



**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**DEPARTAMENTO INGENIERÍA MECÁNICA**



**IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO DE GESTIÓN DE CALIDAD PARA  
PROCESOS DE MANTENCIÓN EN PLANTA CONCENTRADORA MINERA  
CANDELARIA**

POR

**Tomás Ignacio López Valenzuela**

Memoria de Título presentada a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Concepción para  
optar al título profesional de Ingeniero Civil Mecánico

Profesor Guía:  
Dr. Emilio Dufeu Delarze  
Dr. Cristian Canales Cárdenas

Ingeniero Supervisor:  
Rodrigo Huenuman Rojas

Febrero 2025  
Concepción (Chile)

© 2025 Tomás Ignacio López Valenzuela

© 2024 Tomás Ignacio López Valenzuela

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento

## **Agradecimientos**

En este importante hito de mi vida, quiero expresar mi más profundo agradecimiento a todas las personas que han sido parte de este camino, brindándome apoyo, motivación y compañía en cada etapa del proceso.

En primer lugar, a Sofía, mi compañera de vida. Gracias por tu amor incondicional, por tu paciencia en los momentos de mayor presión y por ser mi refugio en los días más difíciles. Tu apoyo ha sido fundamental para mantenerme firme en este camino, recordándome siempre la importancia de seguir adelante con determinación y convicción. Sin ti, este logro no tendría el mismo significado.

A mi familia, en especial a mis padres, hermanos y hermanas, quienes con su amor y enseñanzas me han dado la fortaleza para llegar hasta aquí. Gracias por inculcarme el valor del esfuerzo, por confiar en mí y por estar presentes en cada momento, celebrando mis logros y alentándome en los desafíos.

A la familia de Sofía, quienes me han recibido con cariño y apoyo, brindándome palabras de ánimo y haciéndome sentir parte de su hogar.

A mis primos y a todos aquellos familiares que, de una u otra manera, han sido un pilar de apoyo en este proceso, demostrando siempre su cercanía y afecto.

A mis amigos de la universidad, con quienes compartí largas horas de estudio, desvelos, frustraciones y también momentos de alegría y celebración. Gracias por ser una compañía invaluable, por las risas en los momentos de estrés y por recordarme que no estaba solo en este desafío.

A mis profesores y mentores, quienes con su enseñanza y guía contribuyeron a mi formación profesional.

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a todos mis colegas de Minera Candelaria, quienes han sido parte fundamental de mi crecimiento profesional. A la Gerencia de Mantenimiento, por su liderazgo y visión, al equipo de Planificación, al equipo de Confiabilidad, al equipo de Mantenimiento Predictivo, a los Supervisores de Área, al equipo de Mecánicos del Taller de Máquinas y Herramientas, al equipo de Mecánicos de Chancado y al equipo de Mecánicos de Molienda

A cada uno de ustedes, gracias por compartir sus conocimientos, por su disposición a enseñar y por la camaradería que hace del trabajo en la minería una experiencia enriquecedora.

## Resumen

El presente proyecto aborda la necesidad de implementar un modelo de gestión de calidad en los procesos de mantención de la Planta Concentradora de Minera Candelaria. La disminución en la ley de mineral de cobre y la necesidad de maximizar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos han motivado a Candelaria a adoptar metodologías innovadoras para la optimización de sus actividades de mantenimiento.

El estudio se basa en modelos de gestión de calidad, metodologías Lean Maintenance, Six Sigma y requisitos establecidos por las Normas ISO 9001 e ISO 55001, con el objetivo de mejorar la eficiencia de las actividades de mantenimiento y reducir fallas inesperadas. Se desarrolla un manual de calidad alineado con estas normas, estableciendo los principios de la gestión de calidad, como procedimientos estandarizados, control de la calidad en terreno mediante dossiers de calidad y trazabilidad de las actividades de mantenimiento.

Como caso de estudio, se implementa un piloto del modelo en el proceso de cambio de cóncavas del chancador primario. A través de una metodología de gestión de calidad planteada por el manual, utilizando herramientas como el análisis de modos y efectos de falla (FMECA) y el uso de indicadores clave de rendimiento (KPIs), se identifican puntos de mejora y se aplican controles de calidad. Los resultados evidencian un levantamiento de información primordial para reducir los tiempos de inactividad, una mejora en la documentación de los procesos y control de estos.

La implementación de este modelo de gestión de calidad permite optimizar el mantenimiento, mejorar la confiabilidad de los activos y contribuir al cumplimiento de los objetivos estratégicos de la Gerencia de Mantención Procesadora de Minera Candelaria.

**Palabras clave:** Minería, planta concentradora, gestión de calidad, gestión del mantenimiento, Lean Maintenance, Six Sigma, ISO 9001, manual de calidad, confiabilidad.

## Abstract

This project addresses the need to implement a quality management model in the maintenance processes of the Minera Candelaria Concentrator Plant. The decline in copper ore grade and the need to maximize equipment availability and reliability have driven Candelaria to adopt innovative methodologies to optimize its maintenance activities.

The study is based on quality management models, Lean Maintenance methodologies, Six Sigma, and requirements established by ISO 9001 and ISO 55001 standards, aiming to improve maintenance efficiency and reduce unexpected failures. A quality manual aligned with these standards is developed, establishing the principles of quality management, such as standardized procedures, on-site quality control through quality dossiers, and maintenance activity traceability.

As a case study, a pilot implementation of the model is carried out in the concave replacement process of the primary crusher. Through the quality management methodology proposed by the manual, using tools such as Failure Modes, Effects, and Criticality Analysis (FMECA) and Key Performance Indicators (KPIs), improvement points are identified, and quality controls are applied. The results provide essential data for reducing downtime, improving process documentation, and enhancing control over maintenance activities.

The implementation of this quality management model optimizes maintenance, improves asset reliability, and contributes to achieving the strategic objectives of the Processing Maintenance Management at Minera Candelaria.

**Keywords:** Mining, concentrator plant, quality management, maintenance management, Lean Maintenance, Six Sigma, ISO 9001, quality manual, reliability.

## Tabla de Contenidos

Tabla de Contenidos.....	iii
Lista de Tablas .....	v
Lista de Figuras .....	vi
Glosario .....	vii
<b>1 CAPÍTULO 1: Introducción.....</b>	<b>1</b>
1.1 Contexto.....	1
1.2 Planta concentradora de cobre .....	3
1.3 Planteamiento del problema .....	4
1.4 Hipótesis de trabajo .....	6
1.5 Objetivos.....	6
1.6 Metodología.....	6
<b>2 CAPÍTULO 2 Marco Teórico .....</b>	<b>8</b>
2.1 Lean Maintenance.....	8
2.2 Modelos de gestión de calidad.....	13
2.3 Gestión de mantenimiento .....	22
2.4 Chancador Giratorio Fuller.....	29
<b>3 CAPÍTULO 3 Estado del Arte .....</b>	<b>31</b>
3.1 Lean en la minería .....	31
3.2 Proceso de gestión de mantenimiento de Candelaria .....	31
3.3 Calidad actual de Candelaria .....	34
<b>4 CAPÍTULO 4 Manual de Gestión de Calidad .....</b>	<b>36</b>
4.1 Desarrollo Manual de Calidad.....	37
<b>5 CAPÍTULO 5 Implementación Modelo de Calidad .....</b>	<b>49</b>
5.1 Planificación .....	49
5.2 Definir.....	50
5.3 Medir .....	51
5.4 Analizar .....	53
5.5 Mejorar .....	57
5.6 Control.....	60
<b>6 CAPÍTULO 6 Resultados y Conclusiones .....</b>	<b>61</b>
6.1 Análisis de resultados .....	61
6.2 Conclusiones.....	62

Referencias .....	63
Anexo A: Diagramas del proceso de producción de Candelaria.....	65
Anexo B: Principales componentes y características Chancador Primario Fuller 60"x89" .....	67
Anexo C: Planes de acción manual de calidad.....	70
Anexo D: Medidas del Dossier de Calidad Metrología de Cóncavas .....	73
Anexo E: Dossier de Calidad Cambio de Cóncavas .....	76

## Lista de Tablas

Tabla 1 KPIs objetivos de la Gerencia de Mantenimiento Procesos año 2024 .....	6
Tabla 2 Principales símbolos de un VSM .....	11
Tabla 3 Matriz de RACI para aplicación del modelo.....	50
Tabla 4 Análisis de Modos de Falla, Efectos y Criticidad componentes de las cóncavas .....	55
Tabla 5 Análisis de criticidad componentes de las cóncavas .....	56
Tabla 6 Criterios para el análisis de criticidad .....	57
Tabla 7 Rangos de NPR .....	57
Tabla 8 Características Chancador Fuller 60x89 TC [23].....	67
Tabla 9 Metrología cóncava inferior .....	73
Tabla 10 Metrología cóncava intermedia.....	74
Tabla 11 Metrología cóncava superior – parte 1 .....	75
Tabla 12 Metrología cóncava superior – parte 2.....	76
Tabla 13 Limpieza e inspección inicial.....	76
Tabla 14 Reparación Shell .....	77
Tabla 15 Instalación cóncavas inferiores .....	77
Tabla 16 Instalación cóncavas intermedias .....	78
Tabla 17 Instalación cóncavas superiores .....	78

## Lista de Figuras

Figura 1.1 Gráfico participación de la minería en el PIB y precio del cobre [2] .....	1
Figura 1.2 Mapa ubicación infraestructura del Complejo de Cobre Minera Candelaria [3].....	2
Figura 1.3 Rendimiento Metalúrgico de Candelaria [3] .....	5
Figura 1.4 Gráfico de disponibilidad Planta Minera Candelaria [3] .....	5
Figura 2.1 Esquema Casa de Producción Toyota [9] .....	9
Figura 2.2 Reacción en cadena de Deming. Calidad y productividad .....	13
Figura 2.3 Diagrama Ciclo Deming .....	15
Figura 2.4 Diagrama Ciclo Six Sigma .....	16
Figura 2.5 Representación de la estructura de la Norma ISO 9001 con el ciclo Deming [17] .....	18
Figura 2.6 Ejemplo Diagrama de Pareto [6] .....	27
Figura 2.7 Ejemplo Diagrama Causa-Efecto [6].....	28
Figura 2.8 Ejemplo Diagrama Jack Knife [6] .....	28
Figura 2.9 Principio de funcionamiento del chancador primario giratorio [24] .....	30
Figura 2.10 Denominación de medidas de Chancador Giratorio .....	30
Figura 3.1 Flujo del ciclo administración del mantenimiento.....	33
Figura 3.2 Diagrama Causa-Efecto falta de calidad en procesos de mantención.....	34
Figura 3.3 Gráfico de efectividad de los PM en el SAG 1 y SAG 2 en el 2024 .....	35
Figura 3.4 Gráfica de mantenencias correctivas SAG 1 y SAG 2 en el 2024 .....	36
Figura 4.1 Principios del modelo de gestión de calidad.....	39
Figura 4.2 Niveles del sistema documental.....	41
Figura 4.3 Metodología de gestión de calidad .....	47
Figura 5.1 Diagrama de Pareto detenciones correctivas Chancador Primario - 2024.....	51
Figura 5.2 Diagrama de Pareto mantenencias programadas Chancador Primario - 2024 .....	52
Figura 5.3 Mapa flujo de valor cambio de cóncavas.....	54
Figura 5.4 Geometría y cotas de las cóncavas inferiores .....	58
Figura 5.5 Geometría y cotas de las cóncavas intermedias.....	59
Figura 5.6 Geometría y cotas de las cóncavas superiores .....	60
Figura 6.1 Diagrama general proceso de producción Candelaria .....	65
Figura 6.2 Diagrama proceso de Chancado Primario .....	66
Figura 6.3 Diagrama proceso de Molienda, Pebbles y Fase 3 .....	66
Figura 6.4 Diagrama proceso de Flotación .....	67
Figura 6.5 Diagrama de principales componentes Chancador Primario Fuller [30].....	68
Figura 6.6 Plan de acción para la calidad en la ejecución de actividades críticas .....	70
Figura 6.7 Plan de acción para la calidad en componentes reparables .....	71
Figura 6.8 Plan de acción para la calidad en la puesta en marcha .....	72

## Glosario

	:	
CCMC	:	Complejo de Cobre Minera Candelaria
FMECA	:	Análisis de Modos, Efectos y Criticidad de Fallas
ISO	:	Organización Internacional de Estandarización
Km	:	Kilómetros
KPI	:	Indicador clave de rendimiento
MTBF	:	Tiempo promedio entre fallos
MTTR	:	Tiempo promedio para reparar
NPR	:	Número de prioridad de riesgo
PIB	:	Producto interno bruto
RCM	:	Mantenimiento centrado en confiabilidad
RMES	:	Reliability Maintenance Engineering Software
SAP PM	:	System Application and Products for Plant Maintenance
SERNAGEOMIN	:	Servicio nacional de geología y minería
Tmh	:	Toneladas métricas húmedas
Tpd	:	Toneladas por día
VSM	:	Mapeo de flujo de valor

## Símbolos

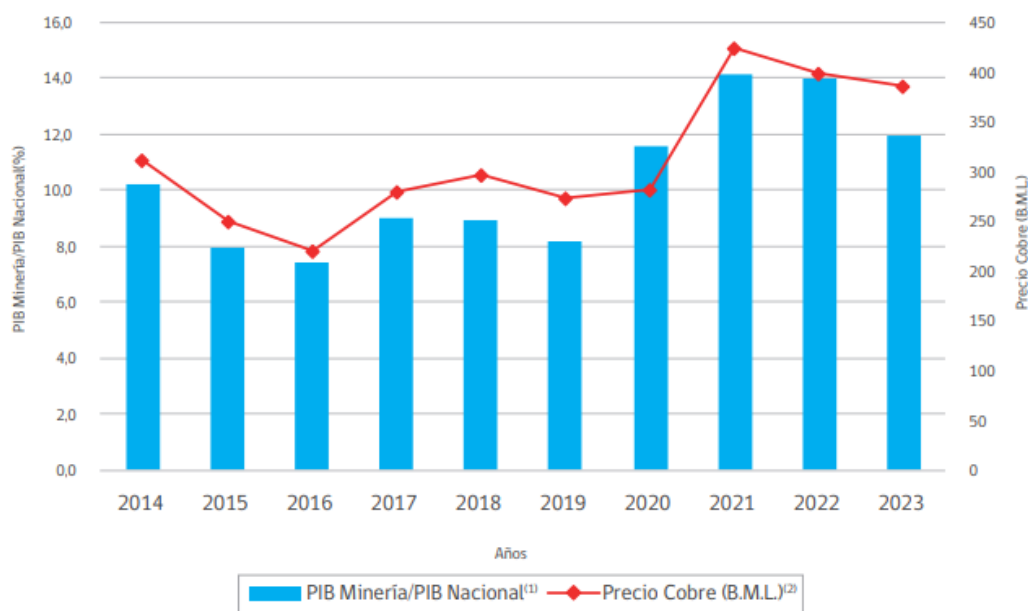
%	:	Porcentaje
---	---	------------

## CAPÍTULO 1: Introducción

### 1.1 Contexto

Chile es un país reconocido mundialmente por la gran cantidad de yacimientos de minerales encontrados en su territorio, siendo la minería una de sus principales actividades económicas, la cual ha impactado directamente en el desarrollo económico y social del país, además de ser un motor de innovación tecnológica y desarrollo científico.

El cobre es la principal fuente de exportación de Chile, el cual aporta con un 25,9 % de la producción mundial en el año 2023 [1], situando al país como líder mundial en producción de cobre. A lo largo de los años, la minería ha tenido una importante participación en el PIB nacional. Según estudios realizados por el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN), la minería del cobre tiene una participación significativa en este índice económico [2]. En la Figura 1 se muestra un gráfico de la participación de la minería en el PIB nacional y el precio del cobre durante el periodo del 2014 al 2023.



**Figura 1.1 Gráfico participación de la minería en el PIB y precio del cobre [2]**

La Región de Atacama, ubicada en el norte de Chile, es una zona donde la minería es la actividad productiva más importante y representa la principal fuente económica y de empleo para la región. Según SERNAGEOMIN en 2023 Atacama se posiciona como la tercera región con mayor producción de cobre [2].

En el año 1995, se inauguró Minera Candelaria en la Región de Atacama, a una altitud aproximada de 650 metros sobre el nivel del mar y a 20 kilómetros al sur de la ciudad de Copiapó, con presencia de minerales de cobre, oro y plata. El Complejo de Cobre Minera Candelaria (CCMC) comprende dos operaciones adyacentes, Compañía Contractual Minera Candelaria (desde ahora denominada “Candelaria” y donde se desarrolla este proyecto) y Compañía Contractual Minera Ojos del Salado. Estas pertenecen en un 80% de Lundin Mining Corporation, mientras que el 20% restante corresponde a Sumitomo Corporation [3].

Candelaria consta de una operación minera a cielo abierto y subterránea que abastece de cobre a una planta de procesamiento que tiene una capacidad de 75.000 Tpd. Mientras que Ojos del Salado comprende dos minas subterráneas, Santos y Alcaparrosa. La mina Santos proporciona mineral de cobre a una concentradora en el sitio con una capacidad de 3.700 Tpd, además de enviar 1.400 Tpd al molino de Candelaria, mientras que la mina Alcaparrosa envía todo el material a Candelaria. La Figura 2 muestra un mapa con las principales ubicaciones del Complejo de Cobre Minera Candelaria.

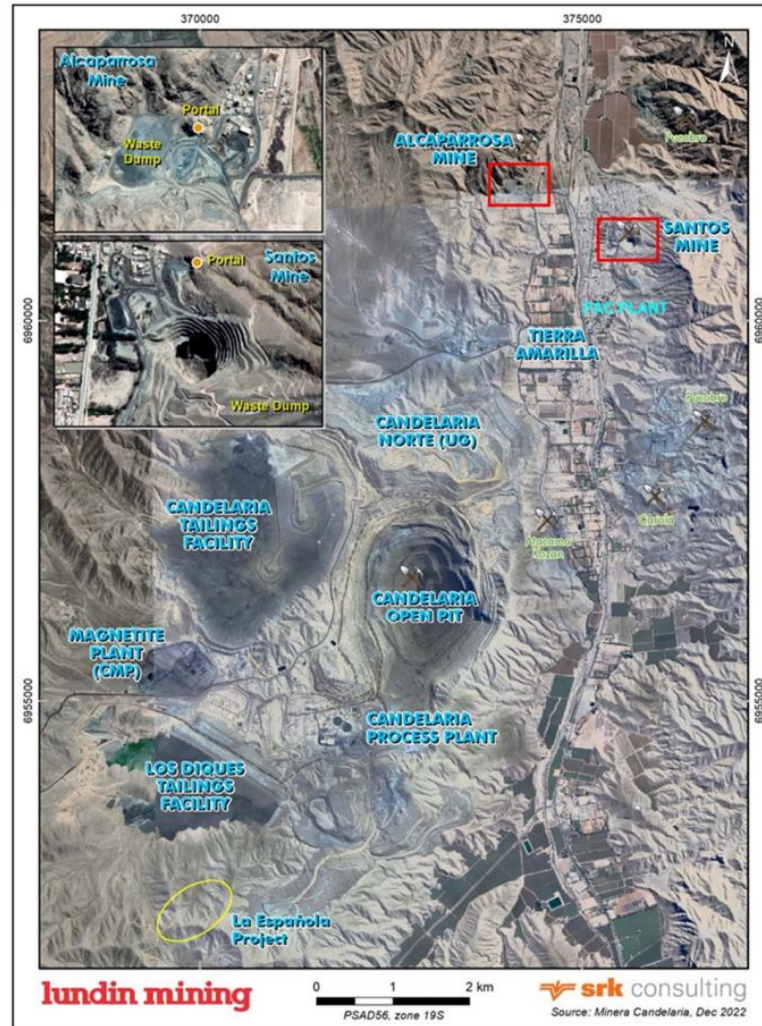


Figura 1.2 Mapa ubicación infraestructura del Complejo de Cobre Minera Candelaria [3]

Adicionalmente, la infraestructura del Complejo de Cobre Minera Candelaria incluye las instalaciones portuarias de Punta Padrones, ubicadas en la ciudad de Caldera, las cuales son el punto de embarque del concentrado de cobre hacia sus destinos finales. Estas instalaciones comprenden un almacén de concentrado cubierto con una capacidad de 45.000 Tmh y un cargador de barcos con una capacidad de 1.000 Tmh por hora. Además, en este mismo lugar se encuentra la planta desalinizadora encargada de abastecer de agua fresca el complejo minero, bombeando agua 110 Km mediante una tubería dedicada y una estación de bombeo [3].

## **1.2 Planta concentradora de cobre**

Una planta concentradora es una instalación industrial diseñada para procesar las rocas extraídas de la mina, con el objetivo de extraer el concentrado de cobre mediante una serie de equipos que clasifica y reduce el tamaño de las rocas, proceso denominado conminación. Posteriormente, el material se somete al proceso de flotación, espesado y filtrado obteniendo así el concentrado final.

El flujo del proceso de la planta concentradora de Candelaria comienza con el mineral bruto extraído de la mina, transportado por los camiones CAEX hacia un triturador inicial denominado Chancador Primario, este obtiene un producto bajo 6” el cual es distribuido utilizando una correa transportadora hacia una pila de mineral que cuenta con una capacidad de almacenar 500.000 toneladas de material chancado, debajo de esta, se encuentran dos correas alimentadoras o Feeders encargados de alimentar de material al siguiente proceso.

El segundo proceso es denominado Molienda, este busca reducir el tamaño del mineral previamente chancado para los siguientes procesos de la concentradora. Candelaria cuenta con dos circuitos en paralelo, constituido por un Molino SAG y dos Molinos de Bolas. El mineral ingresa al Molino SAG, para luego ser clasificado por un Harnero Vibratorio que envía el material fino a una Cuba de Almacenamiento, que luego distribuye a las Baterías de Ciclones, este equipo se encarga de clasificar el material enviado al siguiente proceso, y regresar el restante a los Molinos de Bolas que alimentan nuevamente a la cuba para repetir el proceso. El material con sobre tamaño clasificado por el Harnero Vibratorio se envía a un circuito llamado Pebbles, el cual, mediante un sistema de correas transporta este producto a los Chancadores de Pebbles, sistema constituido por tres Chancadores de Conos que alimentan el circuito denominado Fase 3. El cual cuenta con dos Harneros Vibratorios que envían el material fino a un Molino de Barras que alimenta a las Cubas de Almacenamiento de Molienda, por otro lado, el material con sobre tamaño regresa a los Chancadores de Pebbles para repetir el proceso.

El siguiente proceso es la Flotación, el cual cumple el objetivo de separación de minerales mediante la adhesión de burbujas de aire con las partículas de cobre. Candelaria cuenta con dos líneas de flotación con celdas Rougher, Scavenger, Cleaning y una Batería de Hidrociclones junto a un molino de remolienda Vertimill. Al finalizar este proceso se envía el concentrado de cobre a los Espesadores de Concentrado y el material sobrante de las celdas a los Espesadores de Relaves.

Finalmente, el concentrado de cobre es espesado y filtrado por los Filtros Cerámicos que entregan el producto final al Almacén de Concentrado, donde los camiones lo recogen y trasladan al puerto de

embarque Punta Padrones para ser exportado al extranjero. En el Anexo A, se muestra el diagrama del proceso general de producción y procesos específicos explicados anteriormente.

### 1.3 Planteamiento del problema

La ley de mena se define como el porcentaje de cobre presente en una determinada muestra de mineral [4], es decir, cuando hay una ley de 1% significa que en cada 100 kilogramos de roca mineralizada hay 1 kilogramo de cobre puro. Este indicador es clave para determinar la cantidad de material que debe procesar una planta para cumplir con la rentabilidad deseada. Desde el 2006, este indicador ha disminuido constantemente, pasando de 0,9% a un rango de 0,5% a 0,6% [3]. La Figura 1.3 muestra una gráfica con el rendimiento metalúrgico de Minera Candelaria.

Esto obliga a las plantas mineras a operar de manera más eficiente para cumplir con el estándar de rentabilidad, por lo que los procesos de mantención son fundamentales para garantizar la continuidad operativa y la eficiencia de los equipos. En este contexto la Gerencia Mantención Procesos adquiere relevancia, ya que se encarga de mantener el buen funcionamiento de los activos y recursos de la compañía, controlando los tiempos y los costos de las mantenciones, asegurando una máxima eficiencia en el proceso productivo. Esta importante labor la lleva a cabo mediante el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), el cual se describe como un proceso utilizado para determinar qué se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe realizando su función en su contexto operacional actual [5].

Sin embargo, la falta de un enfoque sistemático en la gestión de la calidad de las actividades de mantenimiento, llevan a la constante aparición de problemas como, fallas inesperadas de equipos luego de una mantención, retrabajos, falta de documentación específica que evidencie un control de calidad en terreno, tiempos de inactividad prolongados a raíz de problemas en la planificación y ejecución, fallas en componentes reparados por no tener una trazabilidad y control de calidad de los mismos, falta de información cruzada entre las distintas áreas de la planta, entre otros.

Adicionalmente, la Gerencia Mantención Procesos plantea sus metas para cada año según tres indicadores clave de rendimiento (KPI), los cuales son el MTTR que se define como el tiempo promedio que se tarda en reparar un activo, MTBF que es tiempo promedio que un activo funciona sin fallo y la disponibilidad, dando un mayor énfasis en este último, que se define como la probabilidad de que un equipo funcione satisfactoriamente en el momento que sea requerido después del comienzo de su operación [6], este es el indicador más importante para la evaluación de la efectividad del mantenimiento en una planta industrial.

La disponibilidad de la planta Minera Candelaria ha sido muy estable desde 2005 hasta 2021, entre 91% y 96% promediando 93,5% de disponibilidad. Sin embargo, este valor aún se encuentra bajo la meta establecida por la gerencia. En la Tabla 1, se encuentran los KPIs objetivos del año 2024 y en la Figura 1.4 se presenta el gráfico de disponibilidad de la planta concentradora de Candelaria desde el 2005 hasta el 2022.

Debido a estos puntos planteados anteriormente, la Planta Concentradora Minera Candelaria, ha identificado la necesidad de implementar un modelo de gestión de calidad para sus procesos de mantención que integre normas referentes a la gestión de activos y gestión de calidad, aprovechando la utilidad de metodologías innovadoras como Lean Maintenance [7], con la finalidad de optimizar los procesos de mantención, reducir los costos adicionales y mejorar la fiabilidad de los equipos críticos ayudando al cumplimiento anual de sus metas.

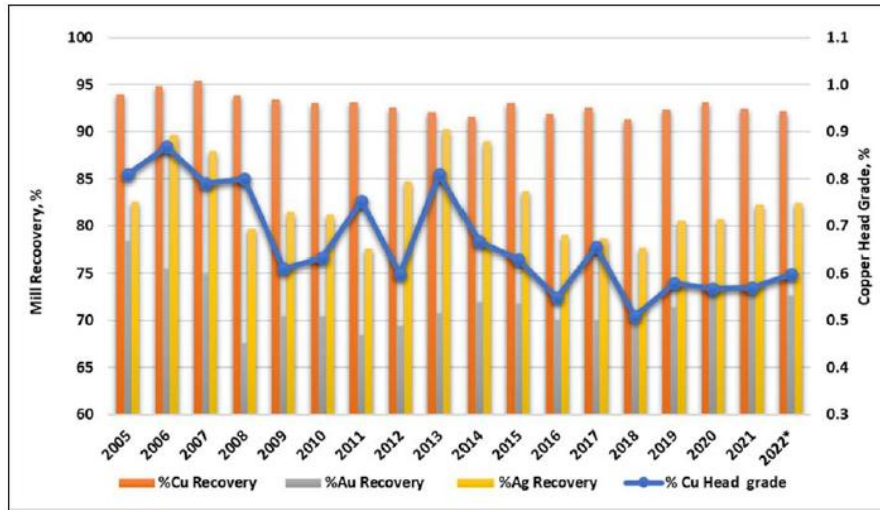


Figura 1.3 Rendimiento Metalúrgico de Candelaria [3]

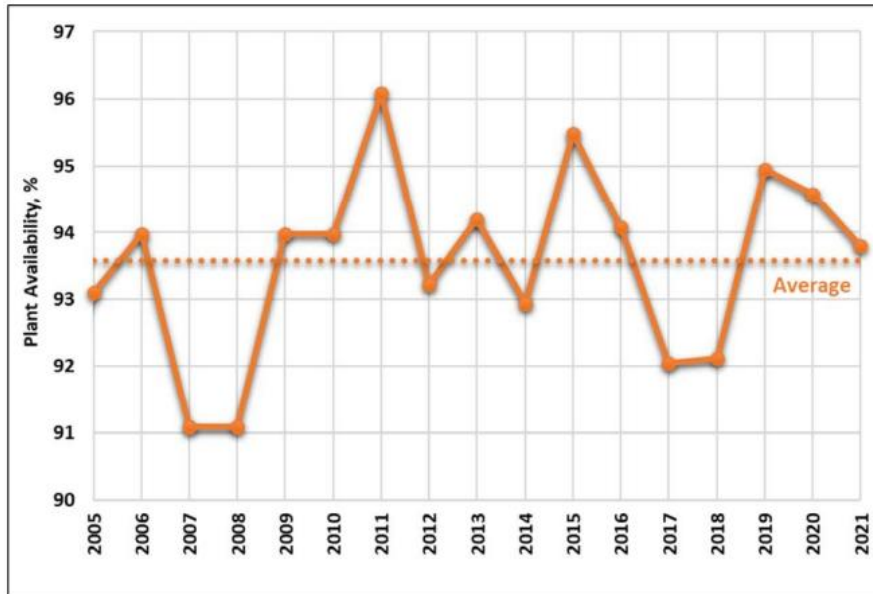


Figura 1.4 Gráfico de disponibilidad Planta Minera Candelaria [3]

**Tabla 1 KPIs objetivos de la Gerencia de Mantenimiento Procesos año 2024**

<b>KPI</b>	<b>Chancador Primario</b>	<b>Línea 1</b>	<b>Línea 2</b>	<b>Planta</b>
<b>Disponibilidad</b>	92,9 %	94,9 %	93,8 %	94,3 %
<b>MTTR</b>	2,5 h	1,2 h	1,2 h	1,2 h
<b>MTBF</b>	110 h	130 h	130 h	130 h

## 1.4 Hipótesis de trabajo

Al implementar un modelo de gestión de calidad basado en metodologías Lean Maintenance, modelos de gestión de calidad y requisitos ISO 9001 e ISO 55001, se mejora significativamente el control de calidad en los procesos de mantenimiento, se impulsa el cumplimiento anual de los KPIs y se optimiza el desempeño de los activos críticos.

## 1.5 Objetivos

### 1.5.1 Objetivo General

**OG:** Desarrollar e implementar un modelo de gestión de calidad para los procesos de mantenimiento en la planta concentradora, evaluando su aplicación mediante un piloto en el Chancador Primario.

### 1.5.2 Objetivos específicos

**OE1:** Identificar metodologías Lean Maintenance, modelos de gestión de calidad y requisitos establecidos por normas ISO:9001 e ISO:55001 aplicables a los procesos de mantenimiento de una planta industrial.

