar un plan de mantenimiento previamente definido y formalizado. Este plan debe detallar y reunir la totalidad de las labores que se ejecutarán, estableciendo con claridad los procedimientos, frecuencias, responsables y criterios técnicos asociados a cada intervención.

Es importante enfatizar que la puesta en marcha de la metodología de aseguramiento de calidad solo será posible una vez que se cuente efectivamente con las entradas clave para iniciar el proceso, es decir, la estructura organizacional definida para el área de mantenimiento y un plan de mantenimiento formalizado y validado. Estos elementos son requisitos indispensables, pues permiten que el resto de las etapas se desarrolle sobre una base sólida, asegurando coherencia y trazabilidad en toda la gestión. Solo al disponer de ambos insumos, se garantiza que la aplicación metodológica se realice de manera ordenada, eficiente y alineada con los objetivos estratégicos de la organización.

Para ilustrar el desarrollo y aplicación de la metodología propuesta, se tomará como referencia un caso práctico basado en un mantenimiento mayor programado en una planta concentradora de una minera ubicada en el norte de Chile, cuya ejecución tuvo lugar durante el mes de julio de 2025. En esta intervención, se llevó a cabo un plan de mantenimiento previamente estructurado y formalizado, con una duración total de 138 horas.

3.2. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD EN LA EJECUCIÓN DEL MANTENIMIENTO PARA PLANTAS CONCENTRADORA.

Para efectos de ilustrar en detalle la aplicación de la metodología de aseguramiento de calidad, se ha determinado que el supuesto de desarrollo estará enfocado específicamente en el plan de mantenimiento asociado al chancador primario FLSmidth NT 60x113. Esta elección permitirá contextualizar cada etapa metodológica y ejemplificar la asignación de roles, responsabilidades y controles en un equipo crítico dentro del proceso de chancado primario, facilitando así una comprensión más precisa y aplicada del modelo propuesto.

Para lograr una implementación efectiva de la metodología de aseguramiento de la calidad, se ha decidido adoptar los procesos fundamentales del ciclo de Deming: planear, hacer, verificar y actuar.

La metodología de aseguramiento de calidad propuesta será adaptada al ciclo de Deming (planear, hacer, verificar y actuar), con el objetivo de que los controles realizados en terreno permitan obtener información relevante y, a partir de ella, generar oportunidades de mejora en el ciclo de mantenimiento.

3.2.1. PLANEAR

Para este caso, la etapa “Planear” marca el punto de partida en la aplicación del ciclo de mejora continua (PDCA) dentro del marco metodológico de aseguramiento de calidad en la ejecución de mantenimiento.

El enfoque principal de esta etapa radica en establecer de manera precisa los roles y responsabilidades del personal involucrado, asignando funciones específicas que garanticen una ejecución coordinada y eficaz del proceso de aseguramiento de calidad. Paralelamente, se lleva a cabo la identificación y planificación estratégica de los recursos requeridos para la correcta implementación de la metodología, asegurando que cada elemento humano, técnico y documental, esté alineado con los estándares definidos y disponible en el momento oportuno.

3.2.1.1. DEFINICIÓN DE RESPONSABILIDAD EN LA ORGANIZACIÓN. APLICACIÓN DE MATRIZ RACI EN LA METODOLOGÍA.

Para que la metodología de aplicación del aseguramiento de calidad funcione de manera efectiva, resulta indispensable definir con precisión las responsabilidades de cada rol involucrado en las etapas definidas. La claridad en la asignación de funciones no solo favorece la ejecución ordenada de las actividades, sino que también asegura la trazabilidad y el control de cada etapa del proceso.

Cabe destacar que, para ejemplificar de manera práctica la aplicación de la metodología de aseguramiento de calidad descrita, se empleará el organigrama base del área de mantenimiento en una planta concentradora, definido en el punto 3.2.2. Este organigrama considera los principales roles indicados previamente en el punto 2.1.3, permitiendo así clarificar la asignación de responsabilidades y la interacción entre los distintos actores involucrados en cada etapa del proceso. Esta referencia facilitará la comprensión y adaptación de la metodología a contextos reales de gestión del mantenimiento industrial.

Principales roles:

- Gerente de mantenimiento.
- Superintendente de mantenimiento.
- Superintendente de planificación.
- Senior de Mantención.
- Senior de planificación.
- Senior de confiabilidad.
- Supervisor mecánico del área chancado.
- Supervisor mecánico del área molienda.
- Planificador.
- Ingeniero de confiabilidad.
- Inspector de calidad.

MATRIZ RACI; METODOLOGÍA ASEGURAMIENTO DE CALIDAD PLANTA CONCENTRADORA													
	Roles												
	Gerente de mantenimiento	Superintendente de mantenimiento	Superintendente de Planificación	Superintendente de confiabilidad	Senior de Mantenimiento	Senior de Planificación	Senior de confiabilidad	Supervisor Chancado	Supervisor Molenda	Planificador	Ingeniero de confiabilidad	Inspectores de calidad	
Actividades													
Confección plan de mantenimiento	I	C	R	C	C	A	I	I	I	R	I	I	
Confección de instructivos	I	I	I	I	A	I	C	R	R	I	I	I	
Confección protocolos	I	I	I	I	A	I	C	R	R	I	I	I	
Revisión de programas de mantenimiento	I	I	I	I	I	A	I	R	R	C	R	I	
Definición de recursos	I	I	I	I	C	I	A	I	I	R	R	I	
Verificación de procedimientos y protocolos	I	I	I	I	I	I	A	C	C	I	R	I	
Aplicación de matriz de criticidad	I	I	I	I	C	C	A	I	I	I	R	I	
Definición ruta de labores críticas	I	I	I	I	A	I	C	R	R	I	I	I	
Aplicación listado de verificación o check list	I	I	I	I	C	I	I	I	I	I	A	R	
Auditorías en terreno de labores críticas	I	I	I	I	C	I	I	I	I	I	A	R	
Compilación de información (check list)	I	I	I	I	I	I	A	I	I	I	R	C	
Análisis de desviaciones	I	I	I	A	I	I	R	C	C	I	I	I	
Mediciones del plan de calidad	I	I	I	A	C	C	R	C	C	I	I	I	
Desarrollo final del informe de calidad	I	I	I	I	I	I	A	C	C	I	R	I	
Implementación de estrategia de mejoras	I	I	I	A	C	C	R	C	C	I	R	I	

Tabla 8 Roles y responsabilidades.

Fuente: Elaboración propia en base a la Matriz Raci.

3.2.1.2. DEFINICIÓN DE RECURSOS

En esta etapa, corresponde que el planificador y el ingeniero de confiabilidad determinen con detalle los recursos necesarios para ejecutar la auditoría en terreno bajo los lineamientos de la metodología de aseguramiento de calidad. Para una correcta planificación, la definición de recursos se estructurará en cinco categorías fundamentales: humanos, técnicos, documentales, infraestructura y seguridad.

Es fundamental que los recursos humanos designados cuenten con competencias en el área que será asignada, análisis de procesos, manejo de herramientas de seguimiento y comunicación efectiva para la correcta recopilación de información en terreno.

En relación con los *recursos técnicos*, se deben contemplar instrumentos de medición calibrados, registros fotográficos o videográficos, así como equipos de comunicación para la coordinación entre participantes durante la auditoría. Además, resulta necesario disponer de acceso a los sistemas informáticos o bases de datos donde se almacenen los historiales de mantenimiento, protocolos y reportes previos, lo que facilitará la comparación y trazabilidad de la información recolectada.

A nivel de *recursos documentales*, se debe preparar y disponibilizar la documentación base que guiará la auditoría: procedimientos específicos, instructivos de trabajo, matrices de roles y responsabilidades, y toda la normativa vigente asociada al aseguramiento de calidad. Esto incluye también los formatos para la identificación de hallazgos, registro de no conformidades y seguimiento de acciones de mejora, asegurando que el proceso de auditoría quede debidamente sustentado y trazable para futuras revisiones y análisis.

En cuanto a los *recursos de infraestructura*, será indispensable contar con espacios físicos adecuados para el desarrollo de la auditoría y las labores de mantenimiento asociadas. Se considerará la disponibilidad de un puesto de trabajo con puntos de energía eléctrica, conectividad a redes de datos y acceso

a servicios sanitarios, garantizando condiciones óptimas para la permanencia y el desempeño seguro del personal durante toda la ejecución.

Respecto a los *recursos de seguridad*, se exigirá el uso de equipos de protección personal según la naturaleza del área intervenida (cascos, guantes, protección auditiva, visual, calzado de seguridad, entre otros), los cuales deberán estar certificados y en óptimas condiciones. Se verificará la existencia y vigencia de los planes de emergencia y evacuación, señalética visible de rutas de escape y puntos de encuentro, así como la disponibilidad de extintores y botiquines de primeros auxilios. Adicionalmente, se implementarán controles de acceso (Bloqueo de seguridad) para garantizar que solo personas autorizadas ingresen a las áreas involucradas, y se coordinará la presencia de personal con conocimientos en primeros auxilios y manejo de incidentes.

Para la definición de recursos se utilizará como guía la aplicación de check list como se muestra a continuación:

Fecha:	Indicar fecha en la que se aplicará la metodología	Se deben marcar los recursos necesarios para aplicar la metodología de aseguramiento de calidad.		
Área:	Indicar área en que se realizará la auditoría			
Realizado por:	Nombre del planificador y el ingeniero de confiabilidad			
CHECK LIST RECURSOS				
Categoría	Humano / Técnico / Recurso	Documentación / Aplicación	SI	No
Humano	Ingeniero de Confiabilidad	Diseña estrategias de mantenimiento basadas en criticidad y análisis de fallas	☒	☐
	Técnico Mecánico	Ejecuta mantenimiento preventivo y correctivo en planta concentradora.	☒	☐
	Inspector de Calidad (Auditor terreno)	Chequea el cumplimiento de la ejecución a través de la lista de verificación.	☒	☐
	Supervisor de Mantenimiento	Facilita la documentación de respaldo durante la auditoría. (Protocolos, procedimientos, etc)	☒	☐
Técnico	Computador	Gestión digital compilación de data, desarrollo de informes.	☒	☐
	Máquina fotográfica	Registros de labores en desarrollo.	☒	☐
	Linterna	Visualización de espacios sin luz.	☒	☐
	Flexómetro	Mediciones aleatorias si la labor lo permite.	☒	☐
Documentales	Otro (Indicar):		☐	☒
	Procedimiento	Instrucciones específicas para cada tipo de equipo y tarea	☒	☐
	Lista de verificación en terreno	Lista desarrollada para auditar al ejecutor del mantenimiento, hallazgos.	☒	☐
	Registros de mantenimiento	Historial de fallas, tiempos de parada, intervenciones.	☒	☐
	Carta Gantt	Plan de mantenimiento desarrollado por equipo de planificación.	☒	☐
	Ruta labores crítica	Labores definidas como críticas según matriz	☒	☐
Infraestructura	Otro (Indicar):		☐	☒
	Estación de trabajo	Puesto utilizado por el área encargada de calidad.	☒	☐
Seguridad	Otro (Indicar):		☐	☒
	EPP certificado según norma chilena	Protección personal para trabajos en altura, espacios confinados, eléctricos	☒	☐
	Bloqueo de seguridad	Procedimiento para garantizar que los equipos estén completamente desenergizados.	☒	☐
	Verificación de planes y señalética	Chequeo de planes de emergencia y señalética del área.	☒	☐

Tabla 9 Check list definición de recursos.
Fuente: Elaboración propia en base a ISO 9001 para el desarrollo de la metodología.

Según lo indicado en Tabla 9, se realizará una estimación económica de los recursos necesarios para desarrollar la metodología de aseguramiento de calidad durante el mantenimiento programado en una planta concentradora. Para esto, se considerarán 4 áreas de la planta concentradora que serán inspeccionadas, las cuales son: área de chancador primario, área de molienda, área de flotación y área de filtración. Cada una de las áreas serán auditadas por un inspector de calidad que será contratado específicamente para las mantenciones programadas dirigidos por el área de confiabilidad. A continuación, en tabla 10 se presenta la estimación económica realizada para una mantención de 138 hrs:

Fecha:	Indicar fecha en la que se aplicará la metodología	Se deben marcar los recursos necesarios para aplicar la metodología de aseguramiento de calidad.						
Área:	Indicar área en que se realizará la auditoría							
Realizado por:	Nombre del planificador y el ingeniero de confiabilidad							
CHECK LIST RECURSOS					Cantidad	Valor unitario USD	Valor total USD	
Categoría	Humano / Técnico / Recurso	Documentación / Aplicación	Si	No				
Humano	Ingeniero de Confiabilidad	Diseña estrategias de mantenimiento basadas en criticidad y análisis de fallas	☒	☐	1	2.484	2.484	
	Técnico Mecánico	Ejecuta mantenimiento preventivo y correctivo en planta concentradora.	☒	☐				
	Inspector de Calidad (Auditor terreno)	Chequea el cumplimiento de la ejecución a través de la lista de verificación.	☒	☐	4	1.656	6.624	
Técnico	Supervisor de Mantenimiento	Facilita la documentación de respaldo durante la auditoría. (Protocolos, procedimientos, etc)	☒	☐				
	Computador	Gestión digital compilación de data, desarrollo de informes.	☒	☐	4	350	1.400	
	Máquina fotográfica	Registros de labores en desarrollo.	☒	☐	4	150	600	
	Linterna	Visualización de espacios sin luz.	☒	☐	4	35	140	
	Flexómetro	Mediciones aleatorias si la labor lo permite.	☒	☐	4	25	100	
	Otro (Indicar):		☐	☒				
Documentales	Procedimiento	Instrucciones específicas para cada tipo de equipo y tarea	☒	☐				
	Lista de verificación en terreno	Lista desarrollada para auditar al ejecutor del mantenimiento, hallazgos.	☒	☐				
	Registros de mantenimiento	Historial de fallas, tiempos de parada, intervenciones.	☒	☐				
	Carta Gantt	Plan de mantenimiento desarrollado por equipo de planificación.	☒	☐				
	Ruta labores crítica	Labores definidas como críticas según matriz	☒	☐				
	Otro (Indicar):		☐	☒				
Infraestructura	Estación de trabajo	Puesto utilizado por el área encargada de calidad.	☒	☐	4	100	400	
	Otro (Indicar):		☐	☒				
Seguridad	EPP certificado según norma chilena	Protección personal para trabajos en altura, espacios confinados, eléctricos	☒	☐	4	220	880	
	Bloqueo de seguridad	Procedimiento para garantizar que los equipos estén completamente desenergizados.	☒	☐	4	55	55	
	Verificación de planes y señalética	Chequeo de planes de emergencia y señalética del área.	☒	☐				
					Estimación Total		12.683	

Tabla 10 Estimación económico de recursos por cada mantención programada.
Fuente: Elaboración propia en base a los recursos considerados.