**OE2:** Analizar el estado actual de los procesos de mantenimiento de la planta concentradora y sus principales puntos de mejora en términos de calidad.

**OE3:** Diseñar un manual basado en normas ISO que defina el modelo de gestión de calidad, aplicable a todo el ciclo de administración del trabajo de mantenimiento.

**OE4:** Implementar y monitorear un piloto del modelo de gestión de calidad en la ejecución de un procedimiento crítico en el Chancador Primario.

## 1.6 Metodología

### OE1: Identificación de metodologías y normas aplicables

Se realiza una revisión de literatura clave sobre Lean Maintenance y modelos de gestión de calidad para determinar su aplicabilidad a procesos de mantención. Se analizan las normas ISO 9001, ISO 10005 e ISO 55001 para identificar los requisitos específicos que debe contener un manual de calidad.

**OE2: Análisis del estado actual**

Para comprender el funcionamiento actual del mantenimiento en Candelaria se realiza un levantamiento de información sobre procedimientos de gestión y ejecución del mantenimiento. Se identifican las principales deficiencias de la gestión del mantenimiento actual en términos de calidad y desperdicios lean. Se realizan constantes caminatas en terreno para observar los procesos y validar las oportunidades de mejora identificadas.

**OE3: Diseño de manual de gestión de calidad**

Se crea un documento en base a las normas ISO analizadas que establece los principios, lineamientos y procedimientos necesarios para asegurar y controlar la calidad en la ejecución de tareas de mantenimiento. Se definen responsabilidades, políticas, objetivos, planes de acción y una metodología general de gestión de calidad aplicable a todos los procesos de mantención.

**OE4: Implementación piloto en el Chancador Primario**

Se realiza una implementación piloto del modelo de gestión de calidad para el proceso de cambio de cóncavas identificando los principales desperdicios e hitos de calidad. Se crean los dossier de calidad correspondientes para la ejecución de la tarea en terreno y monitorear el control de los hitos definidos. Se analizan los resultados obtenidos para determinar el impacto del control de calidad y los beneficios de aplicar el modelo de gestión de calidad postulado.

## CAPÍTULO 2 Marco Teórico

### 2.1 Lean Maintenance

El Lean Maintenance o mantenimiento eficiente se identifica por primera vez en el sistema de producción de Toyota a principios de los años 1980, dando origen a los conceptos de “Eliminación de Desperdicios”, prácticas de trabajos estandarizados, programación de fabricación “Just in Time” y el enfoque en la calidad del producto. Este concepto se dio a conocer internacionalmente por el libro “The Machine That Changed the World” en 1991 [8].

Según Joel Levitt, la metodología Lean Maintenance se define como ofrecer un servicio de calidad con la menor cantidad de insumos posibles, es decir, la eliminación de todo proceso en el flujo de trabajo que no genere un valor agregado al producto o servicio que se está ofreciendo. De esta idea nace el concepto de “Eliminación de Desperdicios”, el cual es un pilar fundamental para la metodología Lean [7].

Esta metodología implica un cambio cultural en la organización de una empresa, requiriendo un gran compromiso por parte de la dirección para lograr una correcta implementación. El enfoque no solo busca mejorar la eficiencia operativa, sino también fomentar una mentalidad de mejora continua. Tradicionalmente, se utiliza el esquema de “Casa del Sistema de Producción de Toyota” [9] como una representación visual sobre la filosofía Lean y las herramientas para la implementación, encontrado en la Figura 2.1. Este esquema simboliza un sistema estructural robusto, en el que los cimientos y columnas son esenciales para garantizar una estabilidad en el sistema. En el techo se encuentran las metas fundamentales que se busca alcanzar, como la mejora en la calidad, reducción de costos y la seguridad. Estas son sostenidas por dos pilares esenciales, el “Just in Time” (JIT) y “Jidoka”. El JIT se refiere a la producción de un artículo indicado, en el momento exacto y la cantidad precisa. Por otro lado, “Jidoka” consiste en otorgar a las máquinas y operadores la habilidad para detectar anomalías y detener el proceso cuando se presenta una condición anormal, determinando causas del problema y eliminándolos de raíz de manera que no se propague a las siguientes etapas del proceso productivo.

En la base se encuentra la estandarización y estabilidad de los procesos, apoyado de la nivelación de la producción y la mejora continua, también denominada “Kaisen”. A estos cimientos tradicionales se le adiciona el factor humano, manifestado como el compromiso de la dirección, formulación de equipos de trabajo, capacitaciones constantes y motivación mediante recompensas.

Todos estos componentes que dan forma a la “Casa del Sistema de Producción de Toyota”, se desarrollan mediante la aplicación de diversas técnicas agrupadas según tres propósitos. Diagnóstico del sistema, uso operativo y seguimiento. Es importante abordar este esquema de manera flexible, ya que cada empresa debe desarrollar un plan de implementación de las metodologías Lean según su propio contexto operacional [9].

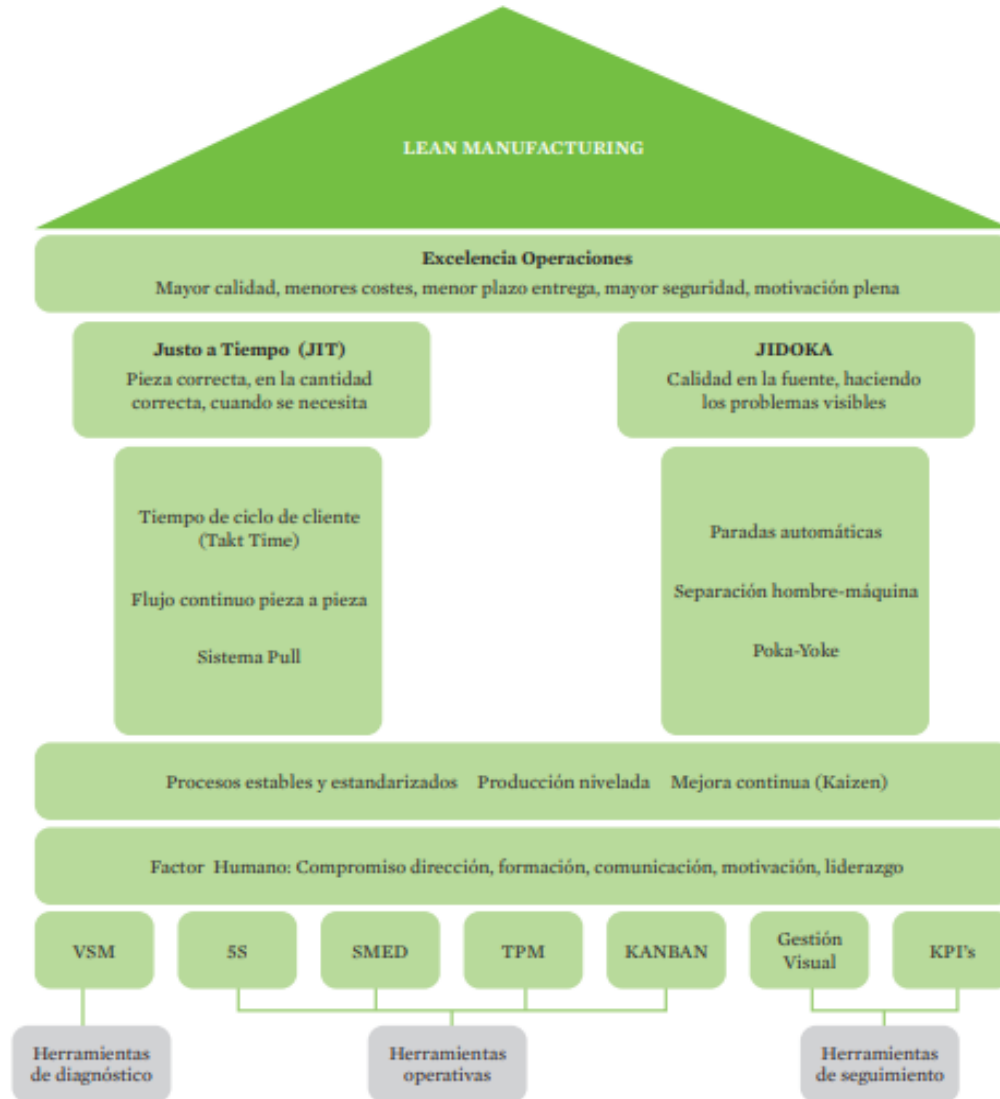


Figura 2.1 Esquema Casa de Producción Toyota [9]

### 2.1.1 Los 5 principios del pensamiento Lean

Womack y Jones plantearon las bases del pensamiento Lean en base a 5 principios fundamentales para la optimización de procesos y eliminación de desperdicios [10].

- **Valor específico:** El punto de partida para el pensamiento Lean es el valor, el cual es creado por el productor, pero es el cliente quien lo define mediante una necesidad que se busca suplir a partir de un producto con un costo y en un momento específico. Es crucial identificar qué es valioso para el cliente, enfocando los esfuerzos en desarrollar un producto que posea los requisitos deseados.
- **Cadena de Valor:** Es el conjunto de todas las actividades necesarias para la creación del producto, organizadas en tres pasos fundamentales. La **resolución del problema** se basa en la conceptualización de la idea hasta un diseño. La **gestión de la información** se refiere al flujo de datos, desde la identificación de necesidades del cliente, hasta la entrega del producto.

Finalmente, la **transformación física** es el proceso mediante el cual las materias primas se convierten en el producto terminado. En este segundo principio es esencial definir y potenciar las actividades que generen un valor para el producto y eliminar las que no lo hacen.

- **Flujo:** Una vez definido correctamente el valor e identificado una cadena de valor, se debe crear un flujo continuo de procesos, de modo que todas las actividades necesarias para el desarrollo del producto fluyan sin interrupción. De este modo, el tercer principio radica en establecer y facilitar un flujo continuo que promueva la creación de valor a lo largo de toda la cadena, en lugar de priorizar la especialización por departamentos.
- **Tirar:** Este principio elimina todos los elementos que busquen predecir la demanda y especular sobre intereses del cliente. Consiste en pasar de un sistema en el que la empresa “empuja” la producción hacia el cliente, a uno en el que el cliente es quien “tira” de la producción. Es decir, el cliente impulsa la producción, de modo que la empresa responda exactamente a sus necesidades.
- **Perfección:** Una vez que se implementan los cuatro principios anteriores, se debe fomentar un proceso iterativo donde la producción se va ajustando de forma constante, haciendo más visibles las pérdidas en la cadena de valor, para finalmente lograr entregar con mayor exactitud lo solicitado por el cliente, buscando la perfección.

### 2.1.2 Eliminación de desperdicios

Como se mencionó anteriormente, la eliminación de desperdicios es un principio fundamental en la metodología Lean, orientado a maximizar la eficiencia y crear valor para el cliente. Los desperdicios son cualquier actividad humana que utiliza recursos, pero no genera valor a los ojos del cliente. Es esencial que una empresa logre reducirlos a su mínima expresión, una vez conseguido esto, se dice que una empresa trabaja el “Just in Time”. A continuación, se explora los 7 principales desperdicios y cómo se relacionan al mantenimiento [7] [10].

- **Sobreproducción:** Se refiere a la producción excesiva de piezas y productos, realizando más de lo que se necesita, considerado como pérdidas de producción prematura. En el caso del mantenimiento, es un desperdicio poco común debido a la naturaleza de estos trabajos. Un ejemplo puede ser reparar muchos componentes para su uso inmediato sin que se necesiten.
- **Inventario:** Consiste en mantener en posesión productos y materiales innecesarios, provenientes de un mal cálculo de materiales a utilizar, acumular productos no terminados o productos terminados que aún no se entregan. Este desperdicio es significativo en el mantenimiento, ya que tener más materiales de los necesarios afecta la liquidez del proyecto.
- **Transporte:** Este desperdicio se refiere al transporte innecesario de materiales y activos que no agrega valor al producto, así como las múltiples transferencias de datos en espera de aprobación para poder utilizarse. En mantenimiento, es común encontrarse con este tipo de desperdicios, como el tiempo perdido trasladando personas, herramienta o materiales hacia y desde los puestos de trabajo. Generalmente, este desperdicio ocupa más de una cuarta parte del día de un mantenedor típico, por lo que es esencial contar con una planificación eficaz.
- **Espera:** Se considera un desperdicio a todo el tiempo que los trabajadores pierden al no poder realizar actividades que agreguen valor al producto. Esto incluye las esperas cuando una máquina no está disponible, espera por falta de materiales o espacio para trabajar y pérdidas de capacidad por cuellos de botella en las actividades. Este tiempo perdido es un desperdicio importante en el mantenimiento, ya que siempre se están esperando aprobaciones, operaciones,

entre otros. Es importante reducir estos tiempos mediante una buena planificación y programación.

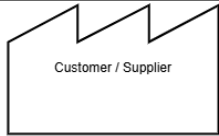
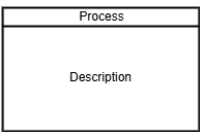

- **Movimiento:** Se refiere a cualquier movimiento físico de los trabajadores realizan en su lugar de trabajo. Estas pérdidas crecen cuando existen traslados innecesarios del personal para cambiar de actividad o desplazarse entre distintos frentes de trabajo. En mantenimiento, el movimiento desperdiciado es un área difícil de tratar, porque cada trabajo de mantenimiento es distinto, en algunos casos puede llegar a ser excesivo el movimiento de los trabajadores.
- **Sobre proceso:** Estas pérdidas se generan por actividades adicionales que no aportan valor al producto, como tareas innecesarias, o inspecciones que no agregan calidad. También incluyen productos que exceden las especificaciones denominadas por el cliente, generando sobre procesamiento. Este desperdicio es uno de los que más afecta al mantenimiento, ya que implica pérdidas significativas en tiempo, recursos, personas y otros activos.
- **Corrección:** Se refiere a los errores en productos o procesos que hacen necesaria una repetición del trabajo, causando devoluciones por parte de los clientes o el desecho de productos. Este desperdicio final afecta en gran medida al mantenimiento, ya que la corrección de fallos implica el uso adicional de herramientas, tiempo y personal. Para minimizarlo, es esencial contar con herramientas adecuadas, personal capacitado, piezas de calidad y sistemas de control, aunque la eliminación total es imposible de lograr.





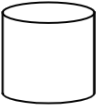


### 2.1.3 Mapa de Flujo de Valor (VSM)

El VSM o Value Stream Mappig es una herramienta que permite analizar visualmente y comprender el flujo de materia e información de un producto o servicio a medida que avanza a través de su flujo de valor. Esta permite identificar ineficiencias, tiempos de espera, cuellos de botella y mejorar la coordinación de cada una de las etapas del proceso estudiado, facilitando la toma de decisiones orientadas en la mejora continua y producción eficiente [11].

A continuación, en la Tabla 2 se detallan todos los principales símbolos que componen un mapeo de flujo de valor.

**Tabla 2 Principales símbolos de un VSM**

Símbolo	Nombre	Explicación
 Customer / Supplier	Cliente / Proveedor	Indica las entidades externas al proceso como proveedores y clientes
 Process Description	Caja de proceso	Describe cualquier etapa o actividad del proceso de producción.
	Inventario	Indica un punto donde se almacena inventario dentro del proceso y su cantidad

	Flecha de flujo	Muestra el movimiento de materiales entre los procesos
	Línea de tiempo	Una línea de tiempo que indica las horas de cada proceso
	Flecha de información manual	Indica el envío de información en papel o comunicado
	Flecha de información electrónica	Indica el flujo de información electrónica entre los procesos o sistemas
	MRP/ERP	Señala los sistemas de planificación y gestión utilizados en el proceso
	Operador	Indica que existe un personal directamente involucrado en la operación de la actividad
	Problema de calidad	Identifica una actividad donde existen problemas relacionados con la calidad

### 2.1.4 Calidad Lean

La metodología Lean busca eliminar completamente los reprocesos, con la premisa de que la calidad es fundamental para esto. Sin un modelo de calidad bien establecido, no se pueden mitigar los errores en trabajos realizados, haciendo perder tiempo de los mantenedores, de las máquinas, piezas y materiales desperdiciados.

La calidad es el punto de partida para el progreso hacia una metodología Lean enfocada en la eficiencia y la eliminación de desperdicios. Por lo que se plantean los siguientes elementos del trabajo de mantenimiento que deben estar presentes para garantizar la calidad [7].

- Personas con las capacidades adecuadas para realizar los trabajos.
- Piezas, materiales, suministros y herramientas correctas.
- Equipos adecuados y especializados para el trabajo.
- Equipo de protección personal adecuado y bien utilizado.
- Permisos de trabajo, bloqueos de equipos y control de activos.
- Infraestructura segura y adecuada.
- Dibujos, diagramas, procedimientos e instructivos requeridos.
- Detección y eliminación adecuada de desperdicios.

En Lean Maintenance [7], se mencionan varios enfoques sobre la calidad, el adoptado por los creadores de este libro fue el promulgado por “W. Edwards Deming”, el cual impartió lecciones a los

japoneses en 1950, con el propósito de establecer un mantenimiento de calidad. En el siguiente apartado (2.2), se presentan los modelos de gestión de calidad estudiados, principalmente el establecido por Deming.

## 2.2 Modelos de gestión de calidad

La calidad es un concepto fundamental en la gestión de empresas e industrias. Grandes expertos en la materia tienen sus propias definiciones para este concepto, algunas son: A. Feigenbaum que define calidad como “El conjunto total de características del producto (bien o servicio) de marketing, ingeniería, fabricación y mantenimiento a través del cual satisface las expectativas del cliente” [12], W.E. Deming “Un grado predecible de uniformidad y habilidad a bajo costo y adecuado a las necesidades del mercado [13], J.M. Juran “la idoneidad o aptitud para el uso” [14], con estas y otras definiciones, se obtienen cuatro puntos principales que definen el concepto de “calidad”.

- La calidad depende de las propiedades y características del producto o servicio.
- Un producto o servicio, para que sea de calidad, debe satisfacer las necesidades del consumidor.
- Los productos de calidad deben cumplir especificaciones o requisitos.
- Debe ser apto para su uso.

La gestión de calidad abarca todas las actividades y procesos destinados a asegurar que las operaciones y productos de una organización sean consistentes, efectivos y que se cumplan los estándares de desempeño. Dentro de este marco, muchos modelos de gestión de calidad han surgido como herramientas claves para mejorar y controlar la calidad de manera continua, enfocado en la mejora de procesos, la eficiencia operativa y la satisfacción al cliente.

Las empresas están en la búsqueda constante del aumento de la productividad, la cual se define como el cociente entre la producción obtenida y los recursos empleados. Esta es la principal razón para implementar un sistema de gestión de calidad. Este concepto está respaldado por la “Reacción en cadena de Deming” [13], la cual define que invertir en un sistema de gestión de calidad genera naturalmente una reacción en cadena que aumenta en la productividad, reducción de costos, disminuye los precios y un aumento de beneficios. En la Figura 2.2 se presenta esquemáticamente la reacción en cadena de Deming. Calidad y productividad.



**Figura 2.2 Reacción en cadena de Deming. Calidad y productividad**

Deming plantea que la calidad debe establecerse como una cultura adoptada por todos los trabajadores de una empresa, desde los ejecutores de las tareas hasta la dirección. Los 14 puntos de Deming son la base para la transformación de una industria hacia la calidad. La adopción de estos puntos es una señal de que la dirección tiene la intención de apuntar hacia un cambio en la cultura de calidad de

una empresa. Joel Levitt tomo de base los 14 puntos originales y los adapto al mantenimiento, teniendo como resultado los listados a continuación [7] [13].

1. Crear constancia de propósito hacia la mejora de productos y servicios. Los grandes activos tardan algún tiempo en deteriorarse. Sólo un departamento con una visión a largo plazo y un objetivo coherente podrá captar los problemas emergentes.
2. Adoptar la nueva filosofía. Los directivos deben ser conscientes de los retos de la nueva era económica, deben aprender sus responsabilidades y hacerse cargo del liderazgo.
3. En mantenimiento y reparación de máquinas, es importante la inspección del trabajo realizado. Pero, por sí sola, la inspección nunca garantizará la calidad. Se debe incorporar la calidad al proceso.
4. Poner fin a la práctica de adjudicar negocios basándose únicamente en el precio. En lugar de aceptar una oferta baja, se debe minimizar el coste total. En algunas áreas, el costo absoluto de un trabajo es importante, pero en el mantenimiento, el activo estará presente por un tiempo, por lo que la calidad se vuelve mucho más importante.
5. Mejorar constantemente el sistema de mantenimiento y servicio, para mejorar la calidad y productividad, para así reducir costos constantemente.
6. Instituir capacitaciones en el trabajo. Alrededor del 85% de todos los conocimientos de mantenimiento se transmiten en el trabajo, lo que refleja la importancia de la formación de los empleados.
7. Relacionado con el punto anterior, se encuentra la necesidad de desarrollar a los trabajadores, eso se diferencia de la formación en el sentido que el desarrollo está dedicado a que todas las personas alcancen su mejor nivel personal.
8. El liderazgo marca una gran diferencia. Los trabajadores de mantenimiento seguirán a un buen líder y continuarán trabajando incluso cuando el jefe no esté presente. El objetivo de la supervisión es ayudar a las personas y las máquinas a hacer un mejor trabajo.
9. Considerar otras alternativas antes del despido. Eliminar el miedo a perder el empleo, para que todos puedan trabajar eficazmente sin tener esa presión. Además, la empresa debe reunir ahorros durante las épocas de mayor ingreso para financiar proyectos en épocas de escasez.
10. Derribar las barreras entre departamentos para que exista un flujo de información constante entre las distintas áreas de la empresa. Se necesita la experiencia de todos para lograr un mantenimiento eficiente y una mejora constante.
11. La mayor parte de los problemas de calidad y producción pertenecen al sistema, no a la gente. Por lo tanto, eliminar lemas y objetivos para la fuerza laboral que pidan cosas como cero defectos o nuevos niveles de producción. Tales exhortaciones crean relaciones de confrontación y no abordan el problema real.
12. Eliminar normas o cuotas de trabajo, porque la velocidad de trabajo está regulada por el sistema. Los sistemas más eficientes conducirán naturalmente a una reducción de tiempo.
13. Eliminar barreras que privan al trabajador su derecho de sentirse orgulloso de su trabajo.
14. Poner a toda la organización a trabajar para lograr el cambio. Esta transformación es tarea de todos.

### **2.2.1 Ciclo de Deming**

El Ciclo de Deming, también conocido como Ciclo PDCA, es un procedimiento que define la filosofía de la gestión de calidad y la mejora continua, aplicable a cualquier etapa de trabajo de una empresa. Comienza con la planificación (Plan), que permite definir un plan para obtener una determinada

mejora, y continúa con la acción de hacer (Do), que consiste en poner en práctica lo planificado. Luego se verifica (Check) y, en función de los resultados obtenidos, se actúa (Act) proponiendo mejoras y modificando la planificación [13] [15]. En la Figura 2.3 se encuentra el diagrama del Ciclo Deming.

Es un ciclo cerrado en el cual, una vez realizada la mejora, se debe volver a proponer nuevos objetivos ya verificarse continuamente. Lo importante para un sistema de gestión de la calidad, es que el ciclo sea movido continuamente.

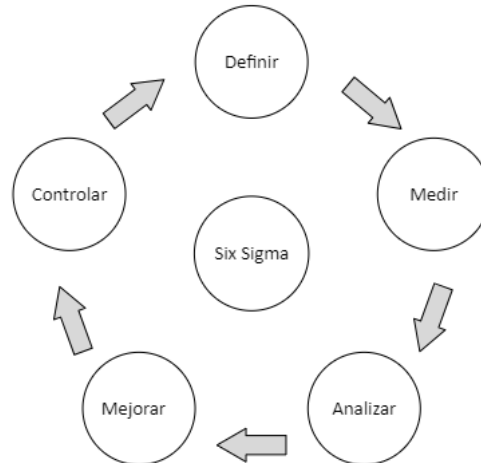


**Figura 2.3 Diagrama Ciclo Deming**

### 2.2.2 Six Sigma “ $\sigma$ ”

Six Sigma es una metodología orientada a la mejora continua, basándose en datos busca encontrar y eliminar causas de errores o defectos en los procesos, enfocándose en las variables de importancia crítica para los consumidores, es decir, es una forma de mejorar los procesos continuamente. Se recomienda utilizarla para problemas complejos cuando los riesgos de las soluciones son muy altos [16].

La letra griega minúscula sigma “ $\sigma$ ”, se usa como símbolo de la desviación estándar, siendo ésta una forma estadística de describir cuánta variación existe en un conjunto de datos. La meta de Six Sigma es alcanzar un máximo de 3,4 defectos por millón de oportunidad, considerando como defecto cualquier incumplimiento de los requisitos del cliente. Esta metodología sigue un enfoque estructurado en cinco fases: definir, medir, analizar, mejorar y controlar, “DMAIC” por sus siglas en inglés [9] [16]. En la Figura 2.4 se presenta el ciclo de la metodología Six Sigma.



**Figura 2.4 Diagrama Ciclo Six Sigma**

Cada etapa tiene un propósito específico definidos a continuación:

- **Definir:** Establecer métricas y su impacto en el cliente, con el fin que el equipo de trabajo llegue a un acuerdo sobre el alcance, metas, objetivos y las características críticas a la calidad. Se utilizan herramientas como mapas de procesos y diagramas de flujo.
- **Medir:** Esta etapa se centra en comprender a fondo el estado actual del proceso o características del producto, basándose en las métricas definidas y recopilando datos confiables, los cuales serán útiles para identificar las causas subyacentes de los problemas. Se utilizan herramientas como Diagrama de Pareto, Matriz Causa Efecto y Benchmarking.
- **Analizar:** Identificar y verificar las causas que afectan las variables claves de entrada y salida, vinculadas a las metas de implementación de mejora. Se usan herramientas como estudios multivariados, modelos de regresión y análisis FMECA.
- **Mejorar:** Aprender de los planes piloto de las soluciones e identificar las características del proceso que se puede mejorar. Se define un plan de acción enfocado a atacar las causas raíz y mejorar los indicadores seleccionados anteriormente. Se utilizan herramientas como diseño de experimentos y diseño de procesos.
- **Control:** Se completa el trabajo, se entrega el proceso mejorado y se definen mecanismos de control que aseguren que las acciones tomadas en la etapa de mejoramiento no sean descuidadas. Las herramientas para utilizar en este paso son los gráficos de control, planes de control y la revisión del FMECA.

### 2.2.3 Gestión de Calidad Total

El termino Gestión de Calidad Total o TQM es un modelo o filosofía de gestión de todas las actividades de la empresa encaminado a satisfacer las necesidades de los clientes, ofreciendo un valor agregado a los productos y servicios, incorporando el factor humano como herramienta de mejora de calidad. La Calidad Total incluye todas las funciones y fases que intervienen en la vida de un producto o servicio, involucrando a todo el personal. Los lineamientos principales sobre este tema fueron descritos por Feigenbaum, Juran y Deming [12] [13] [14].

### Objetivos de la Calidad Total:

- La Calidad Total engloba la inspección, el control de procesos, la gestión integral y además incluye el factor humano como elemento primordial en el establecimiento de gestión de calidad.
- Además de considerar la calidad de los productos y los servicios, esta se extiende a todas las áreas y actividades de la empresa.
- Todas las personas que conforman la organización son responsables y deben fomentar la mejora continua de la calidad.
- La formación, la motivación y los recursos son elementos necesarios para fomentar políticas de calidad.
- La participación, la comunicación y la información son aspectos fundamentales que deben fomentarse en las organizaciones que deseen practicar una gestión de la calidad basada en estos principios.

Es esencial que las empresas adopten la Calidad Total como una cultura general de todas las personas, trabajando todos con el objetivo de implementar un sistema, que enmarcara una estructura de trabajo operativa acordada por toda la empresa y en toda la planta, documentada en procedimientos técnicos y de gestión integrada, para guiar las acciones coordinadas de la fuerza de trabajo y la utilización de los equipos hacia la satisfacción del cliente, el cual es el objetivo principal [12].

Uno de los aspectos necesarios para conseguir la Calidad Total es una empresa es la implicación absoluta de todos los empleados y para ello debe motivar a toda la organización hacia la calidad, en [15] se plantean las siguientes técnicas para aumentar la motivación del personal:

- Mejora de las condiciones laborales.
- Enriquecimiento del puesto de trabajo.
- Participación y delegación.
- Reconocimiento.
- Establecimiento de objetivos.

#### **2.2.4 Norma ISO 9001 - Sistema de gestión de calidad - Requisitos**

La familia de Normas ISO 9000, tienen como objetivo definir los componentes principales de un sistema de gestión de calidad (SGC) y su implementación en cualquier tipo de empresa. La Norma ISO 9000:2015 proporciona los principios y el vocabulario utilizado en las demás normas de la serie. Por otro lado, la ISO 9001:2015 especifica los requisitos necesarios para asegurar la eficiencia de un SGC y es la única que puede ser certificada.

La Norma ISO 9001:2015 es la encargada de establecer los requisitos para un SGC eficaz, con una estructura de alto nivel, donde define los conceptos principales nombrados dentro de la norma. El procedimiento se enmarca en el ciclo de Deming presentado anteriormente en este capítulo, presentando una visión más amplia de este mismo y relacionando sus distintas partes a los respectivos capítulos dentro de la norma misma. En la Figura 2.5 se presenta la estructura de esta en base al ciclo de Deming [17].

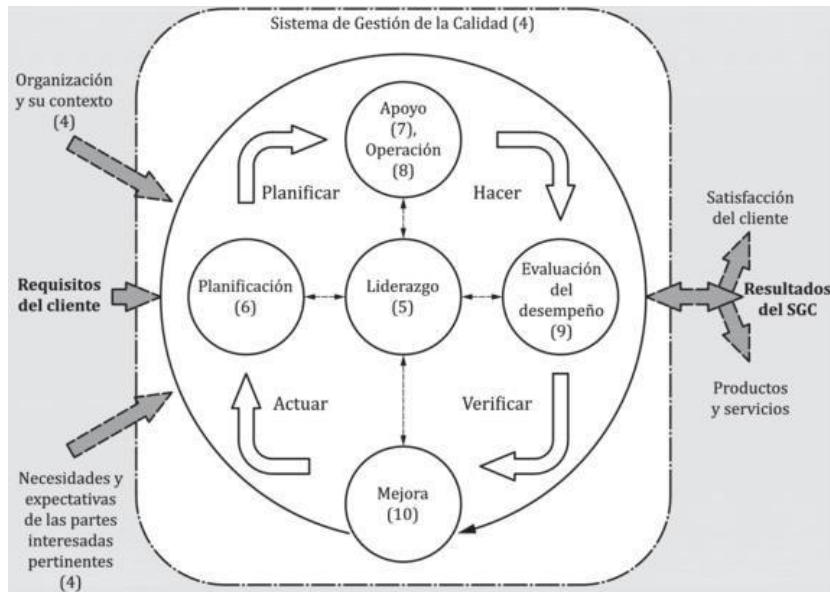


Figura 2.5 Representación de la estructura de la Norma ISO 9001 con el ciclo Deming [17]

La Norma está compuesta por diez capítulos y una introducción, donde los primeros tres corresponden a aspectos generales y los otros 7 se establecen los requisitos que debe cumplir un SGC para poder certificarse mediante esta norma. A continuación, se detalla el contenido de cada capítulo.

1. **Objeto y campo de aplicación:** Se describe como objetivo principal el establecimiento y especificaciones de los requisitos que debe cumplir un sistema de gestión de calidad y sus alcances cuando una organización necesita demostrar capacidad de proporcionar un producto o servicio que satisfaga los requisitos del cliente y aspirar a aumentar la satisfacción de ellos a través de la aplicación eficaz de este sistema.
2. **Referencias normativas:** Este capítulo corresponde a las referencias normativas, donde se presenta la norma ISO 9000:2015, “Sistema de gestión de la calidad, fundamentos y vocabulario”.
3. **Términos y definiciones:** Se referencia la norma ISO 9000:2015, teniendo como principales definiciones:
  - **Calidad:** Una organización orientada a la calidad promueve un cambio cultural, dando como resultados comportamientos, actividades y procesos que promueven las necesidades de los clientes.
  - **Sistema de gestión de calidad:** Actividades mediante las que la organización identifica objetivos y determina los procesos requeridos para proporcionar valor y lograr los resultados esperados.
  - **Proceso:** Conjunto de actividades mutuamente relacionadas que utilizan las entradas transformándolos en elementos de salida o productos.
4. **Contexto de la organización:** En este capítulo se establece la importancia de la comprensión de las expectativas y necesidades de las partes interesadas, se debe determinar el alcance del sistema de gestión de calidad y que cada proceso debe tener definidas sus características como los recursos, interacciones, entradas y salidas.
5. **Liderazgo:** Se plantean los requisitos referidos a los compromisos que deben adoptar los distintos niveles de la organización, el establecimiento de las políticas de calidad, roles y responsabilidades que se deben asignar a los distintos encargados.

6. **Planificación:** Son las acciones que se llevarán a cabo para abordar los riesgos y oportunidades que se presentan en el SGC. A su vez, aborda la planificación de los objetivos de calidad y como lograr llegar a ellos, además de una planificación de los cambios que pueden hacerse al SGC a lo largo del tiempo.
7. **Apoyo:** Se establecen todos los componentes requeridos para diseñar, implementar, mantener y mejorar el SGC. Definiendo cantidad de personas, infraestructura, equipos, ambiente, conocimientos y un método para mantenerlos. Se establecen los requisitos sobre las competencias del personal, las estrategias de comunicación y la importancia de documentar la información con fácil acceso a ella.
8. **Operación:** En este capítulo se explican los requisitos sobre la definición, planificación, implementación y control de todos los procesos necesarios para cumplir los requisitos del producto o servicio. Como también definir las no conformidades, trazabilidad y proveedores externos.
9. **Evaluación de desempeño:** Presenta los requisitos para mecanismos de seguimiento, medición, análisis y evaluación del SGC implementado. Como también los mecanismos de seguimiento del cumplimiento de los planes y objetivos de la empresa.
10. **Mejora:** El último capítulo establece que se debe diseñar un mecanismo de mejora continua de los procesos del SGC e implementar acciones necesarias para cumplir los requisitos del cliente. Como las acciones correctivas cuando se identifiquen no conformidades.

### 2.2.5 Norma ISO 10005 – Sistema de gestión de calidad – Directrices para los planes de la calidad.

Esta norma cumple el objetivo de satisfacer la necesidad de una orientación para los planes de calidad, basada en los principios de gestión de la calidad descritos en Norma ISO 9000 y los requisitos de la Norma ISO 9001 para el establecimiento de un sistema de gestión de calidad. Este documento se utiliza netamente para orientar el desarrollo del manual de calidad, complementando y no reemplazando la norma principal [18].

Está compuesta por una introducción donde explica conceptos fundamentales, similar a la norma base. Los capítulos del 1 a 3 proporcionan información básica, como los objetivos, campos de aplicación, referencias, normativas, términos y definiciones. El capítulo 4 resume la manera en la que puede usarse un plan de calidad. El capítulo 5 el proceso de desarrollo de un plan de calidad. El capítulo 6 describe el contenido típico de un plan de calidad y el capítulo 7 describe la operación y control de un plan de calidad.

Los capítulos principales utilizados para complementar los requisitos establecidos por la norma ISO 9001 son el 5 y 6. A continuación, se explica cada uno detalladamente.

El Capítulo 5 se denomina desarrollo de un plan de la calidad, en el cual se describe el proceso para la formulación de este.

1. **Contexto del plan de calidad:** El primer paso es comprender el contexto al cual estará expuesto el plan de calidad, proporcionando una base para determinar los riesgos y oportunidades a abordar.
2. **Entradas al plan de calidad:** La organización debe determinar las entradas al plan de calidad, estas son los elementos claves que influyen en el diseño y la ejecución del plan. Como los

requisitos del cliente, necesidades de los usuarios del plan de calidad, requisitos de casos específicos, disponibilidad de recursos, entre otros.

3. **Definición de alcances:** La organización debe determinar los alcances, es decir, lo que será cubierto por el plan de calidad. Estos dependerán de los requisitos del cliente, tipos de productos o servicios prestados, procesos de la organización, recursos, entre otros.
4. **Preparación del plan de calidad:** En primer lugar, se deben determinar los respectivos roles, responsabilidades y autoridades con respecto al plan de calidad. Luego se procede con la definición del plan de calidad, indicando como se llevarán a cabo las actividades requeridas, ya sea directamente o por referencia de otros documentos. El siguiente paso consiste en la revisión de coherencia del plan con los alcances, las entradas, las necesidades del usuario y los resultados previstos. Por último, se debe seleccionar una estructura para presentar el plan, entre las cuales se encuentra una representación gráfica, instrucciones de trabajo escritas, medios visuales, aplicaciones de software o una combinación de los anteriores.

El Capítulo 6 define el contenido que debería considerarse para incluir en un plan de calidad:

1. **Alcance del plan de calidad:** Declaración de finalidad y resultados, casos específicos donde se aplicará y condiciones de validez.
2. **Entradas del plan de calidad:** Lista o descripción de las entradas del plan de calidad descritas en el capítulo 5 detallado anteriormente.
3. **Objetivos de calidad:** El plan debe contener los objetivos de la calidad para el caso específico de la organización y como se lograrán.
4. **Responsabilidades del plan de calidad:** Se deben identificar a las personas responsables de asegurar que las actividades y recursos para llevar a cabo el plan de planifiquen, implementen y controles. Personal encargado de revisar las entradas del plan, comunicar requisitos a las distintas áreas o proveedores externos, revisar auditorías, cambios o desviaciones del plan.
5. **Control de la información documentada:** Se debe establecer como se identificará la información documentada, quien la revisará, como se controlará la distribución y donde se almacenará.
6. **Recursos:** Se debe especificar el tipo y cantidad de recursos que se necesitaran, los materiales, productos y servicios específicos, definir el personal y cuál será la formación necesaria que deben cumplir, la infraestructura y ambiente, por último, definir recursos de seguimiento y medición.
7. **Comunicación con los clientes y otras partes interesadas:** Se debe establecer el responsable de la comunicación con el cliente, el método, cuando será necesario, el procedimiento y la información documentada que debería conservarse.
8. **Diseño y desarrollo:** El plan de calidad debe hacer referencia a los procesos de diseño y desarrollo en el que se busca gestionar la calidad, además se debe establecer el control de los cambios de diseño y desarrollo cuando no se cumplan los requisitos de calidad.
9. **Procesos, productos y servicios proporcionados externamente:** Se debe determinar las características críticas de procesos, productos y servicios proporcionados por empresas externas para determinar un control sobre los requisitos de calidad.
10. **Producción y provisión de servicios:** La producción y la provisión de servicios, junto con los procesos de seguimiento y medición, son la parte principal del plan de calidad. Se debe validar los procesos de producción y servicio para asegurar la calidad de las salidas requeridas. El plan debe especificar las entradas, procesos y salidas en base a los objetivos establecidos anteriormente.

11. **Identificación y trazabilidad:** Se debe establecer como identificar los requisitos pertinentes a la trazabilidad de la información, como se conservará para proporcionar evidencia del cumplimiento de los requisitos de calidad y definir los requisitos para identificar el estado de las inspecciones.
12. **Propiedad perteneciente a clientes o proveedores externos:** Se debe identificar y controlar los productos y servicios proporcionados por los proveedores externos. Además, los métodos para verificar que estos productos y servicios cumplan los requisitos especificados.
13. **Preservación de las salidas:** El plan debe establecer requisitos para la aseguración de que las características de las salidas del proceso no se degraden.
14. **Control de las salidas no conformes:** Se debe identificar y controlar las salidas no conformes, definiendo limitaciones específicas, tales como el grado o tipo de reproceso o reparación permitida, y cómo se autorizará.
15. **Seguimiento y medición:** Se deben establecer los procesos de seguimiento y medición que obtendrán evidencia objetiva de las conformidades requeridas. Indicando las etapas donde aplicarlas, criterios de aceptación, seguimiento de características específicas de calidad y el seguimiento y medición de procesos que produzcan las salidas del proyecto.
16. **Auditorías:** El plan debe especificar el tipo de auditorías que se llevaran a cabo, la naturaleza, la extensión y como se procederá con los resultados de estas.

#### 2.2.6 Norma ISO 55001 – Gestión de activos – Sistema de gestión - Requisitos

A continuación, se realiza una revisión de la norma ISO 55001, enfocada únicamente en los requisitos que guardan relación directa con la gestión de calidad. Aunque esta norma está enfocada en un sistema de gestión de activos (SGA), su integración permite fortalecer un sistema de gestión de calidad robusto y completo [19]

1. **Contexto de la Organización:** El SGC debe alinearse con el contexto estratégico de la empresa considerando los desafíos internos y externos relacionados a la gestión de activos. Eso implica identificar problemas claves que puedan impactar tanto los objetivos operacionales de la planta como la capacidad de los activos para generar valor. Una alineación adecuada garantiza que las estrategias de calidad respalden las metas del SGA.
2. **Planificación:** Se deben identificar y gestionar los riesgos que a raíz de un resultado de calidad puedan afectar directamente al SGA, como también establecer objetivos claros y medibles alineados con las estrategias de calidad y operacionales de los activos. Este enfoque asegura una integración efectiva entre ambos sistemas de gestión.
3. **Operación:** La implementación y control de los procesos operativos deben alinearse con los objetivos de calidad, garantizando que las actividades clave contribuyan también al SGA. Se enfatiza en la gestión cuidadosa de los cambios operativos y el control de riesgos asociados, para asegurar que los procesos no solo cumplan con los requisitos de calidad, sino que también mejoren la eficiencia y efectividad del SGA.
4. **Evaluación del Desempeño:** Este apartado resalta la importancia del monitoreo continuo y evaluación del desempeño de los activos críticos, esto se relaciona con el SGC evaluando si los procesos cumplen con los estándares de calidad establecidos, lo cual estará directamente relacionado con el cumplimiento de los objetivos del SGA.
5. **Mejora:** La mejora continua es un principio fundamental para ambos sistemas de gestión, ya que garantiza la sostenibilidad y eficacia a largo plazo. Implementando acciones correctivas, revisión y optimización constante de los procesos.

## 2.3 Gestión de mantenimiento

La gestión del mantenimiento es un pilar fundamental en el ámbito minero, esencialmente en una planta concentradora, donde la continuidad y eficiencia tienen un impacto directo en la productividad y seguridad operacional de los equipos. En el Mourbray se define mantenimiento como “asegurar que los activos físicos continúen haciendo lo que sus usuarios quieren que haga”. Por otro lado, el mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) se define como “un proceso utilizado para determinar qué se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional” [5]. Otras fuentes definen la función principal del mantenimiento como “maximizar la disponibilidad que se requiere para la producción de bienes y servicios, al preservar el valor de las instalaciones, para minimizar el deterioro de los equipos, lo cual se debe lograr con el menor costo posible y a largo plazo” [6].

El mantenimiento ha evolucionado de la intervención correctiva a los equipos una vez ocurrida la falla, a un enfoque proactivo, tales como el mantenimiento preventivo y predictivo, que busca maximizar la vida útil de los activos y minimizar el tiempo de detenciones no planificadas, buscando adelantarse a los problemas, utilizando herramientas de monitoreo y análisis de causa raíz, para evitar las paradas no programadas y mejorar la confiabilidad de los equipos a lo largo de su ciclo de vida.

Los principales objetivos del mantenimiento:

- Asegurar la óptima disponibilidad y mantener la fiabilidad de los sistemas, instalaciones, máquinas y equipos.
- Reparar las averías en el menor tiempo posible.
- Reducir a su mínima expresión las fallas.
- Aumentar la vida útil de las máquinas e instalaciones.
- Manejo óptimo de stock.
- Manejarse dentro de costos anuales regulares.
- Mantener un nivel de calidad requerida en reparaciones.
- Mantener un funcionamiento regular de la producción.
- Controlar el rendimiento de los equipos.

Para medir estos conceptos se recurre a los indicadores clave de desempeño (KPI), como el tiempo medio entre fallas (MTBF), el tiempo medio de reparación (MTTR) y la disponibilidad, definido como la probabilidad de que un equipo funcione satisfactoriamente en el momento que sea requerido después del comienzo de su operación [6]. Estos conceptos se introdujeron en el apartado 1.3 de este informe.

### 2.3.1 Tipos de mantenimiento

A continuación, se presentan los principales tipos de mantenimiento utilizados en la industria [20]

- **Mantenimiento Correctivo:** Es el tipo de mantenimiento más antiguo, el cual utiliza un método pasivo basado en la espera de la falla para intervenir, luego de que se ha producido la misma. Este es el más fácil de implementar, sin embargo, permite que ocurra el fallo en un

componente de una máquina, lo que provoca un costo elevado. Además, estos fallos pueden ocurrir en horarios inconvenientes donde el personal no esté disponible para su reparación y se verá perjudicado el proceso de producción.

- **Mantenimiento Preventivo:** Es un método basado en la intervención programada de acuerdo con un plan temporal establecido o a inspecciones periódicas. En definitiva, se trata de dotar a la organización, de un sistema que le permita detectar y corregir el origen de las posibles fallas técnicas antes de que ocurra la falla. En este caso, es esencial contar con planes de mantención eficientes, ya que algunas fallas pueden presentarse entre los intervalos de reparación o pueden desmontarse componentes en buenas condiciones innecesariamente.
- **Mantenimiento Predictivo:** Consiste en análisis de la evolución de distintos parámetros de funcionamiento de los equipos, cuyo diagnóstico permite detectar una falla antes de que esta ocurra o tenga consecuencias más graves. Permitiendo mantener un mayor tiempo el funcionamiento de la planta. Para ello es necesario manejar técnicas de medición de síntomas clásicos como temperatura, vibraciones, análisis de aceite, ultrasonido, entre otras.

### 2.3.2 RCM

La confiabilidad se define como la probabilidad de que un equipo desempeñe satisfactoriamente las funciones para las que fue diseñado durante un período de tiempo específico y bajo condiciones normales de operación y entorno. Este es un factor clave para garantizar la continuidad operativa de una planta industrial, reducir costos asociados a fallas, optimizar el desempeño de los activos y mantener estándares de seguridad. Si un equipo no presenta fallas, se considera como 100% confiable, si la frecuencia de fallas es baja, la confiabilidad es aceptable, pero si la tasa de fallas es alta, el equipo se considera poco confiable. Este concepto está directamente relacionado con la calidad, ya que una baja calidad en el diseño o mantenimiento de un activo reduce su confiabilidad, mientras que un alto estándar de calidad contribuye a mejorarla [6].

El mantenimiento centrado en confiabilidad o RCM, es una metodología de mantenimiento que busca optimizar la gestión de los activos de una empresa mediante un análisis estructurado y basado en la confiabilidad. Su propósito es determinar las estrategias de mantenimiento más adecuadas para mejorar las funciones de los activos y manejar las consecuencias de sus fallas. Los principales objetivos del RCM son reducir las ocurrencias de fallas inesperadas, incremento de la confiabilidad operativa, la optimización de recursos de mantenimiento y la garantía de seguridad operativa de los sistemas. Estos objetivos permiten a una empresa tomar decisiones informadas, permitiendo seleccionar las mejores estrategias de mantenimiento según las necesidades específicas de los equipos. A partir de un análisis RCM se obtienen tres resultados tangibles:

- Planes de mantenimiento.
- Procedimientos de operación revisados y verificados.
- Rediseño de activos físicos o ajustes a su operación para manejar situaciones en las que no se puede alcanzar el rendimiento esperado.

### **2.3.3 Fallas funcionales**

El mantenimiento define sus objetivos a partir de las funciones y expectativas de funcionamiento de los activos. La única razón por la cual un equipo deja de cumplir su función es debido a una falla, por lo que la gestión del mantenimiento basa sus estrategias en prevenir y mitigar dichas fallas. Sin embargo, antes de aplicar las herramientas para su prevención, es necesario identificar qué fallas pueden ocurrir en un determinado activo.

El modo de falla se refiere a los eventos que, de manera razonablemente posible pueden haber causado cada estado de falla [5]. En otras palabras, son las formas en las que un componente o sistema deja de cumplir su función. La mayoría de los modos de fallas ocurren debido al deterioro o desgaste por el uso normal de los equipos, pero también se debe tener en cuenta las fallas causadas por errores humanos y defectos de diseño.

El efecto de la falla es el impacto inmediato que tiene un modo de falla en un determinado equipo o sistema. Estos impactos pueden ser físicos, como el aumento de temperatura o vibración, o funcionales que impiden el cumplimiento de las especificaciones operativas del activo. Para realizar un buen estudio en base a RCM, es necesario determinar qué evidencia existe sobre las fallas ocurridas, de qué manera representa una amenaza, cómo afecta la producción, qué daños físicos han provocado y qué medidas deben tomarse para corregirlas [5].

Las consecuencias de falla representan el impacto más amplio que una falla puede producir en términos de seguridad, medioambiente, operación, calidad del producto y costos. A diferencia de los efectos de falla, que solo se limita a estudiar el componente, las consecuencias de falla consideran su repercusión en todo el sistema y la empresa. Un punto fuerte del RCM es reconocer que las consecuencias de las fallas son más relevantes que el efecto inmediato en el activo. Esto respalda la importancia del mantenimiento preventivo y predictivo, cuyo objetivo no es solo evitar la falla del activo en sí, sino reducir el impacto que dicha falla puede tener en la operación global de la empresa [5].

### **2.3.4 Análisis de causa raíz (RCFA)**

El Análisis de causa raíz o RCFA, es una metodología estructurada utilizada para la identificación y resolución de fallas en un sistema, basado en un enfoque lógico y en el uso de árboles de causas. Permite representar visualmente la secuencia de eventos que conllevan a una falla, facilitando la identificación de cada una de sus causas mediante un proceso de razonamiento deductivo. Con RCFA es posible alcanzar hasta tres niveles de profundidad en el análisis, permitiendo abordar y eliminar las causas subyacentes en lugar de limitarse solo a los síntomas del problema. Entre sus principales beneficios se destacan la posibilidad de establecer patrones de fallas en equipos, alta efectividad en el diagnóstico de causas, optimización de condiciones de seguridad, reducción de tiempos de inactividad y mejora en la disponibilidad de los equipos [6].

El RCFA sigue una serie de pasos estructurados para identificar y eliminar las causas de falla [6]:

1. Primero se debe responder de manera inmediata a cualquier condición fuera de los estándares, almacenando la mayor cantidad de evidencia, como fotografías, videos, elementos dañados y mediciones de parámetros del equipo al momento del incidente.
2. El segundo paso consiste en formar un grupo encargado del RCFA, donde los miembros deben contar con conocimiento técnico de los equipos y una formación en análisis de fallas. Deben operar bajo un sistema estructurado, con reuniones periódicas y representantes de distintos niveles jerárquicos, asegurando una visión integral del problema.
3. La tercera fase consiste en un análisis detallado de la falla para identificar sus causas inmediatas, básicas y raíz. Se aplican técnicas de verificación y formulación de hipótesis hasta validar cada nivel de causalidad. Una vez se logra determinar la causa raíz, se definen estrategias de control, asignando responsables y recursos.
4. El cuarto paso consiste en documentar el proceso en medios físicos y digitales, asegurando que toda la información relevante quede registrada y difundida dentro de la empresa. Es fundamental que el conocimiento adquirido sea accesible para todos, con el objetivo de evitar la recurrencia de la falla y fomentar la mejora continua.
5. En el quinto paso, se debe establecer un monitoreo permanente de la implementación de las soluciones, verificando su efectividad en el tiempo mediante la evaluación del cumplimiento de las estrategias y controles definidos. Este último paso permite realizar ajustes cuando sea necesario y consolidar mejoras sostenibles en la gestión del mantenimiento y la confiabilidad operativa.

### 2.3.5 Análisis de modos, efectos y criticidad de fallas

El Análisis de modos, efectos y criticidad de fallas o FMECA es una metodología sistemática que identifica, evalúa y prioriza los componentes con sus respectivos modos de falla de un sistema. Este tiene como objetivos mejorar la confiabilidad, la seguridad, la mantenibilidad de los activos, facilitar la priorización de recursos para mantenimiento, identificar puntos débiles de diseño y contribuir a la toma de decisiones informada y basada en riesgos. Su aplicación parte del conocimiento previo sobre los modos de falla y el análisis RCFA [6].

Los elementos que componen un FMECA son [6]:

- **Modos de falla:** Son las formas o maneras específicas en las que un equipo o componente podría fallar. Comúnmente se utiliza la siguiente clasificación:
  - Falla completa: Se pierde totalmente la función del sistema o equipo.
  - Falla parcial: El sistema opera con posibles restricciones.
  - Falla intermitente: La falla se presenta en forma discontinua en el tiempo.
  - Falla con el tiempo: Sucede en elementos con el uso, el abuso, desgaste, etc.
  - Sobre desempeño: El equipo se utiliza por encima de sus capacidades.
- **Efecto de falla:** Son todas las consecuencias inmediatas a raíz de un modo de falla sobre el componente que lo presenta. Comúnmente se utiliza la siguiente clasificación:
  - Pérdidas materiales mayores.
  - Pérdidas de vidas humanas.
  - Daños parciales o totales del equipo.
  - Perdidas de producción.
  - Daños en el medio ambiente.

- **Causa de falla:** Determina las razones por las cuales ocurre un determinado modo de falla, puede incluir defectos de fabricación, errores de operación, mantenimiento inadecuado, entre otros.
- **Criticidad de la falla:** Es la evaluación del impacto de un modo de falla determinado que permite priorizar los modos de falla que representan un mayor riesgo para la operación de la planta. Para este objetivo, se utiliza el denominado “Índice de prioridad de riesgo” o NPR. El cual considera tres factores, la probabilidad de falla (PF), consecuencia de la falla (CF) y la probabilidad de mitigación (PM). Se debe generar una tabla con distintos niveles de estos factores y asociar cada falla a un nivel específico. Luego se procede a calcular en NPR mediante la ecuación (1). Los modos de falla con los valores más altos de NPR representan los riesgos más críticos y debe abordarse con la máxima prioridad posible.

$$NPR = PF \cdot CF \cdot PM \quad (1)$$

- **Acciones correctivas y preventivas:** Son todas las acciones específicas para prevenir la ocurrencia de los modos de falla más críticos identificados. Esto a partir del análisis de todos los elementos anteriores que componen el FMECA. Entre estas acciones se pueden encontrar ajustes de diseño, mejoras en los procesos de mantenimiento, cambios en los procedimientos de ejecución, entre otros.

La metodología de un FMECA:

1. **Alcance:** Esta es la etapa inicial, en la cual se delimita que sistema, componente o proceso será el objetivo del análisis, definir los límites, especificar funciones claves que deben cumplirse y objetivos que deben ser alcanzados al finalizar el FMECA.
2. **Identificación de modos de falla:** Con el alcance del análisis ya definido, se realiza una búsqueda detallada de los posibles modos en los que el sistema, componente o proceso estudiado puede fallar. Se debe desglosar cada función de los distintos componentes para identificar la falla asociada a cada parte.
3. **Evaluación de efectos y consecuencias:** Para cada modo de falla identificado en el paso anterior, se identifican y analizan los efectos directos e indirectos que este podría tener sobre el sistema, así como consecuencias referentes a la operación, seguridad, impacto ambiental y costos para la planta. Este paso del análisis permite comprender el alcance de las fallas detectadas y cómo afectan al rendimiento global del activo estudiado.
4. **Clasificación de la criticidad:** Se asigna un nivel de criticidad a cada modo de falla identificado, lo que permitirá priorizar las acciones preventivas o de mitigación de las fallas.
5. **Planificación de acciones correctivas:** Este último paso consiste en desarrollar estrategias específicas para abordar los modos de falla más críticos detectados. Entre las cuales pueden incluir medidas para reducir la probabilidad de ocurrencia de la falla, mejorar la detectabilidad mediante monitoreo, generar proyectos para cambio de diseño, entre otros.

### 2.3.6 Herramientas para la gestión del mantenimiento

Las herramientas para la gestión del mantenimiento son elementos claves para asegurar la eficiencia operativa y la prolongación de la vida útil de activos industriales. Estas permiten realizar con mayor

facilidad la planificación, control y mejora a los equipos encargados del mantenimiento, optimizando recursos y minimizando los tiempos de inactividad.

- **Análisis y Diagrama de Pareto:** Esta metodología facilita identificar el impacto de un número reducido de factores sobre un resultado global. Su ventaja principal radica en la capacidad de reflejar cómo unos pocos elementos influyen en un alto porcentaje un fenómeno final [6]. Para este tipo de análisis se ocupan diagramas de barra o diagrama de Pareto, en el que las causas o fallas se ordenan de forma descendente, desde la más frecuente a la menos frecuente. En este mismo diagrama contiene una línea acumulada de todos los efectos estudiados. En la Figura 2.6 se encuentra un ejemplo de Diagrama de Pareto.

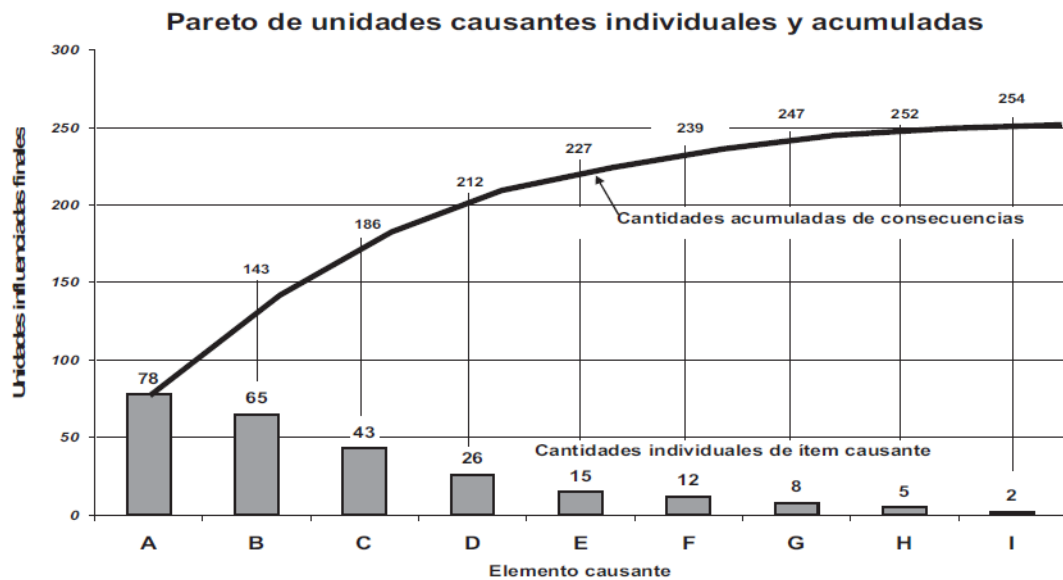


Figura 2.6 Ejemplo Diagrama de Pareto [6]

- **Diagrama Causa – Efecto:** Esta herramienta es utilizada para identificar, analizar y representar posibles causas de un efecto problema. Este permite descubrir la o las causas de dicho problema mediante un desglose y clasificación de todas las posibles fuentes de este. El diagrama tiene una estructura similar a un esqueleto de pez, con el efecto en la cabeza y las posibles causas en forma de espinas ramificadas según distintas categorías [6]. Para identificar la causa de los problemas, se recomienda agruparlas en máquinas, mano de obra, métodos, materiales, medio ambiente. En la Figura 2.7 se presenta un ejemplo de Diagrama Causa-Efecto.

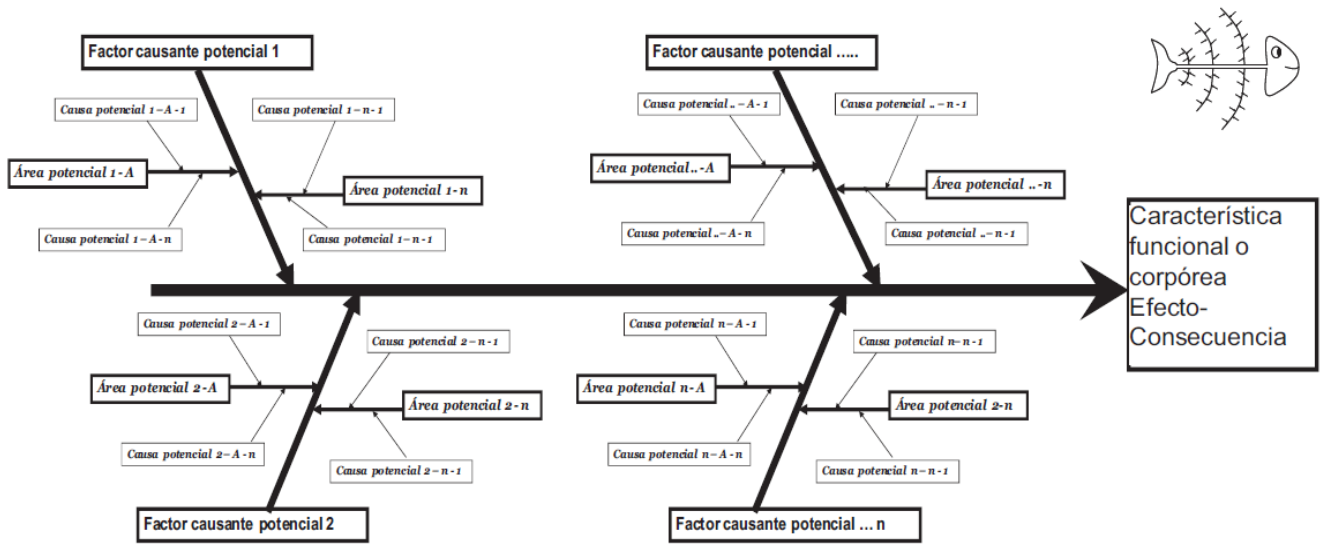


Figura 2.7 Ejemplo Diagrama Causa-Efecto [6]

- Diagrama de dispersión o Jack Knife:** Es un método de Dispersión Logarítmica, utilizado en base al tiempo medio de reparación (MTTR) y el número de fallas asociadas al equipo, se construye mediante del grado de correlación entre dos variables y con la determinación de una ecuación por el método de regresión lineal que cuantifica la relación y dependencia entre ambas. El gráfico está dividido en cuatro cuadrantes. Cuadrantes superiores indican las fallas agudas (MTTR muy alto), cuadrantes de la derecha indica fallas crónicas (número de fallas muy alto) y el cuadrante superior derecho indica fallas agudas y crónicas (alto valor de MTTR y de numero de fallas [6]. En la Figura 2.8 se presenta un ejemplo de Diagrama Jack Knife.