De acuerdo con los recursos considerados en Tabla 10, se estima un costo de 12.6 KUSD en recursos para la aplicación de la metodología de aseguramiento de calidad por cada mantención programada.

3.2.2. HACER

Durante la etapa "Hacer" del ciclo de mejora continua (Ciclo de Deming), adaptado a la metodología de aseguramiento de calidad, se aplicará la matriz de criticidad, herramienta que permitirá evaluar cada labor en función de su impacto en la confiabilidad, seguridad y continuidad operacional, con el fin de identificar la ruta crítica de calidad.

Asimismo, se verificará que cada labor contemplada en la ruta crítica de calidad cuente con sus respectivos procedimientos y protocolos de trabajo. En caso de que alguna actividad no disponga de dicha documentación, se deberá proceder con su elaboración conforme a lo establecido en el apartado 3.2.2.1.

3.2.2.1. ESTRUCTURA BÁSICA DE PROCEDIMIENTOS Y PROTOCOLOS.

Antes de abordar la ejecución puntual de cada labor, resulta fundamental establecer una estructura básica para los procedimientos y protocolos, la cual servirá como referencia común para todas las personas involucradas en los procesos de mantención.

Cabe destacar que, para el desarrollo de esta metodología, no se desarrollarán los procedimientos y protocolos específicos para cada labor. En su lugar, se ha dejado disponible en los anexos una estructura básica que servirá de referencia inicial. Esta estructura puede ser adaptada y perfeccionada conforme a las necesidades y objetivos particulares de cada faena minera.

- **Objetivo:** Describir de manera concisa el propósito de la labor o proceso, especificando el resultado esperado y su relevancia para la operación.
- **Alcance:** Determinar los equipos, sistemas, ubicaciones y personal afectados o involucrados, así como las limitaciones o exclusiones aplicables.
- **Definiciones y referencias:** Incluir los términos técnicos relevantes, abreviaturas, normativa aplicable y referencias a documentos relacionados para garantizar una interpretación uniforme.
- **Responsabilidades:** Especificar los roles y funciones de cada persona participante, definiendo claramente quién ejecuta, supervisa, verifica y aprueba cada etapa del proceso.
- **Descripción detallada de la actividad:** Presentar, preferentemente en formato secuencial y apoyado en diagramas o flujogramas, los pasos para la ejecución de la labor. Incluir requisitos previos, condiciones de seguridad, herramientas y equipos necesarios, así como instrucciones para la gestión de desvíos o imprevistos.
- **Gestión de riesgos y controles asociados:** Identificar los peligros inherentes a la tarea y detallar las medidas preventivas, controles críticos y elementos de protección personal requeridos.
- **Registros y documentación:** Indicar los formatos y evidencias que deben completarse durante y después de la ejecución, garantizando la trazabilidad y el cumplimiento de los requisitos de auditoría y mejora continua.
- **Revisión y actualización:** Establecer la frecuencia y el responsable de revisar el procedimiento o protocolo, considerando retroalimentación de personas usuarias y cambios normativos o tecnológicos.

ESTRUCTURA BÁSICA DE UN PROCEDIMIENTO DE TRABAJO				
Logo de la empresa		TÍTULO		
		Responsable:		Página
		Revisión		Referencia
		Código		Fecha de emisión
1. Revisión y aprobación				
Elaboró	Nombre		Cargo	Empresa
Revisó				
Aprobó				
2. Control de cambios				
Revisión	Fecha de modificación	Cambios realizados	Vigencia	
3. Objetivo				
Describir objetivo que se busca al implementar el procedimiento.				
4. Alcance				
Escribir el alcance del procedimiento teniendo en cuenta los procesos que afecta y los que no, y si es necesario considerar las limitaciones geográficas.				
5. Responsable				
El responsable de elaborar, difundir, utilizar y mejorar este procedimiento es el (Nombre / Puesto en la organización) de la organización.				
6. Frecuencia de la revisión				
Este procedimiento se revisará, como menos, una vez al año, en el mes (indicar el mes aquí) o antes si hay algún cambio o mejora significativo en el proceso.				
7. Definiciones				
Definición de los términos que se utilizan durante el procedimiento y que requieren de una explicación más detallada de su concepto.				
8. Descripción de las actividades				
Aquí se describen las actividades secuencialmente.				
9. Diagrama de flujo de las actividades				
En este punto de realiza un diagrama de flujo utilizando el punto 8 Descripción de las actividades.				

ESTRUCTURA BÁSICA DE UN PROTOCOLO DE TRABAJO						
<i>Logo de la empresa</i>	Se debe especificar la labor a controlar					PROTOCOLO N° _____
AREA	SISTEMA	FECHA				
PLANOS DE REFERENCIA	TAG EQUIPO / LINEA					
DETALLE DETENCIÓN RESPONSABLE						OT
DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE PROCEDENCIA	CANTIDAD					
INSERTAR IMAGEN DE COMPONENTE A CONTROLAR. (MEDIDAS, HOLGURAS, ETC)						
DESCRIPCIÓN		Aprobado	Rechazado	No aplica	OBSERVACIONES / HALLAZGOS	
1	DETTALAR LA LABOR ESPECÍFICA A CONTROLAR					
2						
3						
4						
5						
6						
7						
RESPALDO FINALIZACIÓN DE LA EJECUCIÓN						
EJECUTOR	SUPERVISOR					
FECHA	FECHA					

Es fundamental que cada tarea cuente con su procedimiento de trabajo y protocolo específico para garantizar la correcta implementación de la metodología de aseguramiento de calidad expuesta en esta tesis.

3.2.2.2. MATRIZ DE LABORES CRÍTICAS DENTRO DEL PLAN DE MANTENCIÓN. CREACIÓN DE RUTA CRÍTICA DE CALIDAD.

En esta etapa, se implementará la matriz de criticidad por método de puntos, tal como se describe en el ítem 2.2.5.2 MATRIZ DE CRITICIDAD, para todas las labores contempladas dentro del plan de mantenimiento. Sin embargo, en este caso particular, el análisis se centrará exclusivamente en las labores del equipo chancador primario para la especialidad mecánica. La evaluación de la criticidad recaerá en los supervisores responsables, específicamente el supervisor del área de chancado, quien aplicará el método de puntos para determinar el nivel de criticidad de cada labor. Posteriormente, para la conformación de la ruta crítica de calidad, se seleccionarán únicamente aquellas labores que obtengan jerarquía Medio-Alto y Alto. Ver anexo.

De acuerdo con el análisis realizado sobre la carta Gantt correspondiente a la mantención programada y empleada para la elaboración del supuesto, se contemplan un total de 24 labores mecánicas que serán utilizadas en la evaluación de criticidad. Es importante señalar que, dentro del área de chancado, la totalidad de labores que abarcan todos los equipos y especialidades asciende a 100. Particularmente para el equipo chancador primario modelo 60x113 FLSmidth, se consideran 31 labores distribuidas entre las especialidades de mecánica, eléctrica, lubricación y monitoreo de condiciones. Esta segmentación permite enfocar los esfuerzos de análisis y mejora en los procesos de mayor relevancia operacional, asegurando que la ruta crítica de calidad refleje con precisión el impacto de cada labor dentro del ciclo de mantención programada.

LABOR	EJECUTOR	HOR	Frecuencia de eventos	Puntaje frecuencia	Nivel de especialidad técnica	Puntaje Nivel especialidad	Herramienta o equipo	Puntaje herramienta	Retrabajo impacto	Puntaje producción	Impacto Ambiental	Puntaje Impacto ambiental	Impacto Seguridad	Puntaje Impacto Seguridad	T	Criticidad	Jerarquía
Retirar Gorro Arana	Mecánico	0.5 hrs	Sin fallas o eventos post mantención	1	Técnico nivel 1	3	Si	9	No	1	No	1	Si	9	23	23	B
Desmontar Gorro Arana	Mecánico	1hr	Sin fallas o eventos post mantención	1	Técnico nivel 2	1	Si	9	No	1	No	1	Si	9	21	21	B
Retirar Media Lunas	Mecánico	0.5 hrs	Sin fallas o eventos post mantención	1	Técnico nivel 2	1	Si	9	No	1	No	1	Si	9	21	21	B
Retirar Poste	Mecánico	4 hrs	Sin fallas o eventos post mantención	1	Técnico nivel 1	3	Si	9	No	1	No	1	Si	9	23	23	B
Instalar Poste	Mecánico	4 hrs	Sin fallas o eventos post mantención	1	Técnico nivel 2	1	Si	9	Si	9	No	1	Si	9	29	29	MA
Preparar componentes para envío a reparación	Mecánico	3 hrs	Sin fallas o eventos post mantención	1	Técnico nivel 1	3	No	1	No	1	No	1	Si	9	15	15	B
Instalar Gorro Arana	Mecánico	4 hrs	Sin fallas o eventos post mantención	1	Técnico nivel 1	3	Si	9	Si	9	No	1	Si	9	31	31	MA
Cambiar Herr Pica Pica	Mecánico	0.5 hrs	Sin fallas o eventos post mantención	1	Técnico nivel 1	3	Si	9	No	1	No	1	Si	9	23	23	B
Retirar Top Shell	Mecánico	15 hrs	Sin fallas o eventos post mantención	1	Técnico nivel 1	3	Si	9	No	1	No	1	Si	9	23	23	B
Instalar Platos y Proteger Carro Excéntrica	Mecánico	1hr	Sin fallas o eventos post mantención	1	Técnico nivel 1	3	Si	9	No	1	No	1	Si	9	23	23	B
Retirar Corrida Superior Concavas	Mecánico	4 hrs	2 o más Fallas o evento post mantención acumulado	9	Especialista Senior	6	Si	9	No	1	No	1	Si	9	26	234	A
Retirar 2da Corrida Concavas	Mecánico	4 hrs	Sin fallas o eventos post mantención	1	Especialista Senior	6	Si	9	No	1	No	1	Si	9	26	26	MA
Retirar Corrida Inf Concavas	Mecánico	6 hrs	Sin fallas o eventos post mantención	1	Especialista Senior	6	Si	9	No	1	No	1	Si	9	26	26	MA
Instalar Corrida Inf Concavas	Mecánico	5 hrs	Sin fallas o eventos post mantención	1	Especialista Senior	6	Si	9	Si	9	No	1	Si	9	34	34	MA
Instalar 2da Corrida Concavas	Mecánico	5 hrs	Sin fallas o eventos post mantención	1	Especialista Senior	6	Si	9	Si	9	No	1	Si	9	34	34	MA
Instalar Corrida Sup Concavas	Mecánico	5 hrs	Sin fallas o eventos post mantención	1	Especialista Senior	6	Si	9	Si	9	No	1	Si	9	34	34	MA
Instalar Top Shell Linner	Mecánico	4 hrs	Sin fallas o eventos post mantención	1	Técnico nivel 1	3	Si	9	Si	9	No	1	Si	9	31	31	MA
Desmontar Platos	Mecánico	1hr	Sin fallas o eventos post mantención	1	Técnico nivel 1	3	Si	9	No	1	No	1	Si	9	23	23	B
Instalar Dregas Solid Concavas	Mecánico	1hr	Sin fallas o eventos post mantención	1	Técnico nivel 1	3	Si	9	No	1	No	1	Si	9	23	23	B
Cambio Monturas del Chanc C70001	Mecánico	18 hrs	Sin fallas o eventos post mantención	1	Técnico nivel 1	3	Si	9	Si	9	No	1	Si	9	31	31	MA
Cambio Bujes y Sellos	Mecánico	11 hrs	1 Falla o evento post mantención acumulado	6	Ingeniero Especialista	9	Si	9	Si	9	No	1	Si	9	37	222	A
Cambio Outer Shell Linner C70001	Mecánico	8 hrs	Sin fallas o eventos post mantención	1	Técnico nivel 1	3	Si	9	Si	9	No	1	Si	9	31	31	MA
Reparar Riel carro excéntrica C70001	Mecánico	8 hrs	Sin fallas o eventos post mantención	1	Técnico nivel 1	3	No	1	No	1	No	1	Si	9	15	15	B
SD Reparacion Octogono EN002	Mecánico	6 hrs	Sin fallas o eventos post mantención	1	Técnico nivel 1	3	No	1	No	1	No	1	Si	9	15	15	B

Tabla 11 Matriz de criticidad adaptada

Fuente: Elaboración propia en base a la aplicación en las labores del chancador primario Ver Anexo

De acuerdo con los resultados obtenidos a partir de la evaluación de criticidad, que considera tanto la frecuencia de ocurrencia como el impacto de cada labor según los criterios establecidos y reflejados en la tabla 10, se identificó que diez labores se clasifican en el nivel de jerarquía Medio-Alto y dos en el nivel Alto. En consecuencia, se seleccionan estas doce labores para conformar la ruta crítica de calidad, sobre las cuales se focalizarán tanto los procesos de auditoría en terreno como los esfuerzos de control y mejora continua. Esta selección permite priorizar la supervisión y la aplicación de protocolos en las actividades que representan

un mayor riesgo e impacto operacional, asegurando así una gestión más efectiva de la mantención del equipo chancador primario.

9	A	A	A	A
6	A	A	A	A
3	MB	MB	MA	A
1	B	B	MA	A
	1-12	13-25	26-37	38-45

Tabla 12 Matriz de criticidad aplicada al caso.
Fuente: Elaboración propia en base al método de puntos.