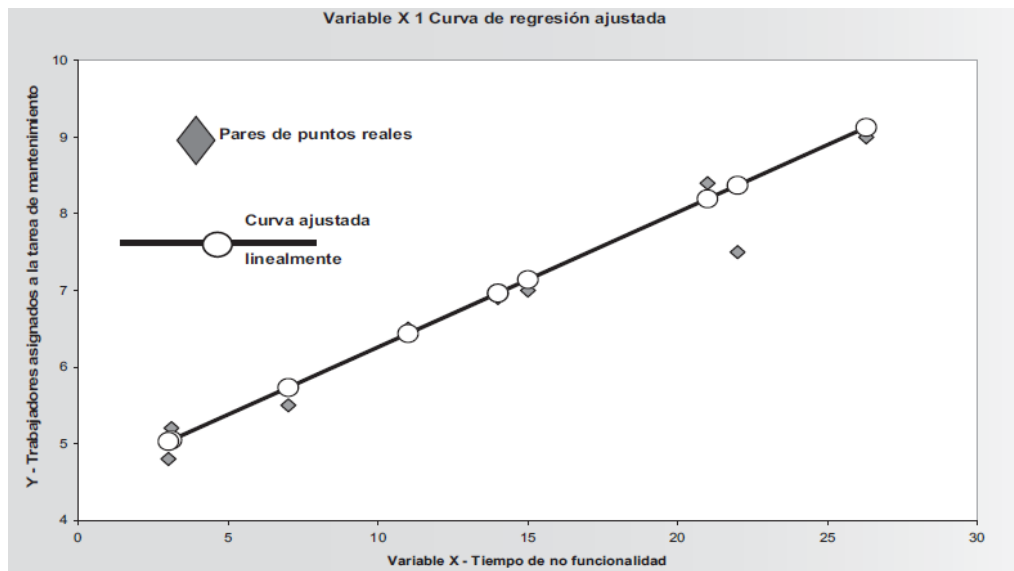


Figura 2.8 Ejemplo Diagrama Jack Knife [6]

### 2.3.7 Software para gestión de mantenimiento

Las herramientas computacionales transformaron la manera de gestionar el mantenimiento en la industria moderna, permitiendo tener un control más preciso y centralizado de los datos, optimizando todas las actividades de mantenimiento.

- **SAP PM:** Es un sistema diseñado para gestionar todas las actividades de mantenimiento de una forma integral, permitiendo planificar, programar y ejecutar tareas de mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo. Esto lo lleva a cabo mediante la creación de planes de mantenimiento, órdenes de trabajo, historiales de mantenimiento, monitoreo de costos e inventario de repuestos y materiales, facilitando el trabajo de gestión. Además, cuenta con apartados para coordinar los puestos de trabajo correspondientes, generar avisos de avería y llevar un control de todos los equipos de la planta con su respectiva ubicación técnica dentro de la planta [21].
- **RMES:** Es un software del tipo APM (Asset Performance Management o Gestión del rendimiento de los activos), utilizado para apoyar la gestión de activos en plantas industriales. Complementa el análisis de unidades básicas y complejas, mediante la metodología de bloques de confiabilidad, permitiendo el desarrollo de un análisis histórico y probabilístico de indicadores clave de procesos o KPI. Su finalidad es auditar y proyectar el rendimiento de los activos evaluados, permitiendo identificar equipos críticos y focos de pérdida, obteniendo un diagnóstico del rendimiento global de los activos. La metodología de bloques de confiabilidad consiste en la integración de distintas configuraciones lógico-funcionales, desde unidades básicas a sistemas complejos. Estas configuraciones entregan un alto grado de versatilidad para el modelamiento de cualquier sistema productivo [22].

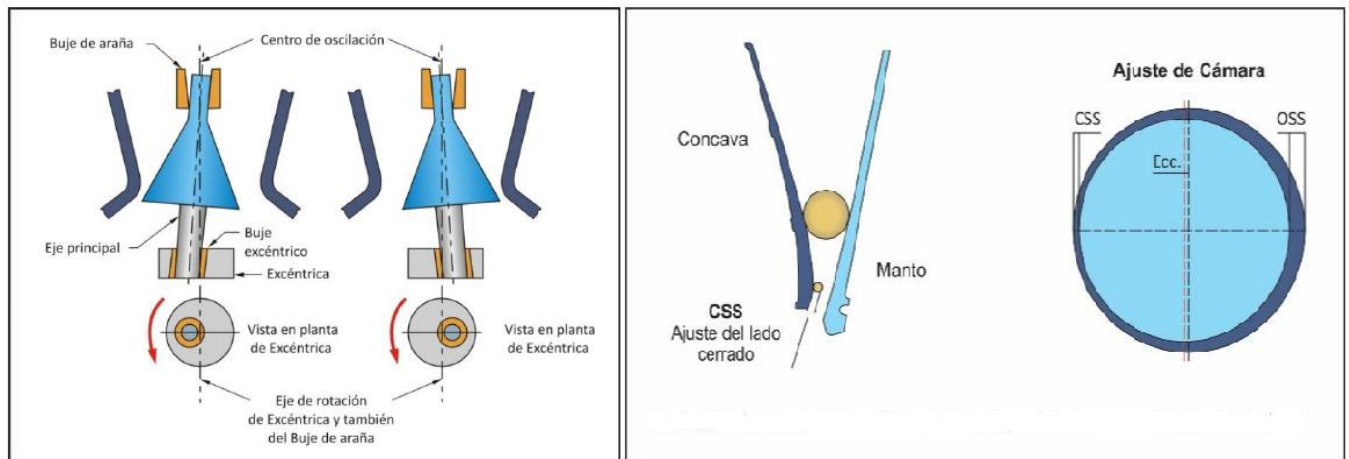
## 2.4 Chancador Giratorio Fuller

Un chancador giratorio es un equipo de alta capacidad utilizado para la primera etapa de la conminación del material. Cumple la función de triturar grandes volúmenes de material proveniente de la mina para reducirlos a un tamaño adecuado para los siguientes procesos. Estos equipos se caracterizan por su gran tamaño y capacidad para manejar grandes bloques de roca, lo que los convierte en un componente esencial en el flujo de procesos de la minería. Su función radica en el movimiento giratorio excéntrico de un poste o eje principal (main shaft) que aplica presión sobre el material, comprimiéndolo contra una superficie fija y fracturándolo. En Minera Candelaria se encuentra un Chancador Primario Fuller Traylor Gyratory Crusher 60"x89" tipo TC (Traylor Crusher) [23].

### 2.4.1 Funcionamiento

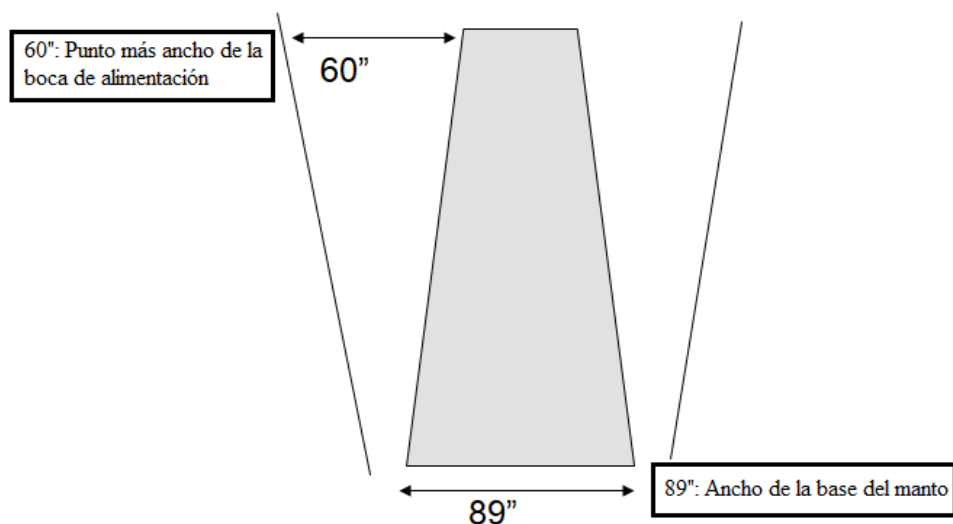
El Chancador primario es empleado para la reducción del mineral extraído, trasladado por camiones CAEX y depositado directamente en la tolva de alimentación. Accionado por un conjunto motriz compuesto por un motor, eje de extensión y una transmisión cónica piñón-corona. El motor impulsa el conjunto del contraeje, el cual transmite el movimiento rotatorio al conjunto de la excéntrica, generando una oscilación rotatoria en el extremo inferior del eje principal. En la parte superior del mismo se encuentra el buje de la araña, el cual es el punto de pivote para dicho giro. El eje principal

está recubierto por un manto, mientras que la superficie interna del cuerpo de chancador está recubierta por las cóncavas. Debido a la oscilación del eje principal, se genera un cambio en la distancia entre el manto y las cóncavas. Cuando el manto se acerca, el mineral es sometido a fuerzas de compresión que lo trituran; luego al alejarse, el mineral triturado cae a través de la abertura hacia el chute de descarga, para luego ser transportado por el feeder de alimentación de la correa que llevará dicho material a la pila. La menor distancia entre el manto y las cóncavas se denomina ajuste de lado cerrado (CSS) y la mayor es el ajuste del lado abierto (OSS). En la Figura 2.9 se representa el principio de funcionamiento del chancador primario giratorio.



**Figura 2.9 Principio de funcionamiento del chancador primario giratorio [24]**

En la Figura 2.10 se presenta la denominación de medidas del Chancador. Para más información revisar el Anexo B, donde se encuentran los principales componentes y características del Chancador Primario Fuller 60"x89" de Minera Candelaria



**Figura 2.10 Denominación de medidas de Chancador Giratorio**

## **CAPÍTULO 3 Estado del Arte**

### **3.1 Lean en la minería**

La Metodología Lean ha demostrado ser de gran utilidad en la industria manufacturera, como se estudió en los capítulos anteriores. Además, se demostró que aplicarlo en minería podría generar resultados exitosos. A pesar de las diferencias que existen entre dichas industrias, se han realizado estudios sobre la aplicación de herramientas Lean en la minería canadiense, donde se desarrolla una hoja de ruta preliminar para la aplicación de la Minería Lean, produciendo beneficios en productividad y seguridad en los trabajadores [25].

Se ha demostrado como la implementación de esta nueva forma de gestión en la industria minera genera buenos resultados. Un claro ejemplo se da en las empresas Fluorspar y Amethyst, donde se integró conceptos en base al sistema de producción de Toyota, metodologías Lean y los conceptos tradicionales derivados de la Ingeniería Industrial. Donde se registró una reducción de costos del 32,9% dentro del bloque minero y un aumento de productividad del 43,6%. Además de una reducción de desperdicios por espera desde un 50,8% al 32%, demostrando el potencial de adoptar este modelo integrado [26].

En el caso de una mina de carbón, la implementación de la metodología Lean aumento un 26,2 % la eficiencia humana de los trabajadores, lo que contribuyó a un aumento de la producción de 16,77%. Expresando que la metodología Lean es la única forma de reducir desperdicios y mejorar la eficiencia de los recursos para competir en el mundo industrial [27].

El análisis de estos casos demuestra los beneficios significativos que aporta la implementación de la metodología Lean. Por lo tanto, es crucial continuar investigando distintas empresas que adopten este enfoque, verificando cómo se optimizan los KPI de mantenimiento, se mejora la seguridad de los trabajadores y se impulsa un crecimiento en la productividad general de la organización.

### **3.2 Proceso de gestión de mantenimiento de Candelaria**

El proceso de gestión de mantenimiento en Candelaria sigue un enfoque basado en el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), con el objetivo de beneficiar la disponibilidad y confiabilidad de los activos, desarrollando sus actividades en base a dos políticas esenciales, la seguridad del personal y la gestión de activos críticos. Utiliza un modelo que combina estrategias correctivas, preventivas y predictivas. Se apoyan en sistemas de monitoreo y diagnóstico de condiciones para anticipar fallas en equipos críticos y programar intervenciones antes de que se presenten problemas mayores. Además, se implementan planes de mantenimiento programado y ciclos de inspección

Sin embargo, la carencia de un sistema de gestión de calidad ha generado grandes problemas como exceso de retrabajos, fallas recurrentes y ausencia de documentos estándar para el control de la calidad. Por lo que Candelaria se enfrenta al desafío de optimizar sus procesos de mantenimiento, no

solo para reducir costos y mejorar la confiabilidad de sus equipos, sino también para alinearse con modelos de gestión de calidad que permitan una mayor eficiencia en sus operaciones de mantenimiento, tal como se presentó en el apartado 1.3 de este informe.

### 3.2.1 Ciclo de administración del mantenimiento

El ciclo de administración del mantenimiento es el proceso que gestiona las actividades correspondientes al departamento de mantención concentradora de Minera Candelaria. Este ciclo se enfoca en administrar de manera óptima las solicitudes de trabajo, la planificación, programación, ejecución y análisis de mejora, asegurando que las actividades se lleven a cabo de manera eficiente y dentro de los plazos establecidos. En la Figura 3.1 se presenta el diagrama del ciclo de administración del mantenimiento. A continuación, se detalla cada una de las etapas que lo componen.

- **Solicitud de trabajo:** La primera etapa del ciclo comienza con una solicitud de trabajo, la cual se origina por un **Plan de Mantenimiento (PM)** establecido o por una necesidad de mantención generada por un operario, supervisor o cualquier miembro del equipo que detecte dicha necesidad en un equipo y registre los detalles necesarios para realizar el trabajo requerido.
- **Avisos:** Tras la solicitud del trabajo, se emite un **Aviso** mediante el sistema SAP. Estos se clasifican en Aviso **M1 solicitud de PM** para programar mantención (con un plazo mínimo de una semana en adelante), **M2 Aviso de avería** para mantención inmediata (con un plazo inmediato o dentro de la misma semana) y aviso **M3** reporte de actividad, el cual es un tipo de aviso generado automáticamente por SAP, que se generan cuando debe realizarse un plan de mantenimiento ya establecido con su respectiva frecuencia. Dentro de estos avisos, es necesario dejar registro de los detalles necesarios para el trabajo identificados en el paso anterior.
- **Planificación:** Es el proceso donde se detallan los recursos que se solicitarán para la realización de la actividad, entre los cuales se deben seleccionar los materiales, repuestos, equipos, herramientas, servicios y la mano de obra que se utilizará. Esta información es registrada en SAP mediante una **Orden de Trabajo (OT)**, clasificadas como **PM01** orden de trabajo correctiva, la cual no cuenta con un plan de mantención previamente establecido y como **PM02** orden de mantenimiento preventivo, la cual está asociada a un plan de mantenimiento con su respectiva frecuencia. Cabe destacar que las **PM01** pueden surgir de un aviso **M1** o **M2**, en el segundo caso (aviso de avería), el flujo de trabajo se envía directamente a la ejecución y no pasa por el equipo de planificación.
- **Programación:** En esta etapa se determina cuando se ejecutaran los trabajos de mantención, ordenando las distintas **OT** dentro de una misma semana y para un grupo de trabajo específico, coordinación de los recursos solicitados y empresas contratistas en algunos casos, generando un plan de trabajo secuenciado mediante Carta Gantt, optimizando los recursos. Luego se obtiene la **OT** impresa con todos los recursos solicitados y es entregada a ejecución.
- **Ejecución:** Con las **OT** ya programadas y entregadas, el supervisor o jefe del área se encarga de distribuir el trabajo a los distintos especialistas, coordinando con los operadores la intervención de los equipos. Previo a la ejecución, se debe realizar los protocolos estándar de prevención de riesgos y una inspección previa al trabajo. Posteriormente se ejecuta la tarea de mantenimiento llevando un control y seguimiento del trabajo por parte de los supervisores o jefes de área. Una vez finalizado, se entrega el equipo a los operadores y se genera un informe

técnico con detalles sobre la intervención e información sobre posibles desviaciones, demoras y trabajos no realizados. Adicionalmente, la ejecución tiene la responsabilidad de coordinar repuestos, materiales, equipos y servicios adicionales cuando existe una **OT PM01** con aviso de avería de emergencia que debe ser ejecutado dentro de la misma semana.

- **Cierre de documentos:** Después de que la actividad de mantenimiento ha sido completada, se procede con el cierre de documentos (**OT**), se registran en SAP el tiempo real, junto a cualquier desviación ocurrida durante la ejecución. Se devuelven las herramientas, materiales excedentes y equipos. Este paso es crucial para tener un registro completo y actualizado en SAP, el cual será de utilidad para análisis de eficiencia y mejora continua.
- **Análisis y mejoras:** Finalmente, el ciclo se completa con la etapa de análisis y mejoras, donde se revisan los informes generados luego de los trabajos de mantención. El objetivo es identificar oportunidades para mejorar los procesos de mantenimiento, ya sea mediante la optimización de recursos, la reducción de tiempos de inactividad o la implementación de nuevas tecnologías.

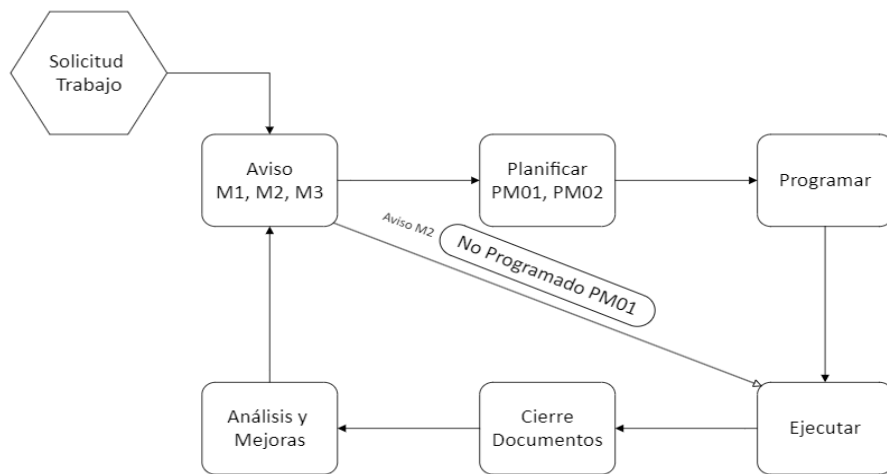


Figura 3.1 Flujo del ciclo administración del mantenimiento

### 3.2.2 Tipos de mantenciones

En Minera Candelaria implementan distintos tipos de mantenciones. Las **mantenciones mayores** son intervenciones programadas de largo plazo (generalmente cada 3 meses), que implican la detención total de un equipo, área o línea de molienda para realizar reparaciones profundas, cambio de componentes claves y actualizaciones tecnológicas. Generalmente duran una semana y se trabaja continuamente durante los turnos de día y de noche. Las **mantenciones menores** son actividades correctivas y preventivas de menor envergadura que no requieren detenciones prolongadas y pueden ser ejecutadas con mayor frecuencia; generalmente duran 1 día o cerca de 24 horas. Por otro lado, las **mantenciones semanales programadas** son planificadas con tres semanas de antelación, con la finalidad de realizar ajustes, inspecciones o cambios de componentes menores que no requieran detener el equipo e interrumpir el proceso de producción. Las **mantenciones de avería o emergencia** son intervenciones no planificadas que se realizan inmediatamente o, a más tardar, una semana

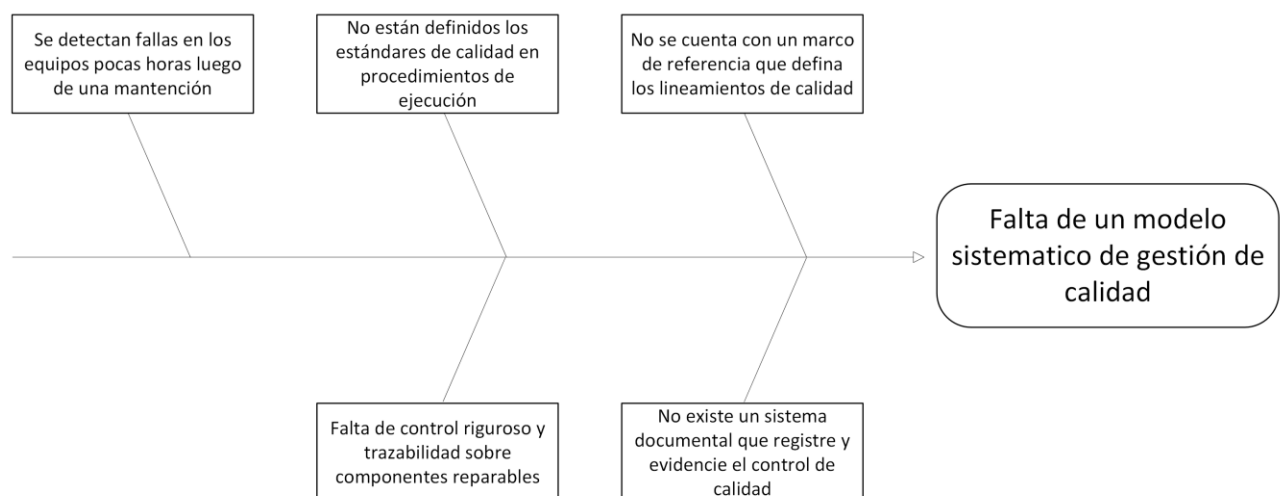
después, producto de una falla crítica que puede comprometer la seguridad y continuidad operativa de la planta.

Adicionalmente, se cuenta con un equipo de **mantenimiento predictivo**, basado en el monitoreo de condiciones de quipos mediante herramientas tecnológicas, realizando un análisis de los datos obtenidos para anticipar las fallas que aún no ocurren, optimizando los tiempos de intervención y mejorando la disponibilidad de los equipos. Las técnicas principales son el ultrasonido, termografía, análisis de vibraciones e inspecciones estructurales.

### 3.3 Calidad actual de Candelaria

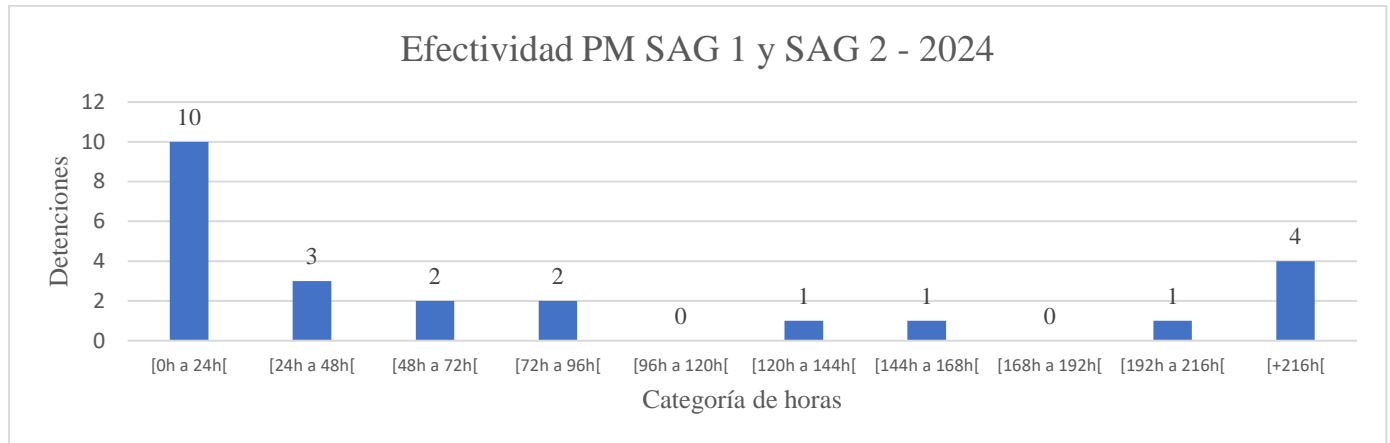
Actualmente, Minera Candelaria mantiene un enfoque constante en la optimización de sus procesos de mantenimiento, trabajando de manera continua para lograr un mayor control en las actividades del ciclo de administración del trabajo. Su objetivo principal es la estandarización de procedimientos, lo que permite una respuesta más eficiente ante futuras fallas y una mejor gestión de los recursos disponibles. No obstante, a pesar de los avances significativos en esta área, aún existen oportunidades de mejora en la integración de un sistema de gestión de calidad robusto, el cual no se encuentra debidamente definido.

La ausencia de un sistema de gestión de calidad bien estructurado genera desviaciones significativas en la ejecución de las actividades de mantenimiento. Entre las cuales se encuentra la falta de un marco de referencia que establezca lineamientos claros de calidad, la inexistencia de un sistema documental que evidencie el control de calidad en terreno, la falta de un control riguroso y trazabilidad de los componentes reparables, la ausencia de estándares de calidad definidos en los procedimientos de ejecución y la ocurrencia de fallas en los equipos pocas horas después de una actividad de mantenimiento. Para ilustrar esta problemática, en la Figura 3.2 se presenta un diagrama de causa efecto relacionado con la falta de un sistema de gestión de calidad.



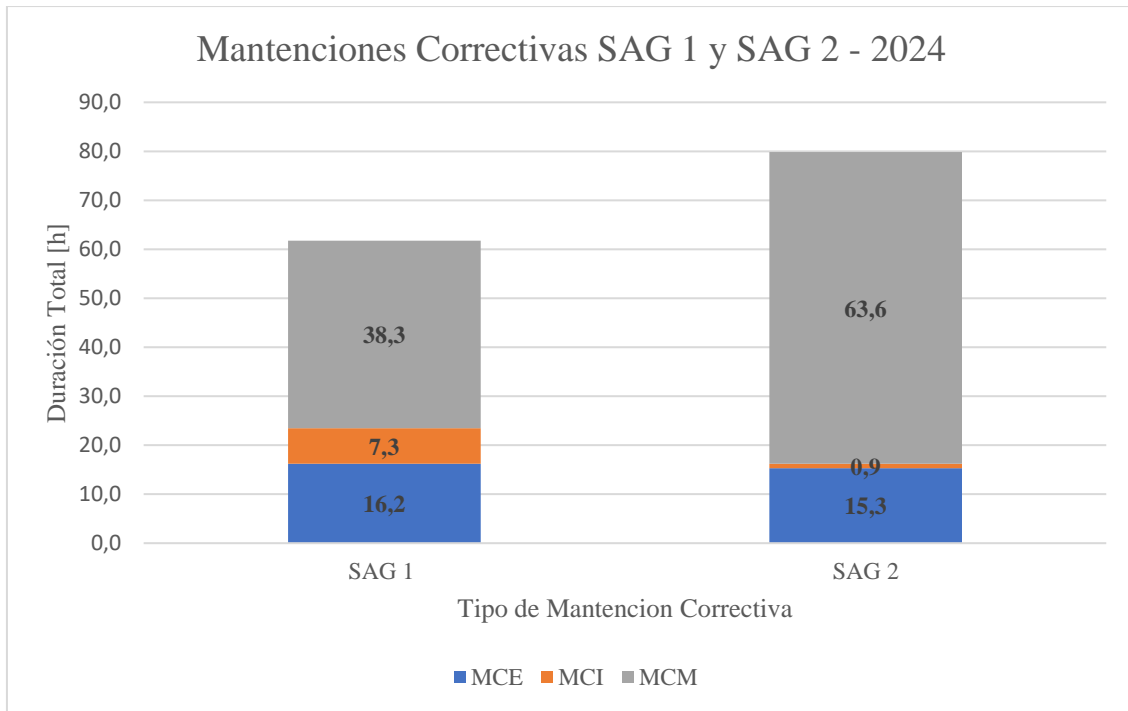
**Figura 3.2 Diagrama Causa-Efecto falta de calidad en procesos de mantención**

En relación con la ocurrencia de fallas en las horas posteriores a una actividad de mantenimiento, se llevó a cabo un levantamiento de información mediante RMES de efectividad de las PM, el cual se muestra en la Figura 3.3. A raíz de dicha información se evidencia que, en menos de 24 horas después de realizar un mantenimiento en los molinos SAG, se registró 10 detenciones, atribuidas tanto a deficiencias en la ejecución del mantenimiento como a fallas en el proceso de puesta en marcha.



**Figura 3.3 Gráfico de efectividad de los PM en el SAG 1 y SAG 2 en el 2024**

Por otro lado, las detenciones correctivas están directamente vinculadas a la falta de calidad en el mantenimiento, reflejando una gestión deficiente y una inadecuada aplicación de estrategias preventivas y predictivas. La ausencia de estándares de calidad correctamente definidos conlleva a interrupciones operativas de alto costo. Para demostrar este impacto, se realizó un análisis de las detenciones correctivas ocurridas en los molinos SAG durante el año 2024 a partir de RMES, complementado con una estimación de costos basada en la premisa de que una hora de detención de un molino SAG representa pérdidas aproximadas de 45.000 dólares (este valor fue obtenido a partir de un análisis de costo por detención de SAG realizado por el equipo de operaciones de Minera Candelaria), lo cual multiplicado por la cantidad de horas de mantenciones correctivas, se estima una pérdida monetaria como **costo de la no calidad** de 6.390.000 US\$. En la Figura 3.4 se muestra el gráfico de las detenciones correctivas de los SAG 1 y SAG 2 en el año 2024, donde MCI corresponde a mantenciones instrumentista, MCM Mantenciones mecánicas y MCE Mantenciones eléctricas.



**Figura 3.4 Gráfica de mantenciones correctivas SAG 1 y SAG 2 en el 2024**

## **CAPÍTULO 4 Manual de Gestión de Calidad**

En el siguiente capítulo se desarrolla a detalle la solución planteada de un sistema de gestión de calidad, el cual establece los principios, lineamientos y procedimientos necesarios para asegurar que todos los trabajos realizados por la Gerencia de Mantenimiento Procesamiento cumplan con un alto estándar de calidad, enfocado en la mejora continua, eficiencia operativa, confiabilidad de los equipos y optimización de los activos durante todo su ciclo de vida. Basado en la integración de las normas ISO de sistemas gestión de calidad, gestión de activos, la metodología Lean Maintenance y las herramientas de gestión de calidad Six Sigma.

En este documento se plantea la “metodología de gestión de calidad”, utilizada como herramienta principal para estudiar la calidad en un proceso o equipo específico. Por otro lado, el manual de calidad se utiliza para respaldar que el modelo cumple con todos los requisitos establecidos por las normas. Además, proporciona un marco práctico para evaluar y optimizar el desempeño de los activos, mediante la integración de herramientas de análisis de riesgos y mejora continua.

## **4.1 Desarrollo Manual de Calidad**

### **4.1.1 Alcance**

- Tanto el manual como el modelo de calidad son aplicados a todos los activos y las actividades de mantenimiento, relacionadas con el ciclo de administración del trabajo de la Gerencia de Mantenimiento Procesamiento, abordando los procesos de identificación de trabajos, planificación, programación, ejecución, cierre de documentos, análisis y mejora continua. Se extiende tanto al personal interno de C.C Minera Candelaria, como a las empresas contratistas y terceros que presten servicios o realicen trabajos relacionados con mantenimiento.
- El alcance del manual abarca todas las fases del ciclo de vida de los activos, desde su adquisición hasta su reemplazo o disposición final. Cada etapa está respaldada por estrategias de mantenimiento basadas en datos, análisis de riesgos y decisiones fundamentadas que buscan maximizar la eficiencia y la sostenibilidad operativa.
- El manual de calidad no incluye procesos o actividades que no estén directamente relacionados con el mantenimiento de los activos del área de procesamiento, como el diseño de nuevos equipos o proyectos ajenos al ámbito de la operación de la planta concentradora.

### **4.1.2 Referencias Normativas**

- ISO 9001:2015 – Sistema de gestión de calidad – Requisitos.
- ISO 10005:2018 – Sistema de gestión de calidad – Directrices para los planes de calidad.
- ISO 55001:2014 – Gestión de activos – Sistema de gestión – Requisitos.

### **4.1.3 Política de Calidad**

La política de calidad de la Gerencia de Mantenimiento Procesadora de Minera Candelaria se compromete a:

- Satisfacer las necesidades de disponibilidad y confiabilidad de los equipos utilizados por Operaciones, a través de procesos de mantenimiento estandarizados y controlados.
- Promover decisiones fundamentadas sobre el mantenimiento de equipos, garantizando la adecuada gestión del ciclo de vida de los activos y la mitigación de riesgos operacionales.
- Adoptar un enfoque de gestión basado en los procesos y pensamiento basado en riesgos.
- Impulsar la mejora continua de los procesos a través de la capacitación del personal, el análisis y la actualización de los procedimientos de calidad, y el fortalecimiento de las herramientas de gestión, midiendo los resultados a partir de los principales KPIs de mantenimiento.
- Fomentar un ambiente de trabajo seguro y ordenado, minimizando los riesgos a través de prácticas de mantenimiento responsables y seguras.
- Fomentar el pensamiento Lean en todos los procesos y trabajadores de mantenimiento, identificando y eliminando actividades que no generan valor, optimizando el uso de recursos, reduciendo desperdicios y mejorando la eficiencia operativa.

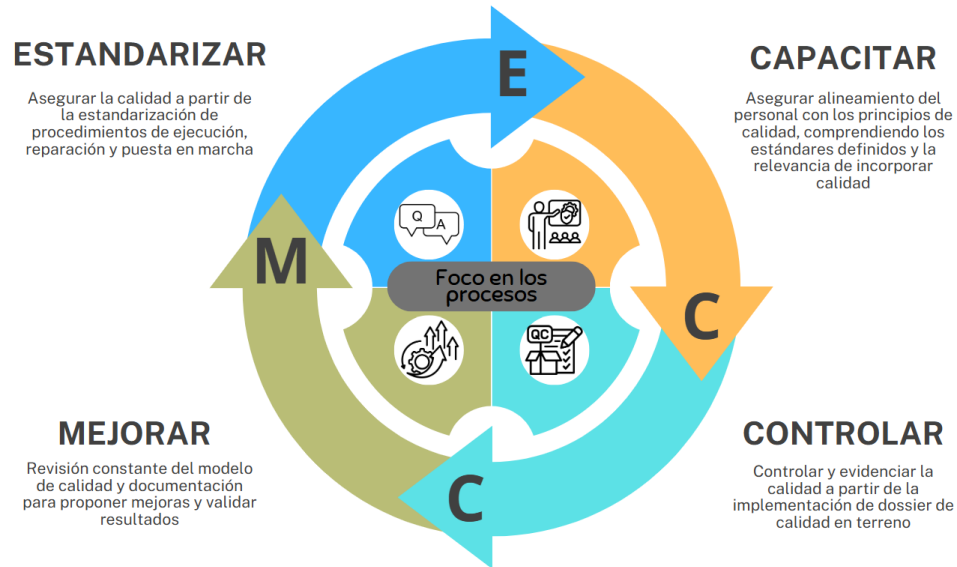
#### 4.1.4 Objetivos de Calidad

- Establecer un sistema de gestión que permita asegurar y controlar la calidad en los procesos del ciclo de administración del trabajo de mantención.
- Cumplimiento de la meta anual de los KPIs de mantenimiento, como la disponibilidad, tiempo medio entre fallas (MTBF) y tiempo medio para reparar (MTTR) establecidas por la gerencia mantención procesos.
- Disminuir la frecuencia de fallas repetitivas mediante análisis causa raíz y acciones correctivas eficientes para mejorar la calidad en puntos donde aún es deficiente.
- Mayor eficacia en los mantenimientos programados (semanales, mensuales y mayores), asegurando el cumplimiento de los resultados planificados y midiéndolos a partir de la Efectividad de las PM y la Adherencia al Plan.
- Reducción del mantenimiento no programado medido a través de la cantidad de eventos de mantención correctiva en los equipos de mayor criticidad.
- Mejorar continuamente la gestión de repuestos, fortaleciendo la confiabilidad de los componentes reparables mediante un enfoque sistemático y basado en datos.

#### 4.1.5 Los cuatro principios del Modelo de Calidad

- **Estandarizar:** El objetivo de este principio es establecer procedimientos claros y estandarizados que sirvan como referencia fundamental para las actividades de mantenimiento. Esto asegura la calidad de las tareas al reducir la variabilidad en la ejecución y prevenir errores, fomentando la consistencia y el cumplimiento de los estándares definidos.
- **Capacitar:** Se enfoca en alinear al personal con los principios de calidad del modelo, asegurando que todos comprendan los estándares definidos y la importancia de incorporar la calidad en sus actividades rutinarias, no rutinarias y críticas. Este enfoque promueve una cultura de excelencia y mejora continua en el equipo de trabajo basado en la metodología Total Quality Maintenance (TQM).
- **Controlar:** Este principio busca supervisar y garantizar el cumplimiento de los procedimientos y estándares de calidad establecidos. Para ello, se implementan dosieres de calidad que documentan de manera detallada los resultados obtenidos en cada etapa del proceso. Esta práctica permite identificar desviaciones a tiempo y aplicar medidas correctivas oportunas, evitando que los errores persistan o se acumulen hasta la finalización de la mantención.
- **Mejorar:** Este principio establece la implementación de la mejora continua en los procesos para alcanzar la excelencia operativa. Garantiza que los procedimientos evolucionen y se adapten a las necesidades cambiantes, optimizando la eficiencia operativa y fortaleciendo los resultados a largo plazo.

En la Figura 4.1, se encuentra el diagrama principal de los principios establecidos por el modelo de gestión de calidad planteado.



**Figura 4.1 Principios del modelo de gestión de calidad**

#### 4.1.6 Responsabilidades

##### 1. Gerente de mantenimiento.

- Asegurar una comunicación efectiva de la política de calidad de Candelaria y que esta se aplique mediante el cumplimiento de los objetivos y expectativas definidos para los procesos de mantención.
- Asegurar que las autoridades responsables de dirigir los trabajos relacionados con la calidad sean designadas, informadas y respalden el debido cumplimiento de los objetivos del sistema de gestión de calidad.
- Asegurar la asignación y gestión de recursos para implementar y mejorar el sistema de gestión de calidad.
- Asegurar que se implementen programas de capacitación adecuados para los trabajadores de Candelaria, con el propósito de desarrollar las competencias necesaria para cumplir con los objetivos del sistema de gestión de calidad.
- Promover la mejora continua del sistema de gestión de calidad mediante la revisión periódica del desempeño de todas las partes involucradas, identificando oportunidades de mejora y tomando las acciones necesarias para velar por el cumplimiento de objetivos del sistema de gestión de calidad.

##### 2. Subgerente de Planificación.

- Asegurar que los documentos en SAP, incluidos avisos y órdenes de trabajo, contengan toda la información requerida para su correcta gestión.
- Asegurar que los dossiers de calidad estén correctamente anexados a las órdenes de trabajo correspondientes, promoviendo su correcta gestión documental.
- Promover la identificación y reserva de materiales y recursos necesarios para la ejecución y control de las actividades de calidad en terreno. Además, asegurar que los recursos requeridos para las tareas estén disponibles.

- Asegurar la planificación, priorización y programación de órdenes de trabajo relacionadas con los procesos de verificación de calidad, garantizando su distribución a los supervisores de área.
- Promover la correcta programación de las horas-hombre (HH) semanales, asegurando que se incluyan los tiempos necesarios para la verificación de calidad, conforme a los procedimientos específicos.
- Asegurar una gestión eficiente de los costos de recursos destinados a la ejecución de trabajos de mantenimiento y control de calidad, promoviendo el uso óptimo del presupuesto.

### **3. Supervisor de Área.**

- Asegurar y supervisar el cumplimiento de los estándares de calidad establecidos por el modelo de calidad y los dossiers específicos. Promover la correcta implementación de cada hito en terreno, asegurando su ejecución conforme a lo planificado.
- Cuando el supervisor no pueda estar presente en la ejecución, debe asignar la realización de actividades de control de calidad al mantenedor líder del equipo. La responsabilidad general del cumplimiento de los estándares de calidad sigue siendo del supervisor.
- Identificar y reportar no conformidades, promoviendo la implementación de acciones correctivas y preventivas para resolver desviaciones en terreno. Asegurar que cada desviación se documente detalladamente, incluyendo los pasos que no se pudieron realizar y las razones de cada acción.
- Promover la capacitación y evaluación del personal técnico en los procedimientos y prácticas de control de calidad, asegurando la consistencia y estandarización de los procesos.

### **4. Personal Técnico de Mantenimiento**

- Asegurar la ejecución de las tareas técnicas de mantenimiento conforme los procedimientos establecidos y los hitos de calidad definidos en el dossier de calidad correspondiente. Reportar cualquier desviación detectada al supervisor del área.
- Promover la participación en programas de mejora continua y capacitaciones, contribuyendo al fortalecimiento de la calidad en la ejecución de sus tareas de mantenimiento.
- Asegurar la comunicación efectiva con el supervisor del área sobre cualquier desviación detectada en la aplicación de procedimientos y dossier por parte de empresas contratistas.
- Adoptar y promover la cultura de gestión de calidad establecida por la dirección, asegurando su aplicación en todas las actividades de mantenimiento.

### **5. Subgerente de Confiabilidad.**

- Asegurar el desarrollo e implementación del modelo de calidad aplicable a todo el ciclo de administración del trabajo en la gerencia de mantención procesos, garantizando su alineación con los estándares establecidos.
- Velar por la actualización y desarrollo de procedimientos de mantenimiento preventivo y predictivo, considerando la criticidad y el historial de fallas de los equipos para optimizar su desempeño.
- Asegurar la revisión continua de los procedimientos de mantenimiento con el propósito de priorizar la creación de hitos de calidad en trabajos críticos, garantizando su correcta aplicación.
- Administrar los dossier de calidad, identificando oportunidades de mejora y asegurando su constante actualización para fortalecer el plan de calidad.
- Desarrollar y asegurar la implementación de estrategias de mantenimiento basadas en criticidad y análisis de riesgos, optimizando el ciclo de vida de los activos.

- Asegurar la evaluación del impacto del plan de calidad mediante la comparación de los KPIs y análisis de gestión de mantenimiento en RMES antes y después de su implementación, identificando oportunidades de mejora.

#### 6. Supervisor de Mantenimiento Predictivo.

- Asegurar la detección y análisis de vulnerabilidades en equipos cuyo funcionamiento esté fuera de los estándares de calidad, promoviendo acciones correctivas oportunas.
- Velar por la correcta puesta en marcha de equipos rotatorios, asegurando que las reparaciones y nuevos equipos operen dentro de los parámetros estándar.
- Desarrollar y asegurar la aplicación de procedimientos estándar para la puesta en marcha de equipos críticos, garantizando su confiabilidad y óptimo desempeño.

#### 4.1.7 Documentación

- **Manual de gestión de calidad para procesos de mantenimiento:** Documento que constituye el primer nivel del modelo de gestión de calidad, proporciona un marco de referencia para definir el sistema de gestión. Establece los criterios generales de actuación, se detallan los objetivos estratégicos, se asignan responsabilidades clave y ofrecen las directrices para identificar y alcanzar los estándares de calidad en los procesos de mantenimiento. Su propósito es asegurar una gestión coherente, eficiente y alineada con los principios de mejora continua.
- **Procedimientos técnicos:** Documentos específicos para cada trabajo, constituye el segundo nivel, el cual define los procedimientos detallados para llevar a cabo una labor de mantenimiento y determina los estándares y especificaciones de calidad que se deben cumplir, como también los recursos y gestión de seguridad.
- **Dossier de Calidad:** Documento que evidencia que un determinado proceso, producto o servicio, fue realizado conforme los estándares de calidad fijados. Constituye el tercer nivel y será el documento presente en terreno que deje evidencia de la revisión de hitos de calidad, debe ser en formato *check list* para facilitar la revisión de los hitos de calidad estipulados en el procedimiento técnico. Es necesario un Dossier específico para cada trabajo a realizar y se debe solicitar este documento a las empresas contratistas.

En la Figura 4.2, se encuentra la representación del sistema documental establecido por el manual de calidad.



Figura 4.2 Niveles del sistema documental

#### 4.1.8 Registros

##### 1. **Distribución:**

- El manual de calidad se enviará a todos los subgerentes y supervisores de área, una vez revisado y aprobado por el gerente.
- Los procedimientos técnicos serán entregados a los supervisores correspondientes, quienes distribuirán los procedimientos a su equipo de ejecución.
- Los dossiers de calidad serán subidos a la plataforma SAP anexados a su orden de trabajo correspondiente. De este modo a imprimir una orden de trabajo, se adjuntará automáticamente el dossier de calidad específico de la tarea.

##### 2. **Revisión:**

- El manual de calidad debe ser revisado por el subgerente de confiabilidad y autorizado por el gerente de mantenimiento.
- Los procedimientos y dossier de calidad deben ser revisados por confiabilidad con el apoyo del supervisor del área donde se realice la tarea. Luego la subgerencia de dicha área aprueba la distribución de los documentos.

##### 3. **Recepción:**

- El supervisor del área será el encargado de recibir y firmar los dossiers de calidad una vez terminada la tarea, como constancia de la correcta ejecución y cumplimiento de los estándares establecidos.
- El planificador debe almacenar los dossiers de calidad junto con la orden de trabajo correspondiente a la actividad realizada.

#### 4.1.9 Recursos

##### 1. **Recursos materiales:**

- Cada procedimiento estandarizado debe contar con un listado de todas las herramientas y recursos necesarios para cumplir con las tareas de mantenimiento, asegurando que no falte ninguna herramienta que comprometa el desarrollo de la actividad y el control de la calidad.
- El personal de mantenimiento en coordinación con bodega debe implementar un control riguroso de inventario aplicando metodología “Just in Time”. Lo que permitirá verificar la disponibilidad inmediata de repuestos y priorizar aquellos que lleven más tiempo en bodega.

##### 2. **Recursos Humanos:**

- Para asegurar que la mantención se realice dentro de un estándar de calidad deseado, el personal debe contar con las competencias (cursos y capacitaciones) y los recursos adecuados (materiales, herramientas, repuestos, equipos de apoyo). En caso de una empresa contratista, se debe solicitar documentación de las capacitaciones, cursos y habilidades de los mantenedores que realicen trabajos de alta criticidad.
- Fomentar la participación de los mantenedores en la evaluación y optimización de procesos, compartiendo sus ideas y pensamientos personales sobre los procesos actuales y como mejorarlos bajo su experiencia como técnicos.

##### 3. **Infraestructura:**

- Se debe contar con una infraestructura limpia, segura y bien segregada al momento de realizar un trabajo, minimizando los riesgos referentes a los FRM. Cuando la infraestructura no se

encuentre en condiciones, es obligatorio levantar dicha información mediante un aviso en SAP y gestionar una rápida reparación.

- Para mantener la limpieza antes, durante y posterior a la realización de una tarea, es necesario seguir el procedimiento 5S dictado en el apartado de procedimientos adicionales, manteniendo un entorno organizado, limpio y seguro en terreno, aplicable también a las oficinas, bodegas y pañoles.

#### **4.1.10 Planificación de la calidad**

A partir de analizar el flujo de vida de un activo y el impacto del departamento de mantenimiento en este, se definieron 3 barreras principales de la no calidad. La calidad en actividades de ejecución críticas, calidad en los componentes reparables y calidad en las puestas en marcha. A partir de estos 3 puntos, se desarrollan los siguientes planes de acción. En el Anexo C se muestran los diagrama de flujo para cada uno de los planes de acción.

##### **1. Plan de acción para calidad en las actividades de ejecución críticas**

El proceso comienza con el análisis y mejora del procedimiento crítico de ejecución al cual se desea gestionar la calidad, utilizando la metodología planteada en el apartado 12. Culminando con la identificación de los hitos de calidad medibles, la creación del dossier de calidad correspondiente y una validación de este por juicio de expertos o documentación técnica del equipo.

Cada actividad se planifica con su orden de trabajo y el correspondiente dossier de calidad. El supervisor lidera la reunión pre-tarea donde se revisa el procedimiento y el dossier de calidad con los mantenedores, asegurando que todos los participantes comprendan los estándares de calidad establecidos. En caso de contar con una empresa contratista, el supervisor de esta empresa también debe estar presente.

El supervisor verifica que los mantenedores cuenten con los cursos y capacitaciones necesarias para ejecutar la actividad. Si no cuentan con capacitación adecuada, se informa a la gerencia correspondiente para evaluar y ajustar programas de capacitación.

Se determina, con base en la criticidad del equipo, si es necesario contar con supervisión constante durante la actividad. Si es necesario, se asigna un encargado permanente para controlar la actividad y reportar al supervisor. Si no es necesario, un mantenedor líder se encarga de reportar el avance de la actividad al supervisor.

Durante la ejecución, las actividades se verifican continuamente mediante los hitos de calidad definidos por el dossier, donde el supervisor asegura el cumplimiento de cada actividad a partir de los reportes e inspección propia.

Al término del trabajo, se entrega la orden de trabajo junto al dossier de calidad. El equipo de confiabilidad registra y analiza la información contenida por el dossier para identificar oportunidades de mejora.

El cierre del ciclo consiste en auditorías regulares para retroalimentar los procedimientos, asegurar que el proceso esté en constante evolución y alineado con los objetivos de calidad de la gerencia. Si no se lograron los objetivos de calidad se debe repetir el ciclo desde el primer punto.

## **2. Plan de acción para gestión de calidad de los componentes reparables.**

El paso inicial es un levantamiento de información para identificar todos los componentes reparables de los equipos en la planta. Se recopilan catálogos y manuales técnicos proporcionados por el fabricante para documentar las características técnicas de cada componente y equipo superior.

Realizar una componetización detallada de equipos en SAP, donde cada equipo se descompone en sus principales componentes y se registran en el sistema SAP en el maestro de equipos, asegurando su integración en la gestión operativa.

Se clasifica cada componente según su prioridad y criticidad, donde la primera prioridad serán todos los equipos críticos A y B de alta rotación y segunda prioridad los equipos críticos A y B de baja rotación. Para componentes presentes en varios equipos, se adopta la criticidad más alta de los equipos que lo contienen, asegurando una gestión basada en el mayor riesgo.

Se establece un sistema de trazabilidad para garantizar el seguimiento completo de cada componente. Se registra el historial completo de reparaciones y fallas en SAP. Cada componente se identifica con un sistema único mediante una placa o número de golpe vinculado al código SAP correspondiente, garantizando la trazabilidad completa durante toda la vida útil del componente.

Si una reparación de componentes se realiza en taller interno se debe estandarizar un procedimiento y crear el dossier de calidad para el tipo de componente reparado, aplicando la metodología de gestión de calidad.

En caso contrario si la reparación se realiza en taller externo se debe solicitar un dossier de calidad detallado que incluya información como bancos de prueba, certificaciones de metrología y parámetros de validación. Además, se implementa un protocolo estandarizado de revisión y aceptación de componentes reparados externamente para garantizar la calidad de las reparaciones.

Se realiza un seguimiento continuo del desempeño de los componentes reparables mediante medición de tasa de fallas, KPIs, evaluación de rendimiento y confiabilidad.

El último paso consiste en una evaluación periódica de los resultados del plan de calidad, identificando mejoras para optimizar la gestión de repuestos continuamente, garantizando la mejora continua en la gestión de calidad de los componentes reparables

## **3. Plan de acción para gestión de calidad en puestas en marcha**

Recopilar los datos históricos del equipo, incluidas las especificaciones técnicas proporcionadas por el fabricante y el histórico de los parámetros operativos clave. Definir los rangos de tolerancia de los parámetros medidos.

Se define un protocolo de monitoreo de parámetros específico por tipo de equipo, incluyendo herramientas necesarias para la medición, sensores, equipos de monitoreo, frecuencia de las mediciones y método de registro de datos.

Como inicio se realizan pruebas en vacío, midiendo los parámetros claves sin carga operativa, comparando los datos con los rango de tolerancia establecidos.

Se realiza una segunda prueba, esta vez con carga operativa, para medir parámetros en condiciones reales de operación. Los resultados son evaluados para garantizar que los parámetros claves se mantengan dentro de los límites definidos.

Si las mediciones cumplen con los rangos, se procede a la validación final del equipo junto con el área de operaciones. En caso contrario, se deben repetir las pruebas para validar los parámetros. Si los problemas persisten, se activa el protocolo de rechazo de puesta en marcha.

El protocolo de rechazo debe incluir un análisis causa raíz detallado para identificar los incumplimientos, una evaluación de riesgos asociados con el rechazo de la puesta en marcha, considerando el impacto en la operación y se implementan ajustes, calibraciones o reparaciones necesarias para corregir las desviaciones. Una vez resuelto el problema se repiten las pruebas de validación.

Una vez que el equipo es validado en conjunto con el área de operaciones, asegurando que cumple con los parámetros clave bajo condiciones normales de trabajo, se entrega oficialmente al área de operaciones, documentando el cumplimiento de los estándares de calidad en el dossier correspondiente.

Como último paso, se debe mantener una revisión constante de los protocolos de monitoreo y validación, identificando mejoras para optimizar la gestión de las puestas en marcha continuamente.

#### **4.1.11 Metodología de gestión de calidad**

Se plantea la siguiente metodología de gestión de calidad basado en Lean Six Sigma, la cual integra los modelos de eliminación de desperdicios y mejora continua del Lean, con las herramientas para mejorar procesos y eliminación de defectos del Six Sigma.

- 1. Planificar:** El primer paso para aplicar el modelo de gestión de calidad consiste en una previa planificación. Se definen los responsables de implementar este modelo y las partes interesadas, como los encargados de definir los objetivos, realizar el análisis crítico de fallas y los responsables de evidenciar la implementación de las soluciones determinadas. Se recomienda utilizar matriz de RACI para asignar roles y responsabilidades. Definir recursos necesarios para garantizar el éxito del proyecto. Se recomienda elaborar una Carta Gantt para definir claramente las responsabilidades y los tiempos necesarios para poder cumplir con todos los pasos descritos en este modelo.
- 2. Definir:** Esta etapa consiste en definir en que proceso o componente se desea gestionar y mejorar la calidad, ya sea en un proceso de administración o ejecución desarrollado bajo la Gerencia Mantenimiento Procesamiento. Identificar los equipos, componentes y procesos críticos para el desarrollo de la actividad de mantenimiento. Mapear el proceso a estudiar mediante herramientas como diagramas de flujo, mapa SIPOC o mapa de flujo de valor (VSM), que

permitan detallar las entradas, actividades y salidas del proceso. Define los objetivos de calidad esperados al aplicar este modelo, estos deben ser específicos, medibles y alcanzables, se pueden utilizar herramientas como los árboles CTQ (Requisitos críticos para la calidad). Es importante que se aborden los KPIs principales del mantenimiento como el MTTR, MTBF y Disponibilidad de equipos críticos.

3. **Medir:** Recopilar datos iniciales que se utilizarán como línea base para evaluar el estado actual del proceso estudiado. Analizar los tiempos históricos de mantenencias programadas y no programadas, se recomienda utilizar histogramas para análisis de tiempos de mantención. Identificar fallas críticas y recurrentes que se presentan en el proceso estudiado. Identificar deficiencias en los procedimientos actuales establecidos. Medir indicadores clave de rendimiento (KPIs) previo a la implementación del modelo para evaluar progresos y cuantificar las soluciones obtenidas.
4. **Analizar:** Analizar el procedimiento mapeado e identificar posibles desperdicios o cuellos de botella. Categorizar las fallas identificadas por sus posibles causas, se sugiere utilizar diagrama de Ishikawa. Analizar y priorizar los modos de falla identificados en el proceso. Determina los efectos y la criticidad asociada al mismo. Se utiliza la metodología denominada FMECA (Análisis de Modos de Falla, Efectos y Criticidad) o el AAF (Análisis por árbol de fallas). Clasificar y evaluar los principales riesgos identificados, se recomienda elaborar matriz de criticidad de frecuencia por consecuencia de falla. Definir hitos de calidad medibles y controlables en terreno para asegurar los objetivos planteados.
5. **Mejora:** Elaborar posibles soluciones para mitigar las desviaciones analizadas previamente y cumplir con los objetivos propuestos. Proponer mejoras a los procedimientos actuales en base a los desperdicios identificados en las etapas previas y estandarizar un nuevo procedimiento eficiente. Mapear el flujo de valor futuro del proceso con el nuevo procedimiento propuesto, mediante un mapa de flujo de valor (VSM) que muestre los principales pasos para el correcto desarrollo de la actividad de mantenimiento. En el caso de actividades de mantención técnicas realizadas en terreno, elaborar un documento Dossier de Calidad que permita llevar un control de todos los hitos de calidad necesarios. Capacitar al personal encargado para asegurar que el trabajo se realizará por expertos en el tema.
6. **Controlar:** Esta última etapa del modelo se enfoca en implementar y garantizar que las soluciones propuestas se apliquen y mantengan en el tiempo. Asegurar la implementación de las mejoras al procedimiento y Dossier de Calidad propuesto mediante un sistema de seguimiento. Realizar auditorías periódicas donde se revisarán hallazgos y mejoras detectadas a las soluciones propuestas Implementar una metodología de registro de los documentos periódicamente y que sean de fácil acceso para todo el personal. Monitorear KPIs para evaluar el impacto de las acciones propuestas y evidenciar el cumplimiento de los objetivos. Estimar ahorro de tiempo y costos al implementar las nuevas mejoras.

En la Figura 4.3. se muestra el diagrama de la metodología de gestión de calidad descrita por el manual.

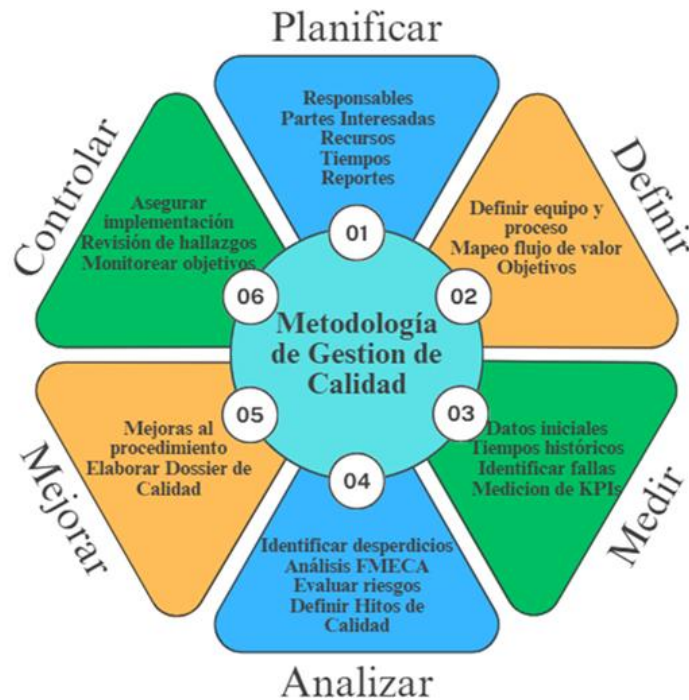


Figura 4.3 Metodología de gestión de calidad

#### 4.1.12 Trazabilidad

- Medición y comparación de los KPI's definidos por Gerencia Mantenimiento Procesamiento para evaluar el aumento o disminución de estos cada tres meses de implementación del plan.
- Uso de RMES para comparar Diagramas de Pareto y Jack Knife antes y después de la implementación del plan de calidad. Como el número de fallas, eficiencia post mantenimiento, modos de falla, o cualquier otro módulo que sea útil para demostrar la fiabilidad del manual.
- Medir los objetivos de calidad planteados al aplicar el modelo de gestión de calidad.
- Almacenamiento de los documento dossier de calidad junto a las órdenes de trabajo para permitir una trazabilidad historia del cumplimiento de los hitos de calidad.

#### 4.1.13 Control de no conformidades

Las no conformidades se identifican como cualquier incumplimiento de los estándares de calidad establecidos por este documento y sus niveles inferiores, además de cualquier tipo de falla en la seguridad de la realización de las tareas de mantenimiento. Entre las cuales se encuentra:

- No seguir los pasos establecidos por los procedimientos.
- Mal uso de recursos, materiales, herramientas y repuestos.
- Retraso por pérdidas de tiempo innecesarias (espera de recursos, transporte de recursos que no se utilizarán y movimiento del personal a áreas o equipos que no tengan que ver con el desarrollo del trabajo).
- Documentación incompleta, tanto en informes escritos o información subida a SAP.

- Incumplimiento de las normas de seguridad, actividades temerarias.
- Desarrollo constante de actividades no levantadas dentro de un plan de mantenimiento.
- Contar con personal no capacitado, tanto de Candelaria como de empresas externas.
- No mantener el orden y limpieza en los lugares de trabajo, como la infraestructura de las distintas áreas de la planta, oficinas de administración, paños, entre otros.
- Desviaciones en el presupuesto establecido.

En referencia a las no conformidades identificadas, cada jefatura a cargo del personal responsable de cada actividad será la encargada de levantar una advertencia por no conformidad de resultados. Para luego evaluar alternativas para mitigar dicho problema recurrente o de alta importancia. Por lo que es esencial que cada puesto de trabajo esté comprometido con la correcta implementación del sistema de gestión de calidad. La implementación de acciones correctivas debe contar con un previo análisis de causa raíz utilizando herramientas de análisis de mantenimiento, para identificar problemas subyacentes y desarrollar actividades correctivas.