CARTA GANTT DETENCIÓN MAYOR JULIO 2025 / EVALUACIÓN CON MATRIZ DE CRITICIDAD									
LABOR	Puntaje frecuencia	Puntaje Nivel especialidad	Puntaje herramienta	Puntaje producción	Puntaje impacto ambiental	Puntaje Impacto Seguridad	Total	Criticidad	Jerarquización
Instalar Poste	1	1	9	9	1	9	29	29	MA
Instalar Gorro Arana	1	3	9	9	1	9	31	31	MA
Retirar Corrida Superior Concavas	9	6	9	1	1	9	26	234	A
Retirar 2Ra Corrida Concavas	1	6	9	1	1	9	26	26	MA
Retirar Corrida Inf Concavas	1	6	9	1	1	9	26	26	MA
Instalar Corrida Inf Concavas	1	6	9	9	1	9	34	34	MA
Instalar 2Ra Corrida Concavas	1	6	9	9	1	9	34	34	MA
Instalar Corrida Sup Concavas	1	6	9	9	1	9	34	34	MA
Instalar Top Shell Linner	1	3	9	9	1	9	31	31	MA
Cambio Monturas del Chanc CR001	1	3	9	9	1	9	31	31	MA
Cambio Buje y Sellos	6	9	9	9	1	9	37	222	A
Cambio Outer Shell Liners CR001	1	3	9	9	1	9	31	31	MA

Tabla 13 Labores consideradas para la ruta crítica de calidad.
Fuente: Elaboración propia en base a la matriz de criticidad.

3.2.3. VERIFICAR

En el marco de la etapa “Verificar” del ciclo de mejora continua propuesto por Deming (PDCA), se contempla la aplicación del check list de verificación como herramienta principal para evaluar el cumplimiento de los estándares técnicos en la ejecución del mantenimiento. Para efectos metodológicos, esta aplicación se realizará de manera hipotética sobre las 12 labores críticas previamente identificadas en la matriz de criticidad del chancador primario FLSmidth 60x113, según lo establecido en el punto 3.3.

La verificación será llevada a cabo por el inspector de calidad, quien realizará una auditoría en terreno dirigida al ejecutor del mantenimiento. A través del check list detallado en el punto 3.2.1.2, se evaluará el cumplimiento de 11 criterios técnicos, permitiendo identificar de forma estructurada hallazgos y desviaciones que puedan afectar la calidad del proceso de mantenimiento.

Esta etapa resulta clave para validar la eficacia de las labores ejecutadas, detectar oportunidades de mejora y retroalimentar el sistema de gestión de calidad, fortaleciendo así el enfoque de aseguramiento de calidad aplicado en la planta concentradora.

3.2.3.1. AUDITORÍA EN TERRENO DURANTE LA EJECUCIÓN DEL MANTENIMIENTO EN PLANTAS CONCENTRADORAS.

Una vez completada la evaluación de criticidad de cada labor y establecida la ruta crítica de calidad, el siguiente paso es la ejecución de auditorías en terreno durante la ejecución del mantenimiento programado. El responsable de realizar la auditoría en la ruta crítica de calidad es el inspector de calidad, quien se acercará tanto al ejecutor como al supervisor durante la ejecución del mantenimiento para aplicar el check list de verificación que cuenta con 11 preguntas desarrolladas en base a los principales controles para asegurar la calidad en la ejecución del mantenimiento.

CHECK LIST AUDITORIA EN TERRENO (Ejemplo)						
RUTA CRÍTICA DE CALIDAD						
Fecha: 06 de Julio 2025			Area: Chancado Primario			
Hora: 10:45 AM			Inspector de calidad: Oscar Araya			
N° OT: 15812						
Descripción de la labor: Desmontaje de cóncavas superiores						
N°	Pregunta de Evaluación	Criterio de Cumplimiento	Cumple	No cumple	Hallazgo Detectado (Ejemplo)	Observaciones (Ejemplo)
1	¿La labor se ejecuta conforme al procedimiento técnico vigente y actualizado?	Procedimiento disponible, versión actual aplicada correctamente.	☐	☒	Procedimiento desactualizado o no seguido.	Se aplicó versión anterior.
2	¿El personal ejecutor posee experiencia y capacitación adecuada para la tarea?	Certificaciones vigentes, experiencia demostrada en labores similares.	☐	☒	Falta de certificación o experiencia.	Técnico sin curso vigente.
3	¿Se respetan los parámetros técnicos definidos en los protocolos de trabajo (torque, repuestos, etc.)?	Protocolos aplicados correctamente, sin desviaciones.	☐	☒	Torque fuera de rango, repuesto incorrecto.	No se usó herramienta adecuada.
4	¿Se identifican desviaciones mecánicas, eléctricas, estructurales o de instrumentación en el equipo?	Inspección realizada, desviaciones registradas y clasificadas.	☐	☒	Fisura estructural, fuga hidráulica.	Desviación no reportada.
5	¿El equipo requiere normalización por condiciones fuera de estándar o reparaciones provisionales?	Evaluación técnica realizada, necesidad de normalización documentada.	☐	☒	Reparación temporal sin respaldo.	No existe trazabilidad de intervenciones.
6	¿Se cuenta con todos los repuestos necesarios para ejecutar la labor programada?	Repuestos disponibles, trazables y conforme a especificaciones.	☐	☒	Repuesto faltante o no conforme.	Uso de epóxico vencido.
7	¿Se ejecutan actividades no contempladas en la planificación original?	Registro de trabajos emergentes, evaluación de impacto.	☐	☒	Intervención adicional sin autorización.	Cambio de válvula no previsto.
8	¿Las labores se desarrollan conforme a la carta Gantt establecida?	Actividades realizadas según planificación, sin desviaciones críticas.	☐	☒	Retraso significativo en tareas clave.	Inicio tardío por falta de repuestos.
9	¿El proceso de mantenimiento se ejecuta correctamente considerando factores externos (logística, entorno)?	Flujo de trabajo sin interferencias externas relevantes.	☐	☒	Interrupciones por falta de acceso o materiales.	Material no llegó a tiempo.
10	¿Las herramientas utilizadas están certificadas y calibradas?	Herramientas con documentación vigente y en buen estado.	☐	☒	Herramienta sin calibración o vencida.	Llave de torque con calibración vencida.
11	¿El supervisor entrega el protocolo de cierre validando la calidad del trabajo realizado?	Protocolo completo, firmado y registrado en sistema.	☐	☒	Protocolo incompleto o no entregado.	Falta firma de validación.
Ejecutor: Registro nombre del ejecutor			Supervisor: Registro Nombre del supervisor			
Fecha: Registro Fecha de la auditoría final			Fecha: Registro fecha de la auditoría final			
Firma:			Firma:			

*Tabla 14 Check list de verificación para auditoría en terreno.
Fuente: Elaboración propia en base a la auditoría de terreno.*

Una vez que la labor crítica ha sido ejecutada conforme a los protocolos y verificada durante la auditoría en terreno, es imprescindible proceder con el cierre formal de la auditoría. Para ello, se debe registrar en el check list correspondiente la fecha exacta de finalización de la tarea, así como consignar claramente el nombre y la firma tanto de la persona ejecutora como del supervisor responsable. Este registro asegura la trazabilidad del proceso, respalda la conformidad de la labor realizada y refuerza la responsabilidad compartida entre quienes intervienen directamente en la mantención.

Nota. Cuando se detecta un hallazgo durante el mantenimiento, este se clasifica como crítico si afecta la seguridad de las personas, la integridad del equipo o la continuidad de la producción. En tales casos, es indispensable iniciar acciones correctivas de inmediato y dejar registro en check list de verificación.

3.2.4. ACTUAR

La etapa “Actuar” representa el cierre del ciclo de mejora continua, en la cual se consolidan los aprendizajes obtenidos durante la verificación del proceso de mantenimiento. En este contexto, se espera compilar la información obtenida en la auditoría en terreno realizada por el inspector de calidad, enfocada en las 12 labores críticas definidas en la matriz de criticidad del chancador primario FLSmidth 60x113.

A partir de los 12 check list de verificación aplicados hipotéticamente, se procederá a realizar un análisis detallado de las desviaciones detectadas en la ejecución de las labores, identificando las causas raíz y su impacto en la calidad del mantenimiento. Este análisis será complementado con la medición del aseguramiento de calidad, utilizando los indicadores clave de desempeño (KPI) definidos en el punto 3.2.4.4, los cuales permiten evaluar objetivamente el grado de cumplimiento técnico y la eficacia del proceso.

Finalmente, se elaborará un informe técnico final, que incluirá los hallazgos, desviaciones, resultados de los KPI y propuestas de mejora. Este informe servirá como base para la retroalimentación del sistema de gestión de calidad, permitiendo ajustar procedimientos, capacitar al personal y reforzar los controles en futuras ejecuciones de mantenimiento.

3.2.4.1. COMPILACIÓN, ANÁLISIS DE DATA y DESARROLLO DE ESTRATEGÍAS DE MEJORAMIENTO CONTÍNUO

Para la compilación, análisis de data y desarrollo de estrategias de mejoras, se asumirá el supuesto de realización de una auditoría en terreno por parte del inspector de calidad y se trabajará con la evaluación de criticidad, desarrollada en el punto 3.3 y aplicada a las 24 labores contenidas en el plan de mantenimiento del chancador primario FLSmidth 60x113. Esta evaluación permitió identificar un total de 12 labores críticas, según su frecuencia e impacto, que requieren especial atención en términos de ejecución técnica y control de calidad.

Sobre estas 12 labores críticas se aplicó el checklist de verificación técnica descrito en el punto 3.2.1.2, el cual contempla 11 preguntas estructuradas orientadas a evaluar el cumplimiento de estándares técnicos, procedimiento y protocolos de trabajo, uso de herramientas certificadas, disponibilidad de repuestos, y validación por parte del supervisor. Las preguntas fueron aplicadas directamente en terreno a los ejecutores del mantenimiento, permitiendo obtener información objetiva sobre la calidad de la ejecución en cada intervención.

COMPILACIÓN

Cabe destacar que la etapa de compilación de información, según la matriz RACI detallada en el punto 3.2.1.1, recae en la responsabilidad directa del ingeniero de confiabilidad.

Como resultado hipotético, se dispone de 12 checklists y protocolos completos, que constituyen la base documental para el análisis de datos. Cada checklist permite identificar si se cumplió o no se cumplió con cada uno de los 11 criterios evaluados, lo que posibilita construir una matriz de cumplimiento por labor,

detectar desviaciones, y establecer indicadores clave de desempeño (KPIs) asociados al aseguramiento de calidad.

Los protocolos, ejemplificados en el punto 3.2.2.1, que fueron completados por el ejecutor del mantenimiento en cada labor crítica son entregados directamente al ingeniero de confiabilidad por el supervisor responsable de la ejecución. Este documento constituye una evidencia técnica esencial para validar el cumplimiento de los estándares establecidos. Su obtención permite verificar que la intervención se realizó conforme a los procedimientos definidos. Además, respalda la trazabilidad del proceso de mantenimiento.

Para asegurar el cumplimiento y trazabilidad de esta etapa, se implementará una planilla de control de recepción, la cual permitirá registrar de manera sistemática la entrega de check list de verificación por parte del inspector de calidad y los protocolos por parte del supervisor al ingeniero de confiabilidad. Esta herramienta facilitará el seguimiento documental de cada labor crítica, asegurando que se cuente con la evidencia técnica necesaria para validar la ejecución conforme a los estándares establecidos.

Control de recepción						
Item	Labor crítica	Check list repcionado	Protocolo repcionado	Nombre inspector	Nombre supervisor	Fecha
1	Instalar Poste	☒	☒	Inspector 1	Supervisor 1	08-07-2025
2	Instalar Gorro Arana	☒	☒	Inspector 1	Supervisor 1	08-07-2025
3	Retirar Corrida Superior Concavas	☒	☒	Inspector 1	Supervisor 1	08-07-2025
4	Retirar 2Ra Corrida Concavas	☒	☒	Inspector 1	Supervisor 1	08-07-2025
5	Retirar Corrida Inf Concavas	☒	☒	Inspector 1	Supervisor 1	08-07-2025
6	Instalar Corrida Inf Concavas	☒	☒	Inspector 1	Supervisor 1	08-07-2025
7	Instalar 2Ra Corrida Concavas	☒	☒	Inspector 1	Supervisor 1	08-07-2025
8	Instalar Corrida Sup Concavas	☒	☒	Inspector 1	Supervisor 1	08-07-2025
9	Instalar Top Shell Linner	☒	☒	Inspector 1	Supervisor 1	08-07-2025
10	Cambio Monturas del Chanc CR001	☒	☒	Inspector 1	Supervisor 1	08-07-2025
11	Cambio Buje y Sellos	☒	☒	Inspector 1	Supervisor 1	09-07-2025
12	Cambio Outer Shell Liners CR001	☒	☒	Inspector 1	Supervisor 1	09-07-2025
Recibe: Nombre Ingeniero de confiabilidad						

Tabla 15 Control de recepción de check list y protocolos.
Fuente: Elaboración propia en base a carta Gantt utilizada.

ANALISIS DE DATA

Para efectos metodológicos, se completarán hipotéticamente los check list de verificación aplicados en terreno por el inspector de calidad. Esta aproximación permitirá avanzar en el desarrollo y validación de la propuesta de metodología de aseguramiento de calidad aplicada a la ejecución del mantenimiento.

EVALUACIÓN DE LA RUTA CRÍTICA DE CALIDAD.

Para llevar a cabo la evaluación de la ruta crítica de calidad, se realizó la compilación sistemática de los check list correspondientes a las 12 labores críticas asociadas al proceso de mantenimiento del chancador primario. Ver tabla 15.

Cada criterio fue evaluado bajo una lógica binaria de “Cumple” o “No cumple”, lo que permitió establecer de forma clara y objetiva el nivel de conformidad en cada labor. Esta metodología facilitó la identificación de desviaciones específicas y la cuantificación de los resultados.