#### **4.1.14 Auditorías**

- El supervisor de área debe liderar auditorías mensuales con su equipo de mantenedores generando círculos de calidad, donde se analizan y discuten los procesos con respecto a la calidad, para generar diferentes propuestas de solución de parte de los mantenedores y escalarlas hacia la gerencia.
- Se deben programar auditorías mensuales con la gerencia, supervisores y equipo de confiabilidad para revisar el cumplimiento de los estándares de calidad definidos y evaluar la eficiencia del sistema de gestión de calidad. En estas auditorías, se debe promover la aplicación de prácticas Lean en cada área de la planta e identificar oportunidades de mejora en los planes, procedimientos y dossiers de calidad. Las estrategias resultantes deberán ser presentadas por los supervisores de área a partir de los círculos de calidad.
- Auditorías anuales para verificar la alineación general del manual de calidad con los objetivos de calidad y los objetivos de la gerencia.

#### **4.1.15 Seguimiento y medición**

- Los KPI, como el MTTR, MTBF y la disponibilidad de los equipos, se analizarán periódicamente por parte del equipo de confiabilidad. Con base en los resultados de las auditorías, la recepción del dossier de calidad implementado y la retroalimentación del personal.
- Las actividades de mejora continua se realizarán en base a reuniones entre supervisores y equipos de trabajo donde el personal propone y evalúa nuevas estrategias para optimizar los procesos de mantenimiento y reducir la inactividad en base a su experiencia en terreno de su área específica de trabajo. Luego los supervisores serán los responsables de transmitir estas propuestas de mejora a la gerencia mediante las auditorías correspondientes.

## CAPÍTULO 5 Implementación Modelo de Calidad

En este capítulo se detalla la implementación del modelo de calidad descrito en el capítulo anterior, utilizando como caso piloto el procedimiento de instalación de cóncavas del Chancador Primario durante una mantención mayor. La implementación del modelo integra herramientas de control de calidad, como el Dossier de Calidad, con el objetivo de garantizar estándares operativos que minimicen fallas futuras y optimicen la disponibilidad del equipo a largo plazo. Se abordan los seis pasos de la metodología de calidad descrita en el capítulo 4 y se describe la creación e implementación de los Dossier de Calidad para el procedimiento de ejecución crítico analizado. Se recomienda revisar el Anexo B para comprender los detalles técnicos del Chancador nombrados en este capítulo.

### 5.1 Planificación

En esta etapa inicial, se definen los principales actores con sus respectivos roles a partir de una matriz de RACI, identificando cada una de las principales actividades, desde la revisión preliminar de proceso que se va a gestionar la calidad, hasta la validación de los controles implementados. En esta metodología para definir responsabilidades, se debe asociar cada actor a un respectivo rol, los cuales son 4:

- R: Responsable de ejecutar la tarea.
- A: Responsable de la toma de decisiones y resultado final.
- C: Consultado para dar información o recomendaciones.
- I: Informado sobre el progreso de resultados.

Por otro lado, los actores son:

- Ingeniero Memorista (IM).
- Supervisor Mantenimiento Chancado (SMC).
- Subgerente de ejecución Mecánica (GEM).
- Mecánicos Chancado (MC).
- Especialista Chancado (ECP).

Los principales recursos humanos son una empresa contratista, encargada de ejecutar todas las tareas relacionadas al cambio de cóncavas, estos estarán apoyados y liderados por los mecánicos de chancado de Candelaria y además se cuenta con un especialista de Chancador Primario, encargado de asegurar la correcta ejecución y análisis de las tareas. Los recursos materiales principales son los utilizados en el procedimiento interno de Candelaria “Cambio de cóncavas al chancador primario”.

En la Tabla 3 se detalla la matriz de RACI elaborada para el desarrollo y aplicación del modelo de calidad.

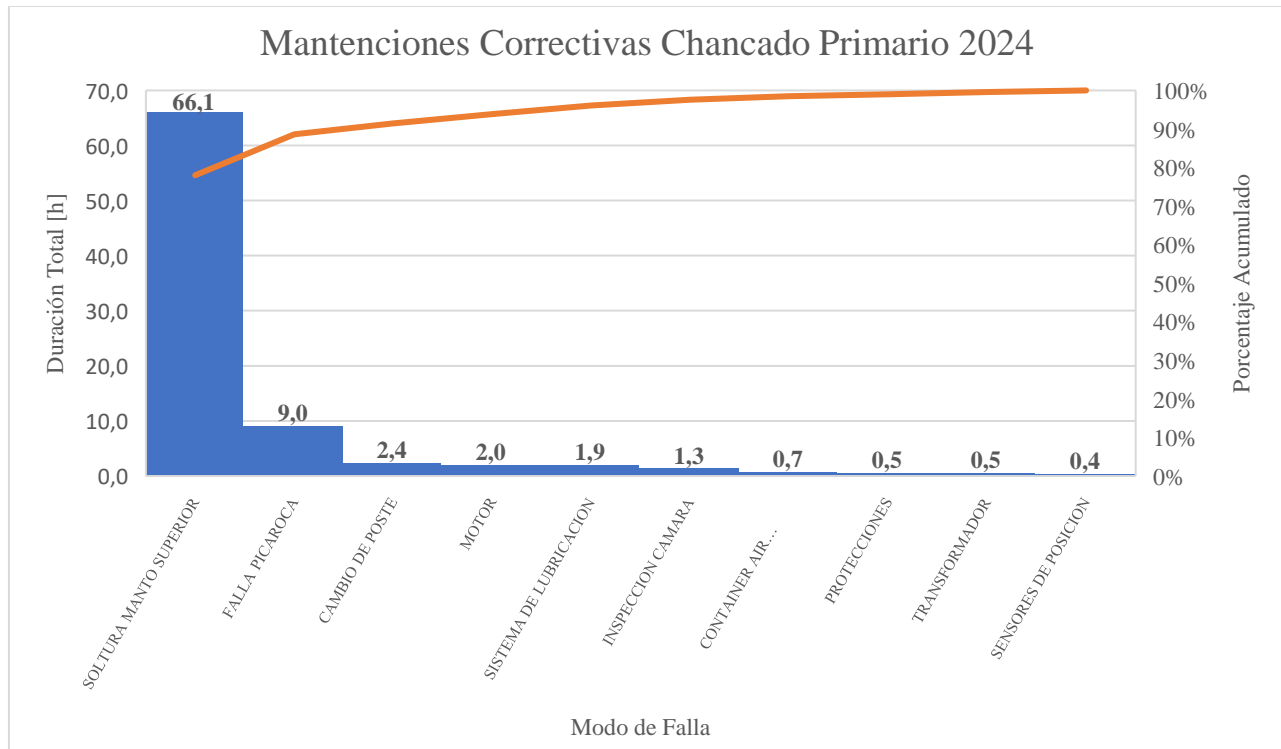
**Tabla 3 Matriz de RACI para aplicación del modelo**

<b>Matriz de RACI control de calidad cóncavas</b>					
<b>Actividad / Proceso</b>	<b>IM</b>	<b>SMC</b>	<b>GEM</b>	<b>MC</b>	<b>ECP</b>
Revisión del proceso actual	R	A	I	C	C
Definir objetivos de calidad	R	A	I	I	C
Recopilación de datos históricos	R	A	I	I	C
Análisis FMECA fallas chancador	R	A	I	I	C
Elaborar Dossier de Calidad	R	A	I	C	C
Instalación de cóncavas	I	A	I	R	C
Validación de estándar de calidad	R	A	I	C	R
Aprobación final del trabajo	I	R	A	I	C

## 5.2 Definir

En esta segunda etapa establece el proceso a gestionar la Calidad, el cual corresponde al cambio de cóncavas, tal como se describe en la introducción a este capítulo. El motivo de esta decisión en primer lugar fue debido a que el Chancador Primario es un equipo de alta criticidad, siendo el eslabón que se encuentra entre la mina y la concentradora, por lo que cualquier detención prolongada de este equipo afectan a las dos operaciones principales del complejo Candelaria. Además, que los componentes y repuestos del chancado son de un alto costo y tiempo de instalación, lo que se traduce en una pérdida de disponibilidad del equipo.

Otro factor calve para esta selección es la ocurrencia de una falla crítica en el año 2024, en la que se produjo la soltura de dos cóncavas superiores, catalogada como la falla más grave del año en dicho equipo. Esta falla obliga a cambiar una fila completa de cóncavas, generando mantenciones prologadas y altos costos en repuestos. La Figura 5.1 presenta el gráfico anual de detenciones correctivas del Chancador Primario, donde se evidencia que la soltura representó el evento de mayor impacto con un total de 66 horas de detención.



**Figura 5.1 Diagrama de Pareto detenciones correctivas Chancador Primario - 2024**

Se definen los siguientes objetivos de calidad para el procedimiento:

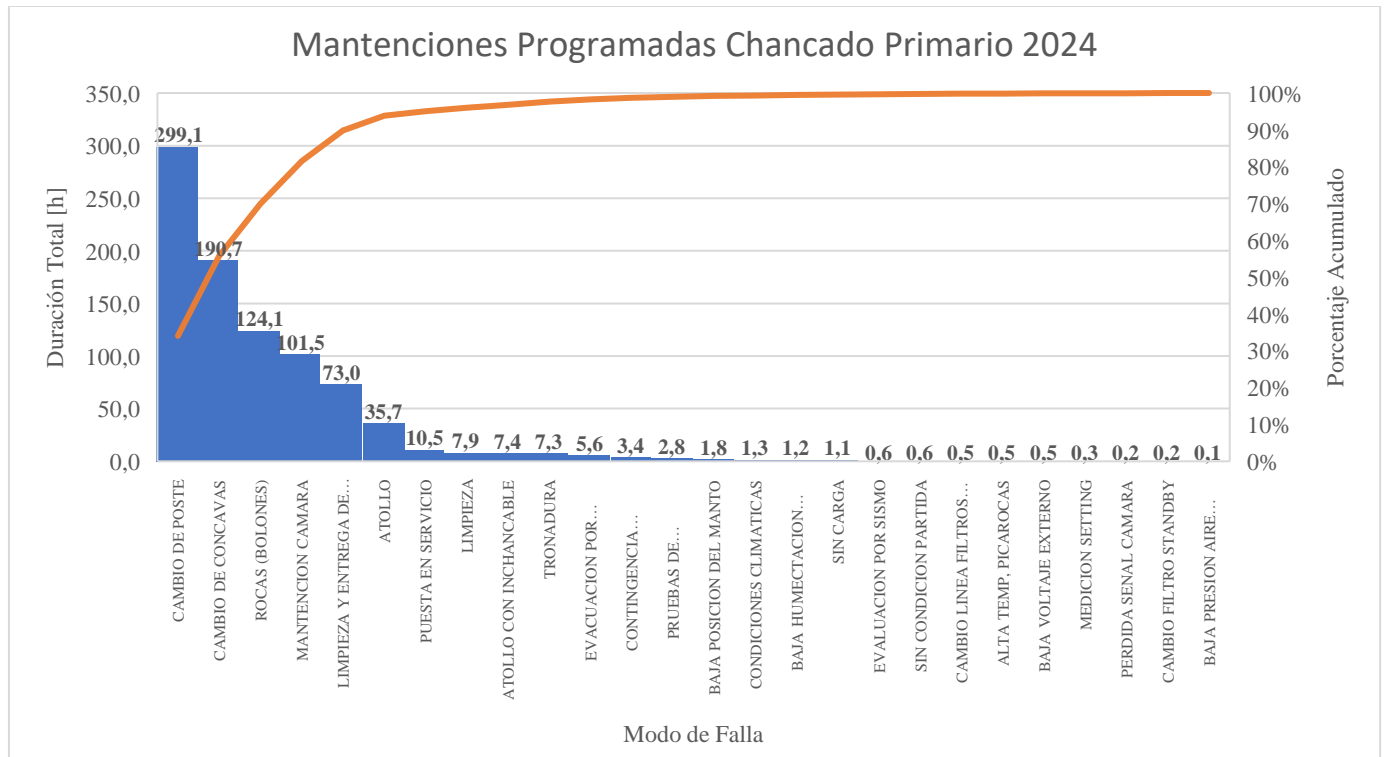
- Estandarizar un control de calidad para el cambio de cóncavas.
- Mitigar futuras fallas por soltura de cóncavas.
- Alcanzar las metas anuales de KPIs del Chancado Primario para el año 2025
- Cumplir con el 100% de las inspecciones de calidad para el cambio de cóncavas definidas por el Dossier de Calidad.

Cabe destacar que no se establecen objetivos de KPIs a corto plazo, ya que por la naturaleza de este procedimiento que se realiza pocas veces al año, es necesario evaluar los resultados anualmente.

### 5.3 Medir

Esta etapa implica la recopilación de datos iniciales que sirven como línea base para la propuesta de solución futura. Se realizan diagramas de Pareto para clasificar el impacto de las mantenciones programadas y medir los KPIs actuales.

En la Figura 5.2 se observa que, aunque el cambio de cóncavas ocurre solo dos veces al año, representa el 21,7% de las horas de detención programada, siendo la segunda más relevante y recalando la importancia de gestionar la calidad en dicho procedimiento.



**Figura 5.2 Diagrama de Pareto mantenciones programadas Chancador Primario - 2024**

Como siguiente paso de la etapa de medición del modelo, se obtuvieron valores de los principales KPIs y también una estimación de los costos a raíz del evento de falla.

- Tiempo promedio para reparar (MTTR): 1,45 horas.
- Tiempo promedio entre fallas (MTBF) : 76,4 horas.
- Disponibilidad: 91.3% .

Debido a la existencia de la pila de stock, es complejo establecer una relación directa entre las horas de detención del Chancador Primario y el costo de detención de un molino SAG. Para abordar estas limitaciones, se utilizó un estudio del departamento de metalurgia, el cual analizó datos históricos del chancador desde 2018 hasta 2022. Este análisis permitió estimar cómo afecta una hora de detención del Chancador Primario al tonelaje procesado por los molinos SAG. Se concluyó que cada hora de detención del chancador equivale a una pérdida de 455 toneladas por hora (tph) combinadas en ambos molinos. Es importante señalar que este estudio se emplea únicamente como referencia para el cálculo de costos estimado, ya que no representa fielmente el comportamiento real del sistema cuando hay una pila de stock entre ambos equipos. Su base es un análisis histórico, no un estudio detallado.

Luego, con la ecuación (1) se calcula las libras de concentrado de cobre perdidas por la detención del chancador primario, donde “Ton” son las toneladas de material que pasa por el SAG, “ley” es la ley de cobre, “rec” se refiere al porcentaje de cobre contenido en las rocas que se logra extraer y convertir en concentrado de cobre y “Ton Cu Gross” son las toneladas de concentrado de cobre producidas, también denominado Cobre Gross (la ley de cobre y el porcentaje de recuperación se obtuvieron a

partir de los reportes diarios de producción internos de Candelaria para tener el valor exacto del día de la falla).

$$\text{Ton} \cdot \text{ley} \cdot \text{rec} = \text{Ton Cu Gross} \quad (1)$$

$$455 T \cdot 0.72\% \cdot 92.23\% = 3,021 T \text{ Cu Gross/hr}$$

$$\rightarrow \mathbf{6.660,157 \text{ lb/hr}}$$

De esta forma se calcula que en 1 hora de detención del Chancador se pierden 6.660,157 libras de Cobre Gross. Luego, con la ecuación (2) se calcula el precio de esta cantidad de Cobre Gross en dólares. Donde “Precio cobre” es el precio del cobre actual [28] y “Cash Cost” es el precio de producción de una libra de Cobre Gross [29].

$$\text{Precio cobre} - \text{Cash Cost} = 4,07 - 1,90 = \mathbf{2,17 \text{ US\$/Lb}} \quad (2)$$

$$2,17 \cdot 6.660,157 = \mathbf{14.452,54 \text{ US\$/hr}}$$

Finalmente, se estima que una hora de detención del chancador representa una pérdida de 14.452 dólares como costo de oportunidad. Para las 66 horas de detención, la pérdida total asciende a **953.867,68 dólares**.

## 5.4 Analizar

En esta etapa se identifica cada una de las etapas críticas del proceso de instalación de cóncavas y los parámetros de calidad que deben ser controlados.

### 5.4.1 Procedimiento cambio de cóncavas

De forma simplificada, el proceso inicia con la preparación del área, traslado de herramientas y repuestos, y bloqueo de equipos para garantizar todas las condiciones de seguridad necesarias. Luego, se procede con el desmontaje de la araña y el poste, seguido de la extracción de las cóncavas desgastadas mediante oxicorte y uso del pica rocas del Chancador. Luego, se realiza una limpieza al Shell interno y se reparan daños en la guía de enganche superior y anillo retenedor de cóncavas inferior. La instalación de las nuevas cóncavas se realiza por filas montadas en carruseles, asegurando la alineación, fijación y sellado con resina epóxica. Finalmente, se reinstalan los componentes, se retiran bloqueos y se realiza la entrega del equipo a operaciones.

### 5.4.2 Mapeo flujo de valor

A raíz del análisis realizado a este procedimiento de Candelaria, se procede con la creación de un mapeo de flujo de valor para el procedimiento de cambio de cóncavas. Esta herramienta es de gran utilidad para identificar los ciclos de tiempo, desperdicios principales en el flujo de trabajo y determinar los puntos de control de calidad en el procedimiento. En la Figura 5.3 se presenta el mapa de flujo de valor o VSM del cambio de cóncavas.

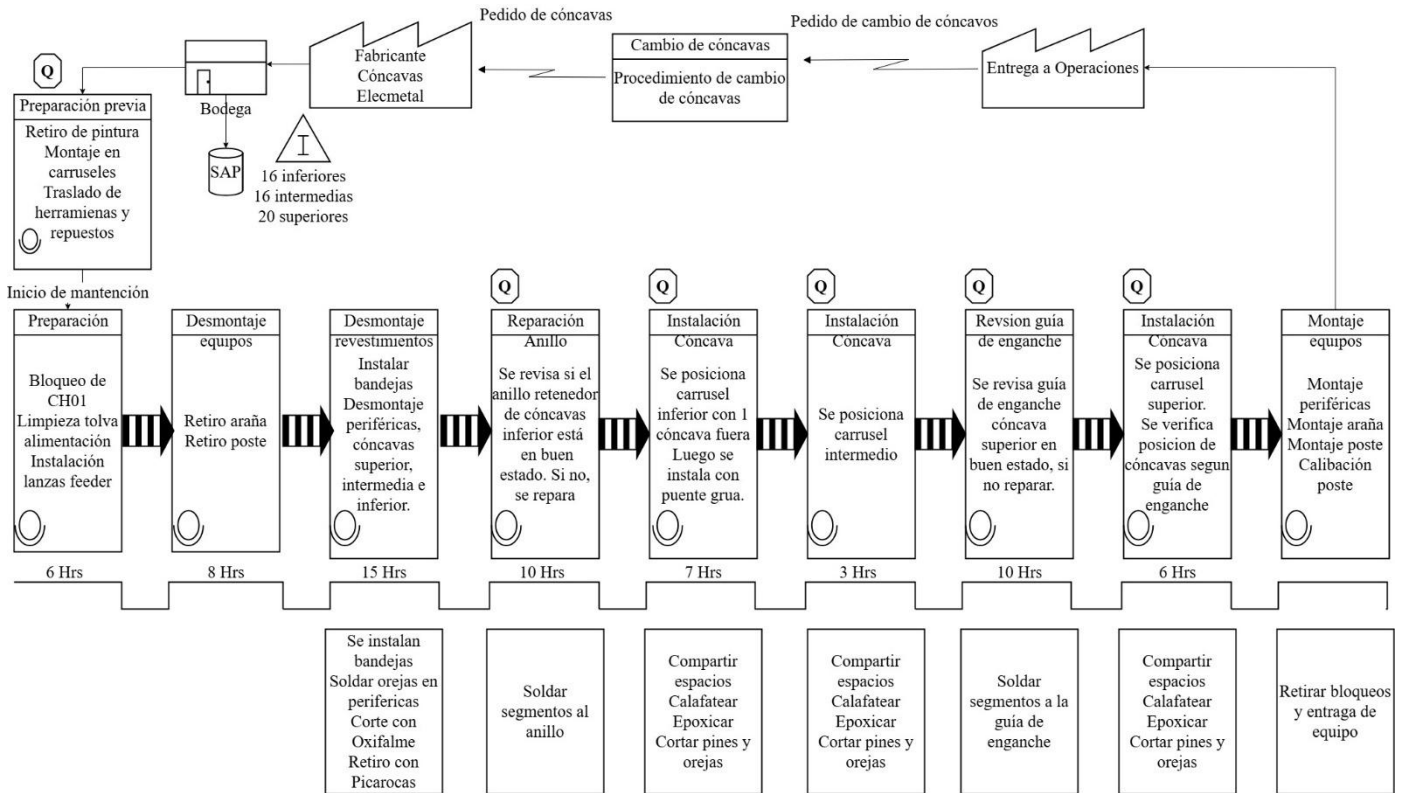


Figura 5.3 Mapa flujo de valor cambio de cóncavas

Se identificó como principal desperdicio el exceso de tiempo en el proceso de instalación de cóncavas, compartir espacios y fijarlas. Sobre todo, en la cóncava inferior y superior que duplican el tiempo de la fila intermedia.

Por otro lado, se definen los principales puntos donde controlar la calidad, los cuales son en la revisión e instalación de las cóncavas en los carruseles previo a la mantención, reparación anillo retenedor, instalación de las filas en el Shell del chancador y reparación guía de enganche.

#### 5.4.3 Análisis FMECA

Para evaluar cuál de todos los distintos componentes que forman parte del proceso de instalación son los más críticos, se realizó un análisis FMECA, seleccionando como componentes a estudiar:

- Cóncavas.
- Pin de fijación.
- Yeso para sellado.
- Resina epóxica.
- Guía de enganche.
- Anillo retenedor de cóncavas.
- Pica Roca.
- Procedimiento de instalación.

Luego, se determinó su función principal, falla funcional, modo de falla, frecuencia, causa y consecuencias. Posteriormente se realizó un análisis de criticidad en base a un NPR que depende de tres criterios, probabilidad de falla (PF), consecuencia de falla (CF) y probabilidad de mitigación (PM). El NPR se calcula a partir de la fórmula (3).

$$NPR = PF \cdot CF \cdot PM \quad (3)$$

En la Tabla 4, se presenta el análisis FMECA realizado para los componentes seleccionados, en la Tabla 5 se encuentran el valor de criticidad determinado para cada componente, donde en la Tabla 6 y Tabla 7 se encuentran los nombres de los principales criterios para el análisis y rangos de NPR respectivamente.

**Tabla 4 Análisis de Modos de Falla, Efectos y Criticidad componentes de las cóncavas**

N°	Componente /Equipo	Función	Falla					
			Falla Funcional	Modo	Frecuencia	Causa	Efecto y Consecuencia	Tipo de Consecuencia
1	Cóncava	Componente de desgaste	Perdida de cóncava	Soltura /desgaste	Baja	Defecto de fabricación / Error de instalación	Parada no programada / Daño estructural	Operativa y económica
2	Pin de fijación	Fijar y asegurar cóncava	Mala fijación de cóncava	Sobra mucho espacio de pin	Alta	Error de instalación / Mala calidad de cóncava	Pérdida de estabilidad de cóncava	Operativa y económica
3	Yeso para sellado	Contener resina epóxica	Perdida de epóxico	Escurre epóxico entre cóncavas	Media	Error de aplicación	Mayor tiempo de mantención	Operativa
4	Resina epóxica	Amortiguar los esfuerzos en el Shell	Desgaste en el Shell	Al retirar cóncava no se aprecia epóxico	Baja	Error en aplicación	Deformación permanente en Shell	Estructural y Económica
5	Guía de enganche	Fijación superior de cóncavas	Rotura	Desgaste / Perdida de material	Media	Falla dimensional / Defecto de material	Riesgo de soltura de cóncava	Operativa y económica

<b>6</b>	Anillo retenedor de cóncavas	Fijación inferior de cóncavas	Rotura	Desgaste / Perdida de material	Media	Falla dimensional / Defecto de material	Riesgo de soltura de cóncava	Operativa y económica
<b>7</b>	Pica roca	Romper bolones / Retirar cóncavas	Impacto sobre cóncavas	Golpe durante la operación	Media	Mala operación / Sobredimensionamiento	Riesgo de soltura de cóncava	Operativa y económica
<b>8</b>	Procedimiento de instalación	Garantizar correcta instalación	Falla en el montaje	Error humano / Dificultad por malos repuestos	Alta	Falta de capacitación / Falta de control de calidad	Parada no programada / Daño estructural	Operativa y económica

**Tabla 5 Análisis de criticidad componentes de las cóncavas**

N°	Componente / Equipo	Criticidad			
		PF	CF	PM	NPR
<b>1</b>	Cóncava	2	4	5	40
<b>2</b>	Pin de fijación	5	2	2	20
<b>3</b>	Yeso para sellado	5	2	1	10
<b>4</b>	Resina epóxica	1	4	1	4
<b>5</b>	Guía de enganche	3	4	3	36
<b>6</b>	Anillo retenedor de cóncavas	3	4	3	36
<b>7</b>	Pica roca	5	4	1	20
<b>8</b>	Procedimiento de instalación	2	4	3	24

Tabla 6 Criterios para el análisis de criticidad

	<b>Probabilidad de falla PF</b>	<b>Consecuencia de falla CF</b>	<b>Posibilidad de mitigación PM</b>
<b>1</b>	<b>Muy improbable</b> (ocurre menos de una vez al año)	<b>No impacta</b> (sin efecto en la operación)	<b>Muy alta</b> (fácilmente detectable o prevenible)
<b>2</b>	<b>Poco probable</b> (ocurre una vez al año o menos)	<b>Impacto leve</b> (retrasos menores o reparaciones rápidas)	<b>Alta</b> (requiere inspección visual o rutina estándar)
<b>3</b>	<b>Probable</b> (ocurre al menos una vez cada seis meses)	<b>Impacto moderado</b> (interrupción temporal, afecta productividad)	<b>Moderada</b> (detectar requiere herramientas o experiencia)
<b>4</b>	<b>Alta probabilidad</b> (ocurre cada 1-3 meses)	<b>Impacto grave</b> (detención parcial de planta o riesgos moderados)	<b>Baja</b> (difícil de detectar o requiere equipos avanzados)
<b>5</b>	<b>Muy alta probabilidad</b> (ocurre mensualmente o con mayor frecuencia)	<b>Impacto crítico</b> (detención completa de la planta, riesgos severos)	<b>Muy baja</b> (difícilmente detectable hasta que ocurra el fallo)

Tabla 7 Rangos de NPR

<b>Rangos de NPR</b>
1 - 20 (Bajo): Tolerable, con acciones rutinarias de mejora
21 - 40 (Moderado): Requiere atención para mitigar riesgos en el corto plazo
41 - 60 (Alto): Necesita acciones correctivas inmediatas para reducir la criticidad
61 - 100 (Crítico): Inaceptable, acciones urgentes necesarias para eliminar o minimizar riesgo

Cabe destacar, que esta selección de valores para los criterios de criticidad se basa en un análisis cualitativo, consultado con mecánicos expertos y especialista de equipos chancadores, además de analizar las fallas históricas encontradas en los softwares de mantenimiento SAP y RMES.

### 5.5 Mejorar

Para abordar los problemas identificados y analizados previamente, se desarrollan dos Dossiers de Calidad:

### 5.5.1 Dossier de Calidad Metrología de Cóncavas

Se plantea el documento a partir de los planos de fabricación de las cóncavas entregadas por el fabricante, del cual se seleccionan las siguientes medidas como las más críticas a controlar y también por su facilidad de medición. Además, se realiza un ensayo de dureza a 5 cóncavas por filas, para verificar que la composición sea la correcta, el margen se obtiene de información del fabricante.

- Dureza para todas las cóncavas: [185 a 220] HB

Cóncava Inferior: En la Figura 5.4 se presenta la geometría y cotas de las cóncavas inferiores.

- **Ws,ex:** Ancho superior, cara exterior.
- **Wi,ex:** Ancho inferior, cara exterior
- **Ws,in:** Ancho superior, cara interior.
- **Wi,in:** Ancho inferior, cara interior.
- **L,in:** Largo interior.

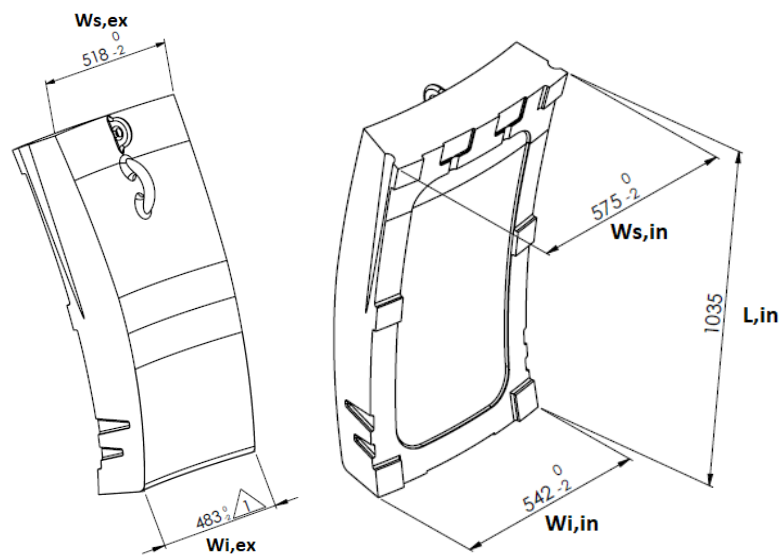


Figura 5.4 Geometría y cotas de las cóncavas inferiores

Cóncava Intermedia: En la Figura 5.5 se presenta la geometría y cotas de las cóncavas intermedias.

- **Ws,ex:** Ancho superior, cara exterior.
- **Wi,ex:** Ancho inferior, cara exterior
- **Ws,in:** Ancho superior, cara interior.
- **Wi,in:** Ancho inferior, cara interior.
- **L,in:** Largo interior.