C = Cumple NC = No Cumple		RESULTADOS DE EVALUACIÓN RUTA CRÍTICA DE CALIDAD																								
Item	Labor Crítica	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		Criterios C	Criterios NC	% de Cumplimiento
		C	NC	C	NC	C	NC	C	NC	C	NC	C	NC	C	NC	C	NC	C	NC	C	NC	C	NC			
1	Instalar Poste	✓	□	✓	□	✓	□	✓	□	✓	□	✓	□	✓	□	✓	□	✓	□	✓	□	✓	□	10	1	91%
2	Instalar Gorro Arana	✓	□	✓	□	□	✓	✓	□	✓	□	✓	□	✓	□	✓	□	✓	□	✓	□	✓	□	10	1	91%
3	Retirar Corrida Superior Concavas	□	✓	□	✓	□	✓	□	✓	□	✓	□	✓	□	✓	□	✓	□	✓	□	✓	□	7	4	64%	
4	Retirar 2Ra Corrida Concavas	✓	□	✓	□	✓	□	✓	□	✓	□	✓	□	✓	□	✓	□	✓	□	✓	□	✓	□	10	1	91%
5	Retirar Corrida Inf Concavas	✓	□	□	✓	□	✓	□	✓	□	✓	□	✓	□	✓	□	✓	□	✓	□	✓	□	10	1	91%	
6	Instalar Corrida Inf Concavas	✓	□	□	✓	□	✓	□	✓	□	✓	□	✓	□	✓	□	✓	□	✓	□	✓	□	10	1	91%	
7	Instalar 2Ra Corrida Concavas	✓	□	□	✓	□	✓	□	✓	□	✓	□	✓	□	✓	□	✓	□	✓	□	✓	□	10	1	91%	
8	Instalar Corrida Sup Concavas	✓	□	□	✓	□	✓	□	✓	□	✓	□	✓	□	✓	□	✓	□	✓	□	✓	□	9	2	82%	
9	Instalar Top Shell Linner	✓	□	✓	□	✓	□	✓	□	✓	□	✓	□	✓	□	✓	□	✓	□	✓	□	✓	□	11	0	100%
10	Cambio Monturas del Chancador	✓	□	□	✓	□	✓	□	✓	□	✓	□	✓	□	✓	□	✓	□	✓	□	✓	□	8	3	73%	
11	Cambio Buje y Sellos	□	✓	□	✓	□	✓	□	✓	□	✓	□	✓	□	✓	□	✓	□	✓	□	✓	□	7	4	64%	
12	Cambio Outer Shell Liners CR001	✓	□	✓	□	✓	□	✓	□	✓	□	✓	□	✓	□	✓	□	✓	□	✓	□	✓	□	11	0	100%

Tabla 16 Resultados supuestos; Evaluación de la ruta crítica de calidad.

Fuente: Elaboración propia en base al check list de terreno.

De acuerdo con la evaluación hipotética realizada mediante los check list de verificación aplicados en terreno, se analizaron los resultados obtenidos en las 11 labores críticas que conforman la ruta crítica de calidad del mantenimiento al chancador primario.

Como resultado del análisis, se identificaron dos labores que presentan el menor porcentaje de cumplimiento respecto a los criterios evaluados:

- Retiro de Corrida Superior de Cóncavas: 64% de cumplimiento
- Cambio de Buje y Sellos: 64% de cumplimiento

Estas cifras indican que, en ambas labores, 4 de los 11 criterios evaluados no fueron cumplidos, lo que evidencia desviaciones en la ejecución del mantenimiento.

CLASIFICACIÓN POR TIPO DE DESVIACIÓN

Para realizar el análisis de la información recopilada mediante los check list de verificación, se consideraron 11 preguntas específicas, cada una de las cuales fue tratada como un criterio de evaluación individual. Estos criterios fueron utilizados para identificar los hallazgos detectados en la ejecución de labores críticas, y se clasificaron según el tipo de desviación que representan.

Clasificación por tipo de desviación		
Nº	Pregunta del Checklist	Tipo de Desviación
1	¿La labor se ejecuta conforme al procedimiento técnico vigente y actualizado?	Procedimiento técnico
2	¿El personal ejecutor posee experiencia y capacitación adecuada para la tarea?	Falta de capacitación
3	¿Se respetan los parámetros técnicos definidos en los protocolos de trabajo?	Técnica-operacional / Protocolo
4	¿Se identifican desviaciones mecánicas, eléctricas, estructurales o de instrumentación?	Condición del equipo
5	¿El equipo requiere normalización por condiciones fuera de estándar o reparaciones?	Reparación provisoria, improvisación.
6	¿Se cuenta con todos los repuestos necesarios para ejecutar la labor programada?	Logística (falta de repuestos)
7	¿Se ejecutan actividades no contempladas en la planificación original?	Planificación
8	¿Las labores se desarrollan conforme a la carta Gantt establecida?	Adherencia
9	¿El proceso de mantenimiento se ejecuta correctamente considerando factores externos?	Entorno/logística externa
10	¿Las herramientas utilizadas están certificadas y calibradas?	Herramientas
11	¿El supervisor entrega el protocolo de cierre validando la calidad del trabajo?	Supervisión/cierre técnico

Tabla 17 Clasificación por tipo de desviación
Fuente: Elaboración propia en base a la clasificación por tipo de desviación.

C = Cumple NC = No Cumple		RESULTADOS DE EVALUACIÓN RUTA CRÍTICA DE CALIDAD																				
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11										
Item	Labor Crítica	C	NC	C	NC	C	NC	C	NC	C	NC	C	NC	C	NC	C	NC	C	NC	Criterios C	Criterios NC	% de Cumplimiento
1	Instalar Poste	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☒	☐	10	1	91%
2	Instalar Gorro Arana	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☒	☐	10	1	91%
3	Retirar Corrida Superior Concavas	☐	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☒	7	4	64%
4	Retirar 2Ra Corrida Concavas	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☒	☐	10	1	91%
5	Retirar Corrida Inf Concavas	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☒	☐	10	1	91%
6	Instalar Corrida Inf Concavas	☒	☐	☐	☒	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☒	☐	10	1	91%
7	Instalar 2Ra Corrida Concavas	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☒	☐	10	1	91%
8	Instalar Corrida Sup Concavas	☒	☐	☐	☒	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☒	☐	9	2	82%
9	Instalar Top Shell Linner	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☒	☐	11	0	100%
10	Cambio Monturas del Chancador	☒	☐	☐	☒	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☒	☐	8	3	73%
11	Cambio Buje y Sellos	☐	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☐	☒	☐	☒	☐	7	4	64%
12	Cambio Outer Shell Liners CR001	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☒	☐	11	0	100%
		2	8	5	0	0	0	0	0	0	3	1	19									
		Procedimiento técnico	Falta de capacitación	Técnica-operacional / Protocolo	Condición del equipo	Reparación provisoria, improvisación.	Logística (falta de repuestos)	Planificación	Adherencia	Entomologística externa	Herramientas	Supervisión/cierre técnico										
		11%	42%	26%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	16%	5%										

Tabla 18 Resultado según clasificación por tipo de desviación.
Fuente: Elaboración propia en base al tipo de clasificación.

ANÁLISIS MEDIANTE DIAGRAMA DE PARETO

Continuando con el análisis, y bajo el supuesto de evaluación en terreno de la ruta crítica de calidad, se consideraron los resultados obtenidos a partir de la clasificación de los criterios del check list según tipo de desviación para construir la tabla de frecuencia que permitirá generar el diagrama de pareto.

A continuación, se muestran los tipos de desviación con sus frecuencias y porcentaje acumulado para las 12 labores críticas evaluadas.

Clasificación por tipo de desviación						
N	Pregunta del Checklist	Tipo de Desviación	Frecuencia	Frec. Acu.	%	% Acu.
2	¿El personal ejecutor posee experiencia y capacitación adecuada para la tarea?	Falta de capacitación y experiencia	8	8	42%	42%
3	¿Se respetan los parámetros técnicos definidos en los protocolos de trabajo?	Técnica-operacional / Protocolo	5	13	26%	68%
10	¿Las herramientas utilizadas están certificadas y calibradas?	Herramientas	3	16	16%	84%
1	¿La labor se ejecuta conforme al procedimiento técnico vigente y actualizado?	Procedimiento técnico	2	18	11%	95%
11	¿El supervisor entrega el protocolo de cierre validando la calidad del trabajo?	Supervisión/cierre técnico	1	19	5%	100%
4	¿Se identifican desviaciones mecánicas, eléctricas, estructurales o de instrumentación?	Condición del equipo	0	19	0%	100%
5	¿El equipo requiere normalización por condiciones fuera de estándar o reparaciones?	Reparación provisoria, improvisación.	0	19	0%	100%
6	¿Se cuenta con todos los repuestos necesarios para ejecutar la labor programada?	Logística (falta de repuestos)	0	19	0%	100%
7	¿Se ejecutan actividades no contempladas en la planificación original?	Planificación	0	19	0%	100%
8	¿Las labores se desarrollan conforme a la carta Gantt establecida?	Adherencia	0	19	0%	100%
9	¿El proceso de mantenimiento se ejecuta correctamente considerando factores externos?	Entorno/logística externa	0	19	0%	100%

Tabla 19 Frecuencia por tipo de desviación.

Fuente: Elaboración propia en base a la frecuencia de tipo de desviación.

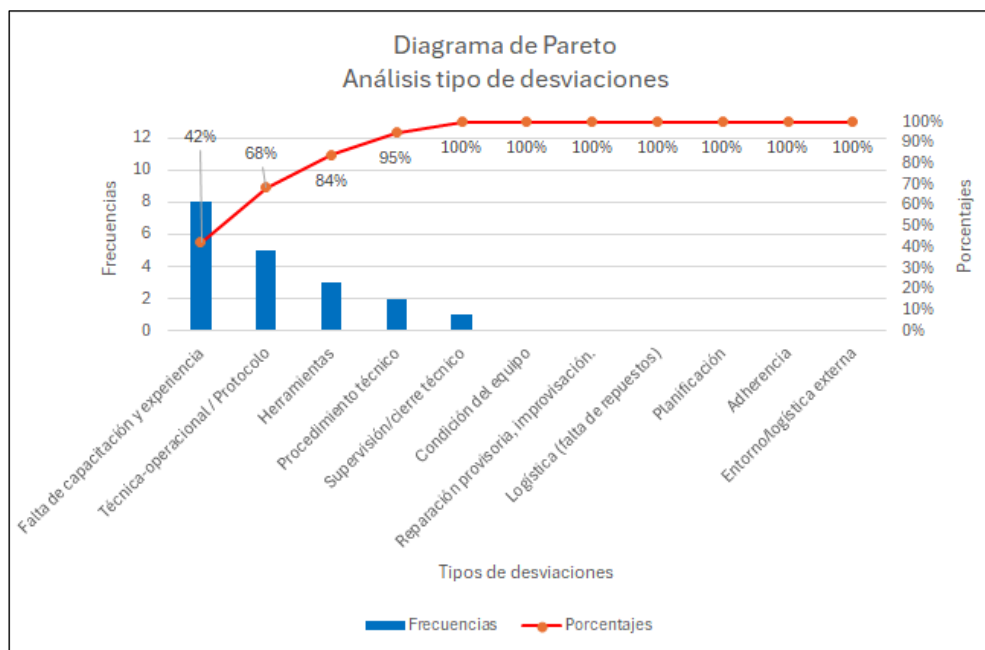


Ilustración 14 Diagrama de Pareto; Análisis por tipo de desviación.

Fuente: Elaboración propia en base a la clasificación por tipos de desviación.

Bajo el supuesto de evaluación de la ruta crítica de calidad, y considerando la aplicación del Diagrama de Pareto (80-20) según el tipo de desviación, se identificó que las principales no conformidades se concentran en dos categorías: la falta de capacitación y experiencia del personal, y las desviaciones técnico-operacionales relacionadas con el incumplimiento de protocolos establecidos.

RESUMEN DEL ANÁLISIS DE DATA

El análisis realizado bajo el supuesto hipotético de los resultados de la evaluación de la ruta crítica de calidad que contempla el porcentaje de cumplimiento y la clasificación de desviaciones facilita la identificación de los siguientes focos prioritarios:

- Según los criterios de evaluación en terreno, las labores críticas con mayores deficiencias en el cumplimiento del aseguramiento de calidad son:
 - Retiro de Corrida Superior de Cóncavas: 64% de cumplimiento
 - Cambio de Buje y Sellos: 64% de cumplimiento
- De acuerdo con la clasificación por tipo de desviación, se detectan 2 principales hallazgos:
 - Falta de capacitación y experiencia
 - Técnica-operacional / Protocolo

ANÁLISIS CAUSA RAÍZ

Con el fin de continuar con la validación de la metodología, se propone el análisis de los 4 puntos detectados en la evaluación de la data bajo el método causa-raíz de los 5 porqués. Esto nos permitirá generar las estrategias de mejoramiento continuo en el proceso de ejecución del mantenimiento.

Se iniciará el análisis específico de las labores críticas con bajo cumplimientos en la evaluación realizada en terreno.

- Para la labor identificada con el nombre “Retiro de Corrida Superior de Cóncavas”, se procede a chequear el resumen de la auditoría en terreno detectando lo siguiente:

C = Cumple NC = No Cumple		ANÁLISIS BAJO CUMPLIMIENTO																					
		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11	
Item	Labor Crítica	C	NC	C	NC	C	NC	C	NC	C	NC	C	NC	C	NC	C	NC	C	NC	C	NC	C	NC
1	Retirar Corrida Superior Concavas	☐	☒	☐	☒	☐	☒	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☐	☒

*Tabla 20 Resumen cumplimiento de criterios:
Labor “Retirar corrida superior de cóncavas”.*

Al revisar el resumen de la evaluación correspondiente a esta labor crítica, se identificaron cuatro incumplimientos en los ítems de auditoría, específicamente en las preguntas N°1, N°2, N°3 y N°11.

Bajo el supuesto de evaluación en terreno, se identifican los siguientes hallazgos:

Hallazgos en Labor Crítica "Retirar Corrida Superior Concavas"			
N°	Pregunta de Evaluación	Criterio de Cumplimiento	Hallazgo Detectado (Ejemplo)
1	¿La labor se ejecuta conforme al procedimiento técnico vigente y actualizado?	Procedimiento disponible, versión actual aplicada correctamente.	Procedimiento no se encuentra en terreno.
2	¿El personal ejecutor posee experiencia y capacitación adecuada para la tarea?	Certificaciones vigentes, experiencia demostrada en labores similares.	Personal ejecuta por primera vez esta labor.
3	¿Se respetan los parámetros técnicos definidos en los protocolos de trabajo (torque, repuestos, etc.)?	Protocolos aplicados correctamente, sin desviaciones.	Protocolo no se encuentra actualizado con respecto a la etapa de la ejecución. Sin registros.
11	¿El supervisor entrega el protocolo de cierre validando la calidad del trabajo realizado?	Protocolo completo, firmado y registrado en sistema.	Protocolo incompleto o no entregado.

Tabla 21 Hallazgos en labor crítica "Retirar corrida superior de cóncavas"

Fuente: Elaboración propia en base a hallazgos detectados.

- Para la labor identificada con el nombre "Cambio de bujes y sellos", se procede a chequear el resumen de la auditoría en terreno detectando lo siguiente:

C = Cumple NC = No Cumple		ANÁLISIS BAJO CUMPLIMIENTO																					
		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11	
Item	Labor Crítica	C	NC	C	NC	C	NC	C	NC	C	NC	C	NC	C	NC	C	NC	C	NC	C	NC	C	NC
2	Cambio Buje y Sellos	☐	☒	☐	☒	☐	☒	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☐	☒	☒	☐

Tabla 22 Resumen cumplimiento de criterios:

Fuente: Elaboración propia según resumen de bajo cumplimiento en labor "Cambio bujes y sellos".

Al revisar el resumen de la evaluación correspondiente a esta labor crítica, se identificaron cuatro incumplimientos en los ítems de auditoría, específicamente en las preguntas N°1, N°2, N°3 y N°10.

Bajo el supuesto de evaluación en terreno, se identifican los siguientes hallazgos:

Hallazgos en Labor Crítica "Cambio de bujes y sellos"			
N°	Pregunta de Evaluación	Criterio de Cumplimiento	Hallazgo Detectado (Ejemplo)
1	¿La labor se ejecuta conforme al procedimiento técnico vigente y actualizado?	Procedimiento disponible, versión actual aplicada correctamente.	No se cumplen con las etapas indicadas en las instrucciones del procedimiento.
2	¿El personal ejecutor posee experiencia y capacitación adecuada para la tarea?	Certificaciones vigentes, experiencia demostrada en labores similares.	Personal no se encuentra capacitado en metrología.
3	¿Se respetan los parámetros técnicos definidos en los protocolos de trabajo (torque, repuestos, etc.)?	Protocolos aplicados correctamente, sin desviaciones.	No se registran en protocolo las mediciones realizadas al buje
10	¿Las herramientas utilizadas están certificadas y calibradas?	Herramientas con documentación vigente y en buen estado.	Ejecutor no tiene y no sabe si el micrómetro se encuentra calibrado.

Tabla 23 Hallazgos en labor crítica "Cambio de bujes y sellos"

Fuente: Elaboración propia basado en hallazgos en labor crítica.

De acuerdo con la detección de hallazgos durante la auditoría en terreno, para ambas labores se iniciará el análisis Causa-Raíz haciendo la misma pregunta: ¿Por qué esta labor crítica tiene bajo cumplimiento en la auditoría de terreno?

Análisis Causa-Raíz N° 1: Bajo cumplimiento en auditoría de terreno labor crítica “Retiro de Corrida Superior de Cóncavas”

ANÁLISIS DE CAUSA-RAÍZ							
Equipo	Chancador Primario			TAG	CR-00-001		
Ing. de confiabilidad	Oscar Araya			Fecha	10-07-2025		
Labor Crítica	Retiro de Corrida Superior de Cóncavas			Folio	Causa 1		
Problemática	1	2	3	4	5	Causa Raíz	Plan Mejora
¿Por qué esta labor crítica tiene bajo cumplimiento en la auditoría de terreno?	Procedimiento no se encuentra en terreno.	¿Por qué no se encuentra procedimiento en terreno? R.- Porque supervisor no se lo entregó al encargado de ejecutar la labor.	¿Por qué no se entrega procedimiento a ejecutor del mantenimiento? R.- No se imprime procedimiento para la labor.	¿Por qué no se imprime el procedimiento? R.- Porque personal encargado de la labor de impresión no completa la totalidad de la carpeta para la labor.	¿Por qué no se completa con la totalidad de documentos requeridos para ejecutar la labor? R. No existe un doble check en este proceso.	*No existe control documental en este proceso.	* Generar una lista de chequeo en el proceso de creación de las carpetas para desarrollo de labores. * Supervisor debe aprobar el proceso de entrega de carpetas a ejecutor de la labor.
	Personal ejecuta por primera vez esta labor.	¿Por qué personal ejecuta por primera vez esta labor? R.- No tiene experiencia anterior en realizar labor.	¿Por qué no personal sin experiencia se designa a labor crítica? R. Porque no existen control antes de ejecutar la labor.	¿Por qué no se controla nivel de experiencia en labores de mantenimiento? R. No se encuentra establecido como control.	¿Por qué no se encuentra establecido control de nivel de experiencia? R. Este control no se encuentra mapeado en el proceso de planificación del mantenimiento.	*No existe control de nivel de experiencia de labores críticas.	* Se debe planilla de control de nivel de experiencia. * Se debe generar programa de acompañamiento para incrementar experiencia de trabajadores.
	Protocolo no se encuentra actualizado con respecto a la etapa de la ejecución. Sin registros.	¿Por qué no se completa el protocolo de trabajo en línea con la ejecución del mantenimiento? R. No existe interés por parte del ejecutor.	¿Por qué no existe interés por parte del ejecutor? R. Personal no sabe la importancia de este proceso.	¿Por qué personal ejecutor no sabe la importancia de esta labor? R. Porque no se realiza la difusión del protocolo.	¿Por qué no se realiza la difusión del protocolo? R. No existe capacitación de uso e importancia del protocolo de trabajo.	* Dentro del programa de capacitación que se realiza al equipo de mantenimiento no se encuentra considerado la capacitación sobre los protocolos de trabajo.	* Incluir en programa de capacitación de Protocolo de trabajo a personal de mantenimiento. * Crear registro de capacitación en protocolos de trabajo.
	Se entrega protocolo incompleto al finalizar la ejecución del mantenimiento.	¿Por qué se entrega protocolo incompleto luego de finalizar el mantenimiento? R. Personal no está capacitado para completar el protocolo	¿Por qué personal no está capacitado para completar el protocolo de trabajo? R. Charla sobre los protocolos de trabajo no se encuentra incluida dentro del programa de capacitación al área de mantención.				

*Tabla 24 Análisis causa raíz bajo cumplimiento “Retiro de corrida superior de cóncavas”.
Fuente: Análisis causa raíz basado en método 5 porqués.*

El resultado del análisis causa raíz para el bajo cumplimiento en labor crítica “Retiro de corrida superior de cóncavas” detecta 3 causas raíz en la ejecución que pone en riesgo la calidad del trabajo. A continuación, se indican:

- No existe control documental en el proceso de confección de carpeta para la ejecución del mantenimiento.
- No existe control del nivel de experiencia hacia el ejecutor para desarrollar estas labores críticas.
- Dentro del programa de capacitación que se realiza al equipo de mantenimiento no se encuentra considerado la capacitación sobre los protocolos de trabajo.

Análisis Causa-Raíz N° 2: Bajo cumplimiento en auditoría de terreno labor crítica “Cambio de bujes y sellos”.

ANÁLISIS DE CAUSA-RAÍZ							
Equipo	Chancador Primario			TAG	CR-00-001		
Ing. de confiabilidad	Oscar Araya			Fecha	10-07-2025		
Labor Crítica	Cambio de bujes y sellos			Folio	Causa 2		
Problemática	1	2	3	4	5	Causa Raíz	Mejora
¿Por qué esta labor crítica tiene bajo cumplimiento en la auditoría de terreno?	No se cumplen con las etapas indicadas en las instrucciones del procedimiento.	¿Por qué no se cumplen con las etapas del procedimiento? R. Personal ejecutor toma iniciativa propia sobre como realizar el trabajo.	¿Por qué personal toma iniciativa propia y no sigue las etapas del procedimiento de trabajo? R. Personal ejecutor no le da importancia al procedimiento de trabajo.	¿Por qué personal ejecutor del mantenimiento no le toma importancia al procedimiento? R. Porque procedimiento tiene errores.	¿Por qué el procedimiento no se encuentra actualizado? R. No se ha realizado la actualización del procedimiento.	*No se ha cumplido con el programa de actualización de procedimientos.	* Concretar plan de chequeo y actualización a la totalidad de procedimientos utilizados en el área de mantenimiento.
	Personal no se encuentra certificado en metrología.	¿Por qué personal no se encuentra certificado? R. Personal ejecutor no ha sido considerado en esta capacitación.	¿Por qué personal no se encuentra considerado en esta capacitación? R. El ejecutor del mantenimiento es nuevo en el área.	¿Por que con anterioridad no se considera a personal certificado en esta labor? R. No se encuentra establecido este control.	¿Por qué no se encuentra el cruce entre certificaciones y labores críticas? R. Este control no se encuentra mapeado área de mantenimiento.	*No existe cruce de certificaciones del personal ejecutor necesarias para el desarrollo de labores críticas.	* Se debe generar registro de todas las certificaciones del personal. * Se deben identificar y registrar las certificaciones necesarias para desarrollar labores críticas en el mantenimiento.
	No se registran en protocolo las mediciones realizadas al buje	¿Por qué no se registran las mediciones? R. Ejecutor no encuentra relevante dejar registro.	¿Por qué el ejecutor no encuentra que sea relevante dejar registro? R. Personal no sabe la importancia de este proceso.	¿Por qué personal ejecutor no sabe la importancia de esta labor? R. Porque no se realiza la difusión del protocolo.	¿Porque no se realiza la difusión del protocolo? R. No existe capacitación de uso e importancia del protocolo de trabajo.	* Dentro del programa de capacitación que se realiza al equipo de mantenimiento no se encuentra considerado la capacitación sobre los protocolos de trabajo.	* Incluir en programa de capacitación de Protocolo de trabajo a personal de mantenimiento. * Crear registro de capacitación en protocolos de trabajo.
	Ejecutor no tiene registro y no sabe si el micrómetro se encuentra calibrado.	¿Por qué el ejecutor del mantenimiento no sabe si la herramienta de medición se encuentra calibrada? R. Porque no se encuentra documento en carpeta de la labor.	¿Porque no se encuentra el certificado de calibración? R. No se ha realizado calibración a la herramienta de medición.	¿Por qué no se ha realizado la calibración a la herramienta de medición? R. No se encuentra considerado para calibración.	¿Por qué no se encuentra considerado para calibrar? R. Herramientas de medición como micrómetro no se encuentran considerados en el programa de calibración.	*Herramienta de metrología no se encuentra considerado en el programa de calibración	*Realizar revisión y actualización del programa de calibración. *Incluir en el programa de calibración las herramientas de metrología.

Tabla 25 Análisis causa raíz bajo cumplimiento "Cambio de bujes y sellos".

Fuente: Análisis causa raíz basado en método 5 porqués.

El resultado del análisis causa raíz para el bajo cumplimiento en labor crítica "Cambio de bujes y sellos" detecta 4 causas raíz en la ejecución que pone en riesgo la calidad del trabajo. A continuación se evidencian:

- No se cumple con el programa de actualización de procedimientos de trabajo.
- No existe cruce de certificaciones del personal ejecutor necesarias para el desarrollo de labores críticas.
- Dentro del programa de capacitación que se realiza al equipo de mantenimiento no se encuentra considerado la capacitación sobre los protocolos de trabajo.
- Herramienta de metrología no se encuentra considerado en el programa de calibración.

En resumen, aplicando el método de los 5 porqués se detectaron desviaciones en los procesos de la ejecución del mantenimiento en ambas labores con bajo cumplimiento de acuerdo con la auditoría realizada en terreno.

Los hallazgos detectados en el análisis realizado con la clasificación de tipos de desviaciones en el diagrama de pareto, los cuales son: Falta de capacitación y experiencia y Técnica-operacional / Protocolo, van en línea y coinciden con el método 5 Porqués del análisis realizado a las labores con bajo cumplimiento en la auditoría, por lo que se presentaran acciones de mejora a las 7 causas raíz encontradas.

DESARROLLO DE ESTRATEGÍAS DE MEJORAMIENTO CONTÍNUO

En esta etapa, se elaborará un plan de mejoramiento continuo fundamentado tanto en el análisis detallado de la data recopilada durante las auditorías de terreno como en los resultados obtenidos mediante la aplicación del método de los 5 Porqués.

PLAN DE MEJORAMIENTO CONTÍNUO

El análisis realizado nos permitirá elaborar un plan enfocado en acciones concretas para mejorar la calidad en la ejecución del mantenimiento. A partir de la información recopilada, se han identificado siete causas raíz que orientan el diseño de este plan.

Estas causas raíz nos conducen a la implementación de once acciones de mejora, cuyo objetivo es asegurar el éxito del mantenimiento programado y garantizar altos estándares de calidad en su ejecución. Las acciones propuestas se detallan en la siguiente tabla.