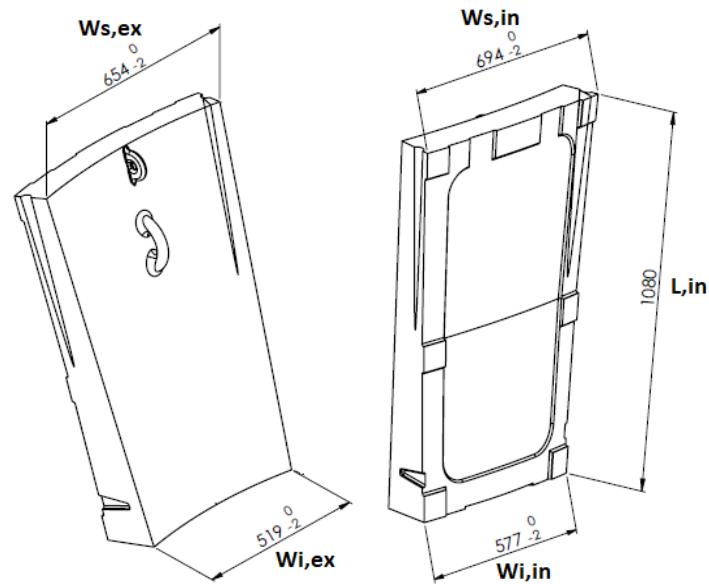
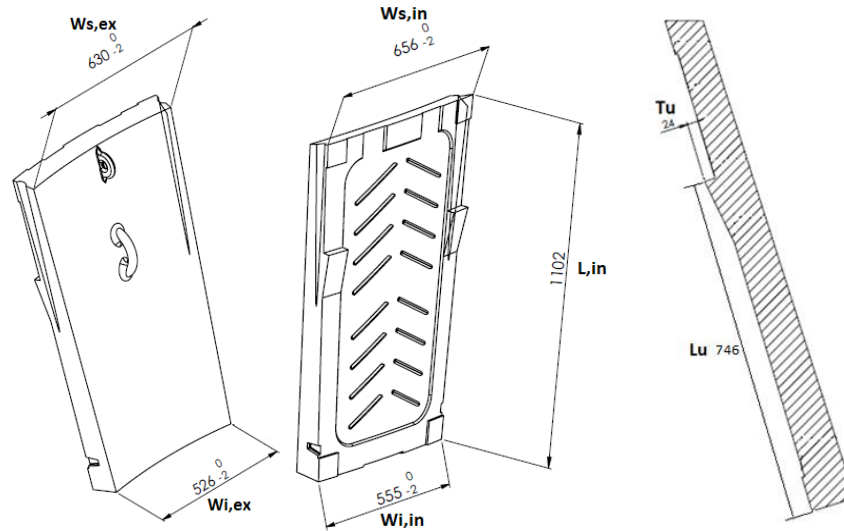


Figura 5.5 Geometría y cotas de las cóncavas intermedias

Cóncava Superior: En la Figura 5.6 se presenta la geometría y cotas de las cóncavas superiores.

- **Ws,ex:** Ancho superior, cara exterior.
- **Wi,ex:** Ancho inferior, cara exterior
- **Ws,in:** Ancho superior, cara interior.
- **Wi,in:** Ancho inferior, cara interior.
- **L,in:** Largo interior.
- **Lu:** Largo de base a uñeta
- **Tu:** Espesor uñeta

En esta fila de cóncavas, es necesario agregar la medición de la uñeta de enganche, ya que es el componente que encaja en la guía de enganche del Top Shell y evita el deslizamiento de las cóncavas hacia arriba de la cámara de chancado. También es importante ya que esas medidas se utilizan para calcular el gap o separación que debe haber entre las distintas filas, es decir, el gap horizontal superior e inferior de cada cóncava.



**Figura 5.6 Geometría y cotas de las cóncavas superiores**

En el Anexo D se encuentra las tablas de mediciones obtenidas en terreno mediante el dossier de calidad.

### 5.5.2 Dossier de Calidad Cambio de Cóncavas

A partir del procedimiento de cambio de cóncavas de Candelaria e información obtenida al entrevistar a mecánicos, supervisor y especialista de chancado. Se definen 36 hitos de calidad medibles en todo el procedimiento, desde la limpieza e inspección del Shell, hasta la instalación de la cóncava superior. Los demás pasos de retiro y armado de componentes del chancado no se incluyeron dentro del Dossier de Calidad.

Estos se separan en 5 fases:

1. Limpieza e inspección inicial.
2. Reparación Shell
3. Instalación cóncavas inferiores
4. Instalación cóncavas intermedias
5. Instalación cóncavas superiores

El Anexo F contiene las Tablas con toda la explicación de los hitos de calidad correspondientes a cada fase y su estándar de calidad que deben cumplir

## 5.6 Control

En esta última etapa de implementación del modelo de gestión de calidad, se evidencia la utilización de los Dossier de Calidad por parte del ingeniero memorista y como se llevó el control de todas las principales acciones para monitorear la calidad en el procedimiento de instalación de cóncavas.

Con los resultados obtenidos de los Dossiers de Calidad, se realizaron auditorias con los principales actores planteados en la etapa de planificación y con personal fabricante de las cóncavas y se

analizaron los resultados para definir futuras acciones, las cuales se detallan en el siguiente capítulo de este informe.

## **CAPÍTULO 6 Resultados y Conclusiones**

### **6.1 Análisis de resultados**

#### **6.1.1 Metrología cóncavas**

La implementación del Dossier de Calidad Metrología de Cóncavas permite realizar mediciones detalladas de todas las cotas de las cóncavas y calcular la dureza en algunas seleccionadas. Los resultados obtenidos, presentados en el Anexo D, evidencian la existencia de desviaciones dimensionales en la totalidad de las cóncavas evaluadas, no respetando las tolerancias del plano. En particular, se detectó que la ñeta de enganche de la cóncava superior se encuentra muy fuera del rango estipulado en el dossier, además de presentar una inclinación no deseada en todas las unidades inspeccionadas. Asimismo, se identificó la presencia de rebabas y acabados superficiales deficientes, lo que compromete la calidad de los repuestos y dificulta su instalación adecuada.

Desde el punto de vista de la dureza, los ensayos fueron exitosos, cumpliendo con los valores especificados por el dossier para garantizar la resistencia mecánica del material. Sin embargo, el impacto negativo de las desviaciones geométricas evidenciadas en la metrología refuerza la necesidad de establecer un control de calidad más riguroso en la recepción de repuestos, asegurando la conformidad de estos con las especificaciones técnicas exigidas.

#### **6.1.2 Cambio de cóncavas**

El análisis de los datos obtenidos tras la aplicación del Dossier de Calidad Cambio de Cóncavas permite identificar los factores que contribuyen a la extensión del tiempo de instalación de las cóncavas. Uno de los hallazgos más relevantes es que el 75% de los hitos de calidad definidos en el dossier lograron ser controlados de manera efectiva, lo que sugiere la existencia de oportunidades de mejora en la gestión de calidad del proceso.

En particular se determina que nueve hitos de calidad se encuentran fuera de rango establecido o no pudieron ser controlados adecuadamente. Dichas desviaciones están directamente relacionadas con problemas de geometría de cóncavas, los cuales obligan a realizar modificaciones en el procedimiento de instalación, aumentando el tiempo total de ejecución y perjudicando los KPIs objetivo de la gerencia. Uno de los principales inconvenientes detectados es el exceso de material en el ancho de las cóncavas, lo que hace necesario retirar una cóncava del carrusel inferior para permitir su inserción adecuada en la cámara de chancado. Esta necesidad de reconfiguración genera retrabajos y tiempos de espera prolongados.

Adicionalmente, se verificó que el anillo retenedor y la guía de enganche presentaban desviaciones geométricas, requiriendo reparación antes de su instalación. Ninguna de las tres corridas de cóncavas logró alcanzar el gap vertical objetivo, lo que nuevamente se relaciona con las desviaciones

geométricas. Finalmente, se identificó que los pines superiores e intermedios no lograron su estándar de calidad deseado, mientras que los inferiores solo en la mitad de los casos se instaló según la especificación del dossier, lo que compromete la estabilidad del ensamble y prolonga los tiempos de instalación.

A partir de estos resultados se observa que la falta de calidad en las cóncavas adquiridas por Candelaria tiene un impacto significativo en los tiempos de instalación, afectando directamente los KPIs de la Gerencia de Mantenimiento Procesos. Esto evidencia la importancia de fortalecer los mecanismos de control de calidad, asegurando que las actividades de mantenimiento cumplan con los estándares especificados y evitando así retrabajos y tiempos de detención prolongados.

## **6.2 Conclusiones**

La implementación del Manual de Gestión de Calidad demostró ser una estrategia efectiva para estandarizar el control de calidad en los procesos de mantenimiento de la Planta Concentradora de Minera Candelaria. Su aplicación permitió identificar los principales desperdicios en los procedimientos y establecer puntos críticos de control de calidad, contribuyendo a la optimización de las actividades de mantenimiento.

El modelo de calidad propuesto se fundamenta en metodologías Lean Maintenance y principios de control de calidad, alineándose con los estándares de las normas ISO. A través de la implementación de los Dossier de Calidad, se logró obtener información valiosa sobre la calidad de los repuestos recibidos, permitiendo a la gerencia tomar decisiones informadas para mitigar futuras fallas y optimizar los procesos de adquisición.

Uno de los principales hallazgos del estudio fue la identificación de desviaciones geométricas en las cóncavas, las cuales tienen un impacto directo en los tiempos de instalación y en el cumplimiento de los KPIs de mantención. Estas deficiencias estructurales generaron la necesidad de modificaciones en el procedimiento de instalación, lo que refuerza la importancia de establecer mecanismos de control de calidad más riguroso para todas las actividades de mantenimiento.

Asimismo, la implementación del modelo de gestión de calidad contribuyó a un cambio cultural dentro de la Gerencia de Mantenimiento Procesos, orientada en la mejora continua y el cumplimiento de los estándares de calidad. La estandarización de los procedimientos de control permitió mejorar la trazabilidad de las intervenciones de mantención, optimizando la toma de decisiones, buscando reducir los tiempos de ejecución de las actividades.

Finalmente, se recomienda continuar con la aplicación del modelo de calidad según los planes de acción que plantea el manual de calidad, con el fin de consolidar una metodología de trabajo basada en la estandarización, la mejora continua y el aseguramiento de la calidad en todas las fases del ciclo de mantenimiento. Además, se sugiere continuar perfeccionando el manual de calidad, ya que este será la guía principal para poder organizar el control de calidad dentro de todas las actividades referentes a la Gerencia de Mantenimiento Procesos.

## Referencias

- [1] C. C. d. C. (Cochilco), «Produccion mundial y Chilena de Cobre de mina,» Comision Chilena del Cobre, Santiago, 2023.
- [2] S. N. d. G. y. M. (Sernageomin), «Anuario de la Minería de Chile 2023,» Servicio Nacional de Geología y Minería, Santiago, 2024.
- [3] S. C. Inc, «Technical Report for the Candelaria Copper Mining Complex,» Atacama Region, Chile, 2023.
- [4] Corporación Nacional del Cobre de Chile, «Glosario,» CODELCO, [En línea]. Available: <https://www.codelco.com/nosotros/preguntas-frecuentes/glosario>.
- [5] J. Moubray, Reliability centred Maintenance, Asheville, North Carolina, 28803, USA: Aldon LLC, 2001.
- [6] A. M. Gutiérrez, Mantenimiento. Planeación, ejecución y control, Mexico: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V., 2009.
- [7] J. Levitt, Lean Maintenance, Industrial Press Inc, 2008.
- [8] J. P. Womack, D. T. Jones y D. Roos, The Machine That Changed the World, Harper Perennial., 1991.
- [9] J. C. Hernández y A. Vizán, Lean manufacturing. Conceptos, técnicas e implantación, Madrid: Fundación EOI, 2013.
- [10] J. P. Womack y D. T. Jones, Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation, 2003.
- [11] M. Rother y J. Shook, Learning to See: Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate Muda, Lean Enterprise Institute, 2003.
- [12] A. V. Feigenbaum, Total Quality Control, New York: McGraw-Hill, 1983.
- [13] W. E. Deming, OUT OF THE CRISIS. Quality, Productivity and Competitive Position, Cambridge University Press, 1986.
- [14] J. M. Juran y A. Blanton Godfrey, Juran's Quality Handbook, New York: McGraw-Hill, 1990.
- [15] S. Gómez Gonzáles, Control de Calidad en Fabricación Mecánica, Cano Pina, S.L, 2007.
- [16] M. L. George, The Lean Six Sigma Poket Toolbook, New York: McGraw-Hill, 2005.

- [17] ISO 9001:2015, Sistema de gestión de la calidad - Requisitos, Ginebra: Secretaria Central de ISO, 2015.
- [18] ISO 10005:2018, Sistema de gestión de la calidad - Directrices para los planes de la calidad, Ginebra, Suiza: Secretaría Central de ISO, 2018.
- [19] ISO 55001:2014; Gestión de activos - Sistema de gestión - Requisitos, Secretaría Central de ISO, 2014.
- [20] G. Barrientos y C. Canales, «Análisis de Fallas en Equipos Industriales,» Departamento Ingeniería Mecánica, Concepción - Chile, 2023.
- [21] SAP, «SAP ERP,» 2024. [En línea]. Available: <https://www.sap.com>.
- [22] RMES, «Manual de usuario, Instructivo General, versión 7.m-M,» CGS S.A, 2017.
- [23] FFE Minerals Chile S.A, «Manual de Instalación, Operación y Mantenimiento de la trituradora giratoria Traylor tipo TC,» Santiago, 1993.
- [24] E. S. Silloca, «Informe técnico de cambio de cóncavas y mantos en chancadoras primarias por la empresa contratista FLSMIDTH.S.A.C,» Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, 2019.
- [25] A. Nemati, S. Nadeau y B. Ate-me-Nguema, «Lean Mining, Productivity and Occupational Health and Safety: An Expert-Elicitation Study,» *Scientific Research Publishing*, 2019.
- [26] A. Klippel, C. Petter y J. Antuanes JR, «Lean Management Implementation in Mining Industries,» *Dyna*, 2008.
- [27] M. Ade y V. Deshpande, «Lean Manufacturing and Productivity Improvement in Coal Mining Industry,» *International Journal of Engineering Research and Development*, vol. 2, n° 10, pp. 35-43, 2012.
- [28] P. Minero, «Cotización de Cobre. Bolsa de Metales - Comunidad Portal Minero,» 2025. [En línea]. Available: <https://www.portalminero.com/pages/viewpage.action?pageId=31981855>.
- [29] L. Mining, «Operations, Guidance-reports,» 2025. [En línea]. Available: <https://lundinmining.com/operations/guidance-reports/>.
- [30] C. A. Z. Medina, «Plan de mantenimiento preventivo basado en RCM para el chancador primario Fuller, Operación Mantoverde,» Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso, 2018.

# Anexo A: Diagramas del proceso de producción de Candelaria

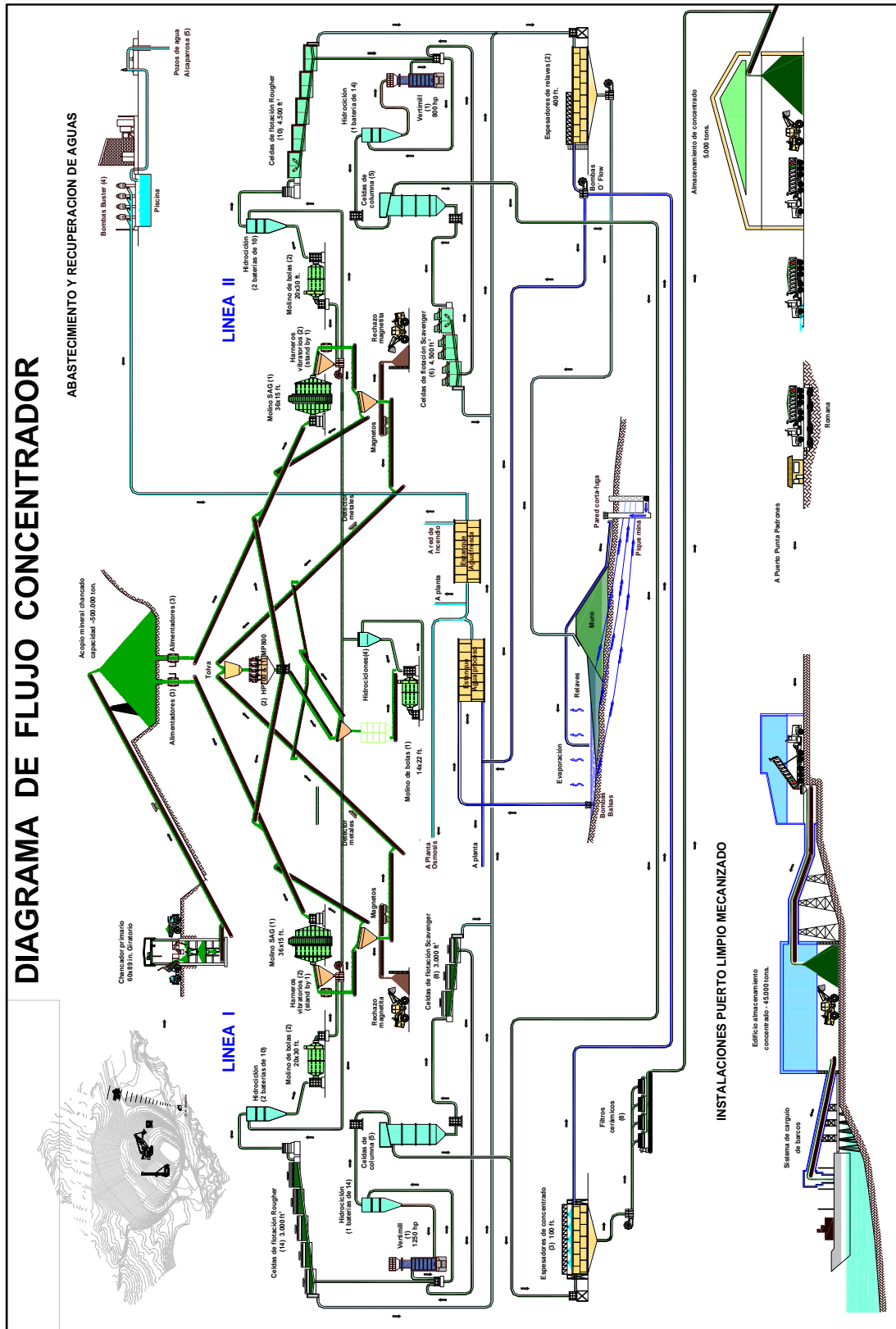


Figura 6.1 Diagrama general proceso de producción Candelaria

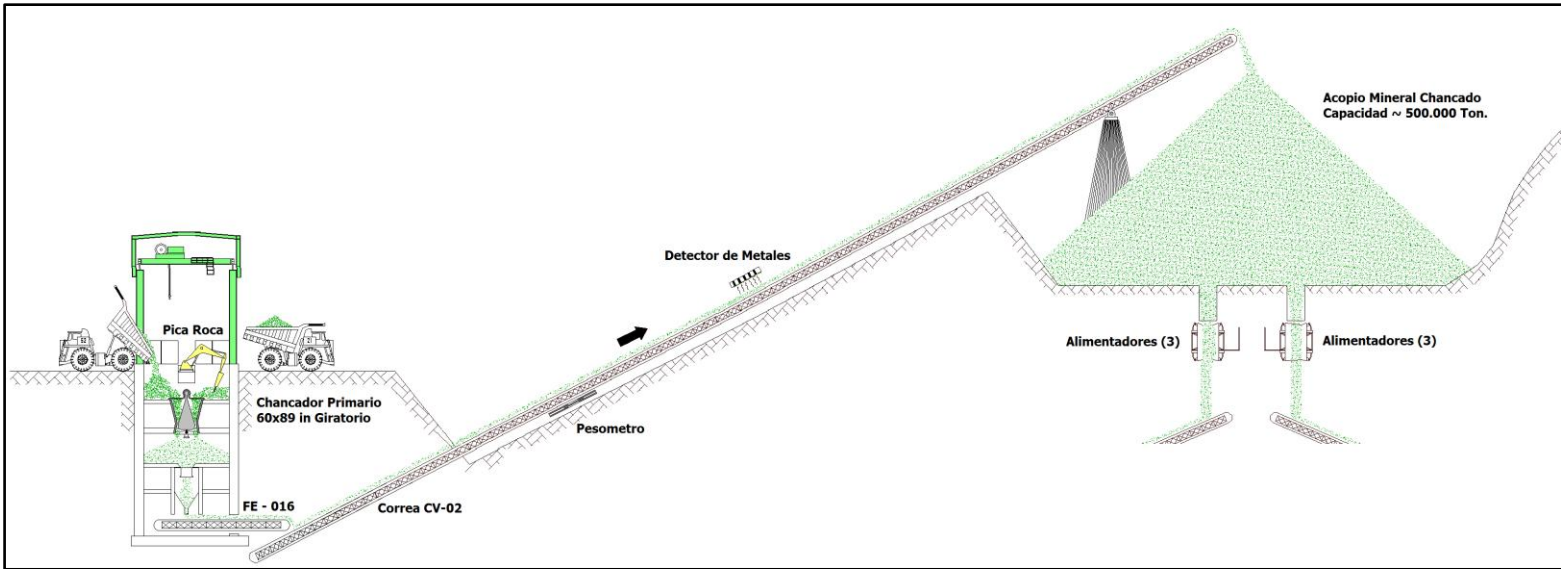


Figura 6.2 Diagrama proceso de Chancado Primario

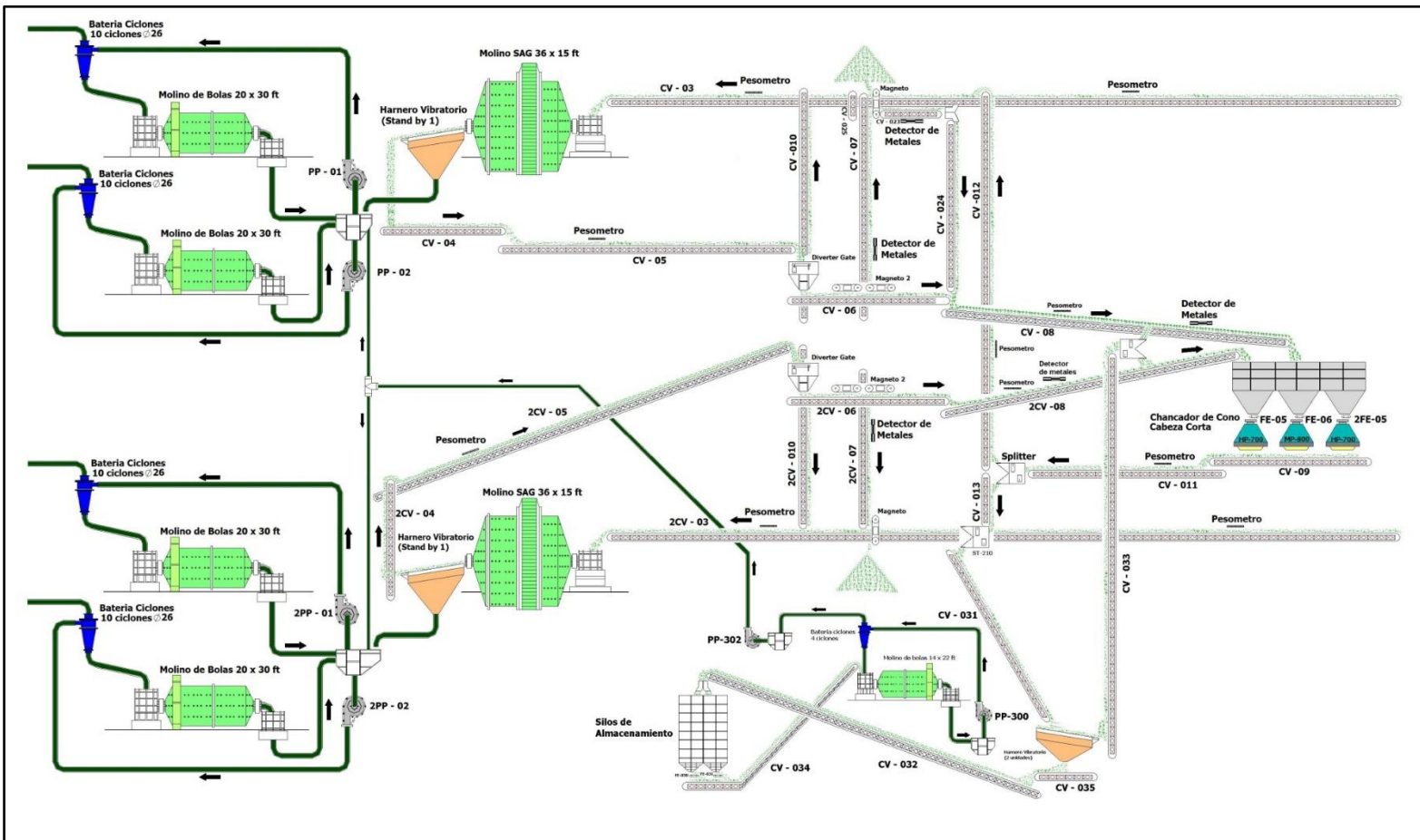


Figura 6.3 Diagrama proceso de Molienda, Pebbles y Fase 3

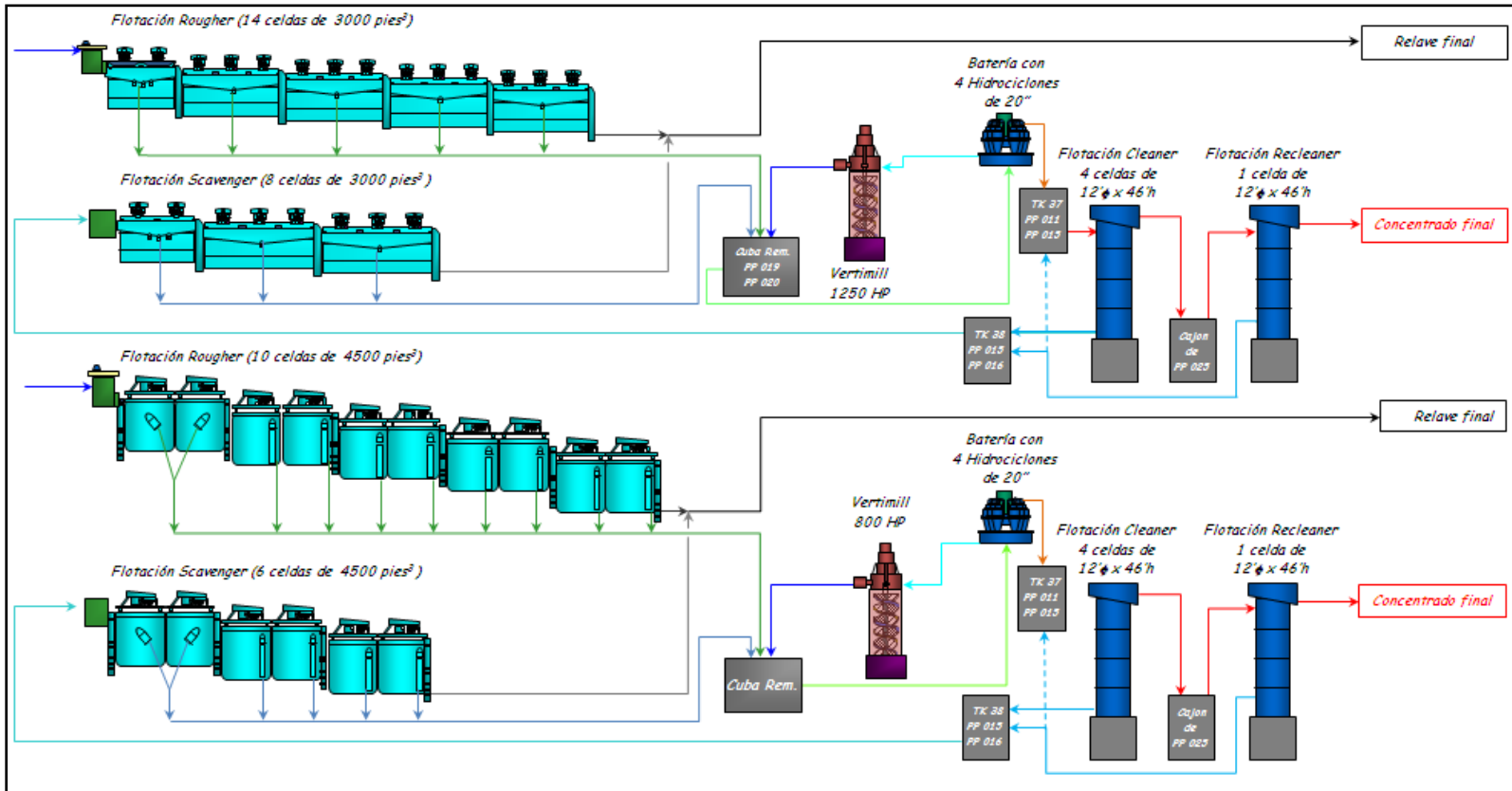


Figura 6.4 Diagrama proceso de Flotación

## Anexo B: Principales componentes y características Chancador Primario Fuller 60"x89"

Tabla 8 Características Chancador Fuller 60x89 TC [23]

Dato	Tipo o Valor
Tamaño del Chancador	60"x89" TC
Potencia del motor	800 [HP] / 600 [kW]
Velocidad del motor	495 [RPM]
Distancia lateral cerrada (CSS)	1,75"
Ajuste del Chancador	7,7"
Tamaño de producto	80% bajo un 6,5"

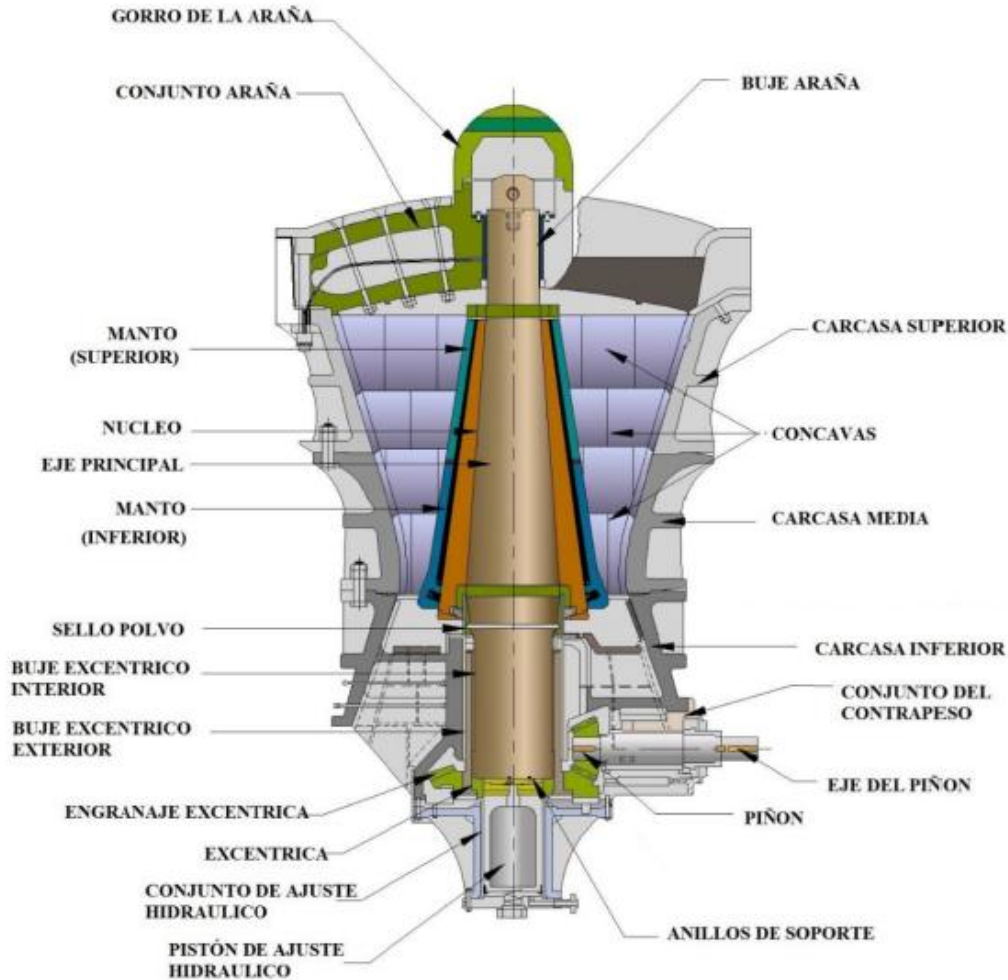


Figura 6.5 Diagrama de principales componentes Chancador Primario Fuller [30]

A continuación, se detallan todos los conjuntos y componentes generales que componen un chancador primario giratorio, según el manual de operaciones de FLSmidth [23].