PLAN DE MEJORAMIENTO CONTÍNUO			
ITEM	ACCIÓN	FECHA	RESPONSABLE
1	Verificar la creación de las carpetas documentales para desarrollo de labores.	Por definir	Por definir
2	Incluir en plan: Supervisor debe aprobar el proceso de entrega de carpetas a ejecutor de la labor.	Por definir	Por definir
3	Se debe crear e implementar planilla de control de nivel de experiencia.	Por definir	Por definir
4	Se debe generar programa de acompañamiento para incrementar experiencia de trabajadores.	Por definir	Por definir
5	Incluir en programa del área de mantenimiento la capacitación de Protocolo de trabajo.	Por definir	Por definir
6	Crear registro de capacitación en protocolos de trabajo.	Por definir	Por definir
7	Programar plan de chequeo y actualización a la totalidad de procedimientos utilizados en el área de mantenimiento.	Por definir	Por definir
8	Crear registro de certificaciones técnicas del personal.	Por definir	Por definir
9	Incluir por activos las certificaciones necesarias para desarrollar labores críticas en el mantenimiento.	Por definir	Por definir
10	Realizar revisión y actualización del programa de calibración.	Por definir	Por definir
11	Incluir en el programa de calibración las herramientas de metrología.	Por definir	Por definir

Tabla 26 Plan de mejoramiento – Acciones.

Fuente: Elaboración propia basado en las siete causas raíz detectadas.

Es importante destacar que, para llevar a cabo estas mejoras, cada acción debe contar con una fecha de implementación definida y un responsable asignado para su desarrollo y seguimiento.

3.2.4.2. PROPUESTA GUÍA: INDICADORES CLAVES

En esta etapa se proponen once indicadores de medición del aseguramiento de calidad como base para evaluar las auditorías en terreno. Estos indicadores permiten monitorear de manera integral el desempeño del proceso y la adherencia a los estándares definidos. Entre ellos, se destacan tres indicadores principales con foco directo en la calidad de la ejecución técnica: el porcentaje de cumplimiento de procedimientos, el porcentaje de cumplimiento de protocolos técnicos y el porcentaje de hallazgos críticos detectados. El primero evalúa la correcta aplicación de los procedimientos establecidos para cada actividad; el segundo mide la adherencia a los protocolos técnicos específicos requeridos en la intervención; y el tercero cuantifica la capacidad del sistema para identificar y registrar hallazgos críticos durante la auditoría. Estos indicadores constituyen la base para el análisis comparativo y la mejora continua del proceso de aseguramiento de calidad.

MEDICIÓN DEL ASEGURAMIENTO DE CALIDAD.

En este contexto, y alineados con la metodología de auditoría en terreno, se propone como guía la implementación de indicadores claves. Para facilitar la interpretación y seguimiento estos indicadores se agruparon en cuatro ítems, cada uno orientado a un aspecto fundamental del proceso de aseguramiento de calidad en la ejecución del mantenimiento:

1. Medición de la calidad en la ejecución: Este ítem evalúa la rigurosidad y conformidad con los procedimientos establecidos. Se consideran tres indicadores principales: el porcentaje de cumplimiento de procedimientos, el porcentaje de cumplimiento de protocolos técnicos y el porcentaje de hallazgos críticos detectados.
2. Gestión de mantenimiento: Bajo este ítem se monitorea la idoneidad de los insumos y equipos utilizados. Se emplean dos indicadores: el porcentaje de repuestos no conformes utilizados y el porcentaje de herramientas no certificadas o sin calibración.
3. Planificación y cumplimiento: Este itemizado está orientado a medir la efectividad de la planificación y el apego a los plazos estipulados. Se consideran el porcentaje de adherencia a la carta Gantt y el porcentaje de desviaciones no programadas.
4. Medición del mejoramiento continuo: Para promover la mejora constante de los procesos, este ítem incorpora cuatro indicadores clave: porcentaje de acciones correctivas cerradas, tiempo promedio de cierre de hallazgos, porcentaje de recurrencia de hallazgos y el índice de retrabajo.

Finalmente, es importante destacar que las metas asociadas a cada indicador pueden ser adaptadas de acuerdo con las exigencias específicas de cada minera, en función de sus políticas internas, estándares corporativos y operativos.

KPI's / Metodología aseguramiento de calidad			
1. Calidad en la ejecución técnica			
KPI	Descripción	Fórmula / Métrica	Meta
% de cumplimiento de procedimientos	Mide cuántas labores se ejecutan siguiendo el procedimiento de trabajo	(Labores críticas que cumplen / Total labores críticas auditadas) × 100	≥95%
% de cumplimiento de protocolos técnicos	Evalúa si se respetan parámetros como torque, repuestos, secuencia	(Labores críticas sin desviaciones / Total labores críticas auditadas) × 100	≥95%
% de hallazgos críticos detectados	Proporción de desviaciones que requieren acción inmediata	(Hallazgos críticos / Total hallazgos) × 100	≤10%
2. Gestión de mantenimiento			
KPI	Descripción	Fórmula / Métrica	Meta
% de repuestos no conformes utilizados	Controla la calidad de los insumos aplicados en mantenimiento	Repuestos no conformes / Total repuestos utilizados) × 100	≤2%
% de herramientas no certificadas o sin calibración	Evalúa cumplimiento de estándares de precisión	(Herramientas no conformes / Total herramientas revisadas) × 100	<1%
3. Planificación y cumplimiento			
KPI	Descripción	Fórmula / Métrica	Meta
% de adherencia a carta Gantt	Mide cumplimiento del cronograma de mantenimiento en las labores críticas	(Labores críticas ejecutadas en plazo / Total labores críticas programadas) × 100	>90%
% de desviaciones no programadas	Evalúa aparición de trabajos emergentes	(Labores no programadas / Total labores críticas ejecutadas) × 100	≤5%
4. Mejoramiento continuo			
KPI	Descripción	Fórmula / Métrica	Meta
% de acciones correctivas cerradas	Mide eficacia en la gestión de hallazgos	(Acciones cerradas / Total acciones generadas) × 100	≥90%
Tiempo promedio de cierre de hallazgos	Evalúa agilidad en resolver no conformidades	Total días de cierre / N° de hallazgos	≤0,3
% de recurrencia de hallazgos	Mide si los problemas vuelven a aparecer en una misma labor crítica.	(Hallazgos repetidos / Total hallazgos) × 100	≤10%
Índice de retrabajo	Evalúa cuántas labores deben repetirse por fallas en la ejecución	(Labores repetidas / Total labores ejecutadas) × 100	≤5%

*Tabla 27 Indicadores claves – Propuesta Guía.
Fuente: Elaboración propia en base a controles propuestos.*

3.3. IMPACTO OPERACIONAL Y ECONÓMICO.

La implementación de un sistema de aseguramiento de calidad en la planta concentradora busca mitigar riesgos operacionales críticos, especialmente en equipos de alta dependencia como el chancador primario. Este equipo es el punto de partida del proceso de conminución, y su falla puede generar una detención prolongada que compromete la continuidad operacional del molino SAG, al agotarse el mineral disponible en el Stock Pile.

Durante la sensibilización se destacará el siguiente escenario para simular la pérdida generada por no asegurar la calidad en la ejecución del mantenimiento en el chancador primario:

- Si el chancador primario falla, se interrumpe el flujo de mineral hacia el Stock Pile.
- El molino SAG continúa operando hasta consumir el mineral acumulado.
- Una vez agotado el Stock Pile, el SAG debe detenerse, generando una pérdida directa de producción.

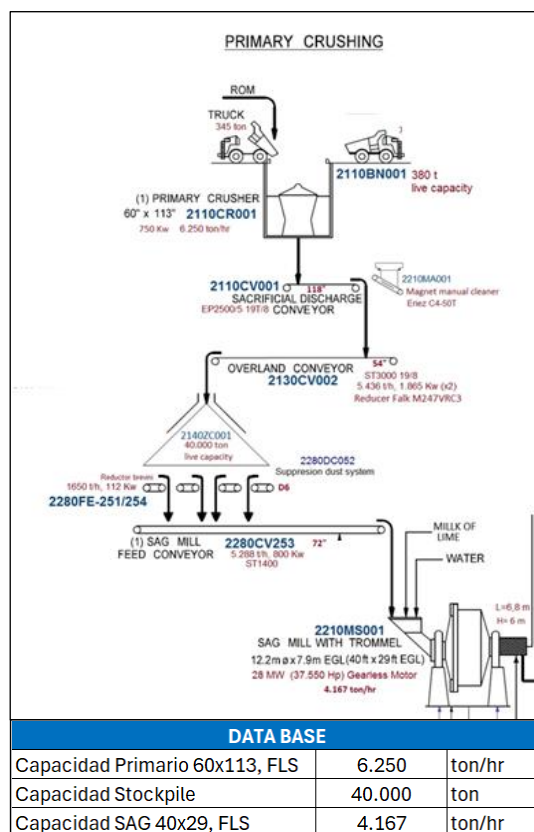


Tabla 28 Flowsheet – Capacidad por equipo, planta concentradora típica.
Fuente: Flow Sheet referencial de Minera Spence.

Con el objetivo de evaluar el impacto operacional y económico por baja calidad en la ejecución del mantenimiento, se desarrollará una simulación de falla enfocada en las actividades críticas identificadas con bajo grado de cumplimiento en la auditoría en terreno. Ver en detalle labores críticas con bajo cumplimiento en punto 3.2.4.1.

Cálculo base: Impacto por pérdida de producción - Detención Molino SAG.

Como punto de partida, se considerará el escenario de detención del molino SAG, utilizando datos operacionales reales recopilados durante un período de siete meses en una faena minera ubicada en el norte de Chile. A partir de esta información, se calculará el impacto económico asociado a la pérdida de producción generada por hora de detención no programada.

DATA CALCULO IMPACTO PERDIDA		
Capacidad SAG 40x29, FLS	4.167	ton/hr
Prod.Estimada SAG	3.800 a 3.950	ton/hr
Ley de mineral	~0,6% Cu.	
Precio del cobre	~US\$ 4,00/lb.	

Tabla 29 Datos considerados para cálculo pérdida de producción.
Fuente: Informe trimestral cochilco 2025.

Según los datos operacionales analizados, se estima que el molino SAG operará entre el 91 % y el 95 % de su capacidad nominal equivalente a 4.167 toneladas por hora. En consecuencia, su producción efectiva se proyecta en un rango de 3.800 a 3.950 toneladas por hora.

Considerando la ley de mineral con un promedio de 0,6% Cu, el precio promedio del cobre a 4 USD/lb (Ver tabla 1) y haciendo un supuesto de recuperación en un 78,1% sacado del caso de Medina Rodríguez, J. (2024), se estimará la pérdida económica considerando el valor del cobre recuperable no producido durante la detención, lo que permite cuantificar el impacto real sobre los ingresos de la planta.

Para el cálculo de pérdida se considera la siguiente formula:

$$\text{Pérdida (USD/hr)} = \text{Rango de producción (Ton/hr)} * \text{Ley de Mineral (\%)} * \text{Precio del cobre (USD/lb)} * \text{Recuperación (\%)}$$

Sensibilización pérdida de producción		
Ley de mineral	~0,6% Cu.	
Precio del cobre	~US\$ 4,00/lb.	
Recuperación de cobre	~78,1%	
Pérdida rango inferior 3.800 ton/hr	157.029	USD/hr
Pérdida rango superior 3.950 ton/hr	163.227	USD/hr

Tabla 30 Sensibilización pérdida de producción Molino SAG.
Fuente: Elaboración propia en base a cálculos de pérdida.

Se estiman que las pérdidas económicas por detención de una hora en el molino SAG serán entre 157KUSD y 163KUSD.

Supuesto; Falla Crítica en chancador primario, Falla en Buje.

Se utilizará el impacto por pérdida de producción, en línea con los resultados hipotéticos de la aplicación vistos en el punto 3.2.4.1, bajo el supuesto de falla en el chancador primario en el escenario que la labor de “Cambio de bujes y sellos” no se desarrollen bajo el aseguramiento de calidad propuesto.

Análisis del impacto económico

Bajo el supuesto indicado analizaremos los procesos y el tiempo que toma revertir la condición de falla, por lo cual se establecen las etapas del mantenimiento no programado para el cálculo total de horas de detención. Ver tabla 30.

Para mejorar la condición del equipo y en base a carta Gantt utilizada para la aplicación de la metodología, se consideran 14 labores las cuales suman un tiempo total de intervención de 24,5 hrs.

Tarea	Nombre de la tarea
1	Preparativos Herramientas
2	Bloqueos del equipo
3	Traslado de bujes
4	Aseo a la taza
5	Instalación de ring
6	Retiro gorro de la araña
7	Retiro de la araña
8	Retiro de poste
9	Cambio buje y sellos
10	Instalación de poste
11	Instalación de la araña
12	Instalación gorro de la araña
13	Calibración del poste
14	Desbloqueo del equipo
	TOTAL 24,5 hrs

*Tabla 31 Labores consideradas en falla de chancador
Fuente: Elaboración propia basado en carta Gantt referencial.*

Continuando con el análisis, es importante considerar que aguas abajo del chancador primario se encuentra el stock pile, cuya capacidad alcanza las 40.000 toneladas. Esta reserva operacional, permite que una eventual detención del chancador no genere una pérdida inmediata de producción en el molino SAG. En función de esta capacidad y de la tasa de procesamiento estimada del molino SAG, se calculará el tiempo máximo de detención tolerable del chancador primario sin afectar la continuidad operacional ni incurrir en pérdidas productivas. Por seguridad se considerará en el cálculo un nivel mínimo del 20% o sea durante la detención se consumirá el 80% de su capacidad, luego de eso el Molino SAG quedará sin mineral que pueda procesar.

En base a los rangos establecidos durante la sensibilización, se selecciona el menor valor de capacidad de procesamiento del molino SAG, equivalente a 3.800 ton/h, para efectos del presente cálculo.

Cálculo del tiempo máximo de detención del primario considerando la reserva operacional del stock pile al 100% de su capacidad (40.000 ton) y respetando el nivel mínimo de operación (20%).

Tiempo máximo de detención = TMD

$TMD = \text{Rango de producción MSag (Ton/hr)} / \text{Capacidad stock pile} * (100\% - 20\%)$

$TMD = 3.800 \text{ (Ton/hr)} / 40.000 \text{ (ton)} * (100\% - 20\%)$

TMD = 8,42 hrs

Sensibilización de pérdidas en base a los rangos de producción en Molino SAG.

Obtenido el tiempo máximo de detención del chancador primario sin pérdida de producción es posible establecer las bandas aproximadas de pérdidas por hora de detención del chancador primario por falla en bujes y sellos.

Resumen de cálculos		
Rango Pérdida detención SAG	157-163	KUSD/hr
Hora detención falla primario	24,5	hrs
Tiempo máximo detención S/P (TMD)	8,42	hrs

*Tabla 32 Resumen de cálculos para sensibilizar.
Fuente: Elaboración propia en base a cálculos realizados.*

Caso1

Considerando el rango inferior de pérdidas de producción por hora, las horas de detención no programada por falla y el tiempo máximo de detención tolerable del chancador primario, es posible calcular la pérdida de producción estimada bajo este escenario

Pérdida total de producción rango inferior = Pérdida rango inferior * (Horas detención No programada - Tiempo máximo de detención sin pérdida)

Entonces;

$$\begin{aligned} \text{Pérdida total de producción rango inferior} &= 157.000 \text{ USD} * (24,5 \text{ hrs} - 8,42 \text{ hrs}) \\ &= \mathbf{2.524.560 \text{ USD}} \end{aligned}$$

Caso 2

Considerando el rango superior de pérdidas de producción por hora, las horas de detención no programada por falla y el tiempo máximo de detención tolerable del chancador primario, es posible calcular la pérdida de producción estimada bajo este escenario.

Entonces;

$$\begin{aligned} \text{Pérdida total de producción rango inferior} &= 163.000 \text{ USD} * (24,5 \text{ hrs} - 8,42 \text{ hrs}) \\ &= \mathbf{2.621.040 \text{ USD}} \end{aligned}$$

Resumen del análisis de pérdidas por falla en chancador primario

En el contexto de la tesis "Aseguramiento de calidad en la ejecución del mantenimiento para plantas concentradoras", se desarrolló un análisis de pérdidas económicas derivadas de una falla hipotética en el chancador primario, atribuida a deficiencias en la ejecución del mantenimiento posterior a una intervención crítica.

El análisis se fundamentó en variables operacionales clave, tales como:

- Capacidad de reserva del stock pile
- Producción del molino SAG
- Producción del chancador primario
- Horas de detención no programada
- Ley promedio del mineral
- Precio de mercado del cobre
- Recuperación metalúrgica estimada

Los resultados del análisis de sensibilidad evidencian que, ante una falla hipotética en el chancador primario que implique una intervención para restablecer su funcionamiento sobre las 8,45 hrs generarán pérdidas de producción por detención del Molino SAG debido a la utilización de la reserva operacional que mantiene el stock pile. De acuerdo con el caso analizado y bajo el escenario de falla, las pérdidas económicas estimadas oscilan entre 2.5 y 2.6 millones de dólares, dependiendo del rango de producción del molino SAG y las horas por detención no programada. Sin embargo, este escenario puede ser evitado mediante la implementación de la metodología de aseguramiento de calidad en la ejecución del mantenimiento. Al establecer controles técnicos en los protocolos de trabajo, la utilización de procedimientos estandarizados y la aplicación de auditorías en terreno, se reduce significativamente la probabilidad de fallas en componentes críticos como bujes y sellos, asegurando la continuidad operacional y protegiendo el valor económico de la planta.

De igual forma, es relevante mencionar que, la metodología de aseguramiento de calidad aplicada en la ejecución del mantenimiento está alineada con las actuales estrategias de minimización de costos implementadas por las empresas mineras. Al fortalecer el control y la estandarización de los procesos, no solo se contribuye a evitar pérdidas por detenciones imprevistas de equipos críticos, sino que también se favorece el cumplimiento de los objetivos de producción, asegurando una operación continua y eficiente.

Bajo este escenario, se propone un plan de implementación para esta metodología en la industria minera donde se contemplaría, en primer lugar, la definición del alcance y los objetivos específicos para cada área o equipo crítico. Posteriormente, se desarrollarán y documentarán los procedimientos y protocolos de trabajo, junto con la capacitación del personal involucrado. Es posible ejecutar un piloto en una mantención programada, aplicando auditorías en terreno y midiendo los indicadores definidos. Los resultados serán analizados para ajustar la metodología y, finalmente, se estandarizará su aplicación en toda la operación, asegurando la mejora continua y la sostenibilidad del sistema de calidad.

CONCLUSIÓN

La aplicación hipotética de la metodología de aseguramiento de calidad en un plan de mantenimiento real, centrado en el chancador primario, ha demostrado ser una estrategia para mejorar el control operativo en la ejecución de labores críticas. El uso sistemático de herramientas de calidad integradas en cada etapa del proceso permite no solo una supervisión directa, sino también la recopilación de datos relevantes en terreno, fundamentales para el desarrollo de estrategias de mejora continua.

La metodología aplicada se fundamenta en el ciclo de mejoramiento continuo PDCA y la utilización de las herramientas de calidad como la matriz de criticidad, diagrama de Pareto, check list de verificación, ACR 5 ¿Por qué?, además del uso de la Matriz RACI e indicadores claves. Esto permitirá avanzar progresivamente en las mejoras y reducir de manera sostenida las brechas de calidad presentes en la ejecución del mantenimiento. Este enfoque garantiza que los procesos no solo se optimicen en el corto plazo, sino que evolucionen con base en la retroalimentación obtenida en terreno.

Uno de los principales hallazgos detectados en la aplicación de la metodología fue la identificación de 19 desviaciones en la calidad durante la ejecución del mantenimiento. A través del análisis de la data propuesta, fue posible detectar con facilidad las causas de las desviaciones, lo que permitió diseñar de manera eficiente un plan de mejoras. Este resultado evidencia la capacidad de la metodología para generar respuestas rápidas y efectivas ante problemas operacionales, fortaleciendo así la gestión del mantenimiento desde una perspectiva preventiva y proactiva.

Asimismo, el análisis propuesto facilita la toma de decisiones informadas a corto y mediano plazo, mediante la identificación de desviaciones y el estudio de sus causas raíz. Esta capacidad analítica, junto con la trazabilidad que ofrece la metodología, contribuye a fortalecer la cultura de calidad dentro de la gerencia de mantenimiento, promoviendo una visión más estratégica y orientada a resultados.

Por otra parte, el costo de implementación de la metodología propuesta se estima en 12,6 KUSD por cada mantención programada. Esta cifra contempla los recursos necesarios para ejecutar el sistema de aseguramiento de calidad y sus auditorías asociadas.

La metodología se alinea con los objetivos actuales de la industria minera, especialmente en lo que respecta a la optimización de la producción y la reducción de costos operacionales. Además, el estudio de una falla simulada en el chancador primario evidencia el impacto económico entre 2.5 y 2.6 millones de dólares, demostrando lo que puede generar la ausencia de aseguramiento de calidad en tareas críticas, reforzando la necesidad de implementar prácticas sistemáticas y rigurosas.

Finalmente, se recomienda a quienes deseen aplicar esta metodología que la adapten y perfeccionen según las particularidades de sus procesos, asegurando así su efectividad y sostenibilidad en el tiempo.

BIBLIOGRAFÍA

Arata, A. (2009). Ingeniería y gestión de la confiabilidad operacional en plantas industriales: Aplicación de la plataforma R-MES. RIL Editores.

Arata, A., & Furlanetto, L. (2004). Manual de gestión de activos y mantenimiento. RIL Editores.

Asana. (2025, junio 21). 4 técnicas eficaces para definir roles y responsabilidades.
<https://asana.com/es/resources/roles-and-responsibilities>

Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (2023). Impactos socioeconómicos de la minería en Chile (Informe N.º 04-23).
https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/34140/1/Informe_N_04_23_Impactos_socioeconomicos_de_la_mineria_en_Chile.pdf

CIMUA. (2024, octubre). Tendencias clave en la minería chilena. <https://cimua.cl/tendencias-clave-en-la-mineria-chilena-octubre-2024/>

Comisión Chilena del Cobre (Cochilco). (2025). Informe trimestral del mercado del cobre: Primer trimestre 2025. Gobierno de Chile. <https://www.cochilco.cl/web/informe-trimestal-del-cobre/>

Comisión Nacional de Evaluación y Productividad. (2018). Informe anual de productividad 2018.
<https://cnep.cl/wp-content/uploads/2019/01/INFORME-ANUAL-2018-DE-PRODUCTIVIDAD-CNP.pdf>

Comisión Chilena del Cobre (COCHILCO). (2023). Mapa Minero de Chile.
<https://www.cochilco.cl/web/mapa-minero-de-chile/>

Consejo Minero. (2019). Productividad en la Gran Minería del Cobre. <https://www.consejominero.cl/wp-content/uploads/2019/04/Informe-Final-Productividad-en-la-Gran-Mineria-del-Cobre-.pdf>

Deming, W. E. (1982). Out of the Crisis. MIT Press.

Excel Total. (s.f.). *Diagrama de Pareto en Excel*. <https://exceltotal.com/diagrama-de-pareto-en-excel/>

García Gómez, M. C., & Portocarrero, D. C. (s.f.). *Metodologías y herramientas de calidad para el mejoramiento continuo en las organizaciones* [Trabajo académico, Universidad Santiago de Cali]. Repositorio USC. <https://repositorio.usc.edu.co/bitstreams/025dc498-abbb-4cc9-a42b-229e6fe64cf3/download>

García, M. A. (2022). La importancia de los checklist para la organización.
<https://www.acceso.com/importancia-checklist-para-organizacion.html>

Gutiérrez, E., Agüero, M., & Calixto, I. (2024). Análisis de criticidad integral de los activos. R2M S.A. Reliability and Risk Management. <https://relengcorp.com/wp-content/uploads/2024/12/Analisis-de-Criticidad-Integral-de-Activos.pdf>

Gryna, F. M., Chua, R. C. H., & DeFeo, J. A. (2007). Método Juran: Análisis y planeación de la calidad (5ª ed.). McGraw-Hill/Interamericana Editores.

IMECAF, 2025. Instituto Mexicano de contabilidad, administración y finanzas.
<https://imecaf.com/blog/wp-content/uploads/Matriz-RACI.pdf>

Ishikawa, K. (1988). Práctica de los círculos de control de calidad. TGP Hoshin. Tecnologías de Gerencia y Producción.

Ingeniería de Calidad. (2020). *Ciclo de Deming: Metodología de mejora continua PDCA - PHVA*.
<https://www.ingenieriadecalidad.com/2020/02/ciclo-de-deming.html>

- Ingeniería de Calidad. (2023, febrero). Joseph Juran: Aportes a la calidad. <https://www.ingenieriadecalidad.com/2023/02/joseph-juran-aportes-a-la-calidad.html>
- Instituto Nacional de Normalización. (2015). Norma Chilena NCh-ISO 9001:2015. Sistemas de gestión de la Calidad.
- Instituto Nacional de Normalización. (2018). Norma Chilena NCh-ISO 10005:2018. Sistemas de gestión de la calidad — Directrices para los planes de la calidad. Santiago, Chile: INN.
- Instituto Nacional de Normalización (INN). (2021). *Informe Primera Ronda Interlaboratorio para minerales de cobre*. Convenio de cooperación con Codelco Chile – División Chuquibambilla. Recuperado de <https://www.inn.cl>
- Medina Rodríguez, J. (2024). Indicadores claves de la gestión y el mantenimiento de activos para el mejoramiento del desempeño de plantas concentradoras. Caso: Concentradora Los Colorados de Minera Escondida – BHP [Tesis de Magíster, Universidad de Chile]. Repositorio Académico Universidad de Chile. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/201527>
- Mirko Soković – Jelena Jovanović – Zdravko Krivokapić – Aleksandar Vujović. (2008). Paper, Basic Quality Tools in continuous improvement process, University of Ljubljana – University of Montenegro.
- Olivares Olivares, A. A. (2017). Excelencia operacional en la gestión del mantenimiento en planta concentradora División El Teniente – CODELCO Chile [Tesis de Magíster, Universidad de Chile]. [Repositorio Uchile](#).
- Revista MCH. (2020, 28 de septiembre). Tecnología de clase mundial en molino SAG de 40 pies. <https://www.mch.cl/contenido-auspiciado/tecnologia-de-clase-mundial-en-molino-sag-de-40-pies/>
- Scholtes, P. R. (1998). *The Leader's Handbook: Making Things Happen, Getting Things Done*. New York: McGraw-Hill.
- López Valenzuela, T. I. (2025). Implementación de un modelo de gestión de calidad para procesos de mantención en planta concentradora Minera Candelaria [Tesis de pregrado, Universidad de Concepción]. Repositorio UdeC. <https://repositorio.udec.cl/items/93816be7-2d52-4bd2-8948-af739bd3f185/full>
- Taguchi, G. (1989). Introduction to quality engineering: Designing quality into products and processes. Asian Productivity Organization.
- Toyota, S. (1930). Método de los 5 porqués para el análisis de causa raíz. En Toyota Production System.
- Viveros, P., Stegmaier, R., Kristjanpoller, F., Barbera, L., & Crespo, A. (2013). Propuesta de un modelo de gestión de mantenimiento y sus principales herramientas de apoyo. Ingeniare. Revista chilena de ingeniería, 21(1), 125–138. <https://doi.org/10.4067/S0718-33052013000100011>

ANEXOS

ESTRUCTURA BÁSICA DE UN PROCEDIMIENTO DE TRABAJO			
	TÍTULO		
	Responsable:		Página
	Revisión		Referencia
	Código		Fecha de emisión
1. Revisión y aprobación			
	Nombre	Cargo	Empresa
Elaboró			
Revisó			
Aprobó			
2. Control de cambios			
Revisión	Fecha de modificación	Cambios realizados	Vigencia
3. Objetivo Describir objetivo que se busca al implementar el procedimiento.			
4. Alcance Escriba el alcance del procedimiento teniendo en cuenta los procesos que afecta y los que no, y si es necesario considerar las limitaciones geográficas.			
5. Responsable El responsable de elaborar, difundir, utilizar y mejorar este procedimiento es el (Nombre / Puesto en la organización) de la organización.			
6. Frecuencia de la revisión Este procedimiento se revisará, cuando menos, una vez al año, en el mes (Indicar el mes aquí) o antes si hay algún cambio o mejora significativo en el proceso.			
7. Definiciones Definición de los términos que se utilizan durante el procedimiento y que requieren de una explicación más detallada de su concepto.			
8. Descripción de las actividades Aquí se describen las actividades secuencialmente.			
9. Diagrama de flujo de las actividades En este punto se realiza un diagrama de flujo utilizando el punto 8 Descripción de las actividades.			