- **Araña (Spider):** La araña cumple el objetivo principal de guiar el movimiento excéntrico del extremo superior del eje principal, el cual gira libremente en el buje gracias a la holgura existente entre las piezas y el sistema de lubricación mediante grasa a presión, la cual se mantiene dentro debido a un sello ubicado en la parte inferior. La araña está protegida con corazas para resistir el impacto del material de alimentación y, debido a su diseño, permite distribuir uniformemente el material en la cámara de chancado.
- **Cuerpo o Carcasa (Shell):** Es la estructura principal del chancador, en la cual se montan todos los componentes principales. Se compone de tres cuerpos diferentes, denominados Carcasa Superior (Top Shell), Carcasa Media (Middle Shell) y Carcasa Inferior (Bottom Shell). La Carcasa Superior es una estructura cónica invertida que aloja los revestimientos cóncavos en su interior. En la parte superior se monta el conjunto de la araña, mientras que en la inferior se ensambla con la Carcasa Media. Esta segunda carcasa también tiene forma cónica y funciona como soporte para los elementos que intervienen en los procesos de chancado, incluyendo sistemas de sellado y fijación de revestimientos cóncavos inferiores. Por último, la Carcasa Inferior es la base estructural

del chancador, esta se apoya sobre una fundación. Dentro de este cuerpo se encuentra el sistema de la excéntrica, acoplamiento del contraeje y el pistón hidráulico (hidroset).

- **Eje principal (Main Shaft):** Este conjunto incluye un eje principal, un núcleo y dos revestimientos o mantos, uno superior y otro inferior. En la base se encuentra un asiento de apoyo, el cual permite el movimiento del chancador guiados por el conjunto excéntrico. También contiene un sello de polvo que evita la entrada de este a las partes internas del conjunto, protegiendo los componentes de un desgaste prematuro por abrasión.
- **Contraeje (Countershaft):** Este conjunto está compuesto por un eje con dos rodamientos, cubiertos por una carcasa o camisa. En el extremo que entra al chancador se encuentra un piñón cónico y, en el otro extremo, un acoplamiento que lo conecta al motor mediante un eje de extensión. Este conjunto debe contar con un alineamiento preciso para garantizar el correcto acoplamiento entre el piñón y la corona de la excéntrica.
- **Excéntrica (Eccentric):** El sistema excéntrico está compuesto por cuatro elementos, la excéntrica, los bujes de la excéntrica (interior y exterior), la corona dentada y una placa inferior. El funcionamiento se basa en el giro de la excéntrica en los bujes de cobre, a través de la corona dentada impulsada por el contraeje. Gracias a la inclinación y excentricidad de la perforación central de la excéntrica, se genera un movimiento oscilante circular en el eje principal. La placa inferior actúa como soporte axial para todo el sistema excéntrico, ubicado entre el cuerpo inferior y el mecanismo de posicionamiento del poste. Además, en el apoyo inferior se encuentra un asiento esférico.
- **Cilindro Hidráulico para posicionamiento del poste (Hidroset):** Consiste en un pistón con un asiento esférico en la parte superior, en el cual ingresa aceite por una perforación lateral para subir y bajar dicho pistón. Cumple la función de soportar el peso del eje principal mediante el asiento esférico y regular su posición vertical, alejando o acercando el manto de las cóncavas en la cámara de chancado, es decir, controla la granulometría del producto chancado y compensa el desgaste del manto y las cóncavas. También cuenta con un indicador de posición del eje principal en función de la cantidad de aceite que ingrese a la cámara del pistón.  
El asiento esférico, está formado por tres placas o platos encajados verticalmente. El inferior es una placa de bronce con forma circular plana, luego se encuentra una placa de acero con forma circular y superficie plana-cóncava y la superior es una placa circular con superficie plana-convexa de bronce, la cual se monta fija al extremo inferior del eje principal.
- **Revestimientos:** Estos componentes cumplen la función principal de proteger distintas partes del chancador expuestas al desgaste ocasionado por el impacto y la fricción del material, estas piezas son fáciles de reemplazar y están fabricadas en acero fundido resistente a la abrasión y los golpes. Generalmente, se coloca material epóxico entre los revestimientos y la superficie para garantizar una absorción de vibraciones y acomodar pequeñas deformaciones producto de los impactos. Los revestimientos de la araña tienen como función proteger los brazos y la parte central, están fijados al cuerpo mediante tres pernos por brazo.  
Las cóncavas están situadas por dentro de la cámara de chancado protegiendo la carcasa superior e intermedia, se componen de tres corridas (cóncava inferior, cóncava intermedia y cóncava superior)

### Anexo C: Planes de acción manual de calidad

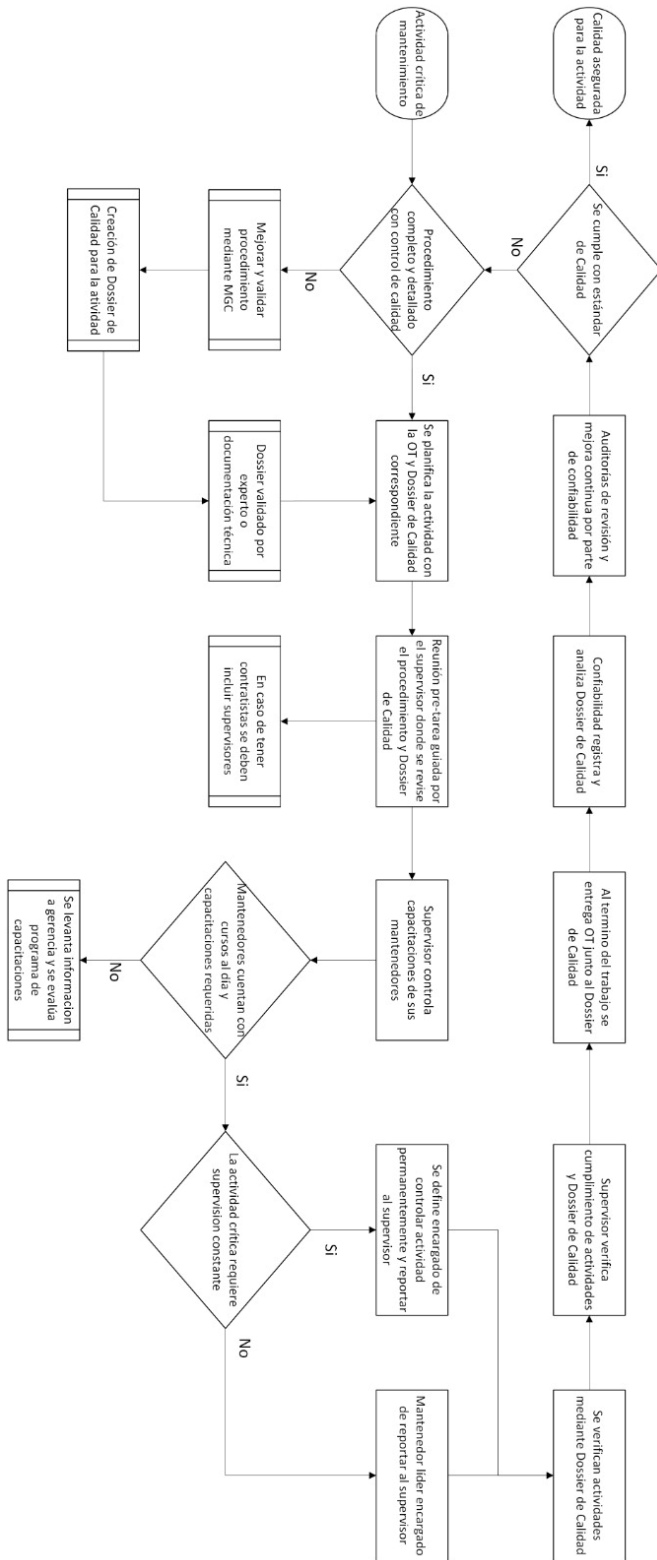


Figura 6.6 Plan de acción para la calidad en la ejecución de actividades críticas

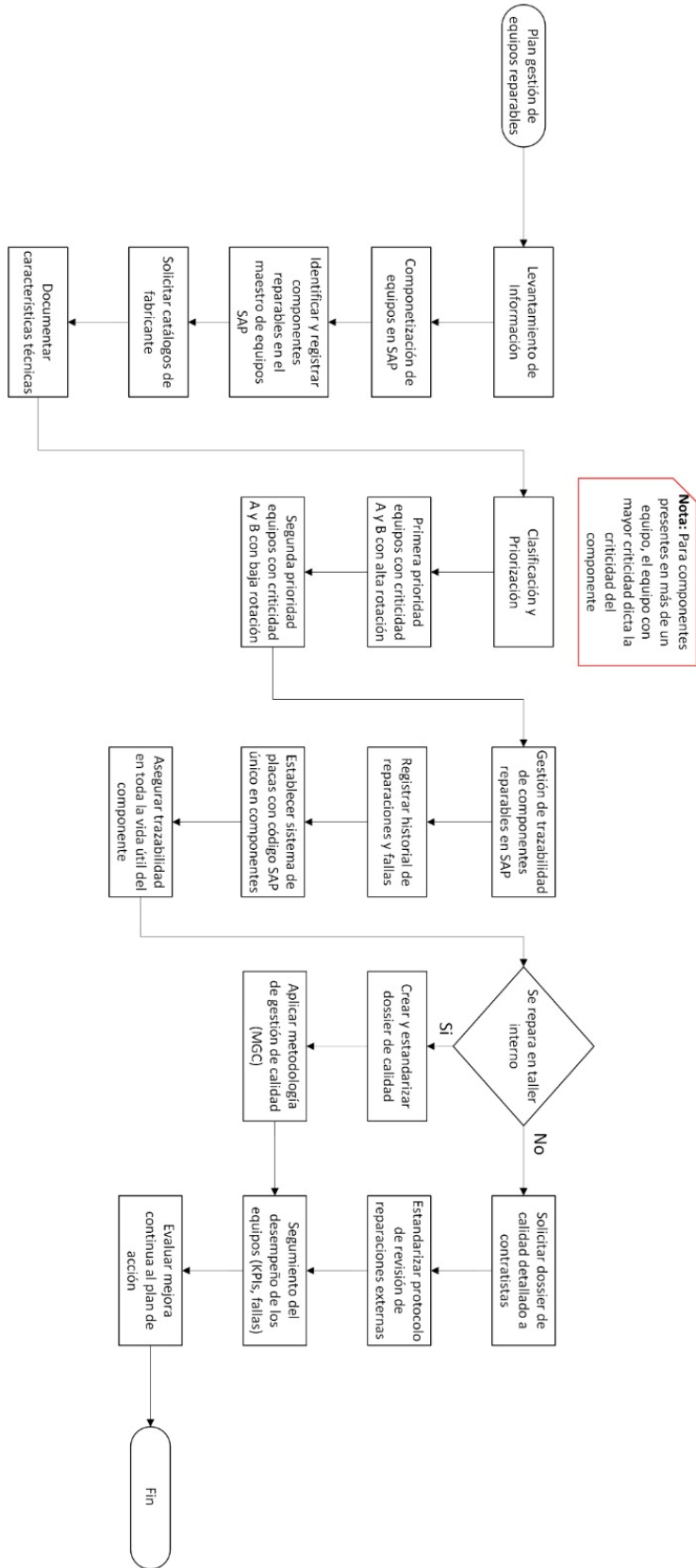
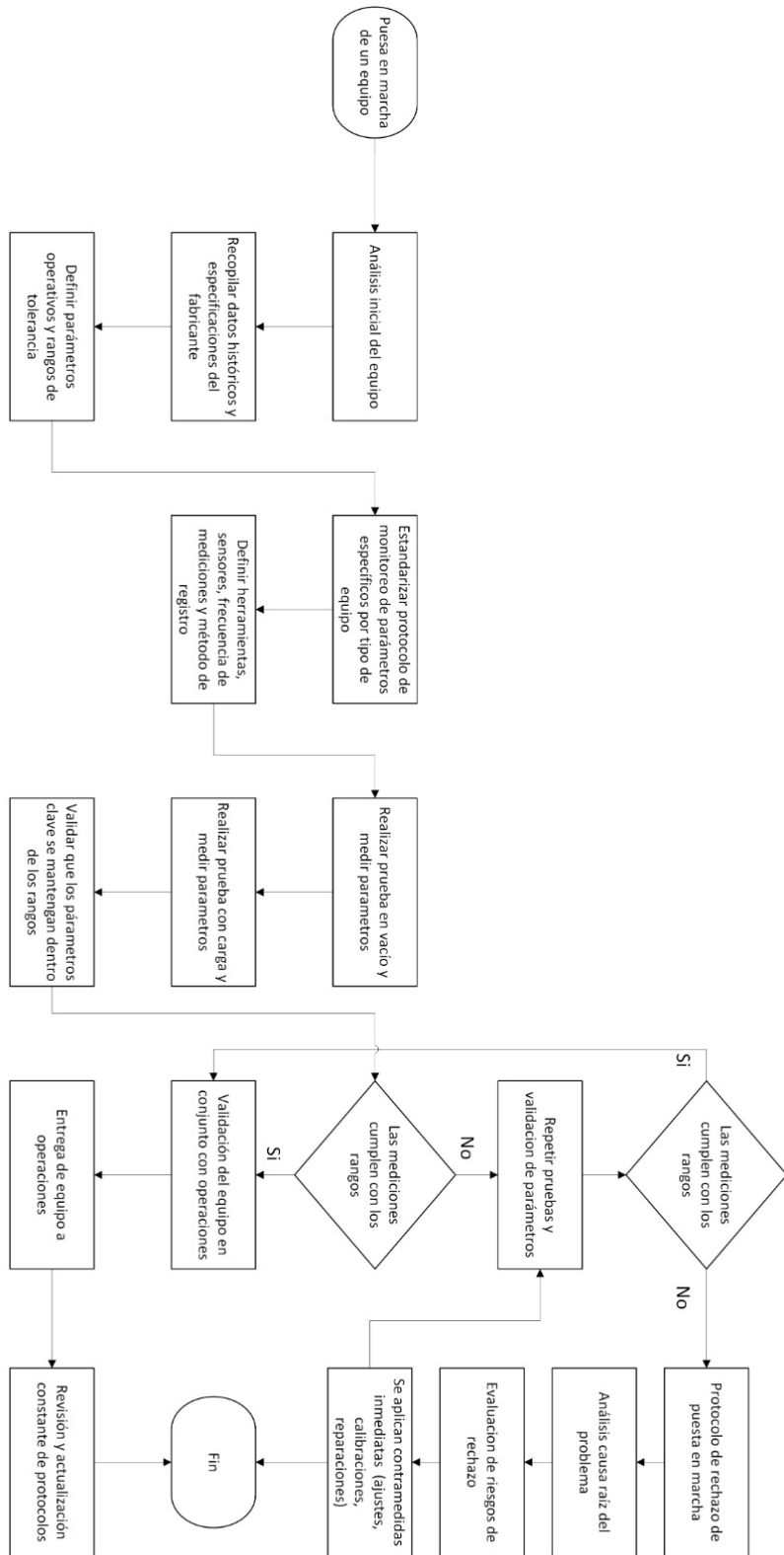


Figura 6.7 Plan de acción para la calidad en componentes reparables



**Figura 6.8 Plan de acción para la calidad en la puesta en marcha**

## Anexo D: Medidas del Dossier de Calidad Metrología de Cóncavas

Tabla 9 Metrología cóncava inferior

Medidas [mm]	Ws,ex - Medido	Ws,ex - Real	L,in - Medido	L,in Real	Ws,in - Medido	Ws,in - Real	Wi,in - Medido	Wi,in - Real
<b>Cóncava 1</b>	519	518(+0;-2)	1038	1035	574	575(+0;-2)	540	542(+0;-2)
<b>Cóncava 2</b>	520	518(+0;-2)	1038	1035	575	575(+0;-2)	543	542(+0;-2)
<b>Cóncava 3</b>	523	518(+0;-2)	1035	1035	574	575(+0;-2)	544	542(+0;-2)
<b>Cóncava 4</b>	520	518(+0;-2)	1033	1035	571	575(+0;-2)	544	542(+0;-2)
<b>Cóncava 5</b>	520	518(+0;-2)	1034	1035	575	575(+0;-2)	543	542(+0;-2)
<b>Cóncava 6</b>	524	518(+0;-2)	1035	1035	575	575(+0;-2)	540	542(+0;-2)
<b>Cóncava 7</b>	517	518(+0;-2)	1036	1035	579	575(+0;-2)	540	542(+0;-2)
<b>Cóncava 8</b>	518	518(+0;-2)	1035	1035	575	575(+0;-2)	540	542(+0;-2)
<b>Cóncava 9</b>	520	518(+0;-2)	1033	1035	577	575(+0;-2)	543	542(+0;-2)
<b>Cóncava 10</b>	520	518(+0;-2)	1034	1035	571	575(+0;-2)	540	542(+0;-2)
<b>Cóncava 11</b>	520	518(+0;-2)	1035	1035	575	575(+0;-2)	543	542(+0;-2)
<b>Cóncava 12</b>	526	518(+0;-2)	1036	1035	572	575(+0;-2)	534	542(+0;-2)
<b>Cóncava 13</b>	520	518(+0;-2)	1034	1035	573	575(+0;-2)	542	542(+0;-2)
<b>Cóncava 14</b>	520	518(+0;-2)	1036	1035	577	575(+0;-2)	538	542(+0;-2)
<b>Cóncava 15</b>	526	518(+0;-2)	1038	1035	576	575(+0;-2)	542	542(+0;-2)
<b>Cóncava 16</b>		518(+0;-2)		1035		575(+0;-2)		542(+0;-2)
<b>Promedio</b>	520.87		1035.33		574.60		541.07	
<b>Moda</b>	520		1035		575		540	

Tabla 10 Metrología cóncava intermedia

Medidas [mm]	Ws,ex - Medido	Ws,ex - Real	L,in - Medido	L,in Real	Ws,in - Medido	Ws,in - Real	Wi,in - Medido	Wi,in - Real
<b>Cóncava 1</b>	657	654(+0;-2)	1074	1080	690	694(+0;-2)	577	577(+0;-2)
<b>Cóncava 2</b>	660	654(+0;-2)	1074	1080	694	694(+0;-2)	572	577(+0;-2)
<b>Cóncava 3</b>	654	654(+0;-2)	1073	1080	690	694(+0;-2)	580	577(+0;-2)
<b>Cóncava 4</b>	658	654(+0;-2)	1077	1080	698	694(+0;-2)	574	577(+0;-2)
<b>Cóncava 5</b>	658	654(+0;-2)	1075	1080	695	694(+0;-2)	575	577(+0;-2)
<b>Cóncava 6</b>	659	654(+0;-2)	1076	1080	693	694(+0;-2)	574	577(+0;-2)
<b>Cóncava 7</b>	658	654(+0;-2)	1073	1080	690	694(+0;-2)	576	577(+0;-2)
<b>Cóncava 8</b>	660	654(+0;-2)	1079	1080	692	694(+0;-2)	576	577(+0;-2)
<b>Cóncava 9</b>	660	654(+0;-2)	1074	1080	688	694(+0;-2)	576	577(+0;-2)
<b>Cóncava 10</b>	655	654(+0;-2)	1072	1080	691	694(+0;-2)	575	577(+0;-2)
<b>Cóncava 11</b>	658	654(+0;-2)	1076	1080	693	694(+0;-2)	574	577(+0;-2)
<b>Cóncava 12</b>	663	654(+0;-2)	1075	1080	694	694(+0;-2)	577	577(+0;-2)
<b>Cóncava 13</b>	663	654(+0;-2)	1073	1080	694	694(+0;-2)	576	577(+0;-2)
<b>Cóncava 14</b>	652	654(+0;-2)	1073	1080	688	694(+0;-2)	575	577(+0;-2)
<b>Cóncava 15</b>	657	654(+0;-2)	1075	1080	693	694(+0;-2)	577	577(+0;-2)
<b>Cóncava 16</b>	655	654(+0;-2)	1075	1080	687	694(+0;-2)	575	577(+0;-2)
<b>Promedio</b>	657.94		1074.63		691.88		575.56	
<b>Moda</b>	658		1073		690		575	

Tabla 11 Metrología cóncava superior – parte 1

Medidas [mm]	Ws,ex - Medido	Ws,ex - Real	L,in - Medido	L,in Real	Ws,in - Medido	Ws,in - Real	Wi,in - Medido	Wi,in - Real
<b>Cóncava 1</b>	630	630(+0;-2)	1097	1102	655	656(+0;-2)	555	555(+0;-2)
<b>Cóncava 2</b>	629	630(+0;-2)	1098	1102	655	656(+0;-2)	557	555(+0;-2)
<b>Cóncava 3</b>	631	630(+0;-2)	1098	1102	655	656(+0;-2)	557	555(+0;-2)
<b>Cóncava 4</b>	631	630(+0;-2)	1097	1102	653	656(+0;-2)	558	555(+0;-2)
<b>Cóncava 5</b>	630	630(+0;-2)	1098	1102	654	656(+0;-2)	576	555(+0;-2)
<b>Cóncava 6</b>	633	630(+0;-2)	1093	1102	656	656(+0;-2)	553	555(+0;-2)
<b>Cóncava 7</b>	634	630(+0;-2)	1097	1102	656	656(+0;-2)	556	555(+0;-2)
<b>Cóncava 8</b>	634	630(+0;-2)	1098	1102	657	656(+0;-2)	554	555(+0;-2)
<b>Cóncava 9</b>	633	630(+0;-2)	1098	1102	655	656(+0;-2)	553	555(+0;-2)
<b>Cóncava 10</b>	633	630(+0;-2)	1095	1102	654	656(+0;-2)	550	555(+0;-2)
<b>Cóncava 11</b>	635	630(+0;-2)	1096	1102	653	656(+0;-2)	553	555(+0;-2)
<b>Cóncava 12</b>	635	630(+0;-2)	1098	1102	655	656(+0;-2)	550	555(+0;-2)
<b>Cóncava 13</b>	636	630(+0;-2)	1096	1102	654	656(+0;-2)	552	555(+0;-2)
<b>Cóncava 14</b>	633	630(+0;-2)	1096	1102	654	656(+0;-2)	555	555(+0;-2)
<b>Cóncava 15</b>	636	630(+0;-2)	1095	1102	651	656(+0;-2)	557	555(+0;-2)
<b>Cóncava 16</b>	636	630(+0;-2)	1096	1102	656	656(+0;-2)	555	555(+0;-2)
<b>Cóncava 17</b>	637	630(+0;-2)	1096	1102	653	656(+0;-2)	552	555(+0;-2)
<b>Cóncava 18</b>	638	630(+0;-2)	1097	1102	654	656(+0;-2)	551	555(+0;-2)
<b>Cóncava 19</b>	632	630(+0;-2)	1098	1102	653	656(+0;-2)	552	555(+0;-2)

<b>Cóncava 20</b>	635	630(+0;-2)	1099	1102	655	656(+0;-2)	556	555(+0;-2)
<b>Media</b>	633.55		1096.8		654.4		555.1	
<b>Moda</b>	633		1098		655		555	

**Tabla 12 Metrología cóncava superior – parte 2**

Medidas [mm]	Lu - Medido	Lu - Real	Tu - Medido	Tu - Medido	Tu - Real
<b>Cóncava 1</b>	743	746	22	20	24
<b>Cóncava 2</b>	747	746	23	21	24
<b>Cóncava 3</b>	742	746	26	24	24
<b>Cóncava 4</b>	742	746	22	20	24
<b>Cóncava 5</b>	742	746	22	18	24
<b>Cóncava 6</b>	741	746	25	20	24
<b>Cóncava 7</b>	740	746	24	20	24
<b>Cóncava 8</b>	742	746	21	20	24
<b>Cóncava 9</b>	743	746	25	20	24
<b>Cóncava 10</b>	741	746	23	20	24
<b>Cóncava 11</b>	740	746	22	21	24
<b>Cóncava 12</b>	741	746	24	21	24
<b>Cóncava 13</b>	742	746	22	20	24
<b>Cóncava 14</b>	742	746	22	20	24
<b>Cóncava 15</b>	740	746	21	20	24
<b>Cóncava 16</b>	740	746	23	20	24
<b>Cóncava 17</b>	741	746	24	21	24
<b>Cóncava 18</b>	742	746	22	20	24
<b>Cóncava 19</b>	742	746	24	20	24
<b>Cóncava 20</b>	743	746	24	18	24
<b>Media</b>	741.8		23.05	20.2	
<b>Moda</b>	742		22	20	

## Anexo E: Dossier de Calidad Cambio de Cóncavas

**Tabla 13 Limpieza e inspección inicial.**

<b>1.- Limpieza e inspección inicial</b>	<b>Rango o Referencia</b>
Verificar cuerpo interno Top shell y Middle shell se encuentra limpio (sin restos de mineral, grasa o epóxico) y desviaciones geométricas.	Inspección Visual
Verificar anillo retenedor de Cóncavas inferiores en Middle shell en buen estado (desviaciones geométricas o pérdida de material)	Ancho nominal: 2.45" o 63.45 mm Ancho mínimo: 1.74" o 44.4 mm

Verificar guía de enganche cóncava superior en Top shell en buen estado (desviaciones geométricas o pérdida de material)	Inspección Visual
Verificar caras interiores de las Cóncavas estén limpias, lisas y sin pintura	Inspección Visual

**Tabla 14 Reparación Shell**

<b>2.- Reparación Shell</b>	<b>Rango o Referencia</b>
Verificar reparaciones a anillo retenedor mediante soldadura donde se aprecian desviaciones geométricas o pérdidas de material	Inspección Visual
Verificar reparaciones a guía de enganche mediante soldadura donde se aprecian desviaciones geométricas o pérdidas de material	Inspección Visual
Inspección mediante partículas magnéticas a reparaciones soldadas en guía de enganche y anillo retenedor	Partículas Magnéticas

**Tabla 15 Instalación cóncavas inferiores**

<b>3.- Instalación cóncavas inferiores</b>	<b>Rango o Referencia</b>
Distribuir de forma paralela y homogénea las Cóncavas en el perímetro del Mid shell (no se aprecian Cóncavas juntas)	GAP vertical 1/2" aprox.
Verificar que las Cóncavas estén ajustadas por perno gato	La Cóncava se encuentra fija al shell
Inspección de la instalación de los pin de fijación	Mínimo un 80% del pin está en contacto con las Cóncavas
Verificar que el calafateo cubre totalmente la zona de contacto entre cóncavas, verificar cualquier espacio por donde pueda filtrar epóxico	Dejar secar yeso por 10 minutos
Asegurar que el epóxico y cantidad de kits a utilizar sea el correspondiente	TermoBacking High Performance 15 Kits (Puede variar en +1;-1)
El epóxico es mezclado de forma constante por 5 minutos y vertido inmediatamente luego de ser mezclado	Temperatura 25° aprox. / Diferencia de temperatura shell y epóxico: <15°

Verificar que el epóxico llene la cavidad entre Shell y Cóncava liberando aire atrapado, dejando un espacio libre sin epóxico	Inspección Visual
Verificar que todas las orejas de izaje fueron cortadas	Inspección Visual

**Tabla 16 Instalación cóncavas intermedias**

<b>4.- Instalación cóncavas intermedias</b>	<b>Rango o Referencia</b>
Se calcula correctamente el GAP horizontal entre filas de cóncavas para que calce las cóncavas superiores con la guía de enganche	Espacio libre de [4 a 6] mm entre guía de enganche y ñeta cóncava superior
Distribuir de forma paralela y homogénea las Cóncavas en el perímetro del Middle shell (no se aprecian Cóncavas juntas)	GAP vertical 1/2" promedio
Verificar que la posición de las Cóncavas intermedias esté traslapada en relación con el centro de la corrida anterior	Inspección Visual
Verificar que las Cóncavas estén ajustadas por perno gato	La Cóncava se encuentra fija al shell
Inspección de la instalación de los pin de fijación	Mínimo un 80% del pin está en contacto con las Cóncavas
Verificar que el calafateo cubre totalmente la zona de contacto entre cóncavas, verificar cualquier espacio por donde pueda filtrar epóxico	Dejar secar yeso por 10 minutos
Asegurar que el epóxico y cantidad de kits a utilizar sea el correspondiente	TermoBacking High Performance 16 Kits (Puede variar en +1;-1)
El epóxico es mezclado de forma constante por 5 minutos y vertido inmediatamente luego de ser mezclado	Temperatura 25° aprox. / Diferencia de temperatura shell y epóxico: <15°
Verificar que el epóxico llene la cavidad entre Shell y Cóncava liberando aire atrapado, dejando un espacio libre sin epóxico	Inspección Visual
Verificar que todas las orejas de izaje fueron cortadas	Inspección Visual

**Tabla 17 Instalación cóncavas superiores**

<b>5.- Instalación cóncavas superiores</b>	<b>Rango o Referencia</b>
Distribuir de forma paralela y homogénea las Cóncavas en el perímetro del Top shell (no se aprecian Cóncavas juntas)	GAP vertical 1/2" promedio
Verificar que la ñeta de la cóncava esté correctamente posicionada y se encuentre separada de la guía de enganche según referencia	Espacio libre de [4 a 6] mm entre guía de enganche y ñeta cóncava superior

Verificar que la posición de las Cóncavas superiores esté traslapada en relación con el centro de la corrida anterior	Inspección Visual
Verificar que las Cóncavas estén ajustadas por perno gato	La Cóncava se encuentra fija al shell
Inspección de la instalación de los pin de fijación	Mínimo un 80% del pin está en contacto con las Cóncavas
Verificar que el calafateo cubre totalmente la zona de contacto entre cóncavas, verificar cualquier espacio por donde pueda filtrar epóxico	Dejar secar yeso por 10 minutos
Asegurar que el epóxico y cantidad de kits a utilizar sea el correspondiente	TermoBacking High Performance 19 Kits (Puede variar en +1;-1)
El epóxico es mezclado de forma constante por 5 minutos y vertido inmediatamente luego de ser mezclado	Temperatura 25° aprox. / Diferencia de temperatura shell y epóxico: <15°
Verificar que el epóxico llene completamente la cavidad entre Shell y Cóncava liberando aire atrapado	Inspección Visual
Verificar que todas las orejas de izaje fueron cortadas	Inspección Visual
Fraguado del epóxico	Dejar fraguar mínimo por 4.5 horas previas a su uso