Anexo 1 Procedimiento de trabajo tipo

ESTRUCTURA BÁSICA DE UN PROTOCOLO DE TRABAJO					
<i>Logo de la empresa</i>		Se debe especificar la labor a controlar			PROTOCOLO N°
AREA		SISTEMA			FECHA
PLANOS DE REFERENCIA					
DETALLE DETENCIÓN		TAG EQUIPO / LÍNEA			
RESPONSABLE					OT
DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE					
PROCEDENCIA					CANTIDAD
INSERTAR IMAGEN DE COMPONENTE A CONTROLAR. (MEDIDAS, HOLGURAS, ETC)					
DESCRIPCIÓN		Aprobado	Rechazado	No aplica	OBSERVACIONES / HALLAZGOS
1	DETALLAR LA LABOR ESPECÍFICA A CONTROLAR				
2					
3					
4					
5					
6					
7					
RESPALDO FINALIZACIÓN DE LA EJECUCIÓN					
EJECUTOR		SUPERVISOR			
FECHA		FECHA			
FIRMA		FIRMA			

Anexo 2 Estructura básica de un protocolo de trabajo

CARTA GANTT DETENCIÓN MAYOR JULIO 2025 / EVALUACIÓN CON MATRIZ DE CRITICIDAD														
LABOR	Puntaje frecuencia	Nivel de especialidad técnica	Puntaje Nivel especialidad	Herramientas especializadas	Puntaje herramienta	Retrabajo impacto productivo	Puntaje productividad	Impacto Ambiental	Puntaje impacto ambiental	Impacto Seguridad	Puntaje Impacto Seguridad	Totál	Criticidad	Jerarquización
Retirar Gorro Arana	1	Técnico nivel 1	3	SI	9	No	1	No	1	SI	9	23	23	B
Desmontar Gorro Arana	1	Técnico nivel 2	1	SI	9	No	1	No	1	SI	9	21	21	B
Retirar Media Lunas	1	Técnico nivel 2	1	SI	9	No	1	No	1	SI	9	21	21	B
Retirar Poste	1	Técnico nivel 1	3	SI	9	No	1	No	1	SI	9	23	23	B
Instalar Poste	1	Técnico nivel 2	1	SI	9	SI	9	No	1	SI	9	29	29	MA
Preparar componentes para envío a reparación	1	Técnico nivel 1	3	No	1	No	1	No	1	SI	9	15	15	B
Instalar Gorro Arana	1	Técnico nivel 1	3	SI	9	SI	9	No	1	SI	9	31	31	MA
Cambiar Herr Roca Roca	1	Técnico nivel 1	3	SI	9	No	1	No	1	SI	9	23	23	B
Retirar Top Shell	1	Técnico nivel 1	3	SI	9	No	1	No	1	SI	9	23	23	B
Instalar Platos y Proteger Carro Excéntrica	1	Técnico nivel 1	3	SI	9	No	1	No	1	SI	9	23	23	B
Instalar Corrida Superior Concavas	9	Especialista Senior	6	SI	9	No	1	No	1	SI	9	26	234	A
Retirar 2Ra Corrida Concavas	1	Especialista Senior	6	SI	9	No	1	No	1	SI	9	26	26	MA
Retirar Corrida Int Concavas	1	Especialista Senior	6	SI	9	No	1	No	1	SI	9	26	26	MA
Instalar Corrida Int Concavas	1	Especialista Senior	6	SI	9	SI	9	No	1	SI	9	34	34	MA
Instalar 2Ra Corrida Concavas	1	Especialista Senior	6	SI	9	SI	9	No	1	SI	9	34	34	MA
Instalar Corrida Sup Concavas	1	Especialista Senior	6	SI	9	SI	9	No	1	SI	9	34	34	MA
Instalar Top Shell Liner	1	Técnico nivel 1	3	SI	9	SI	9	No	1	SI	9	31	31	MA
Desmontar Platos	1	Técnico nivel 1	3	SI	9	No	1	No	1	SI	9	23	23	B
Instalar Oregas Sold Concavas	1	Técnico nivel 1	3	SI	9	No	1	No	1	SI	9	23	23	B
Cambio Monturas del Chanc CR001	1	Técnico nivel 1	3	SI	9	SI	9	No	1	SI	9	31	31	MA
Cambio Bujes y Sellos	6	Ingeniero Especialista	9	SI	9	SI	9	No	1	SI	9	37	222	A
Cambio Outer Shell Liners CR001	1	Técnico nivel 1	3	SI	9	SI	9	No	1	SI	9	31	31	MA
Reparar Riel carro excéntrica CR001	1	Técnico nivel 1	3	No	1	No	1	No	1	SI	9	15	15	B
SD Reparacion Octogono BN002	1	Técnico nivel 1	3	No	1	No	1	No	1	SI	9	15	15	B

Anexo 3 Evaluación de matriz de criticidad aplicada al caso

CHECK LIST AUDITORIA EN TERRENO						
RUTA CRÍTICA DE CALIDAD						
Fecha:		Area:				
Hora:		Inspector de calidad:				
N° OT:						
Descripción de la labor:						
N°	Pregunta de Evaluación	Criterio de Cumplimiento	Cumple	No cumple	Hallazgo Detectado	Observaciones
1	¿La labor se ejecuta conforme al procedimiento técnico vigente y actualizado?	Procedimiento disponible, versión actual aplicada correctamente.	☐	☐		
2	¿El personal ejecutor posee experiencia y capacitación adecuada para la tarea?	Certificaciones vigentes, experiencia demostrada en labores similares.	☐	☐		
3	¿Se respetan los parámetros técnicos definidos en los protocolos de trabajo (torque, repuestos, etc.)?	Protocolos aplicados correctamente, sin desviaciones.	☐	☐		
4	¿Se identifican desviaciones mecánicas, eléctricas, estructurales o de instrumentación en el equipo?	Inspección realizada, desviaciones registradas y clasificadas.	☐	☐		
5	¿El equipo requiere normalización por condiciones fuera de estándar o reparaciones provisionales?	Evaluación técnica realizada, necesidad de normalización documentada.	☐	☐		
6	¿Se cuenta con todos los repuestos necesarios para ejecutar la labor programada?	Repuestos disponibles, trazables y conforme a especificaciones.	☐	☐		
7	¿Se ejecutan actividades no contempladas en la planificación original?	Registro de trabajos emergentes, evaluación de impacto.	☐	☐		
8	¿Las labores se desarrollan conforme a la carta Gantt establecida?	Actividades realizadas según planificación, sin desviaciones críticas.	☐	☐		
9	¿El proceso de mantenimiento se ejecuta correctamente considerando factores externos (logística, entorno)?	Flujo de trabajo sin interferencias externas relevantes.	☐	☐		
10	¿Las herramientas utilizadas están certificadas y calibradas?	Herramientas con documentación vigente y en buen estado.	☐	☐		
11	¿El supervisor entrega el protocolo de cierre validando la calidad del trabajo realizado?	Protocolo completo, firmado y registrado en sistema.	☐	☐		
Ejecutor:			Supervisor:			
Fecha:			Fecha:			
Firma:			Firma:			

ANÁLISIS DE CAUSA-RAÍZ						
Equipo	Chancador Primario			TAG	CR-00-001	
Ing. de confiabilidad	Oscar Araya			Fecha	10-07-2025	
Labor Crítica	Retiro de Corrida Superior de Cóncevas			Folio	Causa 1	
Problemática	1	2	3	4	5	Causa Raíz Plan Mejora
¿Por qué esta labor crítica tiene bajo cumplimiento en la auditoría de terreno?	Procedimiento no se encuentra en terreno.	¿Por qué no se encuentra procedimiento en terreno? R.- Porque supervisor no se lo entrego al encargado de ejecutar la labor.	¿Por qué no se entrega procedimiento a ejecutor del mantenimiento? R.- No se imprime procedimiento para la labor.	¿Por qué no se imprime el procedimiento? R.- Porque personal encargado de la labor de impresión no completa la totalidad de la carpeta para la labor.	¿Por qué no se completa con la totalidad de documentos requeridos para ejecutar la labor? R. No existe un doble check en este proceso.	* Generar una lista de chequeo en el proceso de creación de las carpetas para desarrollo de labores. * Supervisor debe aprobar el proceso de entrega de carpetas a ejecutor de la labor.
	Personal ejecuta por primera vez esta labor.	¿Por qué personal ejecuta por primera vez esta labor? R.- No tiene experiencia anterior en realizar labor.	¿Por qué no personal sin experiencia se designa a labor crítica? R. Porque no existen control antes de ejecutar la labor.	¿Por qué no se controla nivel de experiencia en labores de mantenimiento? R. No se encuentra establecido como control.	¿Por qué no se encuentra establecido control de nivel de experiencia? R. Este control no se encuentra mapeado en el proceso de planificación del mantenimiento.	* No existe control de nivel de experiencia de labores críticas. * Se debe planilla de control de nivel de experiencia. * Se debe generar programa de acompañamiento para incrementar experiencia de trabajadores.
	Protocolo no se encuentra actualizado con respecto a la etapa de la ejecución. Sin registros.	¿Por qué no se completa el protocolo de trabajo en línea con la ejecución del mantenimiento? R. No existe interés por parte del ejecutor.	¿Por qué no existe interés por parte del ejecutor? R. Personal no sabe la importancia de este proceso.	¿Por qué personal ejecutor no sabe la importancia de esta labor? R. Porque no se realiza la difusión del protocolo.	¿Porque no se realiza la difusión del protocolo? R. No existe capacitación de uso e importancia del protocolo de trabajo.	* Dentro del programa de capacitación que se realiza al equipo de mantenimiento no se encuentra considerado la capacitación sobre los protocolos de trabajo. * Incluir en programa de capacitación de Protocolo de trabajo a personal de mantenimiento. * Crear registro de capacitación en protocolos de trabajo.
	Se entrega protocolo incompleto al finalizar la ejecución del mantenimiento.	¿Por qué se entrega protocolo incompleto luego de finalizar el mantenimiento? R. Personal no esta capacitado para completar el protocolo	¿Por qué personal no esta capacitado para completar el protocolo de trabajo? R. Charla sobre los protocolos de trabajo no se encuentra incluida dentro del programa de capacitación al área de mantención.			

Anexo 5 Análisis causa-raíz hallazgo 1

ANÁLISIS DE CAUSA-RAÍZ							
Equipo	Chancador Primario		TAG	CR-00-001			
Ing. de confiabilidad	Oscar Araya		Fecha	10-07-2025			
Labor Crítica	Cambio de bujes y sellos		Folio	Causa 2			
Problemática	1	2	3	4	5	Causa Raíz	Mejora
¿Por qué esta labor crítica tiene bajo cumplimiento en la auditoría de terreno?	No se cumplen con las etapas indicadas en las instrucciones del procedimiento.	¿Por qué no se cumplen con las etapas del procedimiento? R. Personal ejecutor toma iniciativa propia sobre como realizar el trabajo.	¿Por qué personal toma iniciativa propia y no sigue las etapas del procedimiento de trabajo? R. Personal ejecutor no le da importancia al procedimiento de trabajo.	¿Por qué personal ejecutor del mantenimiento no le toma importancia al procedimiento? R. Porque procedimiento tiene errores.	¿Por qué el procedimiento no se encuentra actualizado? R. No se ha realizado la actualización del procedimiento.	*No se ha cumplido con el programa de actualización de procedimientos.	* Concretar plan de chequeo y actualización a la totalidad de procedimientos utilizados en el área de mantenimiento.
	Personal no se encuentra certificado en metrología.	¿Por qué personal no se encuentra certificado? R. Personal ejecutor no ha sido considerado en esta capacitación.	¿Por qué personal no se encuentra considerado en esta capacitación? R. El ejecutor del mantenimiento es nuevo en el área.	¿Por que con anterioridad no se considera a personal certificado en esta labor? R. No se encuentra establecido este control.	¿Por qué no se encuentra el cruce entre certificaciones y labores críticas? R. Este control no se encuentra mapeado área de mantenimiento.	*No existe cruce de certificaciones del personal ejecutor necesarias para el desarrollo de labores críticas.	* Se debe generar registro de todas las certificaciones del personal. * Se deben identificar y registrar las certificaciones necesarias para desarrollar labores críticas en el mantenimiento.
	No se registran en protocolo las mediciones realizadas al buje	¿Por qué no se registran las mediciones? R. Ejecutor no encuentra relevante dejar registro.	¿Por qué el ejecutor no encuentra que sea relevante dejar registro? R. Personal no sabe la importancia de este proceso.	¿Por qué personal ejecutor no sabe la importancia de esta labor? R. Porque no se realiza la difusión del protocolo.	¿Porque no se realiza la difusión del protocolo? R. No existe capacitación de uso e importancia del protocolo de trabajo.	* Dentro del programa de capacitación que se realiza al equipo de mantenimiento no se encuentra considerado la capacitación sobre los protocolos de trabajo.	* Incluir en programa de capacitación de Protocolo de trabajo a personal de mantenimiento. * Crear registro de capacitación en protocolos de trabajo.
	Ejecutor no tiene registro y no sabe si el micrómetro se encuentra calibrado.	¿Por qué el ejecutor del mantenimiento no sabe si la herramienta de medición se encuentra calibrada? R. Porque no se encuentra documento en carpeta de la labor.	¿Porque no se encuentra el certificado de calibración? R. No se ha realizado calibración a la herramienta de medición.	¿Por qué no se ha realizado la calibración a la herramienta de medición? R. No se encuentra considerado para calibración.	¿Por qué no se encuentra considerado para calibrar? R. Herramientas de medición como micrómetro no se encuentran considerados en el programa de calibración.	*Herramienta de metrología no se encuentra considerado en el programa de calibración	*Realizar revisión y actualización del programa de calibración. *Incluir en el programa de calibración las herramientas de metrología.

Anexo 6 Análisis causa-raíz hallazgo 2